

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA Y CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA SUBCUENCA DE LA QUEBRADA RÍO SUCIO, MUNICIPIO DE TONA, SANTANDER, ORIENTADOS A DEFINIR UN MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

Colegial, J.D¹; Gómez, S¹; Rojas, N²

RESUMEN

En el desarrollo de este trabajo se incorporaron parámetros geológicos definidos en campo los cuales conducen a un mayor entendimiento de los sistemas de flujo de agua en la Cuenca Experimental de Río Sucio (CERS); en el área de estudio se presentan rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, distribuidas en bloques estructurales y cubiertas parcialmente por depósitos fluvio-glaciares, aluviales y de vertiente, los cuales podrían conformar zonas de almacenamiento de agua, interconectadas entre sí por fallas presentes. La complejidad estructural está asociada a un sistema regional y en la cuenca se identifican dos direcciones preferenciales de fracturamiento, una dirección principal en sentido NW-SE controlando los afluentes de la quebrada Río Sucio y otra NE-SW relacionada con fallas locales, estos dos patrones se comportan como vías preferenciales de transporte de agua entre zonas de depósitos cuaternarios del altiplano de Berlín y depósitos de la parte media de la CERS. Se realizaron sondeos eléctricos verticales y tomografías como herramientas que permiten complementar los perfiles geológicos y realizar una primera aproximación a los espesores de los depósitos, porosidades y comportamiento de las estructuras. A partir de la cartografía geológica y la caracterización estructural realizada en esta cuenca de montaña con características geológicas complejas se presentan las primeras hipótesis sobre direcciones de flujo de agua, almacenamiento y posible orígenes de recarga a acuíferos en la CERS, posteriormente con la adquisición de más datos o evidencias será posible realizar el planteamiento de un modelo conceptual hidrogeológico.

Palabras claves: Modelo Hidrogeológico Conceptual, Complejidad Estructural, Depósitos, Hidrogeología, Recarga, Macizo de Santander.

GEOLOGICAL CARTOGRAPHY AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF THE QUEBRADA RÍO SUCIO BASIN, TONA, SANTANDER ORIENTED TO DEFINE CONCEPTUAL HYDROGEOLOGICAL MODEL

ABSTRACT

In the development of this work geological parameters defined in field were involved and they drive us to understanding of flow systems existing in the Cuenca Experimental de Río Sucio (CERS); in the area of study metamorphic, igneous and sedimentary rocks are present and are limited by structural blocks covered by quaternary glaciers, alluvial and slope deposits; which constitute?? zones of water storage interconnected by faults. The structural complexity is defined by two preferential trends of faulting, a main pattern NW-SE is controlling the tributaries of the Rio Sucio and others NE-SW pattern related with local faults, these preferential trends behave as preferential routes of water transport among zones of Berlin Altiplano and quaternary deposits. Vertical Electric Sounding and tomography were realized as important tools in the first quantitative approximation to the thicknesses of the deposits and hydraulic characteristics. These aspects may corroborate the behavior of subsurface structures and to define the first conceptual hydrogeological model. With the cartography and structural description in this mountain basin, we present the first hypotheses on directions of possible water flow, storages zones and origins of recharge of water in complex geologic conditions like the CERS basin.

Key words: Structural Complexity, Deposits, Conceptual Hydrogeological Model, Hydrogeology, Macizo de Santander

¹ Universidad Industrial de Santander

² Grupo GPH, sgomez@uis.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

La cartografía geológica y la caracterización estructural en la zona de estudio se ha realizado con el fin de servir como base fundamental en la aproximación a un modelo hidrogeológico conceptual en una cuenca de alta montaña de alta complejidad geológica y estructural, que por sus características y localización estratégica ha sido considerada como una cuenca piloto en el proceso de adquisición de información hidrogeológica.

1.1. GENERALIDADES

Este trabajo expone los resultados de los estudios geológicos, estructurales, geofísicos y geomorfológicos desarrollados en la Cuenca Experimental de Río Sucio (CERS), ubicada en las cabeceras del Río Tona, localizada en la vereda El Tembladal hacia el norte de la cabecera urbana del municipio de Tona (Figura 1); con un área de 20 Km² la CERS está dentro de las planchas del IGAC (Servicio Geográfico Colombiano) 110 – III – C – 1 y 2; en escala 1 : 10000 de 1981 y cuyas coordenadas con origen en Santa Fe de Bogotá son: X = 1280000-1290000, Y = 1124000–1129000. La zona se ubica entre los 1850 a 3550 m.s.n.m. en los climas templado, frío y subpáramo bajo (Gómez y Santana, 1995) observándose un alto nivel de humedad, principalmente en las zonas de mayor altitud.

En la cuenca se presentan lluvias bajas en los meses de Diciembre, Enero, Febrero, Junio, Julio y Agosto; siendo Marzo, Abril, Mayo, Septiembre, Octubre y Noviembre los meses de mayor lluvia, la temperatura oscila entre los 8°C en las partes altas y los 18°C en las zonas bajas. La principal corriente de agua del área de estudio corresponde a la quebrada Río Sucio, afluente del río Tona; el curso de esta quebrada es controlado por la falla del Río Sucio y durante su recorrido recibe aportes de varias quebradas, también de muy alta pendiente como son Relumbrante, Casa Balcón, Figueros en la zona alta, además las quebradas El Chorrerón, La Colmena y La López, en la parte media.

1.2 ANTECEDENTES

El primer interés de las entidades gubernamentales

regionales en la CERS ha sido conocer o estudiar los procesos erosivos que han venido afectando la estabilidad de los terrenos y generando el aporte de sedimentos a la quebrada Río Sucio, una de las fuentes hídricas que alimentan el Río Tona, principal fuente de abastecimiento de agua de la zona metropolitana de Bucaramanga. Se han realizado estudios de carácter geomorfológico, geotécnico y sedimentológico, encontrándose alta complejidad estructural que afecta las geoformas características de la zona y que junto con la presencia de afloramientos de aguas subterráneas, saturan los suelos de la cuenca generando problemas geotécnicos (Hernández, 2001).

1.3 METODOLOGÍA

La metodología implementada en este trabajo se orienta a un estudio detallado de la litología, las estructuras superficiales y del subsuelo, y su relación con los sistemas hídricos de la CERS, para lo cual se realizó la cartografía geológica en escala 1:10000.

1.3.1 Fotogeología. Esta herramienta fue utilizada para obtener una representación de las características geológicas y geográficas particularmente en zonas de difícil acceso, permitiendo realizar el seguimiento de estructuras y sus lineamientos; como resultado se muestra una predisposición geométrica de fallas y fracturas que conforman algunas zonas altamente fracturadas y meteorizadas. Finalmente, teniendo en cuenta tonos, texturas y moteados también se delimitaron contactos litológicos que resultaban dudosos especialmente en zonas de espesa vegetación y difícil acceso.

1.3.2 Cartografía Geológica. Con base en la topografía en escala 1:10000 levantada para la elaboración del Modelo Digital del Terreno de la CERS (Buenahora y Osorio, 2005), se realizó la cartografía geológica, obteniéndose de esta manera los mapas de la geología, las estructuras y las formaciones superficiales, que son la base para la elaboración del modelo geológico tridimensional. Para caracterizar formaciones superficiales o estructuras de interés y comprender mejor la circulación del agua en el subsuelo se realizó en algunas zonas una cartografía detallada (escala 1:2000); a partir de la cual se definieron áreas que resultaban interesantes en cuanto

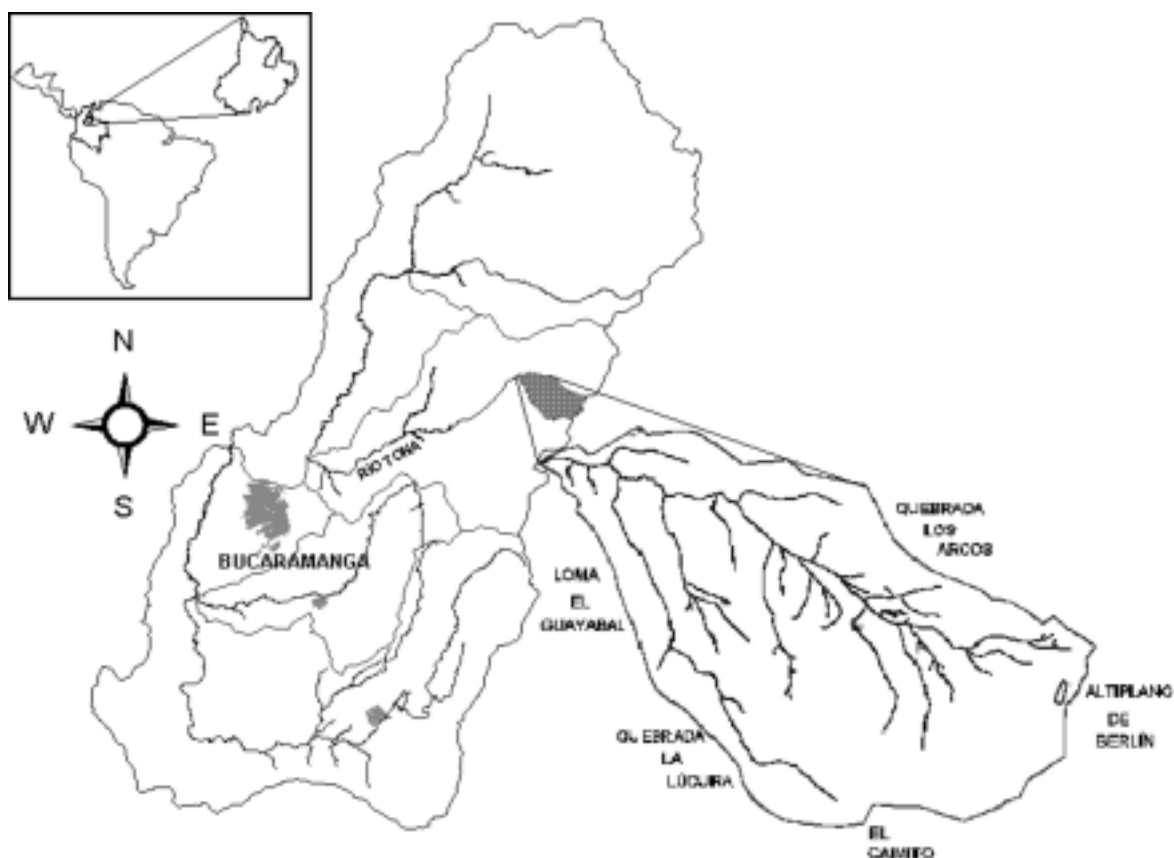


FIGURA 1. Ubicación de la zona de estudio.

a complejidad estructural, espesores de depósitos y disposición litológica, así como áreas que merecían mayor estudio y realización de ensayos.

1.3.3 Geoeléctrica. Se realizaron 19 (diez y nueve) sondeos eléctricos verticales (SEV) y 6 (seis) tomografías eléctricas. Mediante la interpretación de las curvas de resistividad para cada sondeo y conociendo los valores de las resistividades de los diferentes tipos de materiales del subsuelo y la geología del área, se identificaron las unidades geoeléctricas en cada punto donde se realizaron los sondeos.

Las tomografías eléctricas efectuadas en la cuenca muestran un perfil del subsuelo, el cual diferencia unidades resistivas y permite la obtención de una imagen aproximada de la distribución de resistividades en el subsuelo con profundidades.

1.3.4 Procesamiento y Análisis de Datos. La información obtenida de la campaña de campo y fotointerpretación fue procesada, analizada y registrada sobre la topografía actualizada en escala 1:10.000 dando como resultado el mapa geológico de la CERS. A partir del mapa geológico se realizaron cortes y se correlacionaron con los datos de las tomografías, lo cual permite hacer una estimación del comportamiento de las estructuras a profundidad.

2. GEOLOGÍA DEL ÁREA

En la (CERS) se presentan rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias con edades que oscilan entre el Paleozoico inferior y el Cretácico medio; debido al complejo control estructural, las formaciones sedimentarias se distribuyen en el área discontinuamente debido a la disposición en bloques estructurales. El

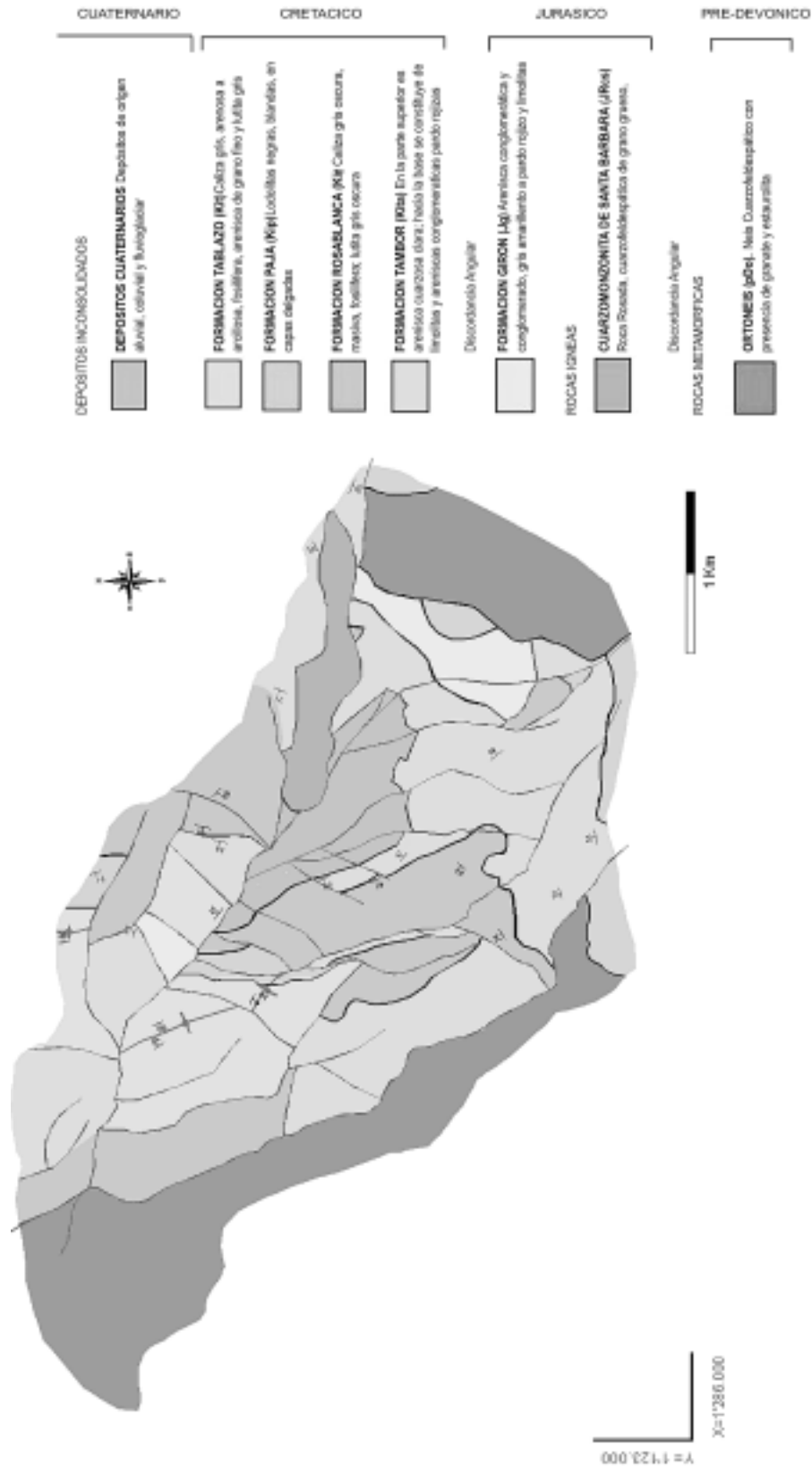


FIGURA 2. Mapa geológico de la Cuenca Experimental de la Quebrada Río Sucio. Escala 1:10000.

mapa geológico de la cuenca obtenido durante este trabajo se puede observar en la Figura 4.

2.1 LITOLOGÍA

En el área de la Cuenca Experimental de Río Sucio afloran las siguientes unidades litológicas:

Ortoneis (pDO). Se define como un Neis cuarzo-feldespático con presencia de granate y estaulolita, hacia la zona SW; muy alterado e intruido por una serie de diques básicos y ácidos. Se caracteriza por una morfología en crestas afiladas hacia el sureste de la zona de estudio.

Cuarzomonzonita de Santa Bárbara (JRcs). Se presenta como un cuerpo alargado en contacto fallado con las formaciones sedimentarias; se caracteriza por sus colores claros, y está formado por feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa, biotita y óxidos.

Formación Girón (Jg). La formación Girón constituye dos franjas truncadas, una ubicada en la parte media del valle de la quebrada Río Sucio y corresponde con una secuencia de areniscas

conglomeráticas violáceas; la otra franja está al sureste y está caracterizada por una secuencia de areniscas de grano medio intercaladas con limolitas y areniscas conglomeráticas violáceas.

Formación Tambor (Kita). La Formación Tambor comprende la mayor extensión en la CERS, con niveles bien definidos de cuarzoareniscas de grano muy grueso a fino, con superficies de oxidación, intercaladas con lodolitas silíceas, fisiles, de color gris hacia el contacto superior que es concordante con la formación Rosablanca. Por otro lado, se observan niveles de areniscas oscuras, con algún aporte de tipo carbonáceo. En la microcuenca la Formación Tambor se encuentra afectada por un juego de fallas de tipo normal, colocando bloques unos encima de otros que definen una repetición de la secuencia.

Formación Rosablanca (Kir). Esta formación es fácilmente diferenciable ya que en zonas de falla produce escarpes característicos; la componen gruesos bancos de calizas micríticas de color gris, presenta niveles fosilíferos y venillas de calcita; están intercaladas con delgadas capas de shales oscuros y

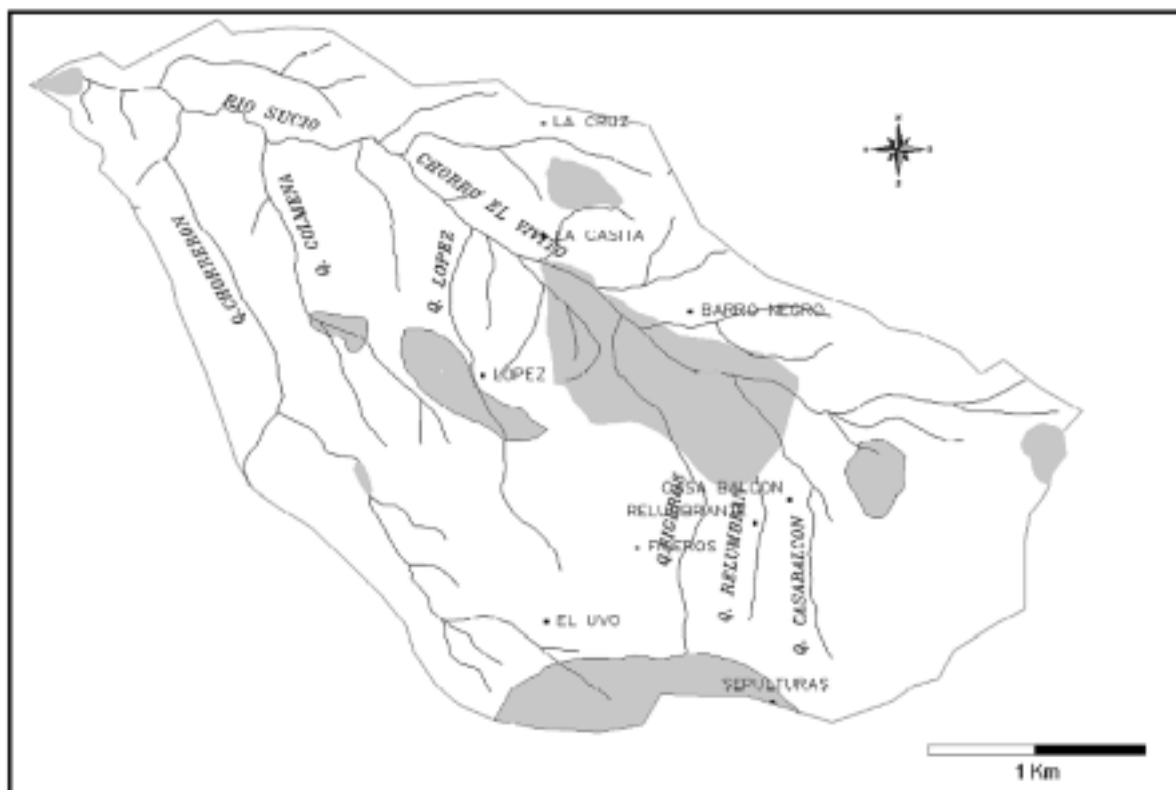


FIGURA 3. Ubicación de los principales depósitos de vertiente, aluviales y glaciares de la CERS, los cuales presentan condiciones de almacenamiento de agua.

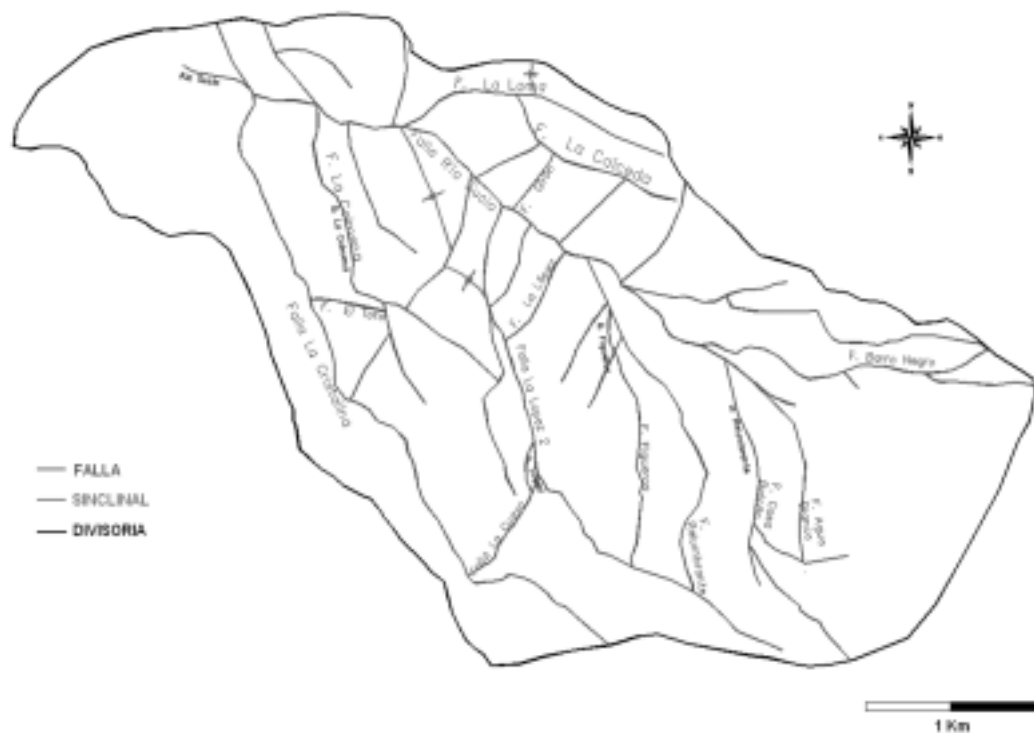


FIGURA 4. Mapa Estructural de la Cuenca Experimental de la Quebrada Río Sucio. Escala 1: 10000

se presentan superficies y formas de disolución. Los afloramientos están situados hacia el Este de la zona.

Formación Paja (Kip). Se encuentra constituida por delgados paquetes de areniscas de grano fino, lodolitas y arcillolitas fisiles negras (shales), con presencia de impresiones de restos fósiles, concreciones y nódulos calcáreos, además un alto contenido de sulfuros como pirita, intercaladas con areniscas de grano muy fino, silíceas.

Formación Tablazo (Kit). Está compuesta por niveles de cuarzoareniscas de grano fino, lodolitas físiles y calizas micríticas negras con un alto contenido terrígeno y marcas de disolución; se encuentran ubicadas como parte de los núcleos de los sinclinales El Alto y El Gramal.

Depósitos Recientes. Asociados principalmente a las zonas de intersección de fallas principales de la parte central de la cuenca y originados por procesos de tipo glaciar, fluvial, y dinámica de vertientes. (Figura 3).

Depósitos aluviales: Se presentan a lo largo del cauce de la quebrada Río Sucio, son principalmente de tipo: torrencial y en algunas partes se presentan terrazas. Los primeros corresponden a acumulaciones de

antiguos flujos de escombros relacionados con eventos hidroclimáticos. Las terrazas están erosionadas y ubicadas en el sector denominado La Batea.

Depósitos glaciares: localizados en la parte alta de la cuenca hacia el páramo de Berlín a una altura de 3440 m.s.n.m. Fundamentalmente son depósitos morrénicos constituidos por material heterométrico, angular, de areniscas y Ortoneis. De otra parte, en los sectores de La Laguna y el nacimiento de la quebrada El Chorrerón se ubican depósitos fluvioglaciares formados por cantos subredondeados de areniscas y Ortoneis de tamaño cercano a un metro.

Depósitos de Vertiente: Presentan amplia distribución con diferente envergadura, son característicos los taludes, conos de ditritos, deslizamientos y avalanchas de lodo.

2.2 ESTRUCTURAS

El levantamiento de la Cordillera Oriental generó estructuras a diferentes escalas, siendo el sistema de fallas Bucaramanga – Santa Marta el rasgo estructural más relevante y producto de un ambiente tectónico

compresivo regional que fue resultado del choque entre las placas del Caribe y Suramericana, dicho movimiento generó desplazamientos rumbo deslizante en el Noroeste de Suramérica. Debido a esta dinámica se han generado áreas complejamente falladas hacia el sector nororiental del sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta en donde se ubica la CERS que se constituye como una cuenca de alta montaña.

La identificación de estructuras en este trabajo permiten definir posibles líneas de flujo y medios de transporte de la recarga que ocurre desde otras cuencas y dentro de la misma cuenca.

2.2.1 Fallas

En la CERS se puede diferenciar una gran variedad de fallas de comportamiento inverso, normal y de rumbo; son características las fallas La Cristalina y Río Sucio de carácter regional, y otras de carácter local, las cuales son definidas en campo a partir de cambios de aptitud de los estratos, enfrentamientos de litologías, espejos y estrías, lagunas de falla y mineralizaciones. El sistema de fallas identificado durante el desarrollo de este trabajo se puede observar en la figura 4.

2.2.2 Fallas Regionales

Falla La Cristalina. De tipo normal, con una inclinación aproximada de 70° hacia el noreste y de rumbo N25W, pone en contacto el ortoneis con la cobertera sedimentaria cretácica, además define el curso de la quebrada El Chorrerón; hacia el sureste el trazo de la falla está cubierto por un depósito fluvio glacial.

Falla Del Río Sucio. Falla de rumbo con movimiento dextral desplazando la falla La Colmena, además presenta un movimiento en la componente vertical, poniendo en contacto las formaciones Tambor y Tablazo. Se encuentran asociadas a esta falla los sistemas de las fallas menores de la parte central de la CERS.

2.2.3 Fallas Locales

Falla La Colmena. Esta falla inversa de rumbo N21°W, con un comportamiento muy verticalizado pone en contacto las formaciones Rosablanca y Tablazo, pero al ser afectada por la fallas menores, cambia su comportamiento a falla normal con una inclinación de 20°NE. A la altura de los 2700 msnm

se encuentra cubierta por depósitos asociados a movimientos de remoción en masa.

Falla Barro Negro. Falla inversa con una orientación de N75°W, pone en contacto la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara con las formaciones Girón, Tambor y Rosablanca hacia el sur, donde se encuentran brechas de falla. En esta misma zona se presentan mineralizaciones de sulfuros de Cu, como Malaquita y Azurita, además de una muy compleja red de venillas de cuarzo entrecortadas.

Falla La López. Falla normal con una orientación de N20°E, y un buzamiento del plano de falla de 17°SW, poniendo en contacto las formaciones Rosablanca y Tambor, y se encuentra limitada por la falla Relumbrante y López 2.

Falla López 2. Con una orientación de N25°W a N5°E presentando dos tipos de movimientos uno de tipo vertical desde la falla Río Sucio hasta los 3100 msnm, viéndose afectada por la falla La Cueva, cambiando a ser una falla de tipo normal con un plano de inclinación 41° SW.

Falla La Cueva. Falla normal con una orientación de N30°E, limitada por las fallas La Cristalina y López 2, es identificada por la presencia de escarpe, facetas triangulares y el cambio en la dirección del buzamiento de las capas, como se mencionó anteriormente afecta el comportamiento de la falla La López 2.

Falla Capillas. Falla de tipo normal de dirección N45°E e inclinación 34° NW, produciendo una repetición de la secuencia de la formación Rosablanca, se evidencia por una silla de falla; hace parte del sistema de fallas que originaron la geoforma estructural denominada cerro testigo.

Falla La Caiceda. Falla local inversa, con una orientación S56°E, se encuentra evidenciada por un escarpe, estrías y laguna de falla. Pone en contacto la formación Rosablanca con la secuencia Girón – Tambor las cuales presentan variación de los buzamientos; se encuentra limitada por las fallas Capillas y La Loma.

Falla La Loma. Falla inversa de rumbo este – oeste con una inclinación de 45°S, trunca la secuencia Rosablanca – Paja – Tablazo que forma parte del sinclinal El Gramal y la pone en contacto fallado con las formaciones Tambor-Rosablanca de diferente inclinación; además se observa una silla de falla hacia el este.

Falla Girón. Falla inversa con rumbo N10E y una inclinación de N45W, pone en contacto la formaciones Girón – Tablazo; la presencia de esta falla generan

procesos gravitacionales que dan origen a un depósito de talud.

Otro sistema de fallas de la parte media, se constituye como un juego de fallas de comportamiento normal casi paralelas que según los lineamientos foto-geológicos van desde el altiplano de Berlín hasta converger en la zona de depósitos de la parte central de la CERS, y en la falla Río Sucio. Estas fallas se encuentran asociadas a cauces de quebradas que son controladas por las mismas. Las fallas son: Casa Balcón, Relumbrante, Figueros y Agua Blanca, que presentan una dirección promedio entre N58°W y N5°E; y un bajo ángulo de inclinación del plano de falla. Se encuentran localizadas principalmente sobre la formación Tambor ocasionando deformaciones de alargamiento de la secuencia.

La microcuenca de Río Sucio presenta una dirección preferencial de las fallas principales de N21°W; asociado a estas grandes fracturas se encuentra casi perpendicularmente un sistema de fallas menores con un rumbo promedio de N67°W. Según observaciones de campo y patrones de distribución de los rasgos estructurales visibles en el mapa, las fallas menores se relacionan con las características intrínsecas de las rocas y con las zonas afectadas por los pliegues y fallas regionales.

Pliegues

En la microcuenca se presentan dos estructuras sinclinales importantes, una es el sinclinal El Alto sobresaliente al NW del área, cuyo eje presenta un rumbo variable de N55°W a N25°W. El núcleo del sinclinal lo constituyen rocas de la formación Tablazo. El flanco occidental se encuentra disectado por la falla La colmena. El flanco oriental lo conforman las formaciones Rosablanca, Paja y Tablazo. Al norte del área se encuentra una estructura abierta, asimétrica cuyo eje presenta un rumbo N23°W, denominada el sinclinal El Gramal, su núcleo esta constituido por la formación Tablazo, truncado al sur de la estructura por la falla La Loma. Este sinclinal presenta una posibilidad de almacenamiento de agua y es una estructura idónea para realizar exploración en las rocas sedimentarias de la zona.

Diaclasas

En el área de estudio las diaclasas son ocasionadas

por la intensa deformación de las rocas y la mayoría se produce en grupos aproximadamente paralelos. Estos conjuntos de diaclasas ejercen una fuerte influencia sobre procesos de meteorización química como la disolución, que tiende a concentrarse en los trazos de las fracturas, produciendo vías preferenciales de flujo de agua. El rumbo de las diaclasas con mayor densidad de datos es aproximadamente N66°E. La mayoría de las diaclasas son cerradas, o abiertas rellenas de material arcilloso proveniente de la meteorización de la roca. En un buen número de afloramientos estos juegos de diaclasas forman intrincadas redes de fracturamiento que se ven relacionadas con la actividad de fallas como la Cristalina, Barro Negro, Río Sucio. La dirección de rumbo estadísticamente predominante de las fallas es de N21°W.

Al analizar la relación espacial entre diaclasas y fallas del área de estudio se observa que los rumbos preferenciales de estos dos tipos de estructuras son casi perpendiculares

3. GEOMORFOLOGÍA

De acuerdo al tipo de relieve presente en la cuenca experimental del Río Sucio y utilizando la clasificación geomorfológica del ITC, Van Zuidam, et al (1985), este se subdividió en formas de origen denudacional, de origen estructural, de origen fluvial, de origen cárstico y de origen glacial; todas estas formas son las encargadas de modelar las vertientes, y a su vez han sido las encargadas de generar zonas de depósitos planas y amplias, constituidas por material heterométrico y de composición variable en la parte media de la cuenca. A través de estas formas se favorece o no la ocurrencia de fenómenos hidrológicos como escorrentía e infiltración, los cuales junto con el modelo geológico controlan finalmente sitios de recarga a acuíferos y dan lugar a un posterior modelo conceptual hidrogeológico.

3.1 Formas de Origen Estructural (S). En la zona se manifiestan diversas formas de este tipo, condicionadas por la tectónica y las propiedades mecánicas de las rocas; encontrándose las siguientes unidades geomorfológicas: cerros aislados, sinclinales y planos estructurales que se encuentran asociadas a

trazos de fallas, escarpes rocosos característicos de las areniscas y las calizas, valles colgados y finalmente facetas triangulares.

3.2 Formas de Origen Denudacional (D). Son geoformas producto de procesos denudativos presentes en las diferentes unidades litológicas encontradas; en la cuenca se observaron las siguientes unidades geomorfológicas: taludes, conos de derrubios, Cicatrices de desprendimiento, coladas de lodo, deslizamientos y algunos procesos de reptación.

3.3 Formas de Origen Cárstico (K). Se encuentra la siguiente unidad geomorfológica producida por procesos de carstificación, se observan dolinas, cárcavas y grietas ubicadas al Este del sector denominado La Casita y al Oeste de La Cruz, sobre las calizas de la formación Rosablanca.

3.4 Formas de Origen Glacial (G). Se evidencian en la parte alta de la cuenca, en el límite de la divisoria; debidas a periodos de enfriamiento por glaciares durante el cuaternario, dando lugar a geoformas como morrenas terminales, y depósitos fluvio-glaciares.

3.5 Formas de Origen Fluvial (F). Tal es el caso de los depósitos torrenciales, son acumulaciones de carácter heterométrico, posiblemente de aportes de las vertientes, estos depósitos se encuentran ubicados, sobre el curso de la quebrada Río Sucio.

4. APORTE DE LA GEOLOGÍA A UN MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

La incorporación de parámetros geológicos definidos en campo a un modelo hidrogeológico conceptual están orientados hacia el almacenamiento, transporte y fenómenos de recarga de la cuenca; ya que es el medio geológico de la cuenca, uno de los controladores de estos procesos. La litología y las estructuras presentes condicionan los procesos de infiltración y flujo, tanto a través de porosidades primarias como secundarias. Según sus características hidrogeológicas el Ortoneis es un cuerpo con porosidad primaria casi nula, aunque hacia la zona SE de la cuenca, se encuentra una serie de familias de diaclasas que persisten por toda la divisoria desarrollando porosidad secundaria en la roca, lo que permite posible

circulación de agua desde el altiplano de Berlín hacia la parte central de la cuenca. Al igual que el Ortoneis, las propiedades hidrogeológicas de la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara, son debidas a la porosidad secundaria otorgada por el diaclasamiento. En campo se observa que este cuerpo cristalino constituye una zona de transporte de agua desde la parte oriental del alto El Vivito, hacia la zona de depósitos.

La porosidad primaria de la formación Girón en la CERS es casi nula. Aunque presenta algunos patrones de diaclasas, estas se caracterizan por su baja densidad y se encuentran además cerradas, lo cual la determina como una formación muy impermeable. La diferenciación de los niveles de formación Tambor se hace a partir de la composición y la textura de la roca este último aspecto es muy importante ya que incluye la porosidad y el grado de compactación de la roca; desde el punto de vista hidrogeológico. En la zona del Uvo y Figueroa ésta formación presenta una mayor compactación, disminuyendo el porcentaje de porosidad, mientras que en la zona correspondiente a la parte central de la cuenca el contenido de matriz es mayor y con un grado de compactación menor; hacia el contacto con la Formación Rosablanca se hace mas impermeable por la aparición de niveles muy finos (arcillolitas).

Debido a la composición química de la roca caliza de la Formación Rosablanca, se presentan superficies de disolución producto de agentes externos (Hidroquímicos) y junto con este proceso, se encuentra el diaclasamiento que afecta esta formación, dando origen a la porosidad secundaria de la roca.

Otra de las formaciones altamente impermeable es la Formación Paja, debida a su composición de material de grano muy fino; la porosidad secundaria en esta unidad rocosa es baja.

La porosidad primaria de la Formación Tablazo es menor que la de Formación Tambor debido a que en general sus niveles son más impermeables, sin embargo la porosidad secundaria puede ser mayor, debida a los procesos de disolución de los niveles de calizas.

Las características geológicas y geomorfológicas controlan el almacenamiento de agua, el caudal base de los ríos, la conductividad y los procesos de

infiltración; por lo tanto desde el punto de vista hidrogeológico, en la CERS los depósitos de espesor entre 5 y 15 metros, son los de mayor importancia por sus valores altos de porosidad y permeabilidad. Esta característica los convierte en excelentes almacenadores y conductores de agua. La campaña de geofísica realizada (Rojas y Ulloa, 2005) brindó información sobre la capacidad de almacenamiento de los niveles superficiales (2 a 10 metros) de los depósitos a partir de los datos de resistividad aparente. El control estructural y los patrones de diaclasamiento, condicionan la porosidad secundaria, observándose que las fallas regionales, La Cristalina y Río Sucio, se comportan como rutas preferenciales de movimiento del agua, las cuales estarían colocando en contacto el agua de los depósitos cuaternarios de Berlín con la CERS. Las estructuras de tipo sinclinal principalmente El Alto, tendría un comportamiento de acuífero por su intercalación de niveles permeables e impermeables de la Formación Tablazo.

5. MODELO GEOLÓGICO 3-D

El modelo geológico tridimensional realizado en este trabajo muestra el comportamiento relativo de las estructuras en el subsuelo, los cambios de geometría de las capas geológicas y el enfrentamiento de litologías, lo cual se encuentra directamente relacionado

con los procesos de recarga a acuíferos, salidas y almacenamiento del agua, tanto en superficie como en subsuperficie. En el proceso de interpretar los datos disponibles dentro de un modelo geológico 3 D, la cantidad de datos disponibles, la heterogeneidad y la complejidad de las formaciones pueden llegar a dificultar la visión general de los principales rasgos geológicos. En este caso, se realizó una serie de perfiles geológicos sobre la cartografía geológica modificada permitiendo una aproximación al comportamiento estructural, mediante la proyección de los datos estructurales tomados en superficie. También se aplicaron datos complementarios, como los datos de la campaña de geofísica que ayudaron en la aproximación de espesores de las zonas de depósitos y para corroborar el comportamiento de algunas estructuras.

Fue posible correlacionar estos valores con las rocas expuestas en campo y/o correlacionar con la geología existente. Las tomografías se realizaron sobre depósitos de la cuenca, donde se evidenciaba posibilidad de almacenamiento de agua y/o presencia de contrastes litológicos.

La tomografía El Rosedal (Figura 5), ubicada sobre un deposito con la mayor dimensión del área de estudio muestra una zona de depósitos muy saturada con resistividades que oscilan entre los 20-100 ohm-m

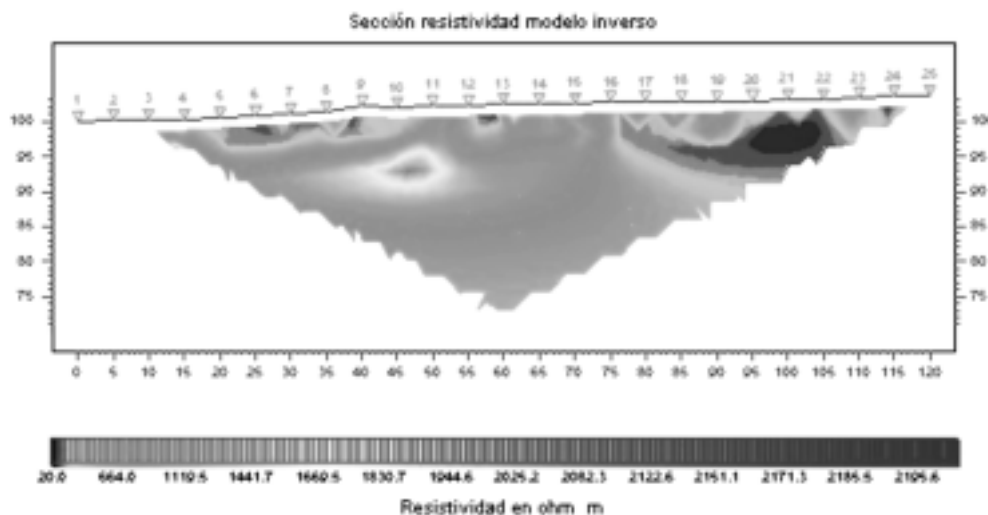


FIGURA 5. Tomografía Rosedal realizada en la zona de depósitos de vertiente de mayor extensión.

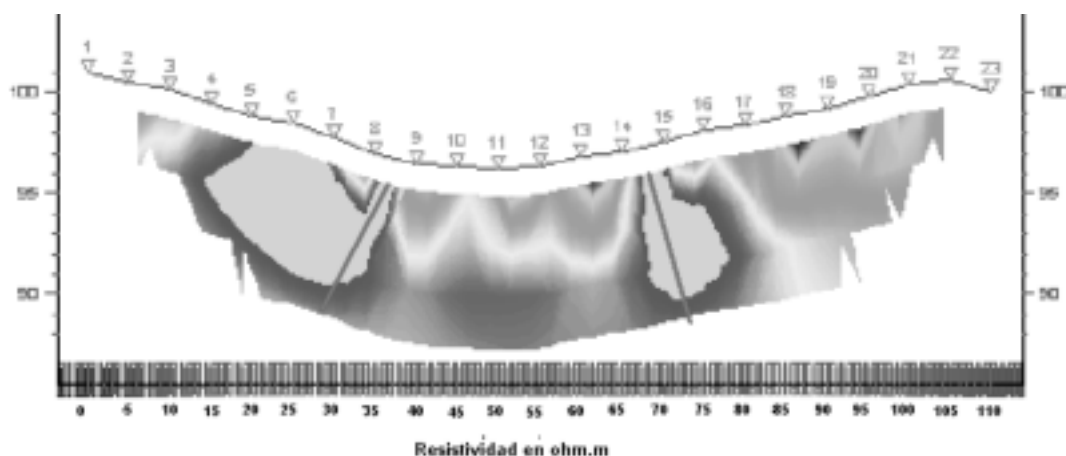


FIGURA 6. Tomografía El Alto realizada sobre depósitos de vertiente (deslizamientos y coladas de lodo) y zonas de fallamiento.

variando su profundidad de aproximadamente 5 m, hasta casi 15 m, encontrándose sobre una unidad geoelectrica muy impermeable con resistividades aparentes altas entre 300-2200 ohm-m, características de las areniscas no saturadas de la Formación Tambor.

En la tomografía El Alto (Figura 6) se observa un depósito de 4 m con una resistividad media de 20 ohm.m, además se definen zonas de saturación con resistividad menores a 20 ohm.m de color azul oscuro. Hacia la parte central de la sección de resistividad de la figura, se observan dos trazos de falla, que se pueden comportar como zonas de infiltración de agua, por la disminución de resistividades a lo largo de los trazos (en fucsia) lo cual contrasta con las altas resistividades de la zona vecina con resistividades aproximadas de 110 ohm.m.

La representación grafica del modelo geologico se realizo mediante el programa SURFER y SPELL-MAP, el cual permite la interpolación de los datos XYZ leídos en los perfiles geológicos, en celdas de 30x30 m generando la imagen 3D que se muestra en la Figura 7. Ver procedimiento en Buenahora y Osorio (2005).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido a la complejidad estructural de la Cuenca Experimental de Río Sucio (CERS) no se observa un comportamiento secuencial de las formaciones; en vez de esto, la cuenca esta conformada por un sistema

de bloques estructurales que repiten secuencias y enfrenta diversas litologías, lo cual puede generar contrastes de porosidad que dan lugar a condiciones hidrogeológicas especiales. Las fallas regionales controlan el alineamiento de los cauces principales en la cuenca y dan origen a zonas de alto diaclasamiento y meteorización. Es de especial interés el diaclasamiento asociado a la zona de las Fallas La Cristalina y Río Sucio, el cual da origen a potenciales rutas preferenciales de agua subterránea hacia los cauces principales. En sitios donde las diaclasas se cierran debido a esfuerzos tectónicos o al cierre natural a profundidad, se observaron nacimientos de agua que llegan a hacer parte de los principales cauces, algunos de los cuales se infiltran posteriormente. Se requiere incorporar las condiciones hidroquímicas y otras herramientas que complementen el conocimiento hidro-geológico de la cuenca.

Los depósitos de vertiente presentes en la cuenca, se identificaron como zonas almacenadoras de agua y ellos se encuentran comunicados con el depósito cuaternario del altiplano de Berlín, mediante el sistema de fallas locales identificadas en la parte alta media de la cuenca. Aunque el lineamiento de estas fallas no es visible en campo debido a la presencia de pequeños depósitos localizados cerca a la divisoria en el sector sur de la cuenca, y a la presencia del gran depósito de Berlín en contacto con esta, se encontró mediante fotointerpretación la continuidad del lineamiento de estas fallas hacia el altiplano de Berlín. Este rasgo

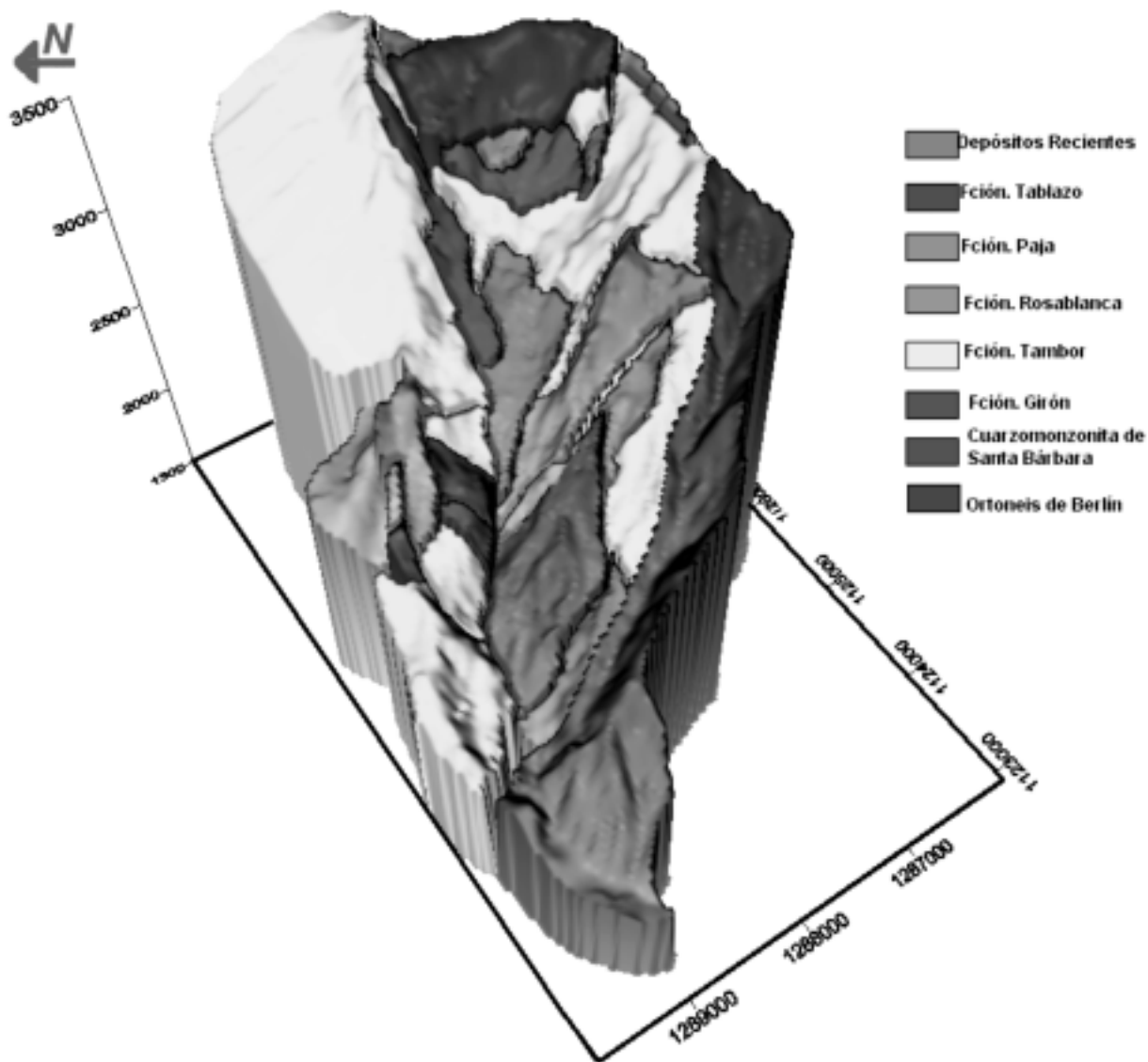


FIGURA 7. Modelo Geológico Tridimensional de la CERS. Modelo base para plantear el modelo conceptual hidrogeológico

estructural puede facilitar posibles rutas de flujo entre los dos depósitos y por tanto es posible la existencia de recarga desde el altiplano de Berlín hacia los acuíferos de la cuenca.

Las características geológicas como litología, estructuras y geomorfología presentes, apoyadas por herramientas geofísicas, brindaron información de propiedades hidrogeológicas de las diferentes unidades

de roca encontradas. Así este trabajo se constituye como el primer paso para proponer el modelo hidrogeológico conceptual de la CERS. Se hace necesario en próximos trabajos, identificar acuíferos a partir de las condiciones de porosidad encontradas, caracterizar las unidades hidrogeológicas presentes, profundidades de depósitos y confirmar las primeras hipótesis propuestas sobre zonas de recarga y rutas preferenciales de flujo desde largas distancias.

La CERS es una de las cuencas estratégicas para almacenamiento de agua y abastecimiento de la zona metropolitana de Bucaramanga, por lo tanto es fundamental conocer los sistemas geológicos y estructurales que soportan el recurso agua, así como otros sistemas relacionados con recursos bióticos de la zona.

AGRADECIMIENTOS:

El Grupo en Predicción y Modelamiento Hidroclimático agradece a COLCIENCIAS y el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, AMB, por su colaboración en este trabajo.

REFERENCIAS

- Buenahora, C y Osorio, H. (2005). Elaboración del Modelo digital de elevaciones para la optimización de la cuenca del río sucio. Proyecto de grado. Universidad Industrial de Santander.
- Buitrago, G y Cote C. (1987). Control de sedimentos en la cuenca alta del río Tona. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- Cassiraga, E. (1999). Incorporación de Información blanda para la cuantificación de la incertidumbre: aplicación a la hidrogeología. Universidad Politécnica de Valencia.
- Clavijo, J y Royero G. (2000). Mapa Geológico Generalizado Del Departamento De Santander (Escala 1:400.000) Memoria Explicativa, Ingeominas. Bucaramanga
- Custodio, E y Llamas M. (1996). Hidrología Subterránea. Ediciones Omega, Barcelona.
- Del Toro, W. (1.997). Aspectos Geotécnicos de los sectores inestables de la microcuenca de Río Sucio parte alta de la cuenca del río Tona en el departamento de Santander. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- Gómez, L y Santana, H. (1.995) Geología, Geomorfología y Química de los procesos de inestabilidad de la zona del Tembladal. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- GRADEX. (2003) Estudio De Impacto Ambiental Para La Regulación Del Río Tona. Informe Final. Compañía

Del Acueducto Metropolitano De Bucaramanga S.A. Bucaramanga.

- Gutiérrez, E. y Materón M. (2000) Modelación De Acuíferos Para El Aprovechamiento Sostenible Del Agua Subterránea. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá
- Hernández, W. (2001) Análisis de las influencias de los factores geomorfológicos en los procesos erosivos de la microcuenca de la quebrada Río Sucio parte alta del río Tona. Universidad Industrial de Santander.
- Julivert, M. et al. (1968) Lexique Stratigraphique International, Amerique Latine Colombia Premiere Parte). Centre National de la Recherche Scientifique. Volumen 5, fascículo 4a, Colombia.
- Mappingenieria Cia. Ltda. (2003) Estudio De Sedimentos Para La Cuenca Superior Del Río Tona (Carrizal). Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, Colombia.
- Ramírez, A. (1999). Propuesta de un modelo hidrogeológico conceptual a partir de la caracterización física de la subcuenca del Río Pamplonita – Énfasis áreas de Cúcuta y Villa del Rosario – Departamento Norte de Santander, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga,
- Rojas, N,R, Ulloa, A.M. (2005). Cartografía Geológica y Caracterización Estructural de la Subcuenca de la Quebrada Río Sucio, Municipio de Tona, Santander. Proyecto de Grado. Universidad Industrial de Santander.
- Vargas, Nelson Omar. (2001). Zonas Hidrogeológicas Homogéneas De Colombia, Escala 1:1.200.000. Postgrado en Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional De Colombia, Bogotá.
- Van Zuidam. Et. al (1982). Aerial Photo – interpretation in Terrain Analysis and geomorphologic mapping. Smith Publ. The Hague.

Trabajo recibido: julio 28 de 2006
Trabajo aceptado: noviembre 24 de 2006

