

RELACIÓN LLUVIA-AGUAS SUBTERRÁNEAS CON LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO DE FREDONIA, ANTIOQUIA

Juan F. Berrío T., Manuel E. Díaz M., María V. Vélez O. y José H. Caballero A.
Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas
Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín
jfberriot@unalmed.edu.co

Recibido para evaluación: 17 de Agosto de 2004 / Aceptación: 09 de Noviembre de 2004 / Recibida versión final: 18 de Noviembre de 2004

RESUMEN

En este artículo se presenta un modelo hidrogeológico de la circulación de las aguas subterráneas desencadenantes de movimientos en masa en el Cerro Combia, aledaño al municipio de Fredonia (Antioquia), basado en un modelo geológico conceptual. Se presenta además la relación temporal entre las lluvias y los caudales evacuados por las galerías de drenaje construidas en el área para aliviar las presiones de poros al interior del Cerro y se evalúa su efectividad.

PALABRAS CLAVES: Aguas Subterráneas, Deslizamientos, Lluvia, Fredonia, Hidrogeología

ABSTRACT

This article presents an hydro-geological model of groundwater circulation that causes mass movements in Cerro Combia, beside Fredonia (Antioquia), based on a conceptual geological model. It is also presented the temporary relationship between rain and water flow evacuated by the drainage galleries, constructed to relieve pore pressures at the interior of Cerro Combia, and their effectiveness is evaluated.

KEY WORDS: Groundwater, Landslides, Rain, Fredonia, Hydrogeology.

1. GENERALIDADES

La zona urbana del Municipio de Fredonia es altamente vulnerable a grandes movimientos en masa (deslizamientos) principalmente por la conjunción de factores geológicos y climáticos. Han ocurrido lamentables tragedias entre las cuales se pueden mencionar las de Diciembre 09 de 1941, Octubre 18 de 1943, Octubre 5 de 1948, Agosto 23 de 1955, Octubre 20 de 1956, Noviembre de 1971, Octubre 3 de 1988, Julio 22 de 1995.

En varios estudios hechos con el ánimo de mitigar la amenaza por deslizamientos desde el Cerro Combia, se detectó que un factor determinante en la ocurrencia de dichos eventos es la existencia de aguas subterráneas que circulan en volúmenes considerables al interior del cerro. Además, la mayoría de los movimientos en masa en la zona ocurren después de lluvias fuertes o durante períodos lluviosos prolongados, haciendo que el control de las aguas subterráneas sea uno de los mecanismos más utilizados para prevenir este tipo de fenómeno.

Por lo tanto, el principal resultado de los estudios hasta ahora ejecutados, consiste en la excavación de varias galerías de drenaje en la ladera del cerro a lo largo de todo el pueblo, con el fin de abatir los niveles freáticos para evitar la saturación del terreno.

En este artículo se presentan los resultados de un trabajo mediante el cual se pretendió establecer la relación directa entre la lluvia y la dinámica de las aguas subterráneas y demás factores hidrológicos, geológicos y geotécnicos que producen el desencadenamiento de movimientos en masa en el cerro Combia.

El municipio de Fredonia, departamento de Antioquia, se localiza en las estribaciones de la Cordillera Central, al suroeste del departamento, entre los 5°54' de latitud norte y 75°38' de longitud oeste. Ocupa un área aproximada de 247 Km² y presenta alturas variables entre 600 y 2500 msnm, con una temperatura promedio anual de 20.7 °C.

La zona de estudio comprende el casco urbano del municipio de Fredonia y sus alrededores. Tiene un área aproximada de 30 Km² y se encuentra enmarcada dentro de la plancha 166-II-C-1 del año 1987, escala 1:10.000, de la Secretaría de Hacienda, División de Catastro del departamento de Antioquia, localizada en la Figura 1. La topografía de la zona de estudio se representa en el modelo digital de terreno de la Figura 2.

El municipio de Fredonia presenta un clima típico ecuatorial con lluvias abundantes. La precipitación anual promedio es de 2300 mm, con una distribución temporal bimodal con dos periodos lluviosos, un periodo seco y uno de transición. El primer lapso lluvioso se inicia en el mes de abril y termina en el mes de junio, siendo más intensa la precipitación en mayo (340 mm). El segundo periodo lluvioso se extiende desde el mes de septiembre hasta el mes de noviembre con una pluviosidad máxima de 330 mm en octubre.

2. GEOLOGÍA LOCAL

El entorno geológico del municipio de Fredonia está conformado por las siguientes unidades geológicas:

- Metasedimentitas de Sinifaná.
- Formación Amagá.
- Pórfidos andesíticos.
- Formación Combia.
- Depósitos recientes (depósitos de vertiente asociados al Cerro Combia y al Cerro Bravo).

La distribución areal de estas unidades se indica en la Figura 3. Desde el punto de vista de este estudio las unidades más importantes son la Formación Combia y los depósitos recientes, por lo que en este texto no se amplía la descripción de las demás formaciones.

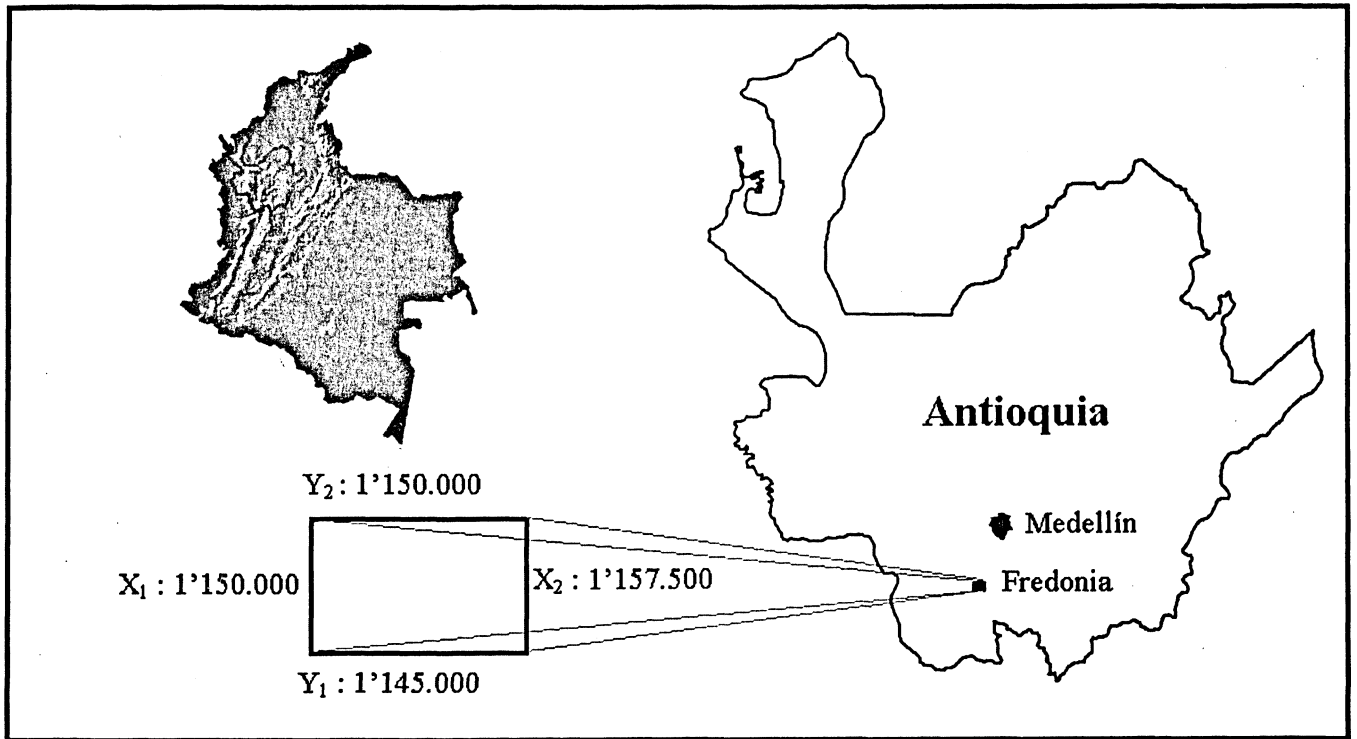


FIGURA 1.
Localización del área de estudio. Coordenadas Colombianas origen oeste (m).

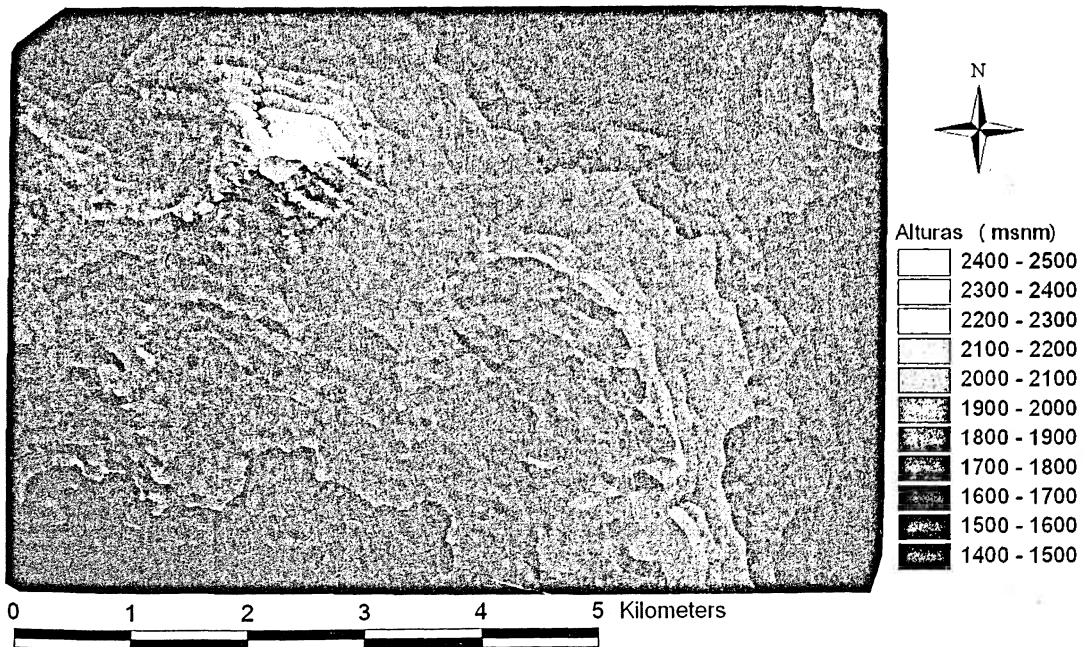


FIGURA 2.
Modelo digital de elevación de la zona de estudio.

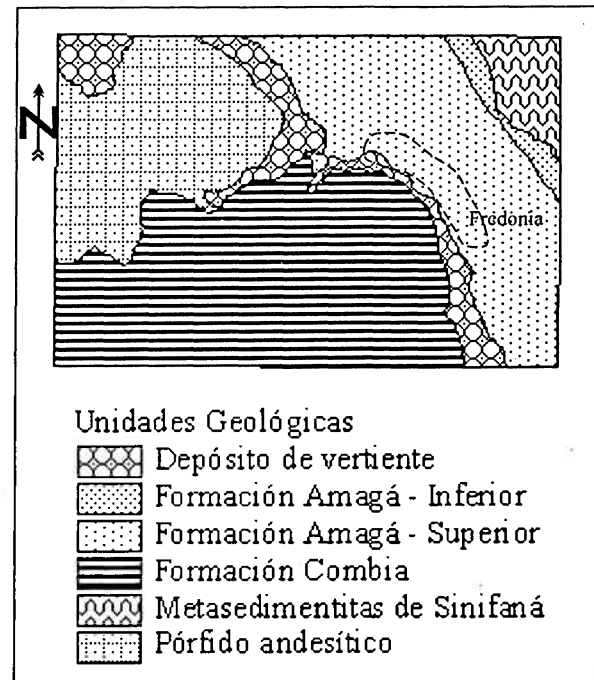


FIGURA 3.
Unidades geológicas en el área de estudio

2.1. Formación Combia

Fue denominada así por Grosse en 1926, en el Cerro Combia, donde definió la secuencia típica. Esta unidad se compone de estratos volcano-sedimentarios de edad Mioceno superior - Plioceno (Mejía, 1985). La Formación Combia en la zona de estudio corresponde al escarpe del Cerro Combia, el cual presenta inclinaciones mayores a 70° y en ciertas partes se presenta casi vertical; y se extiende hacia las zonas sur y occidental del área de estudio. Gran parte de la Formación se encuentra altamente fracturada, lo que disminuye la estabilidad que le da su inclinación en sentido contrario a la pendiente. La Formación Combia no presenta horizontes guía que permitan un seguimiento y reconocimiento de los diferentes estratos. Al contrario, se observa una gran discontinuidad lateral en la secuencia y los contactos entre capas no son planos, sino que presentan muchas ondulaciones que complican aún más su estudio. Sin embargo, con sentido práctico, se puede considerar la secuencia como el conjunto de tres bloques estratigráficos con materiales de características similares, que informalmente se han llamado bloques superior, medio e inferior, (Sanear Ltda, 1989) los cuales se describen a continuación.

Bloque inferior de la Formación Combia:

Se compone de una serie de conglomerados cuyo máximo espesor observado alcanza los 30 m, conformados por cantos andesíticos muy redondeados de hasta 20 cm de diámetro. En algunos puntos se presentan lentes de arenisca y arenisca conglomerática con espesores menores de 1 m.

Bloque Medio de la Formación Combia:

Se compone de una secuencia de areniscas tobáceas con espesores de alrededor de 20 m, intercaladas con aglomerados de espesor menor a 6 m y algunos estratos de arcillolitas, intruidos por diques basálticos. Este bloque presenta una condición de fracturamiento bastante intensa, evidenciada por la presencia de numerosas familias de diaclasas y fracturas, los cuales fueron cartografiados al interior de las galerías dentro de la Formación. Se pudo establecer a partir de recorridos de campo que las galerías localizadas en este bloque son las que mayores caudales aportan al drenaje del cerro.

Bloque superior de la Formación Combia:

Este bloque está representado en la columna estratigráfica de La Pianola por 30 m de aglomerados y areniscas aglomeráticas, en la columna del camino empedrado a Cerro Combia por una capa de 130 m de tobas y en la columna de La Lechería por una secuencia de aproximadamente 60 m de espesor, constituida por aglomerados, brechas volcánicas semiconcordantes con la estratificación y capas delgadas de tobas color ocre.

La orientación de los planos de estratificación medidos en las columnas es la siguiente: en La Pianola, N80°E / 45°S; en el camino empedrado, N35°W / 25°W; en la Quebrada La Lechería, N15°W / 15°W. Ver la ubicación de las medidas sobre el terreno en la Figura 4.

2.2. Depósitos Recientes

Corresponden a depósitos de vertiente al pie de los escarpes de Cerro Combia y Cerro Bravo, constituidos por cantos y bloques de rocas de diferentes tamaños y formas angulares y subangulares en una matriz compuesta de arenas, limos y arcillas completamente mezclados.

La parte superior de estos depósitos corresponde a materiales finogranulares (arenas, limos, arcillas) con bloques y fragmentos de roca angulares en menor proporción. En la parte inferior se incrementa el porcentaje de bloques (Sanear Ltda, 1989).

3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área de estudio se encuentra influenciada por el sistema de fallas Cauca-Romeral, situación que se evidencia por algunos rasgos morfológicos, así como por el alto grado de fracturamiento en las rocas. La estructura geológica más importante es el sinclinal del Cerro Combia, cuyo eje tiene un rumbo N10°E, cruzando el municipio cerca al hospital municipal. La existencia de este sinclinal fue verificada en campo y mediante fotografías aéreas (ver Figura 4). Este sinclinal conforma la parte crítica de la zona de estudio, ya que en su interior circula agua subterránea, y sus características estructurales, como se verá mas adelante, dominan el flujo de agua dentro del Cerro Combia en los alrededores de Fredonia.

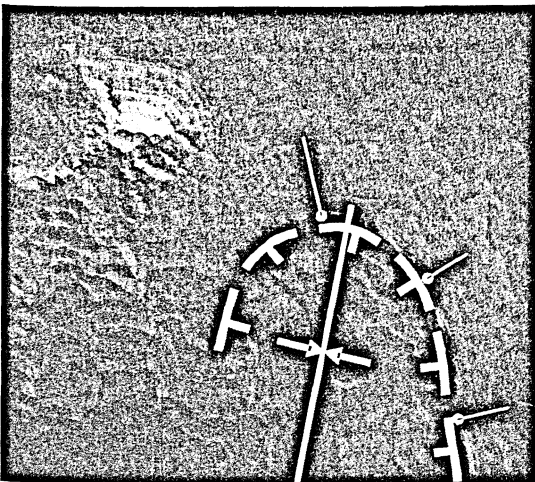


FIGURA 4.
Sinclinal del Cerro Combia.

4. CONDICIÓN DE FRACTURAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO

La Formación Combia presenta en general una condición de fracturamiento bastante intensa que controla el flujo de agua, según se observó al interior de las galerías de drenaje. Las direcciones de estas estructuras son esenciales para definir las características de la circulación del agua al interior del cerro.

A partir de las observaciones dentro de las galerías de drenaje se pudo establecer que el bloque intermedio de la Formación Combia, conformado por intercalaciones de areniscas y arcillolitas, presenta el mayor grado de fracturación, constituyéndose en la zona de mayor circulación y drenaje de aguas subterráneas. En el bloque inferior no se observaron diaclasas y las fracturas son muy escasas, lo cual seguramente se relaciona con las propiedades mecánicas del material que lo compone, ya que se trata de un conglomerado clastosoportado con partículas de tamaño muy homogéneo, que varían localmente de 5 a 15 cm de diámetro cementadas en una matriz areno-limosa muy compacta, muy resistente mecánicamente.

5. ESTADÍSTICOS ESTRUCTURALES

Al interior de las galerías de drenaje se realizó una cartografía de las principales familias de discontinuidades para evaluar la condición de fracturamiento del macizo rocoso. Se empleó la metodología descrita por Chica en 1984 (Análisis de estructuras geológicas) en la cual se hallan los parámetros hidroestructurales para cada discontinuidad estructural así:

- Rumbo y Buzamiento de la discontinuidad estructural
- Densidad de Fracturamiento de cada familia de discontinuidades.
- Continuidad. Longitud de la discontinuidad.
- Abertura. Espesor (en milímetros) de la abertura promedio de la discontinuidad.
- Rugosidad relativa. Asignada a juicio del investigador. Fluctúa entre 0 y 1.
- Composición y granulometría de la roca que contiene las discontinuidades.

Fueron medidos en campo un total de 72 discontinuidades o familias de ellas, con los parámetros enunciados anteriormente. En la Figura 5, se muestran los diagramas polares y las rosetas de rumbos de dichas estructuras, analizadas de manera estándar. Se le asignará luego a cada familia el peso estadístico que le corresponde según su conductividad hidráulica.

En este artículo se presentan los resultados generales de los primeros ocho años de operación de la Red Acelerográfica de Medellín (RAM). La RAM está conformada en la actualidad por 19 acelerógrafos superficiales distribuidos en los diferentes sectores de Medellín: un acelerógrafo profundo que se rota entre estaciones y un acelerógrafo ubicado en roca. Hasta el momento la RAM ha registrado 51 sismos provenientes de diferentes sismofuentes. Los registros provenientes de estos eventos fueron procesados y analizados con el fin de determinar qué sectores de Medellín amplifican, y en qué medida, la sacudida sísmica con respecto a los registros en roca, y para cuáles periodos de vibración estructural se presentan las máximas respuestas de aceleración espectral.

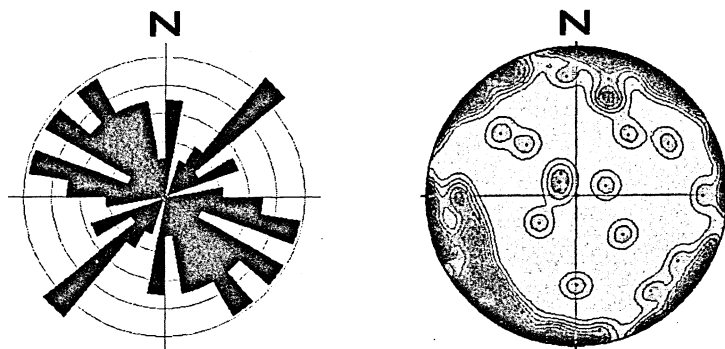


FIGURA 5.

Roseta de rumbos y diagrama polar de las familias de diaclasas y estructuras predominantes cartografiadas al interior de las galerías de drenaje del Cerro Combia.

Como se puede observar en el diagrama polar de la figura 5, la mayoría de las estructuras son casi verticales. El patrón de fracturamiento se puede asimilar al patrón que se formaría al tratar, forzosamente, de dar una forma cóncava a un cuerpo rígido tabular generando fracturas radiales y anulares. Ver Figura 6.

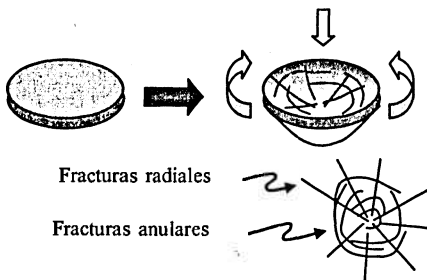


FIGURA 6.

Patrón de fracturamiento generado al ejercer un esfuerzo cóncavo sobre un cuerpo rígido tabular.

La roseta de rumbos concuerda con las fracturas radiales, y perpendiculares a ellas las anulares, necesarias para formar el sinclinal de Cerro Combia, tomando en cuenta la zona donde fueron recolectados los datos, como se observa en la Figura 7.

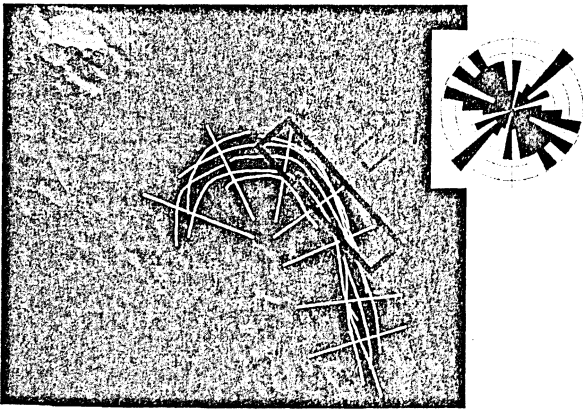


FIGURA 7.

Detalle de la zona de estudio, con la interpretación del patrón estructural en Cerro Combia. La zona de recolección de datos aparece demarcada por un rectángulo. Las líneas blancas solamente ilustran un patrón de fracturamiento, no indican fracturas reales en el terreno sino una interpretación estadística.

6. GALERÍAS DE DRENAJE

Como medida de prevención ante los deslizamientos en el Cerro Combia, la administración municipal de Fredonia ha construido varias galerías de drenaje en la parte baja del cerro. Éstas tienen en promedio un metro y medio de altura y un metro de ancho, profundidades entre 20 y 40 m y bifurcaciones en "Y" en sus extremos. La posición geográfica relativa de las galerías se muestra en la Figura 8.

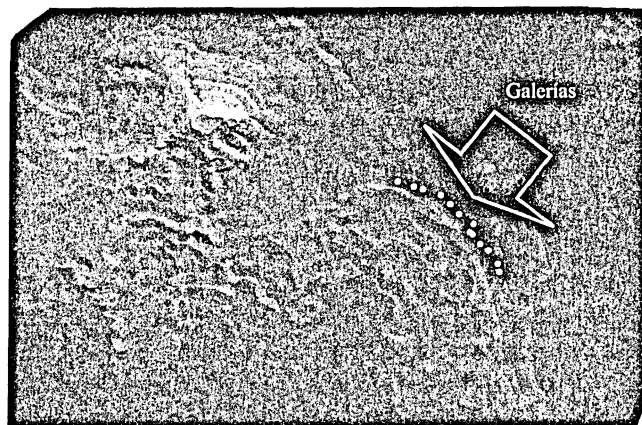


FIGURA 8.
Posición geográfica relativa de las galerías de drenaje.

La construcción de las galerías se empezó desde 1995, y se ha llevado por parte de la alcaldía de Fredonia un registro diario del caudal evacuado en ellas, simultáneamente con un registro diario de precipitación medida en un pluviómetro ubicado en su sede.

Por ser construidas en un medio particularmente húmedo (en algunas zonas específicas), algunas galerías tienen fuerte tendencia a derrumbarse en techos y paredes. Por este motivo, muchas veces, en los aforos de las galerías, se encuentran vacíos de semanas o meses, o incluso algunas galerías han sido cerradas definitivamente, cancelando el registro diario.

Los registros diarios de aforos y de precipitación fueron facilitados a los autores de este artículo por la alcaldía municipal. Se compararon 2 periodos de 6 meses de duración para cada punto de medida: un periodo lluvioso y uno seco, considerando la entereza de los datos. Se seleccionó como periodo lluvioso, los 6 primeros meses del año 2000, y como periodo seco, los 6 primeros meses del año 2001.

Se graficaron simultáneamente los datos de caudal y precipitación diaria en la galería La Pianola (Figuras 9 y 10), que representa bien el fenómeno que ocurre en el resto de las galerías.

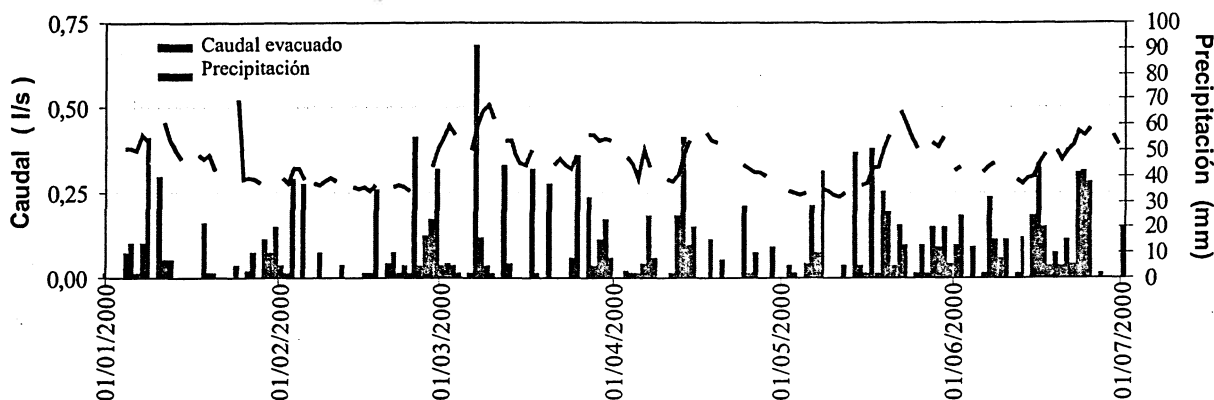


FIGURA 9.
Galería La Pianola. Comparación de las series diarias de caudales evacuados y precipitación en un periodo relativamente húmedo.

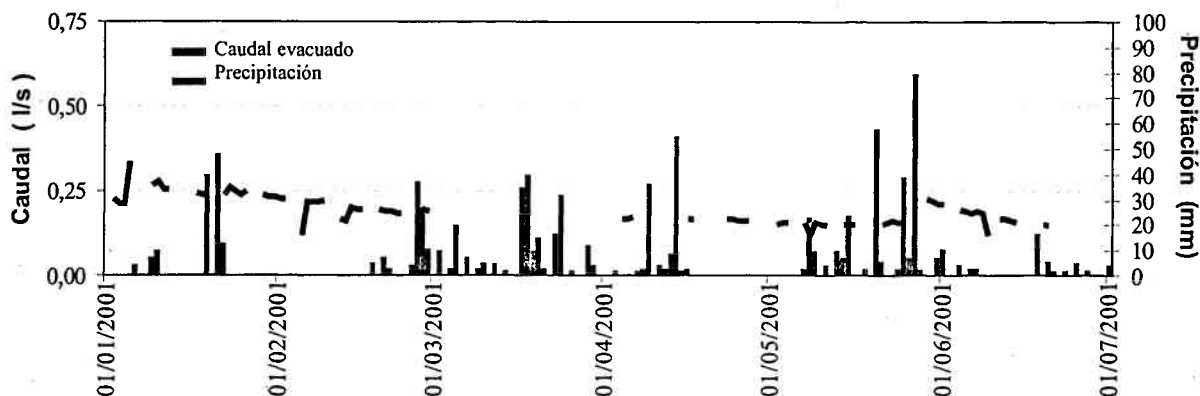


FIGURA 10.

Galería La Pianola. Comparación de las series diarias de caudales evacuados y precipitación en un periodo relativamente seco.

Las líneas punteadas corresponden a los fines de semana en los cuales no se toman registros. En las gráficas puede verse claramente la relación entre períodos lluviosos y caudales producidos por las galerías. Hay dos observaciones muy importantes que resultan del análisis de las curvas de caudales evacuados:

- Nunca, ninguna galería, cesa la captación de agua; es decir, la evacuación de agua es continua incluso en periodos secos. En el caso de los derrumbes, al interior de las galerías, no hay caudal evacuado, ya que el material acumulado obstaculiza el paso del agua, mostrando caudales aparentes de cero. Esta observación indica que el agua que se evacua por las galerías no proviene solamente de la escorrentía subsuperficial directa en el cerro, sino que hay una zona de recarga aportando agua continuamente. De las curvas de caudal evacuado en tiempo seco (los primeros seis meses del año 2001) se calculó el “caudal base” para cada galería, similarmente a como se haría con cualquier drenaje superficial. Los resultados se muestran en la Tabla 1.
- El tiempo de rezago entre un evento de lluvia y su correspondiente evacuación por las galerías es de un día, o en algunos casos 2 o 3.

TABLA 1.

“Caudales base” de las galerías de drenaje.

Nombre	Caudal base (l/s)
Galería La Pianola	0,15
Galería 4	0,10
Galería 6	0,10
Galería 8	0,10
Galería La Chiquitica	0,05
Galería 10	0,30
Galería El Tanque	0,05
Galería 11	0,05
Galería 12	0,03
Galería 13	0,05
Galería 14	0,08
Galería 15	0,25
Perforación Mi Casita #3	0,30
Perforación Efe Gómez	0,05
Perforación San Francisco	0,15

7. CIRCULACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Según se observó en campo, al interior de todas las galerías de drenaje en el Cerro Combia, el agua no circula por estratos permeables, sino por sistemas de diaclasas, fracturas y fisuras; es decir, la permeabilidad primaria del macizo es muy baja y hasta nula en algunas zonas, mientras su permeabilidad secundaria es alta. Los caudales pueden variar desde un simple goteo hasta casi medio litro por segundo en algunas fracturas específicas. El espaciamiento de estos focos de humedad es variable (entre 1 y 20 m aproximadamente). En la mayoría de las ocasiones no es una fractura aislada la que evacua el agua, sino que se encuentra agua en una fractura principal y sus adyacentes (en un diámetro de 50 cm en promedio), a manera de pequeños enrejados. Sin embargo, hay variaciones muy importantes en la conductividad hidráulica de los diferentes materiales que componen el macizo, vitales para entender el fenómeno, que se explican a continuación.

La circulación del agua subterránea depende directamente de la densidad de fracturas en el material, la cual está a su vez directamente relacionada con sus propiedades mecánicas. Mientras en el bloque medio (más blando) la densidad de fracturas es alta y se evacua gran cantidad de agua, en el bloque inferior (más duro) no existen diaclasas y prácticamente ninguna fractura y no se encontró allí ningún brote de agua. Este bloque puede actuar como una capa impermeable, impidiendo que el agua descienda a través de él. Esto sería particularmente grave (desde el punto de vista de deslizamientos) si el buzamiento del contacto entre los bloques fuera en sentido del pueblo (hacia el este), ya que toda el agua evacuaría precisamente en esa dirección desestabilizando el macizo, pero afortunadamente, el buzamiento es en sentido contrario al pueblo (hacia el oeste) impulsando al agua a evacuar hacia la parte interior.

El agua lluvia evacuada de las galerías se infiltra por el bloque superior que actúa como zona de recarga, lo que implica que tiene alguna permeabilidad primaria.

Sin embargo, el mecanismo principal de circulación del agua son las fracturas, por lo que se deduce que la dirección de circulación del agua dependerá del rumbo preferencial de fracturamiento en combinación con la capacidad de dicho fracturamiento para transportar el agua. El análisis de estos dos factores se resume en el método de los diagramas estadísticos (polares y de rosetas) hidráulicos de frecuencia de fracturamiento para análisis hidroestructurales (Chica, 1984). El método considera no solo rumbo y buzamiento de cada estructura, sino que también asigna un peso estadístico hidráulico a cada una, midiendo su continuidad, abertura, densidad y rugosidad. Combinando todos estos factores se obtiene una ecuación para fijar un peso estadístico a cada familia de discontinuidades, y se obtienen los gráficos polar y de rosetas, mostrados en la Figura 11. Como se puede apreciar en estas figuras, alrededor de las galerías el macizo presenta una conductividad hidráulica concentrada en sentido NW – SE, y en estructuras subverticales, en concordancia longitudinal con el rumbo del flanco del cerro en la zona de las galerías, donde se tomaron los datos, hecho que se corrobora al sobreponer el modelo de elevaciones del terreno y el diagrama de rosetas y ver su concordancia en la Figura 12.

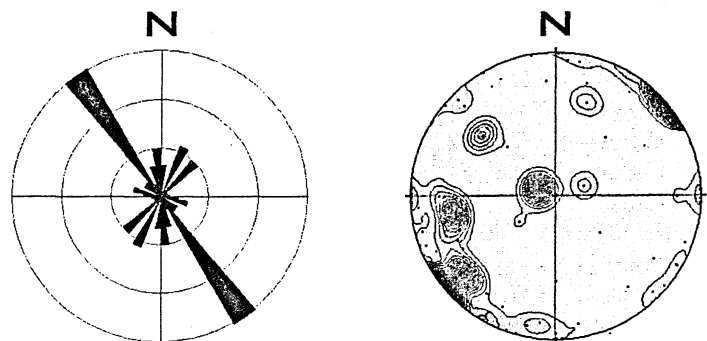


FIGURA 11.

Diagrama polar y roseta de rumbos de la conductividad hidráulica en las familias de diaclasas y estructuras predominantes cartografiadas al interior de las galerías de drenaje del Cerro Combia.

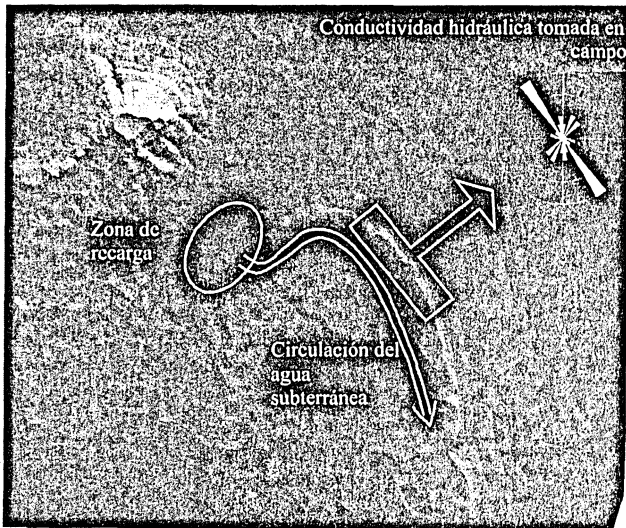


FIGURA 12.

Detalle de la zona de estudio, con la interpretación de la conductividad hidráulica en Cerro Combia. Nótese la concordancia entre la geoforma y la roseta de direcciones.

Como se dedujo del análisis de las series de precipitaciones y caudales evacuados, el drenaje de agua por las galerías es permanente, incluso en verano, indicando la existencia de un medio o sistema de recarga que le provee un “caudal base” a las galerías. Teniendo en cuenta que la conductividad hidráulica del macizo en la zona de las galerías (alrededores de Fredonia) tiene un marcado sentido NW – SE, el patrón de fracturamiento mostrado anteriormente en la Figura 7, y la estratificación que presenta una ligera inclinación o buzamiento hacia el sur, se deduce que la zona de recarga estaría ubicada hacia el norte; y siguiendo la ruta que el agua debe seguir, la zona de recarga más probable sería entonces el espacio entre Cerro Combia y Cerro Bravo, formado por depósitos de vertiente. Obsérvese nuevamente la Figura 12.

8. ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES ACUMULADAS Y PLAN DE EMERGENCIAS

En el municipio de Fredonia, debido a la grave amenaza que representan los movimientos en masa provenientes de Cerro Combia, fue creado por el Ingeominas (1996) un “Plan general de preparación para emergencias por deslizamientos”. Este plan se basa en la medición de la precipitación, ya que ésta es la única herramienta disponible actualmente para tratar de anticipar el deslizamiento. Los estados de alerta se definen con la precipitación acumulada en uno, dos o tres días. A cada rango de tiempo de acumulación se le asignó un umbral de lluvia máximo para cada estado de alerta. El modelo del plan de Alertas según la precipitación acumulada se puede resumir en la Tabla 2.

TABLA 2.

Indicadores de los estados de alerta por deslizamientos en el municipio de Fredonia.

Precipitación acumulada durante	Alerta I	Alerta II	Alerta III
	Blanca	Amarilla	Naranja
1 día	Durante la temporada invernal	80 mm	90 mm
2 días		110 mm	120 mm
3 días		160 mm	160 mm

Este modelo es comparable al de Vélez et al (2002) quienes propusieron un modelo de gráficos bidimensionales de lluvia antecedente acumulada en 2 periodos diferentes. Los gráficos con este modelo correspondientes a la zona de estudio se presentan en la Figura 13.

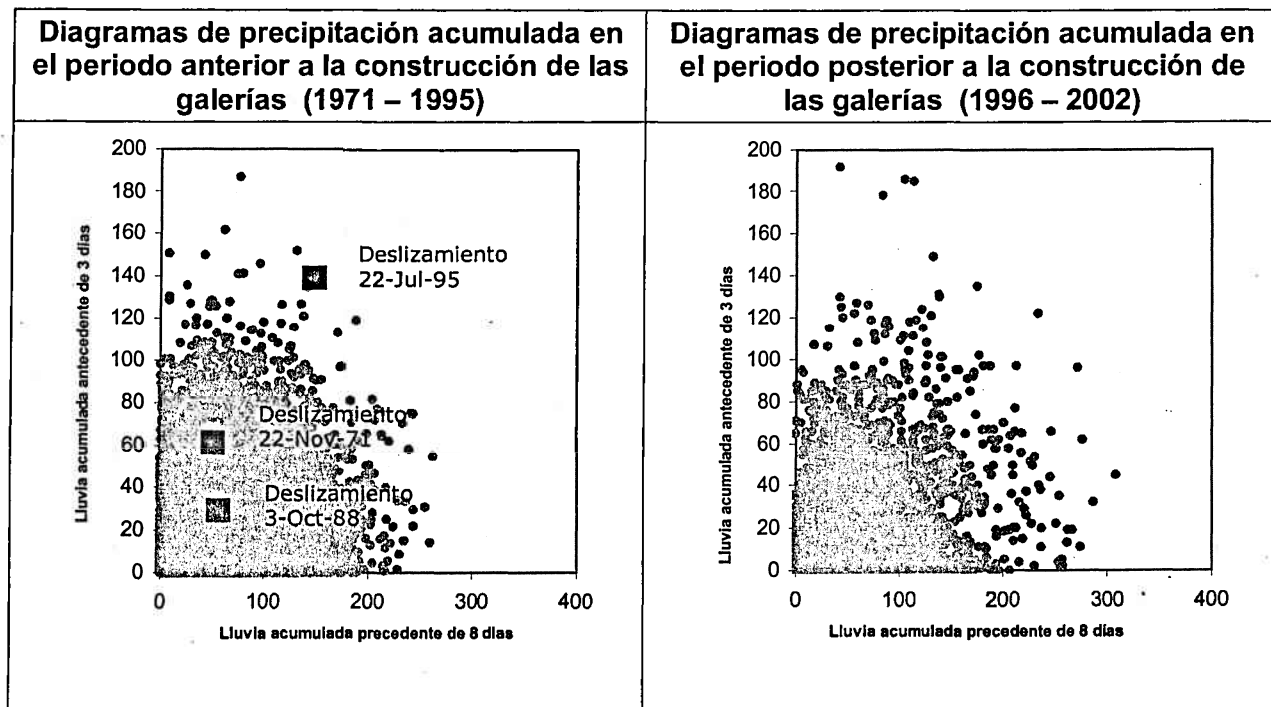


FIGURA 13.

Diagramas de precipitación diaria acumulada histórica en Fredonia. Puntos en gris: días sin deslizamientos.

Analizando los gráficos de precipitación, se encuentra que dos de los deslizamientos corresponden a periodos de precipitación “normales”, y solo permitiría medidas de prevención. Es decir, el actual sistema de alarma no serviría de aviso para los dos casos, que corresponden a los eventos del 1 de noviembre de 1971 y 3 de octubre de 1988. Debe anotarse que en esas fechas no existían galerías de drenaje, las que probablemente habrían evitado o mitigado ambos eventos. Parecería acertado dar una alerta cuando se superan los 160 mm de precipitación en 3 días, ya que esta es una lluvia muy fuerte y fácilmente podría inestabilizar parte del macizo.

Es muy probable además, que estos deslizamientos no hallan sido producidos solamente por la precipitación directa sino que hayan intervenido otros factores disparadores, relacionados muy probablemente con el manejo de agua por parte de la comunidad vecina al Cerro, o la creación de obras civiles en zonas críticas. Por lo tanto, conviene reevaluar el método actual de preparación para emergencias.

Las galerías de drenaje bajan los niveles freáticos, aunque no es posible cuantificar en qué medida. Sin embargo, ya que se ha identificado una zona de recarga hacia el norte, que hace que el agua circule a lo largo del Cerro, es preferible captarla antes de que llegue a la ladera inestable, mediante galerías de drenaje o perforaciones subhorizontales de la mayor longitud posible, creando una cortina de drenajes que evite que el agua subterránea llegue a dicha ladera.

Para análisis más confiables de la circulación del agua, sería ideal la instalación de al menos 4 piezómetros, cubriendo la ruta de circulación del agua de norte a sur. Estos piezómetros, además de indicar si las nuevas obras (a construir) cumplen su objetivo de bajar el nivel freático, contribuirían a la determinación de los estados de alerta para emergencias.

La ubicación de las galerías de drenaje y piezómetros recomendados se muestra en la Figura 14.

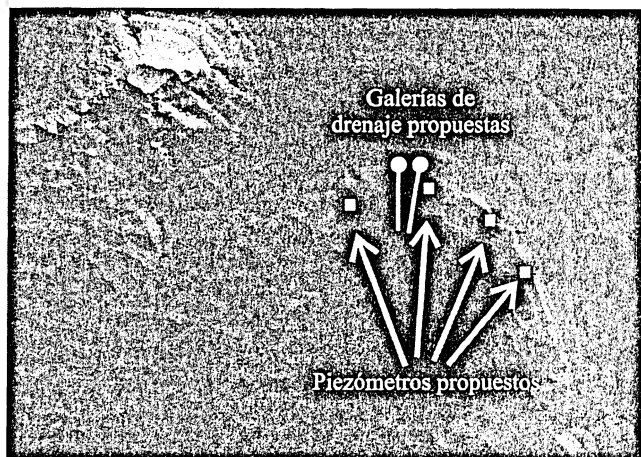


FIGURA 14.
Galerías de drenaje y piezómetros recomendados

9. CONCLUSIONES

El agua subterránea que circula al interior del Cerro Combia en el flanco oeste del municipio de Fredonia proviene en parte de infiltración directa de aguas lluvias en el Cerro, y en parte de la alimentación por parte de una zona de recarga, ubicada al norte de la zona de estudio. El sentido de circulación del agua, tiene en la franja que cubre al municipio, una dirección NNW–SSE.

El tiempo de rezago entre un evento lluvioso y la evacuación del agua infiltrada va desde uno hasta tres días, lo cual es considerado muy poco tiempo cuando la estabilidad del macizo puede depender de la cantidad de agua subterránea que a través de él circula.

Las actuales galerías de drenaje cumplen su función de evacuación de aguas subterráneas aliviando las presiones de poros al interior del macizo, sobre todo cuando se trata de la evacuación de aguas lluvias. Sin embargo, ya que se ha identificado una zona de recarga de aguas subterráneas hacia el norte, es preferible la captación de esta agua mediante nuevas galerías o perforaciones antes de que llegue a la ladera inestable. Igualmente sería ideal la instalación de una red de piezómetros para el monitoreo de los niveles freáticos al interior del Cerro.

El actual plan de estados de alerta para riesgo de deslizamientos en el municipio de Fredonia está diseñado a partir de datos de precipitación y estos no explican totalmente la circulación de agua al interior del Cerro.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Chica, A. 1984. Análisis de estructuras geológicas. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Grosse, E. 1926. Estudio geológico del terciario carbonífero de Antioquia en la parte occidental de la cordillera central de Colombia entre el río Arma y Sacaojal. Dietrich Reimer, Alemania.
- INGEOMINAS. 1996. Determinación de estados de alerta para emergencias por deslizamientos caso Fredonia (Antioquia). 7 Congreso colombiano de geología. Bogotá.

Mejía, M. 1985. Geología del Cerro Combia y áreas vecinas. Ingeominas, Medellín.

Sanear Ltda., 1989. Evaluación de riesgos naturales en el municipio de Fredonia, Antioquia. Medellín.

Vélez, M. V.; Montoya, J. D.; Moreno, H. A.; Rhenals, R. L.; Polanco, C. 2002. La lluvia y su influencia sobre los deslizamientos en el departamento de Antioquia, Colombia. XV Seminario nacional de hidráulica e hidrología, Medellín.

