

**GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y AMENAZAS GEOLÓGICAS EN EL ÁREA DE LA BOCATOMA Y SISTEMA DE ACUEDUCTO DELA CABECERA MUNICIPAL DE AMAGÁ, ANTIOQUIA.**

1. **INTRODUCCIÓN**

Dentro del marco del contrato Fondo Adaptación – Conhydra, se contempla el estudio de las amenazas geológicas en las cuencas y áreas vecinas a la infraestructura de varios acueductos, en este caso el del Municipio de Amagá (Antioquia). Como componente metodológico para evaluar las amenazas naturales, la geología y la geomorfología aportan el conocimiento del suelo y subsuelo, como herramientas que determinan la susceptibilidad a los fenómenos naturales y revelan eventualmente su período de recurrencia.

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).

**Avenidas torrenciales**: Las avenidas torrenciales consisten en crecientes excepcionales que superan decenas a centenares de veces las crecientes normales de una cuenca hidrográfica, en razón a que su caudal además de agua, consiste en una mezcla viscosa de rocas, troncos, suelos y escombros, que gracias a la pendiente del cauce y su energía potencial, se convierte en un flujo laminar denso que arrastra con cuanto material suelto o débil encuentre a su paso. El fluido así formado, transita aguas abajo, destruyendo todo, hasta llegar a un sitio plano en el cual va depositando el material, hasta convertirse de nuevo en un flujo turbulento.

Cada evento que ocurre en la naturaleza, deja una huella sobre el terreno proporcional a su magnitud, así que una creciente hidrológicamente “normal”, de 2.33 años de período de recurrencia, no deja mayor evidencia sobre su cauce; crecientes de menor frecuencia van dejando huellas mayores que si son correctamente interpretadas, permiten conocer el fenómeno, en especial su edad y magnitud. El estudio de las avenidas torrenciales se basó en la estratigrafía de los depósitos cuaternarios (acumulados en las márgenes hace decenas, centenares o miles y en algunos casos, millones de años), lo que permite establecer su intervalo de recurrencia aproximado y la magnitud de los fenómenos aluviales o torrenciales que han transitado por su cauce. (INGEOMINAS 1995). Un criterio adicional lo proporciona la lectura de la textura superficial de las vertientes en la cuenca, y el desarrollo o afectación de la vegetación aledaña al cauce, la cual permite identificar fenómenos de deslizamientos o torrencialidad que hayan ocurrido aproximadamente en las últimas decenas o centenares de años (Huff, 1988). En consecuencia, el análisis e interpretación de imágenes remotas, complementadas con reconocimiento de campo, permiten saber si en una cuenca se presentan avenidas torrenciales o no, y en tal caso, se pueden saber detalles sobre su origen, magnitud e intervalo de recurrencia.

**Crecientes de bajo intervalo de recurrencia**: Este tipo de crecientes se presentan esporádicamente en una cuenca y tradicionalmente se las ha estudiado mediante métodos hidrológicos que parten de datos de instrumentación pluvial colectada en la zona. Cuando este tipo de información no existe, las técnicas geomorfológicas y geológicas y también pueden dar luces sobre este tipo de caudales máximos, con el fin de apoyar las aproximaciones hidrológicas y proveer datos para el adecuado diseño de las obras que se relacionen con su cauce (Kochel et. Al., 1988).

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.

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 zonas de amenaza por inundación o por avenidas torrenciales. Algo semejante ocurre con 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.

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 una avenida torrencial 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.

Es preciso entender además que la presentación de un mapa se justifica 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.

Para complementar la información geológica regional, se realizó una visita al área en compañía de los ingenieros del equipo técnico de Conhydra y el fontanero del sistema, donde se recorrió el sector de bocatoma, aducción y la zona del movimiento en masa principal, en los que se hicieron observaciones de los fenómenos de inestabilidad y se levantó la cartografía geológica y geomorfológica de manera directa,

La consulta de las bases de datos de desastres naturales de Colombia, no proporcionó información para estimar los períodos de recurrencia de los problemas causados por las crecientes de la quebrada, pues en ninguna de ellas aparecen referencias a ésta quebrada. Se referencian en la vereda Maní del Cardal que es la donde se localiza la bocatoma, un evento de inundación con fecha 2011/04/17, con destrucción de 5 viviendas, averías en 8 y 65 personas afectadas, en 2011/06/02, por movimiento en masa 1 vivienda destruida, 3 afectadas y 18 personas afectadas, pero no se hace referencia a daños en acueducto.

El fontanero afirma que en 2004 se formó el movimiento y tuvo reactivación en 2008 y que además que fue objeto de cerramiento en alambre y construcción de cunetas de desagüe y zanja de coronación por parte de Corantioquia en ese año.

1. **MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y LOCAL**

El municipio de Amagá se localiza sobre el flanco Occidental de la Cordillera Central, en el sector medio de la cuenca de la quebrada La Paja, la cual alimenta la bocatoma del Acueducto municipal, se compone esencialmente de tres tipos de rocas, de acuerdo con este trabajo, que modifica la cartografía de INGEOMINAS, 1983 (figura 1):

**2.1 Esquistos cuarzo-sericíticos** (**Pes)**: Se trata de una roca metamórfica, foliada, que se presenta en paquetes centimétricos compuestos por bandas milimétricas de cuarzo, sericita y grafito con cantidades menores de plagioclasa y biotita, el macizo rocoso normalmente se observa en campo como una roca meteorizada y oxidada a lo largo de los planos de esquistosidad y forma un suelo areno – arcilloso blando de color amarillo ocre que alcanza unos 5 m de espesor. Estas rocas no afloran en este sector de la quebrada y se localizan unos 600 m al oriente de la bocatoma.

**2.2 Plutón de Amagá (Tra)**. Es una roca ígnea de composición Monzonítica constituida por cristales de tamaño grueso, del orden de 5 mm, compuestos por ortoclasa, plagioclasa y cuarzo en más de 80% y biotita el 20% restante como mineral oscuro. La roca aflora en la quebrada La Paja desde un poco más abajo de su intersección de la antigua vía del ferrocarril y se extiende hasta al menos 200 m aguas arriba del cuerpo de masa inestable que ha afectado la quebrada. El perfil de meteorización de esta roca alcanza en la zona por lo menos 5 m de espesor, donde se forma un suelo granular grueso, con cantidades subordinadas de limos y arcillas producto de la meteorización in situ de la roca original. Es típico del área el uso de este suelo para fabricar bloques de cemento para construcción de viviendas.



**Figura 1.** Geología de la zona vecina a la bocatoma del acueducto de Amagá (Modificado de INGEOMINAS, 1983).

**2.3 Formación Amagá**. Un conjunto de rocas sedimentarias pertenecientes a la Formación Amagá (INGEOMINAS, 1983), se destaca en la parte alta de la vertiente oriental de la bocatoma. Consiste de areniscas medias a gruesas de color pardo claro a gris que se alternan con estratos delgados de conglomerados de grano medio a fino, donde el tamaño máximo para los clastos es de unos 6 a 7 cm., predominando tamaños entre 3 y 4 cm. La matriz para ambos componentes es arcillosa y fina, lo que le aporta compacidad al conjunto rocoso. Estas rocas descansan estratigráficamente sobre las que componen el Plutón de Amagá y se consideran como la base de dicha formación.

**2.4 Geología Estructural**. Las líneas punteadas del mapa geológico (Figura 1), representan contactos fallados más que verdaderas fallas geológicas y no se encontró durante la visita de campo ninguna evidencia de fallamiento o tectónica reciente, lo que estructuralmente implica que no se presentan fallas geológicas en el sitio. Lo anterior se corrobora con los mapas geológicos existentes (Grosse, 1926, INGEOMINAS, 1983), donde las estructuras cercanas son contactos fallados, todos ellos entre rocas de edades muy antiguas, si se tiene en cuenta que las más recientes son las de la Formación Amagá, que tienen edad un poco mayor a 30 millones de años.

El análisis de la geología estructural de una zona en particular se hace necesario porque está relacionado con las fallas geológicas y su asociación con sismos, es decir, que estas tengan relación con sismos históricos de relativa importancia, o que el trituramiento de los macizos rocosos que atraviesan se convierta en un factor de inestabilidad notable. Para este análisis se utilizan los mapas geológicos regionales, generalmente publicados por INGEOMINAS a escala 1:100.000, el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia 2009 (AIS, 2009) y los rasgos superficiales de la morfodinámica reciente en la zona, que básicamente consiste en la interpretación de las causas de los movimientos en masa locales.

Una conclusión al respecto se relaciona con la observación cuidadosa de las vertientes cercanas, las cuales carecen de enjambres de cicatrices de deslizamientos cosísmicos (Figura 2), los cuales afectan regionalmente las vertientes cuando se presentan sismos relativamente superficiales de magnitudes mayores a M=5, lo que permite concluir que en centenares de años no se han presentado sismos superficiales con magnitudes mayores a M=5.



2

3

4

1

**Figura 2.** Vertientes aledañas a bocatoma del acueducto de Amagá, se aprecian cicatrices de movimientos en masa (1,2,..), aislados y erráticos, producto de lluvias y conflictos de uso del suelo.

1. **Geomorfología**

El área vecina de la bocatoma se puede considerar como una sola unidad geomorfológica, constituida por vertientes montañosas, donde no existen depósitos relacionados con planicies aluviales asociadas con la quebrada. Dicha unidad se podría llamar Vertientes Montañosas bajas e irregulares, de las cuales no se presenta mapa debido a que no se justifica por ser una sola unidad la que define el área de trabajo.

Las montañas son bajas, con cerca de 600 m de altura entre filos mayores y cauces de tercer orden, con filos de topes amplios (más de 50 m), redondeados e irregulares en perfil, ya que muestran un escalonamiento por cambios en el tipo de roca.

Las vertientes que se desprenden de los filos principales son irregulares, marcadas también por diferencia de composición de las rocas subyacentes, pero en general son rectas cuando no hay cambios de roca; sus pendientes son moderadas, rara vez exceden el 40%, con excepción de sus remates en los cauces. Los cauces tienen fondos estrechos, con laderas en forma de V cerrada hasta casi verticales y entallados directamente en la roca.

* 1. **Morfodinámica**

La morfodinámica indica los procesos superficiales de degradación (erosión en todas sus formas) y de acreción (depositación de materiales), que se pueden interpretar de formación geológicamente reciente, es decir desde fenómenos sucedidos hace meses o años hasta de centenares o decenas de miles de años. La correcta identificación e interpretación de los fenómenos morfodinámicos permite establecer su período de recurrencia con precisión suficiente para ilustrar los estudios de amenazas naturales.

La morfodinámica local permite afirmar que en la cuenca de la quebrada La Paja se pueden presentar dos tipos de fenómenos naturales, movimientos en masa y avenidas torrenciales de tamaño moderado.

* + 1. **Movimientos en masa.**

La desestabilización de las vertientes por saturación con agua es apreciable en todas las vertientes vecinas de la quebrada La Paja, en la Figura 2 se aprecian varias generaciones de cicatrices de este fenómeno, que se pueden dividir en cuatro categorías:

Recientes (1): Presentan una cicatriz donde la corona superior es aguda y además el cuerpo de la masa deslizada dejó una superficie desprovista de vegetación que aún no se encuentra revegetalizada, tienen edad aproximada entre 1 y 10 años.

Subrecientes (2): Su cicatriz presenta corona aguda pero la superficie de arrastre de masa solamente ha podido desarrollar rastrojo bajo, tienen entre 10 y 100 años, dependiendo del desarrollo de la vegetación colonizadora.

Antiguos (3): Su corona superior al igual que los flancos se encuentran redondeados pero se distingue la masa faltante. Tienen centenares hasta unos pocos miles de años, de acuerdo con los suelos que cubran la zona de arranque.

Muy antiguos o nichos (4): Son aquellos donde apenas se nota una masa faltante y todos sus bordes se encuentran redondeados. Tienen miles a decenas de miles de años, dependiendo del espesor de los horizontes A y B de suelo que los cubran.

Si se repasa la figura, observándola cuidadosamente, es fácil observar cicatrices de varias edades y formas diversas, lo que indica detonantes diferentes, y además concluir que los movimientos en masa recientes a subrecientes son mucho más abundantes que los antiguos, lo que indica que hace cientos de años se aceleró la ocurrencia de los movimientos en masa y que posiblemente su detonante haya sido la destrucción del bosque original durante la colonia, es decir, hace unos pocos cientos de años. Estas condiciones de uso del suelo van a persistir si no se practica un uso diferente al actual en potreros, donde existan árboles que evapotranspiren suficiente humedad del suelo durante los períodos invernales como para que los suelos no alcancen el límite plástico y se desestabilicen las laderas.

El movimiento en masa de 2004 muestra en la actualidad evidencia de que hay una situación de estabilidad de acuerdo con la vegetación que se ha desarrollado sobre él y sobre la mayor parte de las grietas existentes en el interior de la masa del cuerpo del deslizamiento (figura 3). Bajo estas condiciones, se puede afirmar que solamente falta tal vez un 30% por ser cubierto por vegetación para que no genere turbiedad en la bocatoma cada que llueve y que se puedan sellar algunas de las grietas actuales.



**b**

**a**

**Figura 3.** Áreas sin vegetación del movimiento en masa localizado aguas arriba de la bocatoma del acueducto de Amagá, a) parte media, B) parte inferior hacia la Quebrada La Paja.

El procedimiento para favorecer el crecimiento de vegetación en los sitios donde ella no existe se basa en neutralizar la acidez del suelo superficial aplicando cal dolomítica “al voleo” y de esta manera permitir que germinen las semillas de especies colonizadoras; el procedimiento se puede aplicar una o dos veces con intervalos de semanas, en especial al terminar la temporada invernal, de tal manera que para el siguiente período lluvioso haya una vegetación protectora donde antes no existía. Esta labor se le enseñó al fontanero para que la aplicara en el corto plazo, pero también la podría hacer el contratista encargado del mejoramiento del acueducto.

Un análisis de estabilidad gráfico, de alcance cualitativo se puede obtener mediante el uso del levantamiento topográfico que se realizó en el terreno, mediante un corte transversal al movimiento en masa AA´ (figura 4), donde imaginariamente se divide en dos la masa inestable inicial, semejando el método geotécnico de las dovelas, donde el segmento superior ejerce empuje hacia abajo sobre la masa total mientras el segmento inferior ejerce resistencia. Con el plano de falla supuesto, se comparan las dos masas faltantes, en este caso el área de la masa faltante superior es mayor que la inferior y por lo tanto, el empuje ejercido por ella es menor que la disminución de la resistencia que ofrece la masa inferior, en consecuencia, el factor de seguridad es mayor que 1 (F.S. >1), lo que corrobora la situación de estabilidad observada en el campo.



A´

A

**Figura 4**. Evaluación de estabilidad del deslizamiento localizado aguas arriba de la bocatoma.

Con el fin de mejorar el Factor de Seguridad de la masa en movimiento, se requiere aplicar lechada de cal cálcica (que contenga menos de 5% de Magnesio, MgO en etiqueta), sobre todas las grietas actuales, incluidas las de la parte superior, a razón de un balde de 5 galones de lechada ligeramente espesa por cada metro de la grieta existente, para luego cerrarlas con el mismo suelo mediante apisonamiento. Este último paso del tratamiento permitirá ver directamente sobre las grietas en el término de días o semanas si persiste la situación de inestabilidad, en cuyo caso se hace necesario aplicar de nuevo la lechada.

Para mejorar la estabilidad general del cuerpo deslizado, se sugiere como medida adicional, la siembra de unos 20 eucaliptos en la mitad inferior del cuerpo del deslizamiento, de tal manera que ellos evapotranspiren el aguas de saturación de esta zona y así mejorar el Factor de Seguridad.

En el sitio del movimiento en masa, la zona de arrastre del deslizamiento de 2004 quedó desprovista de vegetación sin recibir ningún tratamiento para propiciar el crecimiento de una nueva cobertura vegetal y en consecuencia, cada que se presentan episodios de lluvia, la escorrentía natural arrastra material para enturbiar el agua. La turbiedad semipermanente de la quebrada produce sobrecostos de operación del acueducto, lo que ha motivado la idea de trasladar la bocatoma aguas arriba del cuerpo de deslizamiento de 2004. Tal como se ha expresado en el numeral anterior, se requieren solamente procedimientos simples para mitigar la amenaza generada por este movimiento en masa. En la vertiente opuesta a éste movimiento en masa, se localiza otro de tipo superficial, pero que muestra una superficie importante sujeta a lavado de material por aguas de escorrentía que también tiene influencia sobre la bocatoma y por lo tanto, es necesario realizar en él el mismo procedimiento.

**3.1.2 Avenidas Torrenciales**

Una avenida torrencial es una creciente excepcional de un cauce que supera sus caudales máximos conocidos a través de métodos hidrológicos y que además el fluido que se moviliza por el cauce contiene una alta cantidad de sólidos, al punto que el tránsito del mismo llega hasta niveles de alcanzar a ser un flujo laminar, donde hay escaso rozamiento entre el lecho y el fluido y se desplaza de manera similar al concreto al momento de ser vaciado.

Las avenidas torrenciales se forman por diversas causas entre las que se cuentan por la formación de numerosos movimientos en masa causados por episodios de lluvias extremas; o por el bloqueo del cauce causado por una masa deslizada importante que bloquea el cauce y permite el represamiento de las aguas a manera de una presa natural, (Baker, 1988), para luego romperse súbitamente y arrastrar gran cantidad de sólidos mientras se vacía el agua acumulada.

Un fenómeno similar al descrito anteriormente se formó en la quebrada La Paja durante la temporada invernal de noviembre, cuando se produjo el movimiento en masa que se localiza aguas arriba de la bocatoma del acueducto, el cual formó un dique que represó la quebrada por un poco menos de una hora y luego se rompió para formar una avenida torrencial que prácticamente destruyó la bocatoma y parte de la línea de conducción, las evidencias de la creciente (Hupp, 1988), se pueden observar todavía en el lecho de la quebrada .

De acuerdo con lo expuesto, el traslado de la bocatoma aguas arriba no es necesario si se estabiliza el movimiento en masa y se revegetaliza su superficie, al igual que la de otro deslizamiento reciente que se presenta en la margen izquierda de la quebrada en la parte media-alta de la vertiente. Los costos de construcción de la nueva bocatoma y la extensión adicional de la línea de conducción se pueden ver afectados parcialmente con un nuevo desplazamiento de la masa contenida en el cuerpo del deslizamiento actual, por lo que su estabilización es la actividad prioritaria.

1. **Amenazas Geológicas**

Para evaluar las amenazas geológicas que podrían afectar la bocatoma es necesario partir de la definición internacional del término AMENAZA, que según Naciones Unidas (1992), es “un evento amenazante, o probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino dentro de un área y período de tiempo dado”.

Bajo la consideración anterior es necesario establecer niveles de amenaza con calificativos de Alto, Medio y Bajo, de acuerdo con criterios que en general siguen recomendaciones internacionales, por ejemplo, Naciones Unidas, sugiere para las inundaciones una escala de amenaza con los siguientes criterios de intervalo de recurrencia del evento en zonas urbanas o de infraestructura importante.

Alta. Hasta 100 años.

Media. Hasta 500 años.

Baja > de 500 años.

Para el caso de este estudio, el Fondo Adaptación (2013), establece en sus lineamientos la siguiente escala, de acuerdo con el intervalo de recurrencia.

**Alta.** De 0 a 10 años

**Media**. De 10 a 100 años

**Baja.** > de 100 años.

Esta escala puede ser adecuada para zonas rurales, siempre y cuando no se localicen viviendas ni infraestructura vital para una comunidad. En este caso, por tratarse de un acueducto, es imposible que su bocatoma y las primeras decenas de metros queden por fuera de la zona de amenaza alta, dada su posición con respecto a los niveles de agua normales. Para hacer menos vulnerable el sistema de acueducto, se debe entonces buscar un diseño que sea lo más compatible posible con las exigencias (solicitación), generadas por flujos torrenciales, bien sea buscando sitios donde la creciente no vaya directamente sobre el sistema, o bien, buscar un diseño de rápida reconstrucción.

Es necesario tener en cuenta que casi todas las quebradas de montaña existentes en Colombia pueden estar sujetas a flujos causados por movimientos en masa, esta condición es completamente inevitable en nuestro país si se tiene en cuenta la combinación de altas pendientes en las vertientes montañosas de la zona andina con la alta variación de las lluvias inherente a la Zona de Convergencia Intertropical.

* 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 (AIS, 2009), el municipio de Amagá 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.

* 1. **Amenaza por movimientos en masa**

Si se tiene en cuenta lo discutido en los capítulos anteriores, que establecen que existe una inestabilidad relacionada con el uso del suelo que hace que periódicamente se presenten movimientos en masa, hasta que no exista una franja de protección de la quebrada La Paja como fuente vital de abastecimiento de agua de la población urbana de Amagá, es necesario considerar la amenaza de los alrededores cercanos a la bocatoma como de **Amenaza intermedia por movimientos en masa**.

* 1. **Amenaza por avenidas torrenciales**

La eventualidad de que los movimientos en masa se produzcan en la vertiente directa de las cercanías de la bocatoma del acueducto, ya que ellos son la causa local de las avenidas torrenciales, se debe considerar con un período de recurrencia menor al de ellos, por lo tanto en este caso, la **amenaza por avenidas torrenciales es intermedia**.

1. **CONCLUSIONES Y RECOMEMDACIONES**

La temporada invernal de 2010 produjo la desestabilización de una masa importante en la margen derecha de la quebrada La Paja que destruyó parte del sistema de acueducto que surte la cabecera municipal de Amagá.

La masa deslizada muestra evidencias actuales de estabilización, pero es necesario propiciar el crecimiento de la vegetación y la consolidación de la estabilidad de las masas mediante tratamientos sencillos con cales específicas, los cuales deben dar resultados verificables en el término de meses cuando se vuelva a presentar una nueva temporada invernal y se deben emprender antes de las actividades de mejoramiento y reconstrucción.

La autoridad municipal debe velar por mantener cerrado el cuerpo del deslizamiento para evitar que el ganado disloque el suelo incipiente y se favorezca el enturbiamiento de las aguas de escorrentía que son las que afectan la calidad del agua en bocatoma. En última instancia se debe expropiar este terreno por ser de interés público en el caso de que el propietario se rehúse a su adquisición por parte del Municipio.

La idea de trasladar la bocatoma aguas arriba de la localización actual no es sensata en el sentido de que sería vulnerable a una eventual reactivación del deslizamiento.

1. **REFERENCIAS**

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

BAKER, V., 1988. Rupture of Natural Dams. In Flood Geomorphology, edited by Baker, V, Kochel, R. and Patton, P. John Wiley & Sons Ltd, New York, 503pp.

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

FONDO ADAPTACIÓN, 2013. Alcance técnico general de la gestión de riesgo para intervenciones del Fondo Adaptación directas o descentralizadas. Memorando Interno, Bogotá, 9 p.

HUPP, CLIFF. 1988. Plant ecological aspects on flood Geomorphology and paleoflood history. In Flood Geomorphology. John Wyley & sons, New York, pp. 335-356.

INGEOMINAS, 1983. Geología de la Plancha 146, Medellín Occidental. Ingeominas Medellín, mapa a escala 1:100.000.

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.

NACIONES UNIDAS, 1992. Glosario multilingüe de términos convenidos internacionalmente relativos a la Gestión de Desastres. Ginebra, 83 p.

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.