

Preservación de Bosques de Ladera.

Una garantía para la durabilidad de obras públicas.

Héctor Parra - Ferro. Ingeniero Civil, Uniandes.

Resumen.

Los bosques nativos de ladera en zonas tropicales como las Cordilleras Colombianas, ejercen un papel crucial en la estabilidad de laderas y en el control de la erosión.

Los valores culturales del colombiano, en el cual la tala de bosques se equipara a conquistar el territorio y abrirse camino en la vida, es en algunas laderas de cierta conformación de suelos, un factor de degradación irreversible de grandes zonas con deslizamientos de tierra y deslaves. Si además, como ocurre por lo general, estos se ubican alrededor de obras públicas como las carreteras, afectan en grado permanente tramos de la infraestructura e inciden de manera importante en factores económicos como la suspensión del tráfico de carga y la inversión de grandes sumas de recursos en la atención del restablecimiento del tráfico mediante la construcción de obras costosas de emergencia.

La ocurrencia de deslizamientos superficiales, o deslaves, está asociada directamente con el cambio de uso de la tierra en zonas de alta pluviosidad, alta pendiente y gruesas capas de suelo residual o con cenizas volcánicas.

La aniquilación del bosque de lluvia por cultivos de cualquier estilo, principalmente, maíz, cana, arracacha, yuca o pastos, deja a la ladera en una situación extremadamente vulnerable a la saturación, la erosión, el impacto directo de la lluvia y la pérdida del refuerzo estructural del sistema radicular del bosque en el balance de fuerzas de estabilidad de la ladera.

El análisis de estabilidad de las laderas mencionadas involucra al bosque de lluvia Como un componente clave en el equilibrio de fuerzas resistentes al deslizamiento, además de proporcionar al suelo de la ladera una coraza protectora contra el impacto directo de la lluvia y la saturación del suelo.

Luego de observar y analizar casos reales de carreteras afectadas por esta problemática, se concluye en este artículo que no detener estos procesos, como son la erosión y la degradación de los suelos y laderas representa una cadena de empobrecimiento y de permanencia del subdesarrollo.

Se presentan en el artículo casos concretos observados en el tramo de la Línea en la carretera Ibagué - Armenia, en donde los suelos superficiales de las laderas tienen un alto contenido de cenizas volcánicas y en la cuenca del Río Trompetas donde se ubica la Casa de Máquinas de la Central Hidroeléctrica del Guavio. Del análisis geotécnico se pasa a mencionar las implicaciones sociales de la degradación de los suelos, y lo que esto significa como un proceso de empobrecimiento permanente.

1. Introducción

El bosque de lluvia como protector de la erosión.

En zonas de alta pluviosidad como es la mayor parte del territorio montañoso de Colombia, la Naturaleza ha desarrollado mecanismos de protección contra la pérdida de suelos. Si esta pérdida ocurre, las coberturas de las laderas se pierden, y con ellas la capacidad de los suelos y bosques de almacenar agua y amortiguar crecientes. En este proceso de degradación de laderas se colmatan los ríos y deltas con grandes volúmenes de sedimentos.

El bosque de lluvia como guardián de las fuentes de agua.

En las cabeceras de las corrientes de agua, el bosque de lluvia no solo protege contra la erosión y la pérdida de suelos, sino que además crea dentro del soto bosque las almohadillas de musgos y líquenes que son verdaderas esponjas que almacenan el agua y amortiguan las crecientes.

El bosque de lluvia como factor estabilizador de laderas.

En grandes áreas de las cordilleras colombianas, las pendientes laderas están recubiertas de bosques de lluvia como el resultado de un proceso natural de protección de los suelos y de hacer de la gran pluviosidad propia de la quebrada topografía tropical colombiana un proceso sostenible en el cual la degradación de las laderas ocurre de una manera ocasional y no permanente. El bosque de lluvia actúa como protector de las laderas, como si fuera la piel de la tierra protagonizando los siguientes procesos:

- ❖ Amortiguador de la energía de la lluvia.
- ❖ Almacenador de agua en los musgos
- ❖ Amortiguador de crecientes, y una función muy importante,
- ❖ Aporte de fuerzas de estabilidad a los suelos superficiales.

Por el mismo origen tropical de nuestros suelos y la intensa intemperización del trópico, la mayoría de laderas se caracterizan por tener unas capas muy gruesas de suelos residuales, en otros casos capas muy definidas de cenizas volcánicas, e inclusive una combinación de las dos anteriores, lo cual vuelve a la ladera extremadamente vulnerable ante la inestabilidad de estos estratos superficiales, sobretodo si el bosque de lluvia es eliminado a cambio de cultivos de pasto, maíz, caña, arracacha u otros.

En este caso, el fenómeno de la erosión se confunde con el de la estabilidad de laderas, ya que si se define como erosión, se trata de una erosión de grandes volúmenes y espesores de suelos y si se define como inestabilidad, se trata de una inestabilidad de masa de tipo planar con espesores pequeños de la masa deslizada. En algunos casos se ha utilizado el término "deslave" para no equipararlo a un proceso erosivo ni a un proceso de inestabilidad de masa, pero en realidad el fenómeno encaja en ambos conceptos.

El hecho que se puede observar en las cordilleras colombianas es que las laderas vírgenes, por más suelo residual o más cenizas volcánicas que contengan superficialmente, son estables aun en los más crudos y duraderos inviernos. Porque? Gracias al bosque de lluvia. Este no solo le quita la energía a la lluvia directa, responsable de la iniciación de procesos erosivos, sino que evita la saturación del suelo y aporta las fuerzas necesarias para que la ladera sea estable ante las fuerzas de gravedad.

2. Procesos erosivos

Resumamos lo que los tratadistas han definido como los principales procesos erosivos.

❖ Golpe de la lluvia sobre el suelo.

El impacto directo de una gota de lluvia sobre el suelo, desprende partículas de suelo que seguidamente son arrastradas por la corriente que se ha acumulado en una ladera ante la acción de una lluvia intensa.

La energía de la gota de lluvia que cae libremente sobre la superficie del terreno es como 10 veces mayor que la energía de la gota que cae en el suelo si el bosque de lluvia ha amortiguado la caída libre.

Algunos ejemplos se transcriben en la tabla siguiente. (Ref. 8)

Tamaño de gota	Altura de caída	Energía relativa (Kg ² /m-seg)
5mm	0.5 m	0.6
5mm	2 m	2.2
5mm	> 13 m	5.4
6mm	0.5 m	0,9
6mm	> 13 m	9,5

En el bosque de lluvia, de ladera, el tamaño de las gotas que impactan finalmente al suelo, resulta de pequeño tamaño ya que las gotas van rodando de hoja en hoja y el resultado final de lo que cae al suelo es un rocío, al contrario de los bosques húmedos tropicales de zonas planas en donde las gotas que llegan al suelo pueden ser de tamaño mayor a las de la lluvia por haberse acumulado en las hojas. El efecto erosivo de estas puede ser mayor, pero en ausencia de pendiente el efecto final no es de erosión sino de encharcamiento.

❖ Saturación del suelo.

Si la intensidad y duración de la lluvia son altas, y logran desarrollar la saturación del suelo en ausencia del bosque de lluvia, se puede generar una falla por esfuerzo cortante de espesores grandes de suelo. La intervención antrópica, principalmente los caminos y carreteras pueden generar canales de saturación para lo cual puede no ser estable una ladera en su condición natural.

❖ **Erosión superficial.**

Se define como aquella que está constituida por la migración de partículas de suelo en la superficie del terreno.

❖ **Erosión profunda o deslave.**

En este caso una capa de suelos es removida intempestivamente, por acción de una intensa lluvia. El deslave puede interesar desde algunos centímetros hasta varios metros de los suelos superficiales dependiendo de su conformación.

Procesos erosivos profundos.

El proceso erosivo profundo o deslave, moviliza masas importantes de suelo y por lo tanto el balance de fuerzas que desencadena la inestabilidad se puede equiparar a un proceso de inestabilidad de masas.

3. Balance de fuerzas de estabilidad.

En una ladera conformada por rocas competentes, la inestabilidad de los suelos superficiales se puede analizar con la ecuación (1), en donde las fuerzas resistentes al deslizamiento se oponen a las fuerzas de gravedad que promueven la inestabilidad. El factor de seguridad resultante es cercano a 1, ya que la naturaleza es muy eficiente y no derrocha energía en sus procesos naturales.

$$F.S. \geq \sim 1 = \frac{\text{Fuerzas resistentes a la falla}}{\text{Fuerzas que promueven la falla}} \quad (1)$$

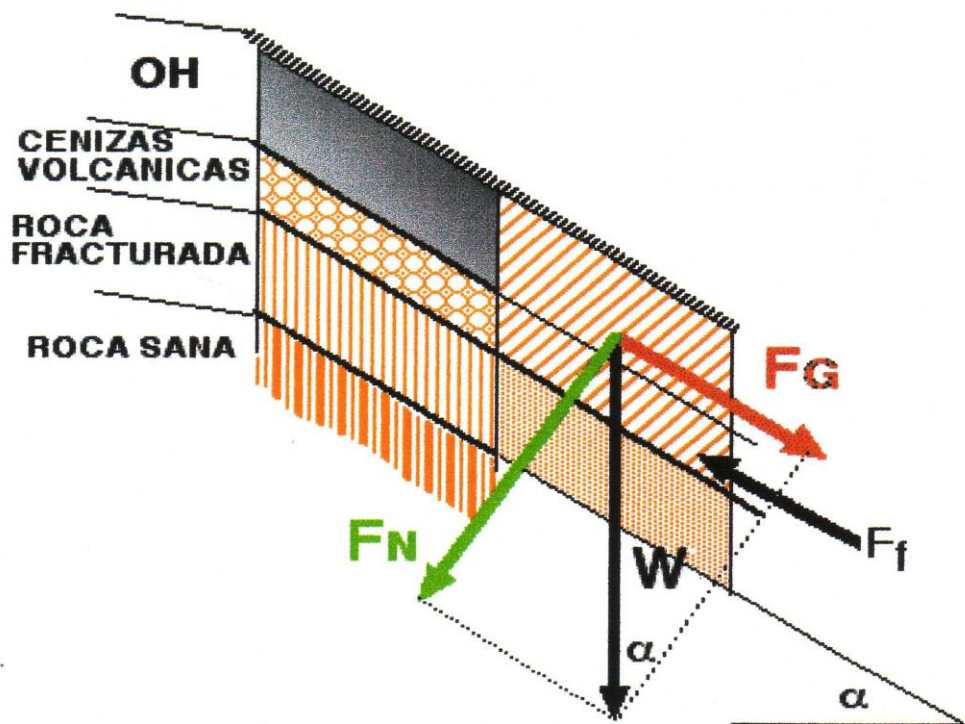
En laderas con gruesas capas de suelos residuales y cenizas volcánicas, lo que se observó es que la ecuación anterior se convierte en:

$$F.S. \geq \sim 1 = \frac{\text{Fuerzas resistentes a la falla + fuerzas que aporta el bosque de lluvia}}{\text{Fuerzas que promueven la falla}} \quad (2)$$

Pero, qué tan importante puede ser el aporte de fuerzas de la vegetación en un sistema de balance de fuerzas de un talud?. El caso de la carretera Ibagué Armenia, en el sitio La Paloma (Ref. 2 y 3), es uno de los ejemplos más claros de cómo el bosque de lluvia es definitivo en la estabilidad de cierto tipo de laderas.

Esto demuestra que el principal detonante en el deslizamiento, que tantas pérdidas produjo en su momento, es precisamente la aniquilación del bosque de lluvia natural, y su cambio por cultivos de cualquier índole.

Se presenta a continuación una idealización simplificada de la situación del deslizamiento del sitio La Paloma, (Ref. 2 y 3) suponiendo 0 de cohesión al estrato de cenizas como fue la observación hecha en el sitio del derrumbe.



$$F_G = W \sin \alpha \quad \text{y} \quad F_N = W \cos \alpha$$

$$F_f = F_N \tan \varnothing \quad \text{y} \quad \text{F.S.} = F_f / F_G \quad \text{y} \quad c = 0$$

$$\text{F.S.} = \frac{F_N \tan \varnothing}{W \sin \alpha} = \frac{W \cos \alpha \tan \varnothing}{W \sin \alpha}$$

$$\Rightarrow \boxed{\text{F.S.} = \frac{\tan \varnothing}{\tan \alpha} \geq 1 \quad \text{solo si } \varnothing \geq \alpha}$$

W = Peso de la masa deslizada (achurada) F_f = Fuerzas resistentes al deslizamiento en la superficie de falla.

El ángulo α tiene un valor de 50° en el sitio La Paloma (Ref 3), lo cual hace imposible que el factor de seguridad al deslizamiento sea mayor que 1, ya que según la observación hecha en el sitio, ϕ no es mayor que 50° , y dado que el bosque de lluvia no existe ya en este sitio y no puede aportar las fuerzas estabilizadores que aportaba.

En investigaciones realizadas (Ref. 9) se ha demostrado que el bosque de lluvia puede aportar hasta un 30% de las fuerzas resistentes al deslizamiento, convirtiéndose de esta manera en una necesidad de las laderas para mantener el equilibrio de sus suelos superficiales.

El aporte del bosque de lluvia, no solo radica en la amortiguación de la energía cinética de la lluvia directa sobre el suelo, sino en el aporte de fuerzas resistentes en la superficie de falla con las raíces de los árboles y arbustos. De ensayos de resistencia realizados a distintas maderas y raíces, se ha comprobado que la resistencia a la tracción de la madera fluctúa entre 300 y 1700 kg/cm², y la resistencia al corte de las mismas puede tomar valores entre 300 a 600 kg/cm². (Ref. 7, 8 y 9). También se mencionan en estas investigaciones, altos valores de resistencia al "arrancamiento" de las raíces, las cuales nunca fallan limpias sino que se traen una masa de suelos consigo en un proceso de arrancamiento.

Algunos analistas convierten esta resistencia de la madera en la superficie de falla a una "cohesión aparente", aunque parece más apropiado hacer un inventario detallado de diámetros, cantidad y tipo de raíces en un bosque determinado por unidad de área, y calcular el aporte de fuerzas de estabilización que proporciona el bosque al polígono de fuerzas.

No nos podemos detener solamente en el ámbito de la geotecnia para entender la trascendencia de este problema. Si nos adentramos algo más en la economía del país, en lo que implica lo que está pasando con las laderas de las cordilleras, podemos llegar a la conclusión de que allí se está generando un problema grave de empobrecimiento colectivo. En el caso de la degradación de las laderas de la cuenca del Río Trompetas, lo que se avecina, de seguir así la tendencia, es una avalancha de lodos masiva que atentaría sobre obras de infraestructura importantes como la Casa de Maquinas de la Central Hidroeléctrica del Guavio (Ref. 1 y 4)

4. Conclusiones.

- ❖ El bosque de lluvia protege las laderas de erosión, deslaves e inestabilidades superficiales.
- ❖ El bosque de lluvia aporta fuerzas claves en la estabilidad de los suelos superficiales en laderas de alta pluviosidad.

- ❖ El cambio de uso del suelo es el principal factor detonante de inestabilidades superficiales o deslaves, o profundos procesos erosivos.
- ❖ La aniquilación del bosque de lluvia en las laderas de las cordilleras colombianas es un factor detonador de una cadena de empobrecimiento para la población ya que el proceso que se desencadena incluye los siguientes factores de empobrecimiento:
 - Aniquilación del bosque de lluvia.
 - Disminución de fuerzas de estabilidad en la ladera.
 - Saturación del suelo y deslave o deslizamiento.
 - Pérdida de cultivos y pérdida irreversible del suelo.
 - Daño a las vías y degradación de las laderas.
 - Suspensión del transporte de carga pesada (ej. La Línea)
 - Necesidad de obras de emergencia costosas
 - Quiebra del campesino.
 - Pérdida para entidades crediticias del agro.
 - Inutilidad de la tierra para reuso.
 - Contaminación y colmatación de fuentes de agua.
 - Incremento en las crecientes y aceleración de la erosión
 - Empeoramiento de las condiciones para la navegación en las corrientes que reciben los sedimentos erosionados.
 - Necesidad de dragados.
- ❖ El bosque de lluvia es la piel de la tierra en las cordilleras de los Andes, y la única solución para su conservación es la compra por parte del Estado de estas tierras y su declaración como santuario ecológico o reserva forestal con el cuidado por parte de guardabosques.
- ❖ Otra solución, muy costosa, es la de hacer adecuaciones de ingeniería en las laderas intervenidas por el hombre, con obras de drenaje, obras de estabilización y manejos estructurales e hidráulicos.
- ❖ En el diseño y construcción de carreteras se debe caracterizar de una manera detallada la vulnerabilidad al deslizamiento o deslave, o erosión profunda, sobre todo ante la presencia de gruesas capas de cenizas volcánicas que se encuentran en vastas zonas de la Cordillera Central y muchos otros sitios de las Montañas de los Andes, con el fin de prevenir daños a la infraestructura y grandes pérdidas económicas por interrupciones en el transporte de carga y reparaciones de emergencia a la infraestructura.

Junio de 2004.

5. Bibliografía.

1. Estudios y Asesorías Ltda, "Informe sobre los deslizamientos de la cuenca del Río Trompetas " Diciembre de 2001.
2. Hidroconsulta Ltda. "Informe de Interventoría de obras de emergencia en el derrumbe de la Paloma, carretera Ibagué Armenia." Agosto de 2003.
3. Ingeciencias S.A. Informe # 912/03. "Deslizamiento la Paloma, carretera Ibagué Armenia", Hidroconsulta. Agosto de 2003.
4. Ingeciencias S.A. Informe # 823/01. "Deslizamientos cuenca Río Trompetas". Estudios y Asesorías Ltda. Diciembre de 2001.
5. Johnson Hugh. "The International Book of Trees", Simon and Schuster, 1973.
6. Kirby M.J. y Morgan R.P.C., "Erosión de suelos", Editorial Limusa 1984.
7. Robledo Uribe Elías y Robledo Uribe Fabio. "Resistencia de Maderas Colombianas". Antares 1953.
8. Suarez Díaz Jaime. "Control de erosión en zonas tropicales". Ediciones UIS 2001.
9. Suarez Díaz Jaime. "Deslizamientos y estabilidad en zonas tropicales". Publicaciones UIS 1998.

Junio de 2004.