

**GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y AMENAZAS GEOLÓGICAS EN EL ÁREA DE LA BOCATOMA Y SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL CORREGIMIENTO CESTILLAL, MUNICIPIO DE CAÑASGORDAS, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.**

1. **INTRODUCCIÓN**

Dentro del marco del contrato Fondo de Adaptación – Conhydra, se incluye el estudio de las amenazas geológicas en las cuencas y áreas vecinas a la infraestructura de acueductos, en este caso del corregimiento Cestillal, municipio de Cañasgordas, (Antioquia). Como componente metodológico para evaluar las amenazas naturales se encuentran la geología y la geomorfología que aportan el conocimiento del suelo y subsuelo, indispensables para determinar la susceptibilidad a los fenómenos naturales y que eventualmente revelan su período de recurrencia.

Para lograr el objetivo se visitó la zona de la bocatoma y sus alrededores en compañía del fontanero y miembros de la Acción Comunal de Cestillal, quienes conocen desde hace más de veinte años la problemática del acueducto y sus áreas vecinas; se obtuvo información adicional de vecinos del corregimiento, quienes aportaron testimonio acerca de daños, y problemas en la continuidad del servicio.

Metodológicamente, se aplicó la observación y análisis de los fenómenos de inestabilidad en el campo y se elaboró su cartografía geológica y geomorfológica directa, aplicando a la vez criterios morfodinámicos para la evaluación de la amenaza, tal como se describen a continuación.

**Movimientos en masa**: Para evaluar su amenaza se utilizó el método directo, que consiste en realizar la observación y levantamiento detallado de sus aspectos geológicos y geomorfológicos, para compararlos con los diferentes episodios de inestabilidad en el área estudiada y de esta manera se obtiene una evaluación de su magnitud. Para evaluar su periodicidad se aplican criterios de presencia y estado evolutivo de las cicatrices de movimientos en masa encontradas en la zona aledaña al proyecto, teniendo en cuenta que ellas indican un rango de tiempo transcurrido desde la ocurrencia del fenómeno (edad), el cual se asimila a período de recurrencia (INGEOMINAS, 1992; PARRA, 2009).

Recientes: La zona de arranque se observa sin o casi sin vegetación (0 a 10 años).

Subrecientes: Zona de arranque con vegetación de rastrojo bajo hasta alto (10 a 50 años).

Antiguas: Zona de arranque con redondeamiento de flancos (50 a 100 años)

Muy antiguas: Zona de arranque con redondeamiento de flancos y corona (100 a 300 años).

Nichos de deslizamientos: Solamente se observa una depresión topográfica con forma de movimiento en masa (> 300 años).

En muchos casos la amenaza se puede representar sobre mapas, en especial cuando se obtienen diferentes grados de la misma porque se trabajan áreas de tamaño considerable, aunque dichos mapas requieren de bases topográficas con precisiones que no se encuentran en ninguna de las bases topográficas disponibles para este trabajo. La sola elaboración de las bases a tales escalas (1:5.000 o mayores), es más costosa que los estudios aquí emprendidos.

Si se tiene en cuenta que por ejemplo en un área urbana, una inundación puede ser muy dañina al subir sólo un metro de nivel, pues implica que en las viviendas las pérdidas en ropa y enseres serían totales, serían necesarias bases topográficas con precisión vertical mayor a un metro, es decir, de escala mayor de 1:1.000, las cuales casi ninguna ciudad de Colombia las tiene. Cabe anotar, que por las características de los cauces relacionados directamente con el acueducto de Cestillal no aplican ni las inundaciones por las altas pendientes, ni las avenidas torrenciales porque las bocatomas se localizan en cauces de orden 2, donde no hay suficiente incisión del cauce para concentrar un flujo laminar y más bien se puede afirmar que pueden ser afectadas por flujos de escombros asociados a movimientos en masa.

En el presente caso, los mapas disponibles de IGAC tienen escala 1:25.000, con curvas de nivel cada 50 m, lo que hace imposible expresar los movimientos en masa, pues ellos tendrían que ser muy grandes para aparecer en un mapa escala 1:25.000, donde el trazo mínimo de uno de ellos que sería de unos 3 mm sobre el mapa, implicaría 75 metros, es decir un deslizamiento grande a muy grande, que no aplica en este caso, sin embargo, se indican esquemáticamente en la figura respectiva.

Dadas las limitaciones expresadas anteriormente, la amenaza estudiada para este informe tiene que ver con la ocurrencia del fenómeno y su periodicidad antes que su extensión específica, es decir, se encuentra si la periodicidad de un movimiento en masa es alta, media o baja y no un dimensionamiento espacial para el caso de que se presenten varios escenarios del fenómeno o que haya suficiente área e información de campo para comparar su ocurrencia en varias cuencas vecinas. Lo anterior no quiere decir que el estudio no esté completo, sino que está dirigido a informar si el fenómeno ocurre o no, su tamaño y su frecuencia aproximada para una sola cuenca. A lo anterior se suma la particularidad en la cuenca de la quebrada La Lejía de que son escasas las evidencias de movimientos en masa diferentes a los que se formaron en 2010, lo que indica que si la evaluación de la recurrencia de las amenazas se hubiera realizado con base en la situación previa a este año, la calificación de amenaza por movimientos en masa debería ser media a baja, pero a causa de lo ocurrido en 2010, su calificativo pasa a ser de amenaza media a alta. Esta imprecisión no tiene respuesta dentro del conocimiento actual del estudio de las amenazas naturales y en consecuencia, se adopta el principio de precaución, subiendo el grado de amenaza.

Es preciso entender además que la presentación de un mapa aplica si en el área que él representa, se encuentran por lo menos dos unidades diferenciables, de lo contrario, no tiene justificación un mapa con un solo color (unidad), lo cual puede quedar claro solamente enunciando tal condición en el texto.

Por último, es necesario tener en cuenta, que para un sistema de acueducto, la bocatoma y parte de la línea de aducción siempre se van a encontrar en la zona de amenaza alta, indiferentemente de si está expuesta a una avenida torrencial o a una inundación, porque sin excepción, todos los cauces naturales presentan inundaciones, pero no todos avenidas torrenciales.

Metodológicamente, se aplicó en este caso la observación y análisis de los fenómenos de inestabilidad en el campo y se llevó a cabo la cartografía geológica y geomorfológica. La consulta de las bases de datos de desastres naturales, no dio resultado positivo, pues no aparece en la cuenca ningún movimiento en masa registrado en ninguna de las bases disponibles para Colombia (Desinventar, SIMMA).

La cuenca de la quebrada La Lejía se localiza en la vereda La Aguada, en la jurisdicción de Cañasgordas, Antioquia, al suroriente de la cabecera del corregimiento Cestillal; en sus cabeceras se localizan dos afluentes de primer orden de acuerdo con la base topográfica IGAC 1:25.000, que tienen caudales menores y se conocen con los nombres locales de quebrada La Berrionda y La Berriondita, de las cuales se captan las aguas que surten el acueducto que abastece al corregimiento Cestillal y a varias veredas vecinas. El acueducto consta de dos bocatomas localizadas cerca de la confluencia de los cauces, con un desarenador común, del cual parte una línea de conducción de más de 8 km. de longitud que termina en una planta de potabilización cercana al corregimiento, desde donde se entrega a los respectivos domicilios.

Las dos microcuencas nacen en la divisoria de aguas con el río Uramita, que es la parte más alta del entorno local y que alcanza los 2.350 m de altura; las bocatomas se encuentran aproximadamente en la cota 1850, a partir de la cual, la línea de conducción sigue casi a nivel hasta encontrar la vía carreteable a Cestillal que transcurre aproximadamente por el filo mayor en la vereda La Aguada y continuar sobre la vertiente inmediata hasta la planta de tratamiento.

En esta zona el uso de suelo es mixto, con bosque secundario protector que se alterna con pastos para ganadería extensiva y unos pocos cultivos como café o plátano. Cabe anotar que las altas pendientes de la zona hacen difícil la explotación ganadera y su vocación de uso no debería ser diferente a lo forestal.

1. **GEOLOGÍA**

Al nivel de Geología Regional, la cabecera del corregimiento Cestillal y la cuenca de la quebrada La Lejía, se localizan en el núcleo de la Cordillera Occidental, conformado por rocas ígneas y sedimentarias depositadas en un fondo marino, las cuales en el norte de Colombia se han considerado como Grupo Cañasgordas, que incluye según INGEOMINAS (1989), un nivel volcánico (Formación Barroso), que no aflora cerca de la zona de este trabajo y un nivel sedimentario (Formación Penderisco). La edad del Grupo Cañasgordas, de acuerdo con todos los trabajos llevados a cabo hasta la fecha se considera del Cretáceo Tardío.

Formación Penderisco: Se compone de rocas sedimentarias depositadas en un ambiente marino profundo, sobre los basaltos de la Formación Barroso. Por su composición ha sido subdividida en los Miembros Urrao y Nutibara, el primero, de carácter arenoso a limo-arcilloso y el segundo que contiene chert, con intercalaciones de limolitas, rocas piroclásticas básicas y calizas silíceas, el cual no aflora en la zona de este estudio. Por el fuerte plegamiento y fallamiento no se conoce el espesor de la formación ni los contactos entre los miembros

El Miembro Urrao (Ksu), compone toda la zona de este trabajo hasta Cestillal como única unidad litológica y por tal razón no se presenta un mapa geológico. Las rocas de esta unidad están compuestas por arcillolitas, limolitas y areniscas compactas, dispuestas en estratos plano – paralelos, delgados, en general de menos de 20 cm., depositadas en un fondo marino profundo por corrientes de turbidez, que se alternan en una sucesión monótona. El sedimento original fue sido objeto de numerosos procesos geológicos desde su depositación en mar profundo, pasando por litificación y levantamiento para ser integrado al continente como un macizo rocoso duro y resistente. Durante este proceso, se produjeron esfuerzos importantes que plegaron y deformaron las rocas, incluyendo fracturamiento de la roca original, lo que en la superficie facilita su meteorización y la formación de fenómenos de inestabilidad.

El espesor de los perfiles de meteorización varía sustancialmente en pocas decenas de metros, así por ejemplo, dentro del casco urbano de Cestillal y la vía a La Aguada, es decir, sobre el filo principal, ellos se presentan con mayor espesor, del orden de 5 m o más, mientras que en las vertientes que cruza la conducción en sus primeros kilómetros, alcanza a aflorar un suelo tipo C-III en la clasificación de Dearman (1991), donde la mayor parte de la masa consiste de roca meteorizada superficialmente (figura 1 a). Un caso particular que puede ser representativo para los filos que muestran mayor redondeamiento lo constituye la vertiente cercana a La Aguada, donde sólo el horizonte C-VI, alcanza más de 1.5 m. (Figura 1b), mostrando además colores crema con moteados rojizos, típicos de suelos muy maduros con edades de centenares de miles de años.

Los datos de resistencia fueron tomados en afloramiento con penetrómetro de mano sobre el suelo en estado húmedo no saturado y muestran valores que indican una buena capacidad de soporte siempre y cuando no exista saturación por agua. En cercanías a La Aguada se levantó sobre la vía un perfil con las siguientes características:

* 1. **Geología estructural**

La secuencia original de limolitas y areniscas aflora en numerosos puntos, especialmente en los cortes de la vía Cestillal – La Aguada y en el lecho de las quebradas, mostrando casi siempre los planos de estratificación con disposición desde 30° hasta casi vertical y orientación muy uniforme desde N15E, hasta N25E, sin mostrar superficialmente mayor control estructural sobre el paisaje local. La cartografía regional realizada por INGEOMINAS (1989), no muestra fallas importantes en cercanía al área de este trabajo. Cabe destacar el diaclasamiento de la roca que es casi uniforme en toda la cuenca, donde es difícil encontrar bloques rocosos mayores de 50 Cm de diámetro, lo que implica un diaclasamiento más o menos ortogonal con densidades del orden de 5 a 7 fracturas/metro.



|  |
| --- |
| D:\asesorías 2014\conhydra\3_ANTIOQUIA\Cañasgordas\Imagenes cestillal\P4297465.JPGD:\asesorías 2014\conhydra\3_ANTIOQUIA\Cañasgordas\Imagenes cestillal\DSCF0592.JPG |
| **Figura 1.** a) perfil de meteorización y suelo en vertientes. b) perfil de meteorización y suelos en el filo por donde corre la vía. |

**b**

**a**

1. **GEOMORFOLOGÍA**

Al igual que en el tema de Geología, la Geomorfología del área estudiada muestra una sola unidad que se puede nombrar como Montañas Denudacionales, ellas tienen altura media entre 600 y 700 m entre cima y valle, con topes rectos y escalonados, alargados en dirección E-W, amplios, hasta de 150 m, redondeados, con vertientes cortas, menores de un kilómetro de longitud y de pendientes fuertes, del orden de 50 a 70%, pero localmente llegan hasta el 100% (figura 2 a y 2 b). Los valles tienen forma de V cerrada, con fondo estrecho por el cual discurren quebradas de montaña sin depósitos aluviales, los afluentes de segundo orden corren casi siempre sobre afloramientos rocosos o lechos en bloques de roca.

|  |
| --- |
| D:\asesorías 2014\conhydra\3_ANTIOQUIA\Cañasgordas\Imagenes cestillal\DSCF0579.JPGD:\asesorías 2014\conhydra\3_ANTIOQUIA\Cañasgordas\Imagenes cestillal\P1120531.JPG |
| **Figura 2.** a) Morfología y vista general de las cuencas abastecedoras del acueducto, b) Línea de conducción en la vertiente, con movimientos en masa y cárcavas por debajo de ella. |

* 1. **Morfodinámica**

La cuenca de la quebrada Cestillal muestra una morfodinámica reciente a actual muy activa, la temporada invernal de 2010 definitivamente alteró de manera sustancial la severidad de los procesos morfodinámicos, en especial los movimientos en masa. El paisaje anterior a 2010 se caracterizaba por mostrar superficies redondeadas en casi toda su extensión, solamente en cercanías de la cabecera del corregimiento se pudieron observar cicatrices de movimientos en masa ocurridos en décadas anteriores. Lo anterior indica que la dinámica de los movimientos en masa relativamente baja en esta área y que las condiciones de lluvia de 2010 superaron ampliamente los registros históricos y posiblemente los de épocas anteriores para poder desencadenar la cantidad de movimientos en masa observados (Figura 3). Unas vertientes como las de ésta área y en este clima, pueden conservar las cicatrices por espacio de unos 300 años, a partir de los cuales se terminan de borrar los rasgos principales de una cicatriz de deslizamiento, tal como lo han evidenciado algunos trabajos en áreas vecinas (INGEOMINAS, 1992).

De acuerdo con las observaciones anteriores, la amenaza por movimientos en masa de la cuenca que debería ser baja por la baja recurrencia de los eventos, se debe considerar como media y alta para la línea de conducción, por la presencia de movimientos en masa que si no se atienden en el corto plazo, pueden afectar de modo severo el suministro normal de agua para Cestillal.

 **Figura 3**. Localización del sistema de acueducto de Cestillal, los círculos azules representan movimientos en masa recientes, el rojo, el único subreciente de hace más de una década.

Bocatomas

Cestillal

Los movimientos en masa que se relacionan con el sistema de acueducto son relativamente pequeños, del orden de 10x10 metros y sólo uno de ellos alcanza más 30 de ancho por 40 de longitud, ocurridos en vertientes empinadas, con pendientes entre 45 y 60° (100 a 140%), todos tienen en común su poco espesor, casi siempre de menos de tres metros, incluido el de mayor tamaño; todos muestran el plano de falla localizado en la discontinuidad entre suelo y roca, que equivale a la transición entre suelo C-IV y C-III, tal como se aprecia en la figura 4 y en consecuencia se pueden clasificar como deslizamientos planares.

Se pudo observar también que casi la mitad de los movimientos en masa que se formaron en 2010 se encuentran en una fase de recuperación de su estabilidad, evidenciada por la colonización de líquenes sobre la superficie de roca-suelo expuesta.

|  |
| --- |
| D:\asesorías 2014\conhydra\3_ANTIOQUIA\Cañasgordas\Imagenes cestillal\DSCF0596.JPG |
| **Figura 4.** Imagen del movimiento en masa mayor de la conducción, se observa crecimiento de líquenes en algunas partes, indicio de estabilización. |

Dentro de estas zonas inestables se encuentran al menos tres que se deben catalogar como cárcavas y todas se presentan en zonas por debajo de la actual conducción del acueducto; estas representan la mayor amenaza pues se encuentran activas y por tratarse de un fenómeno remontante, pueden desestabilizar la conducción en un futuro próximo, en especial si la conducción presenta fugas y no se atienden oportunamente, por lo que su tratamiento debe ser una labor prioritaria para ser ejecutada a corto plazo.

Cuando ocurre un movimiento en masa, éste deja una superficie desprovista de vegetación que queda expuesta a la lluvia y a la erosión superficial por escorrentía, lo que en ocasiones genera mayor inestabilidad hacia la parte alta de la zona ya deslizada. Por tratarse de un suelo residual de rocas sedimentarias marinas que tiene carácter ácido, se hace necesario neutralizar su acidez mediante la aspersión superficial (al “voleo”), de cal dolomítica y de esta manera se facilita que en los meses siguientes se consolide una vegetación colonizadora que rápidamente contribuye a estabilizar la masa. En algunos casos se pueden sembrar trinchos en barreras vivas, en especial en las zonas más inestables para que sirvan de soporte a la tubería de conducción mientras se estabiliza el cuerpo principal en movimiento. Tales trinchos deben tener poca altura, del orden de 30 a 50 cm, con el fin de que no acumulen demasiado material y se desplomen por causa de la alta pendiente.

1. **AMENAZAS GEOLÓGICAS**

Una vez definido el espacio de los fenómenos naturales amenazantes en la zona de influencia del acueducto de Cestillal mediante la caracterización de las unidades Geológicas, Geomorfológicas y en especial de la identificación de los procesos morfodinámicos y definido de manera aproximada su recurrencia en el tiempo, es necesario integrar la información bajo los parámetros calificativos de amenaza alta, media y baja, dependiendo esencialmente de su recurrencia. Se identifican como fenómenos amenazantes en la cuenca los movimientos en masa, avenidas torrenciales y los sismos

El establecimiento de los niveles de amenaza también debe tener en cuenta los fenómenos que han ocurrido históricamente y sus consecuencias para la población, haciendo uso de los catálogos históricos de Desastres Naturales disponibles para Colombia que esencialmente son los del Sistema nacional de Prevención de Desastres de Colombia (actualmente DGPAD), el de la Red Latinoamericana de Información de Desastres –DESINVENTAR- y el SIMMA (en Servicio Geológico Colombiano) disponibles por Internet.

**3.1 Amenaza sísmica**

La Amenaza sísmica está definida para el territorio nacional como una Ley, que se modifica cuando la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica –AIS- y los integrantes del Comité Nacional de Amenaza sísmica, que representan a entes investigadores y Universidades lo consideren pertinente, de acuerdo con el avance del conocimiento del territorio nacional en esta temática, de acuerdo con el Estudio General de la Amenaza Sísmica de Colombia, el municipio de Cañasgordas se encuentra en la zona **Amenaza Alta**, con valores de Aa=0,20g y Av=0,25g, los cuales deben ser de estricto cumplimiento para cualquier obra que se lleve a cabo en el Municipio.

**3.2 Amenaza por movimientos en masa**

En el capítulo de morfodinámica se explicó de manera amplia que los movimientos en masa no eran un proceso natural muy común en la zona a pesar de las altas pendientes que conforman las vertientes de la cuenca, por lo que se debe considerar como zona de **Amenaza Intermedia.**

No se consideraron en este trabajo las avenidas torrenciales en vista de que por la cercanía de las bocatomas a la divisoria de aguas, las quebradas no tienen suficiente caudal como para formar fenómenos de éste tipo y en su lugar caerían sobre ellas movimientos en masa.

1. **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Las bocatomas y conducción del sistema de acueducto de Cestillal se localizan sobre vertientes de pendientes fuertes, en general de más del 100%, susceptibles a movimientos en masa bajo condiciones de saturación por episodios de lluvias muy intensas que se presentan con períodos de recurrencia muy bajos, tal vez del orden de 300 años o más, de acuerdo con las evidencias mostradas por las vertientes.

Los movimientos en masa que afectaron el sistema se formaron bajo condiciones de lluvias que tienen un intervalo de recurrencia muy largo, tal vez de más de 300 años, pero que ocurrieron en 2010.

Algunas de las zonas desestabilizadas permanecen actualmente sin vegetación, lo que las hace susceptibles a la formación de cárcavas que pueden seguir afectando el sistema de conducción, por lo tanto se hace necesario su tratamiento con cal para estimular el crecimiento de vegetación protectora.

En las cárcavas remontantes que se encuentran por debajo de la línea de conducción es necesario intentar su control a corto plazo mediante la construcción de trinchos bajos que detengan el proceso y permitan su revegetalización. Igual procedimiento de debe realizar en los movimientos en masa que muestren desprendimientos que afecten la conducción, o en su defecto, realzarla mediante viaductos de 1 a 2 m de altura para evitar impactos de rocas y fugas de agua.

Las dos actividades anteriormente indicadas deben ser ejecutadas en lo posible antes de emprender las actividades de recuperación del sistema de acueducto de Cestillal

Durante períodos lluviosos es necesario monitorear el estado de la conducción con el fin de detectar oportunamente fugas que la afecten.

Todo movimiento en masa que se presente en la zona debe ser tratado superficialmente con cal “al voleo”, para evitar que se prolongue aguas arriba.

No hay en zonas cercanas alternativas viables para surtir de agua la zona, diferentes al bombeo desde el fondo de la quebrada que por su diferencia de cota se hace inviable.

1. **REFERENCIAS**

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA -AIS-, 2009. Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia, Bogotá, 206 p.

DEARMAN. W.R., 1991. Rock and soil description and Classification for engineering geological mapping. In Eng. Geol. Mapping, Butterworth- Heinemann, Oxford, pp. 24-45.

INGEOMINAS, 1989. Geología de las planchas 114, Dabeiba y parte W de la 115, Toledo. INGEOMINAS Medellín, 111p.

INGEOMINAS, 1992. Evaluación de amenazas geológicas en la cuenca de la quebrada La Piedrahíta, Municipio de Frontino, Antioquia. Ingeominas Medellín, 18 p.

INGEOMINAS, 1995. Evaluación de la amenaza por torrencialidad, caso del oriente antioqueño. Desarrollo de una metodología. INGEOMINAS. Memorias VII Congreso Colombiano de Geología, Bogotá.

PARRA, EDUARDO, 2009. Determinación de edades de Movimientos en Masa para evaluación de la amenaza en Morro Pelón. U. de Medellín – Municipio de Medellín, Plan de Ordenamiento de Morro Pelón, 14 p.