



Cómo las estructuras de las plantas protegen de los deslizamientos

Ofelia Andrea Valdés Rodríguez
El Colegio de Veracruz, Carrillo Puerto no. 26, Xalapa, Veracruz. México.
Correo: ovaldes@colver.edu.mx

RESUMEN

Aunque la importancia de la cubierta vegetal para proteger al suelo contra los fenómenos naturales es reconocida, pocas veces se detallan las maneras específicas en que ésta funciona. Por tal motivo, este documento tiene como objetivos proporcionar información básica sobre la constitución física del suelo, el porqué es propenso a desgastarse, y cómo funcionan las estrategias estructurales del sistema de anclaje de diferentes plantas para mantenerse en su sitio y al mismo tiempo proteger al suelo donde se encuentran.

Palabras clave: suelos, erosión, estructuras vegetales

ABSTRACT

Although the importance of vegetation cover to protect the soil against natural phenomena is well known, the specific ways in which this works are described few times. Therefore, this document aims to provide basic information about the physical constitution of the soil, why it is prone to erode, and how the structural strategies of the anchoring system of different plants work to remain in place while protecting the soil at the same time.

Keywords: soils, erosion, plant structures

INTRODUCCIÓN

¿Por qué estudiar estructuras de tallos y raíces?

Aunque existen numerosos estudios que describen características físicas y funcionales de las plantas, tanto de forma general como específica para cada especie, la función estructural de los tallos y las raíces no es un tema que comúnmente se cubra con gran detalle en las descripciones físicas de los vegetales. Esto se debe a que los estudios sobre las propiedades mecánicas de las estructuras de los

materiales biológicos son recientes y poco comunes debido a su complejidad y a que requieren la participación conjunta de expertos en áreas muy diferentes, como son la mecánica y la fisiología vegetal (Niklas, 1992). Así que de esta interacción multidisciplinaria surge la biomecánica; rama de la biofísica que permite estudiar las propiedades de las estructuras vegetales y la manera en que estas se relacionan con su medio ambiente desde una perspectiva de los esfuerzos y las cargas soportables. Un estudio similar al que se requiere cuando se diseña un edificio o un puente. Y es que la estructura de estos órganos es sumamente

importante si se requiere conocer la capacidad de un individuo para mantenerse en su sitio cuando se enfrenta a fenómenos naturales, tales como las corrientes provocadas por los vientos, el arrastre del agua de lluvia sobre el suelo o la pérdida del suelo mismo. Por lo que esta aproximación es un primer paso hacia el manejo de la fito-remediación para resolver situaciones de pérdida de suelos o incluso la pérdida de la estabilidad superficial en las pendientes (Diaz, 1998).

Con el objeto de proporcionar información clara y sencilla que permita comprender, desde un punto de vista básico, cómo las formas y los materiales de las plantas interactúan para mantenerse en su sitio y al mismo tiempo mantener el suelo donde se encuentran, en este documento se realiza una revisión de conceptos básicos sobre los suelos, sus características físicas y la forma en que las estructuras de las plantas contribuyen a protegerlos contra la erosión y al mismo tiempo como pueden evitar la pérdida de los suelos y los deslizamientos superficiales.

Los fenómenos de pérdida de suelos y la remoción en masa

En México es muy frecuente escuchar sobre catástrofes ocurridas por pérdidas de suelos por erosión eólica o hídrica y los deslizamientos o derrumbes de tierra (conocidos también como fenómenos de remoción en masa). Estos problemas ocurren principalmente por las características de los suelos montañosos y los climas que imperan en el país. Estadísticas de los últimos 10 años indican que los deslizamientos están entre los fenómenos que causan más efectos adversos a la población, siendo los estados de Puebla, Oaxaca, Guerrero, Chiapas y Veracruz los que presentan mayores riesgos a deslizamientos (Blancas, 2013). En estos casos se considera que los factores que mayormente han contribuido al aumento de las fatalidades son los cortes transversales y el elevado número de asentamientos humanos en laderas con diversas pendientes en todo el territorio nacional (Alcántara-Ayala *et al.*, 1996); ocasionando un promedio anual de 35 derrumbes fatales, con al menos 100 muertes (Blancas, 2013). Tan solo en Veracruz en el 2013

Protección Civil del estado reportó 789 deslizamientos, cifra 4.7 veces superior al 2012 (SEPCV, 2014), identificando como principales causantes a las lluvias, la deforestación y la degradación ambiental. Estos dos últimos se designaron porque las experiencias permiten aseverar que los sitios con cubierta vegetal poseen una mejor resiliencia ante los fenómenos medio ambientales que aquellos que se encuentran desprovistos de ésta (Alcántara *et al.*, 2014). Sin embargo, dado que existen diferentes tipos de vegetación y de suelos, el nivel de protección contra la erosión y los desprendimientos causados por la presencia o ausencia de cobertura vegetal no han sido plenamente evaluados; además de que en nuestro país poco se ha documentado sobre el tema (Stokes *et al.*, 2013). Sin embargo, en otros países de Europa y Asia, estudios al respecto han determinado que en zonas con laderas, el uso de una cubierta vegetal permite estabilizar las pendientes hasta una cierta profundidad, y es una alternativa más económica y ecológica que los métodos tradicionales de ingeniería civil empleados por sí solos (Stokes *et al.*, 2009, Mao *et al.*, 2012).

El suelo y sus debilidades

Estructura de los suelos

Se denomina suelo a la corteza externa de la superficie terrestre. Esta capa superficial, que puede contener varias subcapas (Figura 1), se ha formado principalmente por el desgaste de las rocas y, además de contener partículas de diversos minerales, también contiene seres vivos, compuestos orgánicos, agua y aire (Crespo, 2004).

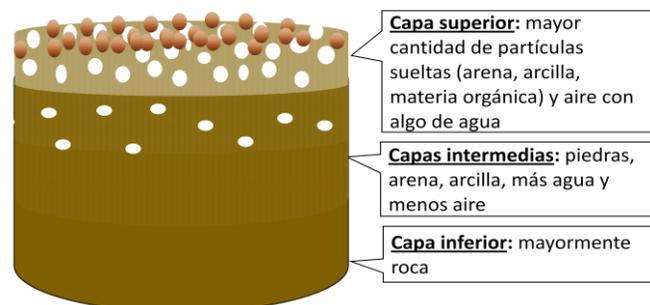


Figura 1. Principales capas que integran al suelo y sus características.

Desde el punto de vista físico y para el ser humano, el suelo es importante porque permite que se realicen edificaciones sobre el mismo y soporta el peso de las casas y los edificios. Desde el punto de vista biológico, el suelo mantiene colonias de seres vivos y sirve de sustrato para que las plantas se establezcan y obtengan sus nutrientes. Sin embargo, al estar formado principalmente por partículas sueltas, el suelo tiene ciertas propiedades inherentes: soporta fuertes compresiones, pero no soporta grandes esfuerzos de corte (Abdi *et al.*, 2010) (Figura 2a y b). Esta última característica lo hace proclive a que se parta fácilmente; y si se considera el suelo de una pendiente, es más fácil ver porque los desprendimientos o deslizamientos de suelo son tan frecuentes cuando se aplican cargas como el exceso de agua o de peso en algún extremo (Figura 2c).

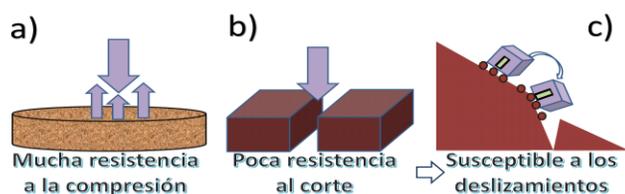


Figura 2. Aspectos físicos del suelo que lo hacen vulnerable a los deslizamientos en pendientes.

Las plantas y sus fortalezas

¿Cómo protege la vegetación contra la erosión?

Ya que el suelo está formado mayormente por partículas sueltas, los sitios con pendientes serán más susceptibles a desprenderse o deslizarse por efectos de las fuerzas de gravedad, por lo que existe un desgaste continuo del suelo al que se le denomina erosión (Valdés, 2010). Cuando este fenómeno se origina por el viento, se le conoce como erosión eólica, y cuando lo causa un elemento aún más desgastante, el agua, se le llama erosión hídrica. En ambos casos la presencia de la vegetación juega un papel muy importante para evitar la pérdida del suelo y mantener las partículas en su sitio. Esto se logra de varias formas. Contra la erosión eólica una cubierta de hierbas densas puede proteger bastante a la tierra. Mientras que contra la erosión hídrica el follaje de las plantas funciona como un paraguas que intercepta las gotas de agua e impide que el impacto directo de éstas desprendan

partículas de suelo, tal como se muestra en la Figura 3a. En este sentido las plantas con abundantes hojas y de talla pequeña o media son más convenientes para atenuar la fuerza de choque de la lluvia porque cubren una mayor superficie y absorben el impulso del agua a bajas alturas. Adicionalmente, las raíces también absorben humedad del suelo y contribuyen a profundizar los niveles freáticos, evitando la acumulación de agua superficial, que reblandece la tierra y favorece los deslizamientos (Figura 3b).

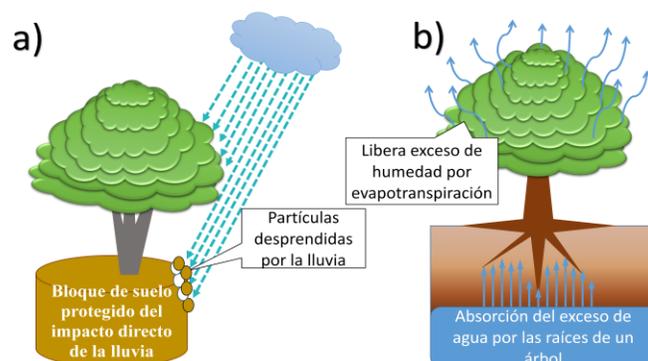


Figura 3. Formas en que las plantas protegen al suelo de la erosión pluvial. a) Actuando como una sombrilla. b) Absorbiendo el exceso de agua del subsuelo y liberándola en el ambiente.

Por otra parte, en sitios con pendientes pronunciadas la vegetación favorece la infiltración, ya que parte del agua es atrapada por hojas, tallos y raíces, que disminuyen la escorrentía, causante de una mayor erosión (Figura 4a). Asimismo la vegetación funciona como un filtro de flujo de agua, al facilitar la sedimentación de las partículas del suelo que han sido transportadas por este flujo, evitando así mayores deslizamientos, tal como se ve en la Figura 4b.

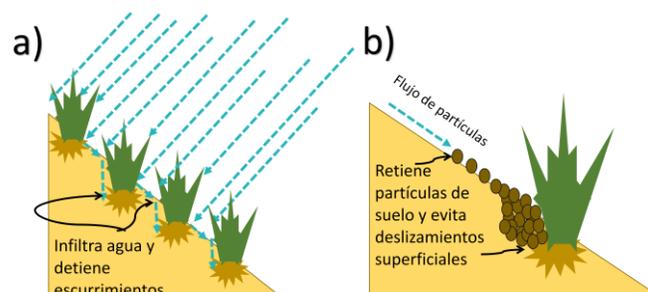


Figura 4. Formas en que las plantas evitan deslizamientos superficiales. a) Reteniendo las gotas de lluvia. b) Reteniendo las partículas que se desprenden y evitando mayores deslizamientos.

Los sistemas de raíces como retenedores de suelos

Para el caso específico de las raíces de las plantas, se ha encontrado que su forma y abundancia pueden constituir una malla que mejora la cohesión del suelo (Figura 5) (Mao *et al.*, 2012), mientras que su fuerza y elasticidad influyen directamente la resistencia a cortes o deslizamientos (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2014). Estudios al respecto han determinado que en zonas con laderas, el uso de una cubierta vegetal sí permite estabilizar las pendientes, aunque sólo hasta una cierta profundidad, que depende de la densidad y el nivel de penetración que sus raíces alcancen (Stokes *et al.*, 2009). Además las plantas, al ser seres vivos, tienen una capacidad de regeneración automática, que las estructuras creadas por las personas no tienen, lo que les da una ventaja en cuestiones de mantenimiento y reparación.



Figura 5. a) Malla protectora formada por hojas y raíces que impide la erosión superficial del suelo. b) Raíces reteniendo y sujetando partículas de suelo.

Una estructura para cada sitio

Una característica de los seres vivos que no poseen las estructuras creadas por los humanos es que

pueden adaptarse al medio donde viven. En el caso de las plantas, dado que existen muchos tipos de suelos, pedregosos, que son difíciles de penetrar; arenosos, con partículas que se desprenden fácilmente; o arcillosos, que se expanden o compactan, dependiendo de la humedad. Para cada tipo han evolucionado especies especializadas en crecer en estos medios. Esto con el objetivo de poder encontrar agua y nutrientes para subsistir pero también para tener el mayor agarre y permanecer fijas en el sitio. En los suelos arenosos, que se caracterizan por tener partículas grandes y con muy poca cohesión, las plantas deben desarrollar raíces muy largas y abundantes, que abarquen grandes extensiones para tener mayor agarre superficial y vertical. Las palmeras son un buen ejemplo de estas plantas adaptadas a suelos arenosos (Figura 6). Sus tallos formados por numerosas fibras muy delgadas y sus hojas compuestas alargadas les confieren también gran flexibilidad ante los vientos fuertes, complementando de esta forma un diseño estructural apropiado a los suelos y climas tropicales.



Figura 6. Palmeras y sus raíces adaptadas a suelos arenosos y fuertes embates de agua y aire.

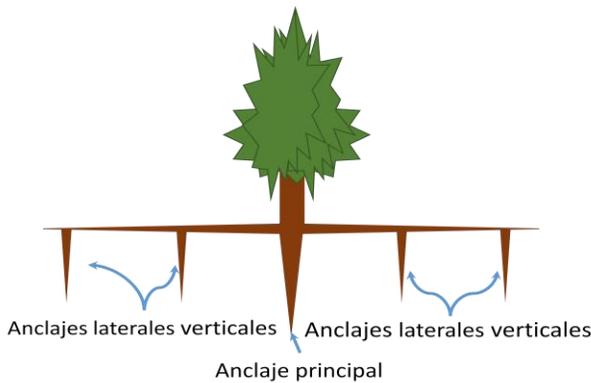
En suelos pedregosos o en las rocas de las montañas suelen crecer plantas que poseen una fuerte raíz principal conocida como pivotante, porque crece de forma vertical y se clava lo más profundo posible para asegurar un mejor sostén ante un posible deslizamiento de tierra. Además de la pivotante las raíces laterales tienen también ramificaciones que se clavan verticalmente. Estos refuerzos les permiten asegurar su peso y permanecer estables aun cuando

Valdés O.A. (2016)

existan deslizamientos de tierra, tal como se ve en la imagen de la Figura 7.

Otro hecho que se puede observar en esta Figura es que, a pesar de que parte de las raíces de una planta están secas o muertas, el resto que está dentro de la tierra es capaz de sostener al árbol. Esto se logra porque las plantas se adaptan a los eventos cambiantes y pueden reforzar sus anclajes cuando la

situación lo amerita. Algo que el ser humano aun no es capaz de crear con ninguna obra de ingeniería artificial.



La pivotante y los contrafuertes impiden que el árbol caiga, pesar de que la tierra a su alrededor ya se ha perdido.

Figura 7. Anclajes para suelos pedregosos o sitios montañosos y con pendientes pronunciadas, donde las plantas aseguran su retención mediante fuertes raíces pivotantes y laterales con anclajes verticales.

Las estructuras de apoyo mutuo de las plantas

Existen plantas que se multiplican por estolones. Es decir, los tallos o las raíces tienen brotes laterales que dan origen a otras plantas. Lo especial de este caso es que estos individuos quedan unidos entre sí, formando una red de raíces bajo la superficie. Este tipo de estrategia les permite formar una malla que, además de mejorar su sujeción, funciona como una alfombra en el momento de proteger al suelo. Los pastos son un muy buen ejemplo de ello, por lo que en muchas ocasiones también son los más usados para controlar erosión superficial en camellones o taludes pequeños. La Figura 8 muestra como estas plantas por arriba protegen el suelo con sus follajes mientras por debajo sus raíces forman mallas que además de proteger contra la pérdida de partículas evitan desprendimientos de suelos en pendientes.

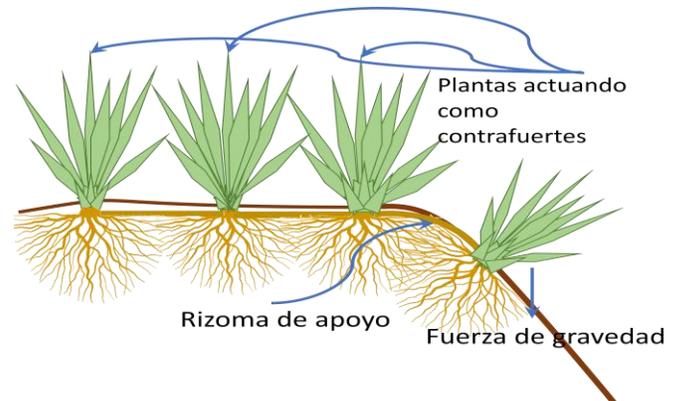


Figura 8. Plantas formando redes de soporte para protegerse entre ellas y al mismo tiempo al suelo donde se encuentran.

Limitaciones de las plantas en contención de suelos

Es muy importante recalcar que las plantas pueden proteger un suelo y evitar deslizamientos, pero solo hasta un cierto nivel superficial. Esto significa que

existe una pendiente y profundidad de suelo máxima que podrá ser reforzada por las mallas que forman las raíces, y que es proporcional a la longitud de los anclajes más profundos, a la estructura de las raíces y a la fuerza máxima de tensión que soporten las fibras vegetales (Suarez, 2001). En este sentido los árboles que poseen pivotantes largas y gruesas pueden estabilizar capas más profundas de suelo, mientras que las plantas pequeñas como las hierbas, que poseen raíces más superficiales podrán estabilizar sólo niveles muy superficiales de suelo, tal como se muestra en la Figura 9. Notar también que las raíces tienen un mayor desarrollo hacia los extremos donde se

sujetan para no deslizarse o caer. Este comportamiento les confiere una capacidad dinámica adaptativa que les permite crecer conforme a las condiciones ambientales y así, al mismo tiempo que evitan su caída también atenúan los deslizamientos a su alrededor.

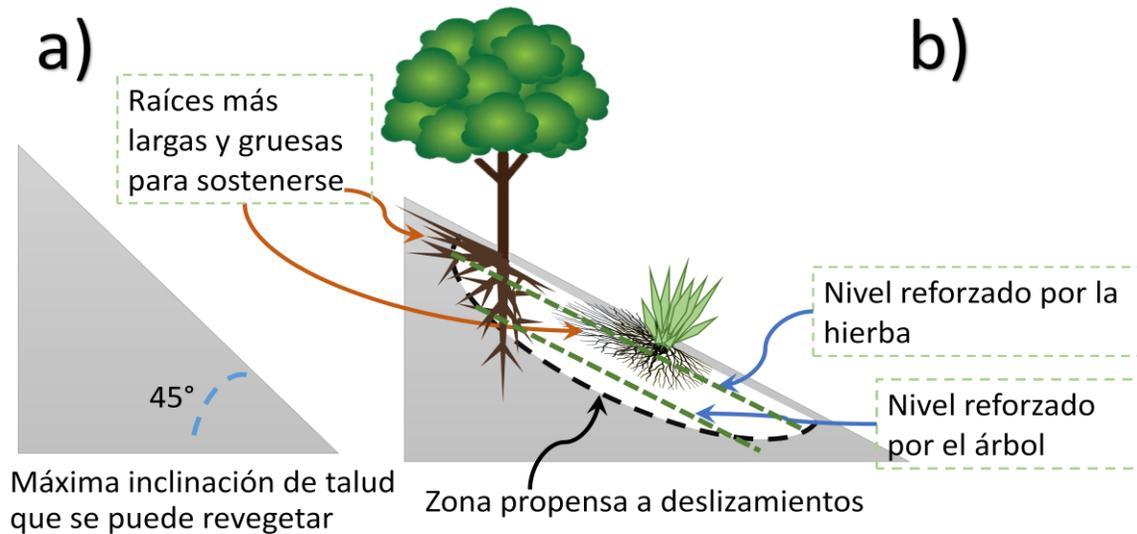


Figura 9. Capacidades y limitantes de la vegetación. **a)** Muestra la máxima inclinación a la que se puede sembrar vegetación para proteger un talud. **b)** Forma en que distintos tipos de vegetación actúan para fijarse al suelo y al mismo tiempo contribuir a atenuar los deslizamientos.

CONSIDERACIONES FINALES

Se ha demostrado que las plantas, por medio de su follaje y la forma de sus tallos y raíces, pueden ayudar a mantener las partículas de suelo juntas para evitar su pérdida y el deslizamiento del entorno su alrededor. Sin embargo, sus capacidades están limitadas por el tipo de suelo y de pendiente. Aunque al ser entes vivos que pueden adaptarse a los cambios y regenerarse, es muy posible que una combinación de estructuras artificiales con ciertos tipos de plantas sean las estrategias más adecuadas a

considerarse cuando se desea aplicar la bioingeniería para contener taludes y evitar fenómenos de remoción en masa.

BIBLIOGRAFÍA

Abdi, E., B. Majnounian, M. Genet, y H. Rahimi. 2010. Quantifying the effects of root reinforcement of Persian Ironwood (*Parrotia persica*) on slope stability; a case study: Hillslope of Hyrcanian forests, northern Iran. *Ecological Engineering* 36:1409–1416.

- Alcántara, I., y A. Echavarría. 2014. Cartilla de Diagnóstico Preliminar de Inestabilidad de Laderas. (V. Ramos R., Ed.). First edition. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Mexico, D.F. 23p.
- Alcántara-Ayala, I., A. Echavarría-Luna, C. Martínez-Gutierrez, L. Dominguez-Morales, y I. Noriega-Rioja. 1996. Inestabilidad de Laderas. (D. Vázquez-Sanchez, Ed.). Segunda edición. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Mexico, D.F. 36p.
- Blancas M, D. 2013. Cada año hay 35 derrumbes graves en carreteras y asentamientos irregulares; dejan 100 muertos en ese periodo. *La Crónica*. Mexico, D.F. Ago. 13, 2013.
- Crespo V., C. 2004. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Ed. Limusa, México. 650p.
- Diaz, J. S. 1998. Vegetación y Bioingeniería. *In: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Primera Edición. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Colombia - Bacaramanga, p. 275–302.
- Mao, Z., L. Saint-André, M. Genet, F. X. Mine, C. Jourdan, H. Rey, B. Courbaud, y A. Stokes. 2012. Engineering ecological protection against landslides in diverse mountain forests: Choosing cohesion models. *Ecological Engineering* 45:55–69.
- Niklas, K. J. 1992. Some biological and philosophical preliminaries. *In: Plant Biomechanics*. Brittonia. University of Chicago, Chicago, p. 1-47.
- SEPCV, (Sistema Estatal de Protección). 2014. La Gestión del Riesgo por Deslizamientos de Laderas en el Estado de Veracruz, durante el 2015. (N. Guzmán L. and W. Morales, B., Eds.). Primera Edición. Xalapa. 107p.
- Stokes, A., C. Atger, A. G. Bengough, T. Fourcaud, y R. C. Sidle. 2009. Desirable Plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides. *Plant and Soil* 324:1–30.
- Stokes, A., P. Raymond, D. Polster, y S. J. Mitchell. 2013. Engineering the ecological mitigation of hillslope stability research into the scientific literature. *Ecological Engineering* 61:615–620.
- Suarez, J. 2001. Bioingeniería y Biotecnología. Control de erosión en zonas tropicales. Primera Edición. Colombia - Bacaramanga, p. 291–348.
- Valdés R., O. A. 2010. Como controlan la erosión las raíces de las plantas. *La Ciencia y el Hombre* 23.
- Valdés-Rodríguez, O. A., J. Tejero-Andrade, J. F. Del Valle M., A. Servín M., y C. Muñoz-Gamboa. 2014. Determinación de las curvas esfuerzo-deformación sobre cargas axiales de una raíz tropical. Congreso Internacional en Ingeniería Electrónica. Instituto Tecnológico de Chihuahua, Chihuahua, p. 82–85.