



Libertad y Orden

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

***CONCEPTO TÉCNICO SOBRE INESTABILIDAD EN EL BARRIO
EL PRADO, MUNICIPIO DE EL CARMEN DE BOLIVAR,
DEPARTAMENTO DE BOLIVAR***

Bogotá, noviembre de 2011

República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO



Libertad y Orden

**REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO**

**CONCEPTO TÉCNICO SOBRE INESTABILIDAD EN EL BARRIO
EL PRADO, MUNICIPIO DE EL CARMEN DE BOLIVAR,
DEPARTAMENTO DE BOLIVAR**

Por:

**Yolanda Calderón
Ingeniero Civil**

**Harold G. Moya B.
Geólogo**

Bogotá, noviembre de 2011

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. ALCANCES Y LIMITACIONES	8
3. ANTECEDENTES	9
4 LOCALIZACIÓN Y ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	10
5. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS.....	11
5.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	11
5.1.1. <i>Litología</i>	11
5.1.2. <i>Geología estructural</i>	13
5.1.3. <i>Geomorfología</i>	13
5.2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL	15
5.3. GEOLOGÍA APLICADA Y ASPECTOS GEOTÉCNICOS.....	15
5.3.1. <i>Macizo rocoso</i>	16
5.3.2. <i>Unidades de suelo</i>	17
5.4. DESCRIPCIÓN DE INESTABILIDAD DE LA LADERA	19
5.4.1. <i>Inestabilidad de viviendas ubicadas sobre la carrera 51</i>	22
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
BIBLIOGRAFÍA	29

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localización del municipio de El Carmen de Bolívar, en la imagen satelital de la parte inferior aparece resaltado en amarillo la ubicación de los tanques de acueducto del Barrio El Prado, dentro del casco urbano del municipio. **10**
- Figura 2.** Entorno geológico del municipio del Carmen de Bolívar, se pueden diferenciar unidades Terciarias y unidades Cuaternarias de origen fluvial. (Tomado de INGEOMINAS, plancha geológica 38, El Carmen de Bolívar. **12**
- Figura 3.** Marco geológico estructural regional de la zona, nótese que El Carmen de Bolívar está incluido dentro de la zona de influencia del sistema de fallas de Romeral (Tomado de Ingeominas 1995 y Duque y Otros 1996). **14**
- Figura 4.** Movimiento de tierras en el sector donde se fundó el tanque semienterrado del Prado, nótese la secuencia arcillosa rojiza asociada a roca blanda de la Formación El Carmen..... **16**
- Figura 5.** Suelos residuales formados a partir de la alteración de los macizos arcillosos de la Formación El Carmen, sector acceso vial Cra 53..... **17**
- Figura 6.** Acumulación de depósitos antrópicos localizados dentro de las instalaciones de los tanques de El Prado, gran parte de estos materiales son escombros apilados producto de la construcción de los tanques mencionados. . **18**
- Figura 7.** Depósitos antrópicos mixtos, producto de la entremezcla de materiales arcillosos con basuras y escombros. Nótese que en las proximidades a los tanques del acueducto, la unidad St1a descansa directamente sobre la roca blanda Rbfc. **19**
- Figura 8.** Esquema de la cimentación del tanque de acueducto El Prado de acuerdo al informe del proceso constructivo. La profundidad de la excavación alcanzó los 3 m de profundidad sobre arcillolitas de la Formación El Carmen de acuerdo a los sondeos del subsuelo. (Tomado de informe del proceso

constructivo del tanque de acueducto del Barrio el Prado, El Carmen de Bolívar, 2010). **20**

Figura 9. Deficiencias constructivas en la placa superior del tanque del acueducto, no relacionadas con inestabilidad del terreno..... **21**

Figura 10. Agrietamientos en muros y separaciones en las juntas de las losas perimetrales que sugieren pequeños movimientos diferenciales que no comprometen la estabilidad del tanque del acueducto..... **22**

Figura 11. Movimientos superficiales en el costado SW de los tanques de acueducto, generalmente desarrollados sobre depósitos antrópicos y suelos residuales arcillosos de poco espesor. Visual NE-SW..... **23**

Figura 12. Visual aproximada SW-NE y NE-SW de la carrera 51 donde se presentan los mayores daños sobre las viviendas, nótese la ausencia de obras de alcantarillado. **24**

Figura 13. Afectaciones severas por deformaciones del terreno sobre las viviendas ubicadas sobre la carrera 51. En la primera imagen una vivienda demolida, en la última se resalta con el recuadro amarillo la deformación del terreno generando un escalonamiento que bascula el muro del costado derecho. **25**

Figura 14. Evidencias de las deformaciones del terreno en el interior de las viviendas, nótese la ausencia de losas de concreto en las plantas de las viviendas, en la imagen central se puede percibir la deformación vertical del suelo a pesar de haberse construido una viga de amarre. **25**

Figura 15. Colector de aguas lluvias que recoge parcialmente aguas superficiales y aguas servidas de algunas viviendas. Apparently el tanque colector se encuentra aislado. **26**



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de las secuencias de unidades geológicas presentes en el área de estudio y su equivalente en unidades ingenieriles **19**

1. INTRODUCCIÓN

Atendiendo la solicitud realizada por la Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado de El Carmen de Bolívar ACUECAR S.A. mediante el oficio No. 152 del 20 de octubre de 2011, el Servicio Geológico Colombiano delegó una comisión técnica conformada por la Ingeniera Civil Geotecnista Yolanda Calderón y al Geólogo Harol Moya, de la Subdirección de Amenazas Geológicas, para desplazarse al barrio el Prado en la cabecera municipal del municipio de El Carmen de Bolívar. La comisión técnica tuvo por objeto la evaluación ocular de las condiciones de estabilidad de los tanques de acueducto y su posible incidencia en las afectaciones de las zonas aledañas, dicha comisión se realizó los días 28 y 29 de noviembre de 2011 y contó con el apoyo de los señores funcionarios de Planeación, delegados de la Alcaldía Municipal del Carmen de Bolívar y ACUECAR S.A.

2. ALCANCES Y LIMITACIONES

El presente informe es el resultado de una visita de reconocimiento visual en la cual se tomaron registros y observaciones de campo que incluyeron testimonios de las autoridades institucionales y de la comunidad involucrada; esta información ha servido como insumo en la elaboración del diagnóstico preliminar de estabilidad de los tanques de acueducto de El Prado y las zonas adyacentes por solicitud de ACUECAR.

Es pertinente resaltar que la comisión técnica del Servicio Geológico Colombiano, presentó una serie de recomendaciones técnicas de manera verbal a las autoridades y a la población afectada, las cuales quedaron consignadas en un acta levantada en la alcaldía municipal de El Carmen de Bolívar, las cuales son ratificadas y complementadas en el desarrollo del presente documento. El presente informe, es una herramienta base, que pretende orientar a las autoridades y demás entes responsables sobre las acciones a adelantar respecto de los eventos que fueron reconocidos e inspeccionados por la comisión técnica del Servicio Geológico Colombiano.

3. ANTECEDENTES

En el departamento de Bolívar, la zona de El Carmen ha sido objeto de estudios técnicos relacionados con la caracterización de zonas de interés minero, la realización de obras de infraestructura y la caracterización de amenazas geológicas, tanto por inestabilidad de las laderas como por posibles inundaciones. Dentro de los conceptos técnicos concernientes al desarrollo de movimientos en masa, se destacan entre otros los siguientes elaborados por INGEOMINAS, ahora Servicio Geológico Colombiano:

- Características de los fenómenos de remoción en masa e inundación del Carmen de Bolívar, Carvajal 2007
- Deslizamiento en la ladera derecho del arroyo Alférez, Molina 2003
- Informe de la visita técnica de emergencia efectuada en el municipio de El Carmen de Bolívar, departamento de Bolívar, Castro 2009.

4. LOCALIZACIÓN Y ASPECTOS FISIOGRAFICOS

La población del Carmen de Bolívar se encuentra localizada 80 Km al sureste de la ciudad de Cartagena, capital del departamento. La carretera Troncal de Occidente es el acceso al casco urbano del municipio, vía que en su gran mayoría se encuentra en buenas condiciones. El clima predominante de la zona es tropical con temperaturas que varían entre 24° y 28° y con una precipitación de 1000 mm anuales que determina la formación de bosque seco tropical, los mayores índices de evapotranspiración ocurren a la altura de El Carmen de Bolívar (IGAC 1977). Se hace mención a que actualmente el territorio colombiano se ve afectado por la intensa temporada de lluvias a causa del fenómeno de la niña que en el momento de la visita afectaban a la comunidad de El Carmen.

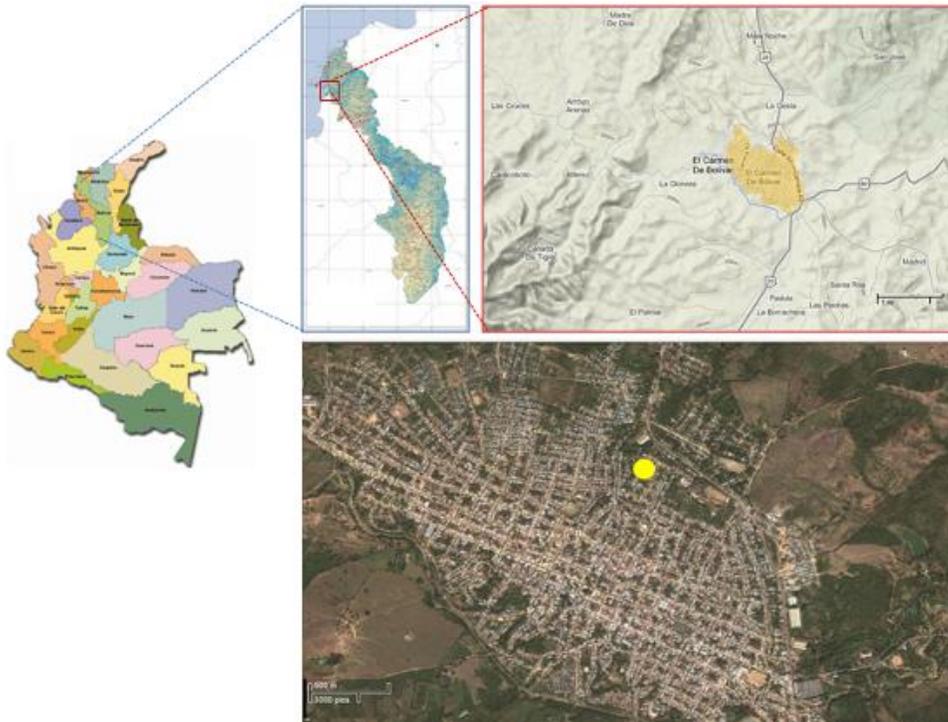


Figura 1. Localización del municipio de El Carmen de Bolívar, en la imagen satelital de la parte inferior aparece resaltado en amarillo la ubicación de los tanques de acueducto del Barrio El Prado, dentro del casco urbano del municipio.

5. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

5.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

En el municipio del Carmen de Bolívar afloran rocas de origen marino que hacen parte del denominado Cinturón de San Jacinto el cual está conformado fundamentalmente por rocas sedimentarias de tipo chert, areniscas, arcillolitas y calizas de las formaciones San Cayetano, Maco, Chengue, San Jacinto, Carmen, Rancho, Zambrano y depósitos cuaternarios. Regionalmente las rocas se encuentran plegadas y dispuestas en anticlinales estrechos y sinclinales amplios cuyos ejes tienen dirección predominante N 20° E. Las rocas se encuentran fracturadas por fallas normales e inversas con direcciones paralelas a las estructuras plegadas, (Duque, 1996).

5.1.1. Litología

Formación San Jacinto (Pgsj)

Conformada por capas gruesas de areniscas arcósicas de grano medio a grueso con niveles de color oscuro y pequeños lentes de carbón, areniscas lenticulares y lodolitas arenosas de color amarillo. En algunos sitios es reportada como un “conglomerado basal”, con tamaño de los clastos arena a grava con fragmentos de lodolitas ferruginosas calcáreas, fragmentos de granito y pórfidos, clastos de calizas, cherts negros y cuarzos lechosos. En la parte inferior, arenitas cuarzosas subarcósicas, grano fino a muy grueso y conglomeráticas, ocasionalmente glauconíticas, cemento calcáreo, dispuestas en capas gruesas; granodecrecientes, presencia de conchas gruesas de ostreidos y restos de plantas. (Duque, Guzmán y Hernández, 1991). Esta formación se encuentra conformando los núcleos de las estructuras anticlinales, en veredas Caracolí, San Carlos y Tierra Grata.

Formación Carmen (PgNgc)

Está constituida por arcillolitas grises oscuras en muestras frescas y color café amarillento cuando se encuentran alteradas, plásticas y localmente limolíticas y muy bioperturbadas; en algunos niveles presenta gran abundancia de

Concepto técnico sobre inestabilidad en el barrio El Prado, Municipio de El Carmen de Bolívar, Departamento de Bolívar

foraminíferos planctónicos y abundantes venas de yeso y de azufre, la secuencia yace discordantemente sobre la Formación San Jacinto. Hacia la base se encuentran dos niveles de arenitas líticas calcáreas en capas gruesas en cuya constitución predominan la glauconita y fragmentos de conchas que han sido denominadas por algunos autores como Miembro Arenisca del Oso. (Duque, Guzmán y Hernández, 1991).

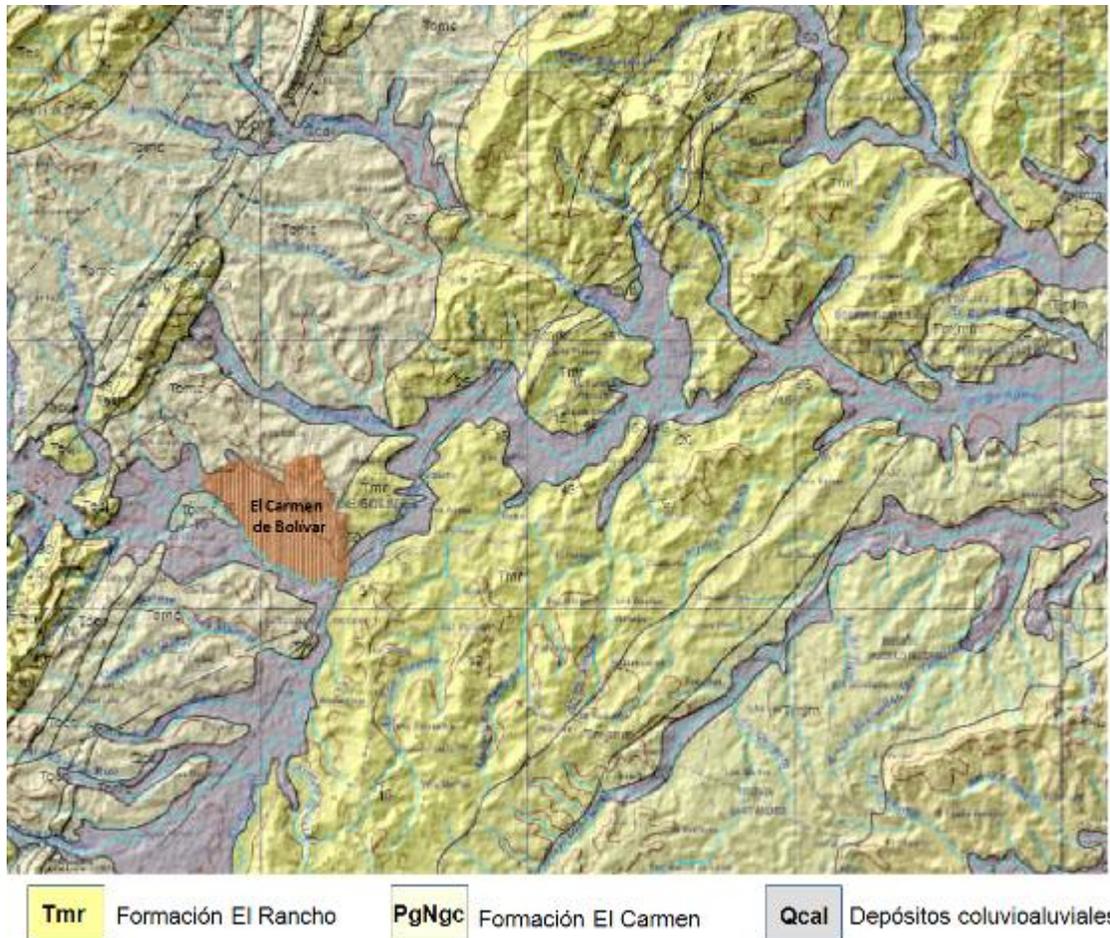


Figura 2. Entorno geológico del municipio del Carmen de Bolívar, se pueden diferenciar unidades Terciarias y unidades Cuaternarias de origen fluvial. (Tomado de INGEOMINAS, plancha geológica 38, El Carmen de Bolívar.

Formación Rancho (Tmr)

Se extiende en sentido NE al oriente del municipio de Carmen de Bolívar, constituida principalmente por una sucesión espesa de areniscas resistentes y arcillolitas arenosas, predominio de color gris verde oliva con abundantes restos

de materia orgánica (Caro, Guzmán y Hernández, 1991). La secuencia se expone al oriente del casco urbano del municipio.

Depósitos Cuaternarios (Qcal)

En la zona aledaña a la población de Carmen de Bolívar, los depósitos cuaternarios están rellenoando los valles. Estos corresponden a depósitos fluviales antiguos y recientes conformados por bancos de arenas arcillosas amarillo rojizas, arcillas grises y parduscas con nódulos calcáreos hacia la parte superior de espesores entre 2 y 3 metros. Según Duque, Guzmán y Hernández (1996), se presentan varios ciclos de eventos de gran aporte de sedimentos que pueden estar asociados probablemente a antiguas inundaciones y avenidas del arroyo Alférez. (Duque, Guzmán y Hernández, 1991).

5.1.2. Geología estructural

Estructuralmente se presentan anticlinales angostos de dirección preferencial NE, con buzamientos variables entre 20° y 70° en posición de ladera estructural; paralelo a las estructuras sinclinales y anticlinales se presentan fallas inversas y normales relacionadas con el lineamiento de Romeral que pasa por el costado oriental del casco urbano. (Duque y otros 1991). El Cinturón de San Jacinto se encuentra fragmentado en varios bloques que corresponden topográficamente con las serranías de Luruaco, San Jacinto, San Jerónimo y con gran parte de las cuchillas de Cispata al sur del golfo de Morrosquillo. Estas serranías constituyen los bloques con mayor deformación tectónica y se encuentran limitadas por zonas o depresiones con menor deformación en donde se acumulan sedimentos hasta en la actualidad. De igual manera se presentan pequeñas fallas de rumbo con dirección suroeste – noreste, una de de las cuales pasa muy cerca del caserío de la vereda Caracolí. Las rocas están afectadas por fallas de cabalgamiento con rumbo aproximado N45°E con pliegues estrechos entre ellas (Duque, Guzmán y Hernández, 1991).

5.1.3. Geomorfología

Las características morfológicas del terreno en la región están relacionadas con el tipo de roca aflorante; se presentan lomas elongadas en dirección N45E con elevaciones que alcanzan hasta 600 metros sobre el nivel del mar. Las lomas corresponden a estructuras anticlinales apretadas y con fallamiento inverso donde afloran rocas de la Formación San Jacinto de constitución predominantemente arenosa (Carvajal, José H. 1997).

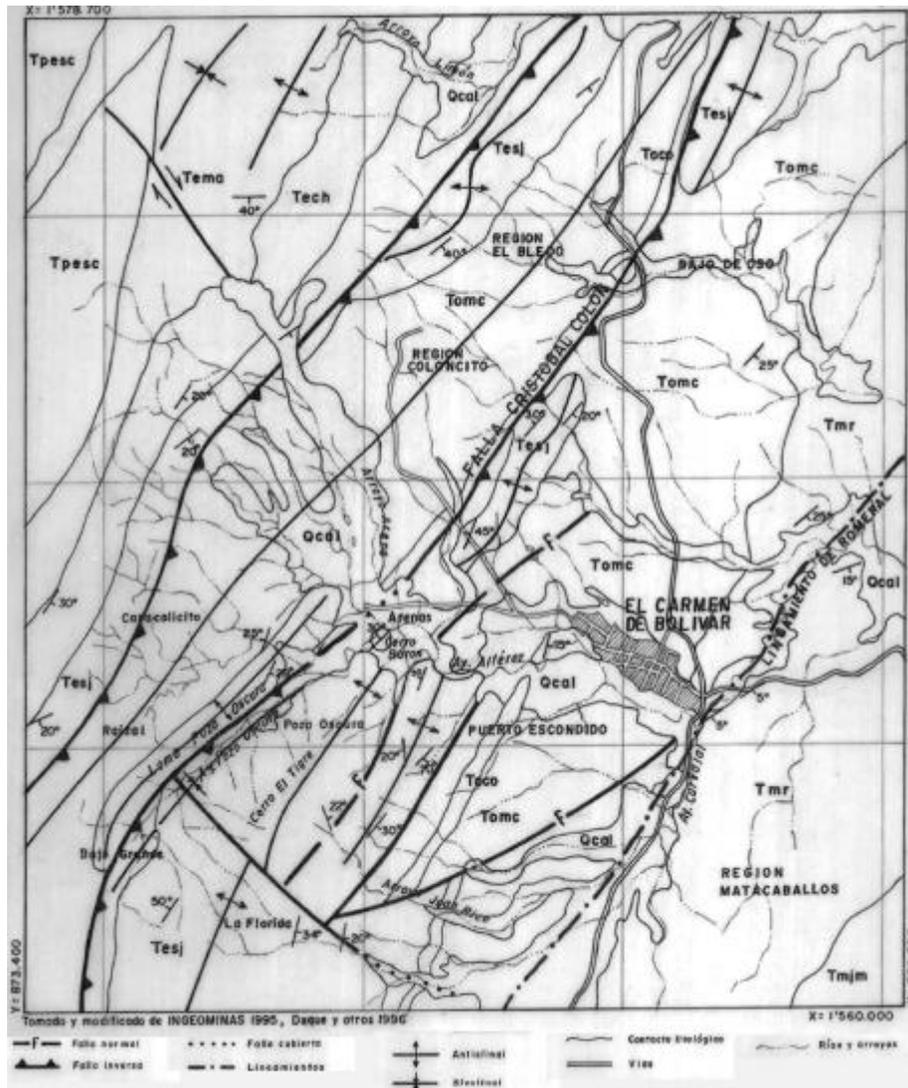


Figura 3. Marco geológico estructural regional de la zona, nótese que El Carmen de Bolívar está incluido dentro de la zona de influencia del sistema de fallas de Romeral (Tomado de Ingeominas 1995 y Duque y Otros 1996).

5.2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La zona donde se levantaron los tanques de acueducto, se encuentra constituida por un conjunto de arcillolitas grises y rojizas de la Formación El Carmen, dispuestas en capas medias a gruesas orientadas con rumbo 30° NE y buzando 20° en promedio hacia el SE. Sobre dicha secuencia se exponen suelos residuales arcillolimosos de espesor no mayor a 1,5 metros los cuales son producto de alteración in situ de macizos finogranulares. Morfológicamente la Formación El Carmen se encuentra distribuida en los valles y zonas suavemente onduladas. Su expresión morfológica consiste en colinas y lomos bajos con laderas cortas y cimas redondeadas de pendientes que varían entre 20° y 45° en los valles y zonas suavemente onduladas de la población, extendiéndose al norte y sur del municipio El patrón de drenaje predominante es subparalelo dentrítico, los cauces son de corta longitud, caudalosos y con gran capacidad de arrastre especialmente en temporadas de lluvias, los valles generados son angostos y poco profundos.

5.3. GEOLOGÍA APLICADA Y ASPECTOS GEOTÉCNICOS

En este numeral se presenta la descripción de los aspectos relacionados con la identificación de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) que se exponen en la zona inestable. Aunque el alcance de la visita técnica a las zonas de afectación del barrio El Prado no permite precisar datos de tipo ingenieril de los materiales que componen la geología aflorante en este sector, estudios de exploración de subsuelo y del diseño del tanque de acueducto aportan insumos que permitan emitir un diagnóstico preliminar del comportamiento mecánico desde el punto de vista ingenieril de los materiales.

De acuerdo con Hermelin (1987), se denomina Formación Superficial o Unidades Geológicas Superficiales al conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades del orden de decenas de metros. Estas Formaciones Superficiales incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelos y depósitos inconsolidados según su origen. Las UGS se consideran como formaciones correlativas de los procesos morfodinámicos, debido a la acción de agentes exógenos y endógenos que modelan la superficie terrestre, son unidades cartografiables y uno de los productos básicos de la Geología aplicada a la Ingeniería. La información temática empleada se obtuvo a partir del procesamiento de la información geológica básica y de las observaciones de las condiciones físicas de los suelos, rocas y materiales de superficie, lo cual proporciona una idea aproximada de las UGS.

5.3.1. Macizo rocoso

Roca blanda

La secuencia rocosa que conforma la zona de interés se encuentra conformada por rocas estratificadas de origen marino afectadas por tectonismo donde predomina el plegamiento sobre el fallamiento. Estos macizos se encuentran asociados a la Formación El Carmen, se encuentran constituidos por arcillolitas y limolitas grises a rojizas, con intercalaciones de areniscas arcillosas y niveles delgados de yeso. La unidad de roca blanda se localiza a lo largo de la ladera, a veces recubierta por suelos residuales de poco espesor o de rellenos antrópicos mixtos.



Figura 4. Movimiento de tierras en el sector donde se fundó el tanque semienterrado del Prado, nótese la secuencia arcillosa rojiza asociada a roca blanda de la Formación El Carmen.

5.3.2. Unidades de suelo

Para la caracterización y clasificación de los suelos se tuvo en cuenta: el origen, composición litológica, textura, consistencia, estructura, espesor y humedad. Las unidades de suelos que afloran en las distintas zonas identificadas en la visita, se clasifican en suelos residuales, y llenos antrópicos. El macizo rocoso finogranular se encuentra parcialmente cubierto por los depósitos anteriormente descritos.

Suelos residuales

Los suelos residuales son material producto de la alteración y descomposición de rocas in situ; en la zona de estudio la denudación del macizo lodoso subyacente se altera a horizontes de suelos residuales arcillolimosos de la clase finogranular de colores pardos poco consistentes altamente plásticos y con baja humedad natural. Se disponen en terrenos con relieve ondulado, laderas estructurales y rocas muy fracturadas, el espesor aproximado que se observó se encuentra entre 50 cm y 1,5 m.



Figura 5. Suelos residuales formados a partir de la alteración de los macizos arcillosos de la Formación El Carmen, sector acceso vial Cra 53.

Las propiedades mecánicas de los suelos residuales dependen de la roca parental que los generó, en este caso por su carácter arcilloso tienden a perder

resistencia al contacto con el agua y pueden ser clasificados ingenierilmente como suelos muy blandos.

Llenos antrópicos

Rellenos heterogéneos mixtos, con predominio de materiales terrígenos (coluviones, suelos residuales, basuras y escombros de construcción). De acuerdo a lo observado sobre el corte adyacente a la calle 36, el espesor puede alcanzar más de 1 m de espesor. En algunos sectores se aprecia matriz arcillosa de alta plasticidad de color café oscuro, que puede evidenciar mezcla con horizontes orgánicos.



Figura 6. Acumulación de depósitos antrópicos localizados dentro de las instalaciones de los tanques de El Prado, gran parte de estos materiales son escombros apilados producto de la construcción de los tanques mencionados.

Ingenierilmente estos depósitos pueden clasificarse como suelos transportados cuyo comportamiento mecánico está condicionado por las características de la matriz arcilloso, la cual, por su bajo grado de consolidación pueden considerarse de resistencia muy baja. En algunos sectores pueden considerarse como materiales incoherentes, como entremezcla de suelos residuales, suelos orgánicos y basuras; en otros sectores son producto de la acumulación de escombros de construcción y desechos generados durante la urbanización del barrio. En general, los depósitos son matriz soportados, con matriz arcilloarenosa de color gris oscuro, presenta fragmentos de basuras y desechos de materiales

de construcción de 10 cm en promedio, entre 20 y 30 cm de espesor. La consistencia es poco firme, permeabilidad baja, plasticidad baja a media y humedad natural alta si se encuentran asociados a acumulaciones hídricas o algún flujo no adecuado de aguas utilizadas.



Figura 7. Depósitos antrópicos mixtos, producto de la entremezcla de materiales arcillosos con basuras y escombros. Nótese que en las proximidades a los tanques del acueducto, la unidad Stla descansa directamente sobre la roca blanda Rbfc.

Tabla 1. Resumen de las secuencias de unidades geológicas presentes en el área de estudio y su equivalente en unidades ingenieriles

UNIDAD LITOLÓGICA	UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL
Formación El Carmen (PgNgc)	Roca blanda Formación El Carmen (Rbfc)
Suelos residuales Formación el Carmen (Qsr)	Suelos residuales Formación El Carmen (Srfc)
Depósitos antrópicos (Qda)	Depósitos antrópicos (Stla)

5.4. DESCRIPCIÓN DE INESTABILIDAD DE LA LADERA

Coordenada X: 1567066
Coordenada Y: 885753

La zona inestable se localiza sobre la parte alta de una ladera denudacional que ha sido sometida a intervenciones antrópicas por urbanización y conformación de

vías; en la cima de dicha ladera, propiamente en la Calle 35 entre carreras 50 y 49, se construyó un tanque semienterrado cuyo uso fue restringido hasta el año 2006 por fugas importantes mayores a 5 lps asociadas a deficiencias en el diseño y construcción del mismo, para finalmente ser demolido. Desde septiembre del año 2009 hasta mayo de 2010, en estos predios se construyó el tanque semienterrado El Prado con capacidad de 1600 m³ y un tanque elevado con capacidad de 300 m³. El llenado inicial de estos tanques se realizó en diciembre de 2010 sin advertir fugas o asentamientos diferenciales sobre el terreno.



Figura 8. Esquema de la cimentación del tanque de acueducto El Prado de acuerdo al informe del proceso constructivo. La profundidad de la excavación alcanzó los 3 m de profundidad sobre arcillolitas de la Formación El Carmen de acuerdo a los sondeos del subsuelo. (Tomado de informe del proceso constructivo del tanque de acueducto del Barrio el Prado, El Carmen de Bolívar, 2010).

Se trata de valorar si la estructura semienterrada de aproximadamente de 491 m² y carga estructural de 1600 toneladas incluyendo la carga de agua, puede afectar de algún modo las viviendas vecinas y en general de la ladera donde se ubica el barrio el Prado del Carmen de Bolívar. La inspección ocular se limitó a la identificación superficial de agrietamientos y deficiencias en los elementos estructurales constitutivos del tanque, fue complementada con los documentos técnicos, el informe técnico de construcción y el estudio de suelos del sector El Prado. Desafortunadamente por la ausencia de escaleras fijas al interior de la estructura, no se pudo acceder al interior del tanque y su valoración se limitó únicamente a las losas y muros superficiales que le conforman.

La nueva estructura fue construida entre el año 2009 y 2010, comprendió la cimentación de dos módulos de 800 m³ cada uno, entre los cuales se colocó una junta de dilatación para absorber los movimientos de cada tanque. Para la estabilización del terreno de la fundación se realizó una excavación de fondo que contó con la construcción de micropilotes de 1,5 m de profundidad y 0,25 m de diámetro distanciados 1 metro entre eje y eje, estos elementos fueron construidos en arena cal con el propósito de manejar la expansividad de los materiales arcillosos del terreno.



Figura 9. Deficiencias constructivas en la placa superior del tanque del acueducto, no relacionadas con inestabilidad del terreno.

Durante la inspección no se advirtieron agrietamientos en las paredes externas de la estructura, en el techo se observaron pandeos y fisuras en las juntas de las placas superiores, relacionadas con deficiencias en el proceso constructivo que en principio no comprometen la funcionalidad del tanque. Expresiones de inestabilidad local en el terreno se evidencian en agrietamientos sobre losas y muros del andén perimetral que pueden relacionarse con pequeños asentamientos diferenciales del terreno que no inciden con la estabilidad de la estructura mayor.

En el costado sur de la estructura se identificaron grietas en muros y columnas estructurales algunas reparadas recientemente, se observaron separaciones en las losas perimetrales, presentan separaciones en promedio entre 1 y 3 cm aproximadamente mientras los agrietamientos en muros y columnas indican desplazamientos relativos entre 1 y 5 cm por movimientos verticales. Estos daños pueden asociarse a asentamientos diferenciales del terreno en construcciones

que no contemplaron excavaciones profundas como las realizadas en la construcción del tanque del acueducto.



Figura 10. Agrietamientos en muros y separaciones en las juntas de las losas perimetrales que sugieren pequeños movimientos diferenciales que no comprometen la estabilidad del tanque del acueducto.

Dentro de los límites del predio ocupado por los tanques se observan movimientos superficiales del terreno de tipo reptación y flujo que ocurren sobre materiales de cobertera como suelos residuales expuestos y rellenos antrópicos. Si bien estos movimientos no comprometen la estabilidad del tanque elevado y del tanque semienterrado y en general de la ladera sobre la cual fueron fundados, si son testimonio de las condiciones inestables del terreno ante una intervención a manera de cortes y rellenos por urbanización.

Al inspeccionar las viviendas en su mayoría de una planta que circundan el predio, se puede concluir que la obra no afecta la habitabilidad de dichas viviendas a pesar de las fallencias con que fueron construidas. Sobre las viviendas ubicadas en la carrera 36 y calle 50 no se identifican daños estructurales ni en la mampostería que sugieran influencia de la excavación de los tanques.

5.4.1. Inestabilidad de viviendas ubicadas sobre la carrera 51

Las viviendas ubicadas sobre la carrera 51, limitan por el costado suroriental con el predio ocupado por los tanques del acueducto; a lo largo de este sendero se pueden identificar varias casas con daños severos en su estructura los cuales en algunos casos comprometen la habitabilidad de los moradores.



Figura 11. Movimientos superficiales en el costado SW de los tanques de acueducto, generalmente desarrollados sobre depósitos antrópicos y suelos residuales arcillosos de poco espesor. Visual NE-SW.

La ladera estructural sobre la cual se localiza el barrio El Prado está constituida por materiales arcillosos expansivos generalmente como resultado de la alteración química por acción del agua sobre minerales que formaron parte de rocas preexistentes. Estos materiales denominados silicatos laminares (filosilicatos) tienen como particular, un arreglo cristalino que permite la acomodación en mayor o menor medida de moléculas de agua entre lámina y lámina las cuales, ante variaciones en el contenido de humedad producen hinchamientos y retracciones del subsuelo. Las unidades geológicas superficiales descritas anteriormente presentan alto contenido de estos minerales arcillosos en su composición mineralógica.

Desde el punto de vista de estabilidad mecánica, los materiales plásticos que conforman el subsuelo son capaces de deformarse sin agrietarse, su consistencia puede cambiar de acuerdo al contenido de agua sin producir rebote elástico. Se encuentran condicionados por las características de resistencia al corte y compresibilidad de las arcillas, que por su bajo grado de consolidación se supone que es baja. Esta condición explica las deformaciones locales del terreno que puede generar colapsos del suelo en algunos sectores e hinchamientos y deformaciones en otros en una distancia relativamente cercana y justifica los daños “sectorizados” en la ladera ocupada por el barrio.

Para los suelos residuales el comportamiento mecánico está condicionado por la roca parental a partir de la cual se han formado, estos suelos conservan la estructura relíctica de la roca que además de su potencial expansividad volumétrica son susceptibles a perder resistencia al contacto con el agua. Los antecedentes históricos de inestabilidad de las laderas, son reflejo del comportamiento de estos materiales.



Figura 12. Visual aproximada SW-NE y NE-SW de la carrera 51 donde se presentan los mayores daños sobre las viviendas, nótese la ausencia de obras de alcantarillado.

Las viviendas que han sido afectadas por movimientos diferenciales del terreno en su gran mayoría carecen en su construcción de elementos de confinamiento vertical y horizontal y en general, de elementos de resistencia sísmica. Presentan baja calidad de los materiales empleados en la construcción de muros generalmente en mampostería simple o en madera y bahareque. Son pocas las viviendas cuyos pisos que cuentan con una placa en concreto, condición desfavorable que ante alguna deformación del suelo, se transmite inmediatamente a los muros y a la mampostería en general.

Por otra parte, el barrio El Prado no cuenta con redes de servicios de acueducto y alcantarillado, el suministro de agua se hace por canecas y como sistema de alcantarillado se cuenta con la construcción de pozos sépticos. El agua de escorrentía fluye ladera abajo por los accesos peatonales, condición que puede acentuar procesos de erosión hídrica y puede inducir la infiltración hacia el subsuelo donde se desarrollen agrietamientos. Por la caracterización hidrogeológica de los materiales arcillosos presentes (unidades hidrogeológicas acuitardos), la infiltración de aguas superficiales en el terreno es una condición crítica teniendo en cuenta la intensa temporada invernal que ha afectado el país especialmente en los últimos dos años. Las unidades arcillosas se caracterizan por almacenar agua en pocas cantidades con el agravante de liberarla a tasas de velocidad muy lentas, esta situación provoca además de las variaciones volumétricas por cambios de humedad, un aumento en la carga de confinamiento y en las presiones hidráulicas del subsuelo.



Figura 13. Afectaciones severas por deformaciones del terreno sobre las viviendas ubicadas sobre la carrera 51. En la primera imagen una vivienda demolida, en la última se resalta con el recuadro amarillo la deformación del terreno generando un escalonamiento que bascula el muro del costado derecho.



Figura 14. Evidencias de las deformaciones del terreno en el interior de las viviendas, nótese la ausencia de losas de concreto en las plantas de las viviendas, en la imagen central se puede percibir la deformación vertical del suelo a pesar de haberse construido una viga de amarre.

Cerca a la intersección de la carrera 51 con calle 35, se localiza una caja de inspección la cual según los pobladores del barrio, recoge parcialmente aguas lluvias provenientes de algunas viviendas aunque no es claro si el nivel de la cabeza de agua (1,2 m de profundidad) es estacionario o permanente. Sería pertinente realizar sondeos para establecer los niveles piezométricos del terreno dado que los estudios de suelos realizados no reportan niveles freáticos en las perforaciones.



Figura 15. Colector de aguas lluvias que recoge parcialmente aguas superficiales y aguas servidas de algunas viviendas. Apparently the collector tank is isolated.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los conceptos de los especialistas, no se identificó un movimiento en masa que pueda sustentar la deformación del terreno en el barrio El Prado en la cabecera municipal de El Carmen de Bolívar. La inestabilidad del terreno descrita anteriormente se encuentra asociada a deformaciones por movimientos expansivos del subsuelo dada la presencia de minerales arcillosos que varían volumétricamente ante cambios representativos de humedad.

En términos generales los materiales arcillosos que constituyen el subsuelo del barrio el Prado sugieren un tratamiento geotécnico especial desde el punto de vista de estabilidad y debe prestársele mayor atención ante la ocurrencia de agentes detonantes como lluvia y sismo; la presencia de drenajes que fluyen sobre la ladera hacen más desfavorable la condición estabilidad del subsuelo.

En principio no se ve relación directa de la deformación de las viviendas ubicadas sobre la carrera 51 con la construcción del tanque de acueducto El Prado. Se recomienda adelantar un estudio técnico oficial liderado por la alcaldía municipal o de la gobernación departamental que pueda aseverar o desvirtuar dicha premisa.

La incertidumbre geotécnica en cuanto a la estabilidad de la ladera que ocupan los tanques del acueducto y la vecindad del barrio el Prado requiere trabajos detallados. Se recomienda adelantar estudios que incluyan perforaciones en distintos sectores que sean representativos de los materiales que constituyen el subsuelo deformado. En el evento que se requiera de un apoyo técnico para la instrucción y/o el acompañamiento a estas actividades de parte del SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, sería pertinente que se eleve la solicitud por parte del Señor Alcalde del municipio para atenderles dentro de las medidas de capacidad actual del Instituto.

Se propone actualizar el censo de viviendas afectadas, ya que en la inspección realizada, se identificaron viviendas en ruina y estructuras que comprometen la habitabilidad de los pobladores del barrio. Las recomendaciones y conclusiones formuladas en el presente estudio deben ser tenidas en cuenta en los estudios de ordenamiento territorial, esquema de ordenamiento territorial EOT del municipio de El Carmen de Bolívar entre otros.

Se puede establecer que las deformaciones del subsuelo son progresivas de acuerdo a las características de los materiales arcillosos sobre los cuales se ubica el barrio. Dadas las condiciones extremas del invierno en la zona, en la actualidad los minerales arcillosos que conforman el subsuelo se encuentran relativamente saturados, condición que aumenta ostensiblemente su volumen; cuando las lluvias moderen su intensidad la tendencia del suelo a retraerse puede generar fisuramientos y mayores deformaciones que las actuales las cuales se verán reflejadas en los daños en las viviendas. Se recomienda activar los sistemas de alerta temprana y los comités locales y regionales de atención de desastres (CLOPAD Y CREPAD), que puedan contemplar la reubicación parcial y definitiva de la comunidad afectada por la deformación del terreno en el barrio El Prado.

Regionalmente la zona de El Carmen de Bolívar forma parte del sistema de fallas de Romeral el cual puede tener alguna influencia en la estabilidad de las laderas, se recomienda realizar estudios de recurrencia sísmica enfocados en el casco urbano del municipio para evaluar la incidencia de fallas en los procesos de inestabilidad.

Se recomienda adelantar obras de manejo de alcantarillado y drenaje superficial que reduzcan la capacidad de infiltración de escorrentías hacia el subsuelo en el barrio El Prado, en zonas intensamente agrietadas se recomienda un sellado con tipo bentonita o cal que reduzcan la influencia del agua y la fricción interna de masas potencialmente deslizantes.

BIBLIOGRAFÍA

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS, SUBDIRECCIÓN DE AMENAZAS GEOLÓGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL, JORGE CASTRO y otros. Octubre de 2009. Informe de la visita técnica efectuada en el municipio de El Carmen de Bolívar,

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS, SUBDIRECCIÓN DE AMENAZAS GEOLÓGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL, L. Molina. Octubre de 2003. Características de los fenómenos de remoción en masa en el municipio del Carmen de Bolívar.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS, MINERÍA Y QUÍMICA INGEOMINAS. Noviembre de 1997. Características de los fenómenos de remoción en masa e inundación del Carmen de Bolívar, Unidad operativa Cartagena, José Henry Carvajal.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS, MINERÍA Y QUÍMICA INGEOMINAS. Proyecto P96M16. Septiembre de 1996. Limpieza y mantenimiento de los pozos 8, 9 y 10 del Acueducto del Carmen de Bolívar- Campo de Pozos de Ovejas.

INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS, MINERÍA Y QUÍMICA INGEOMINAS. HERNÁNDEZ Y OTROS, Noviembre de 1996. Geología de la plancha 38 Carmen de Bolívar, Escala 1:100.000. Instituto de

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS, MINERÍA Y QUÍMICA INGEOMINAS. Duque y otros, Noviembre de 1996. Memoria Explicativa Geología de la plancha 38 Carmen de Bolívar, Escala 1:100.000.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS, MINERÍA Y QUÍMICA INGEOMINAS 1996. Mapa geológico estructural, Escala 1:100.000. Unidad operativa Cartagena.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA INGEOMINAS, división Carbones. 1983 Proyecto Carbones San Jacinto. Mapa geológico Plancha 38-III-C, Escala 1:25.000..



MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA INGEOMINAS, división Carbones. 1983
Proyecto Carbones San Jacinto. Mapa básico de drenaje Plancha 38-III-C,
Escala 1:25.000.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA INGEOMINAS, división Carbones. 1983
Proyecto Carbones San Jacinto. Columna estratigráfica generalizada del
área San Jacinto-Carmen de Bolívar-Chalán. Escala 1:100.
