

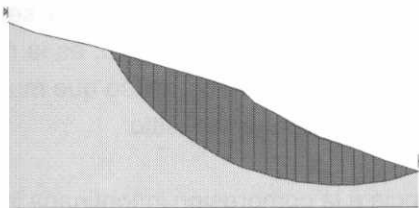
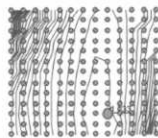
#### 4. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA LADERA NATURAL

Para la ejecución del análisis de estabilidad de la ladera natural se ha utilizado la base topográfica presentada por Estrada (1993). Se ha seleccionado un perfil topográfico perpendicular a la orientación de las discontinuidades más desfavorables y a las curvas de nivel del terreno. Debido a que no se conoce con certeza la ubicación de la superficie freática, se ha realizado el análisis considerando la condición de flujo de agua subterránea número 1 de Hoek y Bray (1981), es decir una ladera natural completamente drenada.

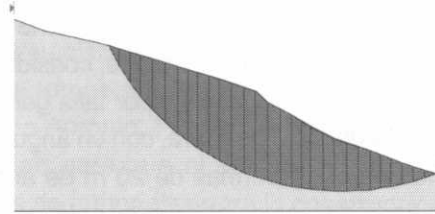
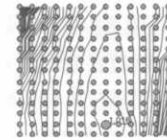
Bajo esta condición el factor de seguridad de la ladera natural, según el método de análisis, se puede observar en el cuadro 2 y la figura 5. Los tres factores de seguridad se encuentran muy cercanos a la unidad, lo cual indica que la ladera se encuentra en una condición precaria de estabilidad, esto considerando la ladera como completamente drenada. Si se considera otra situación para el agua subterránea, con certeza los factores de seguridad pueden alcanzar valores incluso inferiores a la unidad.

Cuadro 2: Factores de seguridad de la ladera natural según el método de análisis.

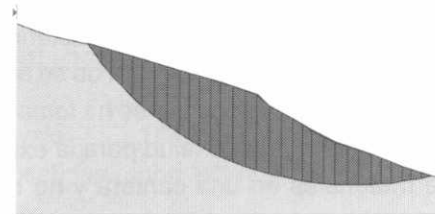
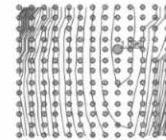
Método de análisis	Factor de seguridad
Ordinario o de Fellenius	1.033
Simplificado de Bishop	1.096
Simplificado de Jambu	1.016



Ordinario o de Fellenius: se desprecian las fuerzas entre dovelas



Simplificado de Bishop: las fuerzas resultantes entre dovelas son horizontales. No se consideran las fuerzas de corte entre dovelas



Simplificado de Jambu: las fuerzas resultantes entre dovelas son horizontales. Se utiliza un factor de corrección empírico para considerar las fuerzas de corte entre dovelas

Fig. 5 Análisis de estabilidad de la ladera natural, utilizando los métodos: Ordinario o de Fellenius, Simplificado de Bishop y Simplificado de Jambu. Escala vertical y horizontal: 1:2000. Perfi: N57°E

Durante el trabajo de campo se encontraron evidencias de que la ladera se encuentra en un proceso de desestabilización acelerado, esto debido a la tala de la vegetación y a la extracción de materiales utilizando cortes verticales. Se observan grietas y escarpes de 0.5 a 1.0 m de altura y que establecen la posibilidad de un deslizamiento de grandes proporciones, el cual puede involucrar las propiedades vecinas y poner en peligro las tomas del acueducto de la comunidad de San Antonio.

## 5. ESTABILIZACIÓN DE LA LADERA MEDIANTE EXPLOTACIÓN DEL MATERIAL Y MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El talud propuesto por Estrada (1993) para la explotación del material ha sido analizado, considerando rupturas por las diaclasas y por falla general. Este talud es de 10 m de altura, con un ángulo de inclinación de  $60^\circ$  y bermas de 20 m de ancho. Esta configuración es estable por sí sola, pues el factor de seguridad calculado para rupturas por las diaclasas es de 2.356 y para ruptura general de 2.444 (Fig. 6). Por otra parte, si se considera el empleo de esta configuración para toda la ladera, se puede producir una falla generalizada del talud, pues el factor de seguridad sería inferior a 1.0.

Se han realizado varios diseños para tratar de elevar el factor de seguridad, considerando la remoción de material y el drenaje del agua subterránea. El diseño que presenta características aceptables desde el punto de vista de su estabilidad es el de la figura 7, donde se ha tomado en cuenta que se trata de un talud para la explotación de materiales en una cantera y no representa una amenaza alta desde el punto de vista de pérdida de vidas y pérdidas económicas. El factor de seguridad es de 1.20, considerando que el agua subterránea se debe mantener, al menos, en la posición sugerida por el autor (Fig. 7).

Para ejecutar esta obra de estabilización se debe considerar que los trabajos involucran, al menos, una distancia de 50 m en la propiedad colindante al suroeste y el estudio de las condiciones del agua subterránea para el diseño de las obras de drenaje apropiadas. Dentro de las posibles soluciones para el drenaje se pueden contemplar las galerías de infiltración, los drenajes subhorizontales y los pozos.

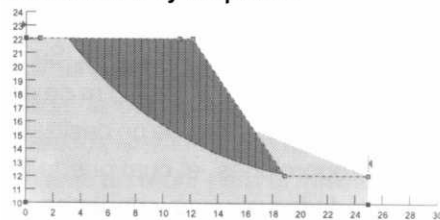


Fig. 6 Perfil: N57°E. Factor de seguridad mínimo: 2.444 (Simplificado de Bishop)

Factor de seguridad mínimo: 1.20  
Método: Simplificado de Jambu

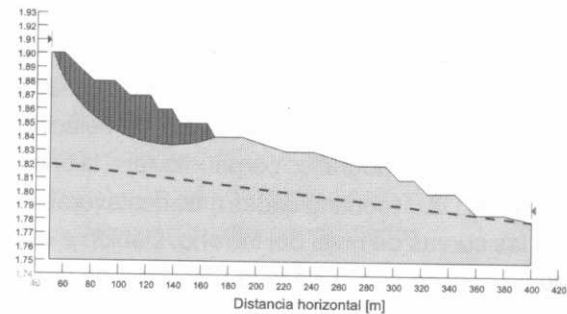


Fig. 7 Perfil (N57°E) de estabilización propuesta

## 6. BENEFICIOS DEL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN DE LA LADERA

La estabilización de la ladera estudiada evitaría que el proceso involucre más área, en los alrededores del sitio y además, se eliminaría la amenaza de destrucción de las tomas del acueducto de la comunidad de San Antonio. Por otro lado, si se considera la resistencia a la compresión inconfiada del material (104 MPa) y que el mismo se encuentra intensamente fracturado, se abre la posibilidad para que sea utilizado como material de construcción, o como agregado de concreto y asfalto.

La modificación del perfil de la ladera involucra un área de 5300 m<sup>2</sup> por metro lineal. Si se considera que el tramo por estabilizar tiene 250 m de largo, entonces se puede hablar de un volumen explotable aproximado de 1325000 m<sup>3</sup>. Ahora bien, si el precio del material en banco se considera como de ¢ 300 por metro cúbico, quiere decir que se cuenta potencialmente con ¢ 397.5 millones para ser extraídos.

## 7. CONCLUSIONES

La falla de desplazamiento de rumbo, que se localiza adyacente al área de estudio, es la responsable del fracturamiento intenso que muestran las rocas silisificadas del sitio.

La resistencia a la compresión inconfiada indica que la roca intacta posee una resistencia alta, mientras que el Índice de Calidad de la Roca (RQD) es característico de macizos rocosos de

calidad muy pobre. Lo anterior conduce a considerar que la cohesión del macizo es menor de 100 kPa y su ángulo de fricción interna es menor de 15°?

El macizo rocoso presenta cuatro sistemas de discontinuidades, con espaciamentos muy cortos y orientados desfavorablemente, lo cual lo torna sumamente susceptible a presentar fenómenos de deslizamiento. Cualquier corte vertical en este macizo producirá problemas de estabilidad, debido a la orientación (a favor de la pendiente) y ángulo de buzamiento (58°) de uno de sus sistemas de discontinuidades.

El factor de seguridad de la ladera se encuentra muy cercano a la unidad, lo cual indica que la misma posee una condición precaria de estabilidad, esto considerandola ladera como completamente drenada. Si se toma en cuenta otra situación para el agua subterránea, con seguridad los factores de seguridad pueden alcanzar valores incluso inferiores a la unidad. Durante el trabajo de campo se encontraron evidencias de que la ladera se encuentra en un proceso de desestabilización acelerado, esto debido a la tala de la vegetación y a la extracción de materiales utilizando cortes verticales, además se ha establecido la posibilidad de un deslizamiento de grandes proporciones, el cual puede involucrar las propiedades vecinas y poner en peligro las tomas del acueducto de la comunidad de San Antonio.

El factor de seguridad de la ladera modificada es de 1.20, considerando que el agua subterránea se debe mantener en la posición sugerida por el autor. Para ejecutar esta obra de estabilización se debe considerar que los trabajos involucran, al menos, una distancia de 50 m en la

propiedad colindante al suroeste y el estudio de las condiciones del agua subterránea para el diseño de las obras de drenaje apropiadas.

La estabilización de la ladera evitaría que el proceso involucre más área, en los alrededores del sitio y se eliminaría la amenaza de destrucción de las tomas del acueducto de la comunidad de San Antonio. Por otro lado, se abre la posibilidad para que el sitio sea utilizado como fuente de materiales para la construcción, o de agregados de concreto y asfalto.

Se puede decir que el volumen de material explotable comprende aproximadamente 1325000 m<sup>3</sup> y si el precio del material en banco se considera como de ₡ 300 por metro cúbico, quiere decir que se cuenta potencialmente con ₡ 397.5 millones para ser extraídos. La suma anterior justifica financieramente la ejecución de las obras de estabilización.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Bieniawski, Z.T., 1989: Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley & Sons. New York. 251 p.p.

Denyer, P. y Arias, O., 1991: Estratigrafía de la región central de Costa Rica. Revista Geológica de América Central, 12: 1-59 p.

Estrada, E., 1993: Programa inicial de explotación, informe técnico-financiero. Geología-Evaluación, Exp. 2327. Informe inédito. 16 p.

Hoek, E. & Bray, J.W., 1981: Rock Slope Engineering. The Institution of Mining and Metallurgy. Revised third edition. London. 358 p.p.