

Inestabilidad de laderas Influencia de la ACTIVIDAD **HUMANA**

Oscar Andrés **Cuanalo Campos**
Aldo Onel **Oliva González**
Romel **Gallardo Amaya**

INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado y la inadecuada planeación territorial de muchas poblaciones y ciudades en todo el mundo han generado “transformaciones antropogénicas negativas en el espacio”,¹ llevando a la urbanización de zonas de lomeríos y terrenos escarpados donde las condiciones geológicas, geotécnicas, hidrológicas y topográficas no son las más apropiadas para la construcción de edificaciones. Lo anterior ha sido la causa de varios desastres para la población que habita sitios con laderas inestables (Foto 1) y para los cuales, en muchas situaciones, no se tienen las condiciones para responder en forma adecuada debido a la carencia de servicios básicos o a la dificultad para los programas de sensibilización de las comunidades. La inestabilidad de laderas puede ser producida por la actividad humana al alterar y modificar el equilibrio que existe en la naturaleza, debido a: cortes y excavaciones para la construcción de caminos, conformación de terrazas para viviendas, vertido de rellenos de material suelto en los taludes y escarpe de las laderas, voladuras para la explotación de minas o de bancos de material, vertido incontrolado y excesivo de agua y deforestación para usar el terreno en actividades agropecuarias.



Foto 1. Daño en edificaciones por deslizamiento de laderas en Tijuana, Baja California, México.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA INESTABILIDAD DE LADERAS

Los factores que influyen en la inestabilidad de las laderas se dividen en: condicionantes y desencadenantes (Tabla 1); los primeros dependen de las características intrínsecas de las laderas, y los segundos, conocidos también como factores externos, debidos a las condiciones climáticas regionales, por los eventos extremos y por el grado de impacto o deterioro ocasionado por las actividades del hombre.²

AGENTES	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Condicionantes (dependen de las características de la ladera)	<i>Morfología y Topografía</i>	El relieve influye en la estabilidad, a mayor pendiente y altura aumenta el efecto gravitacional.
	<i>Geología y características de los suelos superficiales</i>	El tipo de roca, grado de alteración y meteorización, presencia de discontinuidades (grietas, fracturas, fallas), planos estratigráficos, porosidad, permeabilidad, propiedades físicas y mecánicas (resistencia y deformación), y estado de esfuerzos.
	<i>Condiciones hidrogeológicas</i>	El agua en el interior del terreno disminuye la resistencia cortante al aumentar la presión intersticial, además incrementa el peso volumétrico del terreno con el consiguiente aumento en los esfuerzos actuantes.
	<i>Vegetación</i>	Las raíces fijan los suelos superficiales a los estratos de roca más resistentes ubicados a mayor profundidad, absorben el agua contenida en el suelo y atenúan la erosión superficial al mitigar el impacto de las gotas de lluvia y reducir la velocidad de escurrimiento.
Desencadenantes (factores externos responsables de la inestabilidad)	<i>Lluvias</i>	Su efecto depende de la intensidad, duración y distribución de la lluvia; puede ocasionar disolución de cementantes y rotura de capilaridad, además influye directamente en factores condicionantes como la meteorización y el nivel de agua subterránea.
	<i>Terremotos</i>	Las vibraciones sísmicas originan fluctuaciones en el estado de esfuerzos en el interior del terreno y pueden originar todo tipo de movimientos (caídos, deslizamientos, flujos, avalanchas, etcétera), dependiendo además de la magnitud del sismo y la distancia al epicentro.
	<i>Vulcanismo</i>	Las erupciones volcánicas pueden originar deslizamientos o avalanchas de derrubios de gran magnitud y velocidad en las laderas de los conos volcánicos; además que el deshielo de las partes altas puede originar flujos rápidos.
	<i>Congelación y deshielo</i>	Factores climáticos que afectan principalmente a regiones frías; este fenómeno produce expansiones, contracciones e infiltración de agua en fisuras y grietas.
	<i>Erosión y socavación</i>	Incluye la acción erosiva de ríos y oleaje, produciendo los siguientes efectos: - Socavación del material en el pie de la ladera que modifica el estado tensional y aumenta las fuerzas cortantes actuantes. - El deslizamiento puede embalsar un río y después romper súbitamente.
<i>Actividad humana</i>	Influye en la estabilidad al cambiar la geometría de la ladera por excavaciones, construcción de caminos y presas, sobrecargas debido a estructuras, terraplenes o rellenos, voladuras, etc.; además, estas obras en general cambian las condiciones hidrogeológicas al alterar el drenaje superficial afectando el nivel freático y el flujo natural de escurrimiento. También se incluye la deforestación como una de las actividades humanas que más influencia negativa tiene en la estabilidad de una ladera.	

Tabla 1. Factores que influyen en la estabilidad de laderas naturales.

LA ACTIVIDAD HUMANA

La incidencia del factor antropogénico se hace evidente si tenemos en cuenta que en su estado natural las laderas se encuentran en condiciones seguras ya que hay consonancia entre la pendiente del terreno o la acción de factores perturbadores y la resistencia del suelo, siendo el agua uno de los más influyentes. La incidencia de tales factores se presenta con dependencia de tiempo y espacio y cuyo efecto sobre la ladera se desarrolla lentamente; pero cuando está presente la actividad humana, la incidencia de los factores es mucho más rápida, llevando la ladera a procesos de inestabilidad.³

Las actividades humanas que más afectan la estabilidad de las laderas son:

- Cambio de la pendiente natural del terreno debido a cortes o excavaciones.
- Aumento de sobrecargas a causa de la construcción de edificaciones y obras de infraestructura, depósito de materiales, etcétera.
- Aumento de la presión de poro en el terreno por el vertido incontrolado y excesivo de agua.
- Remoción de la cubierta vegetal o cambio de la vegetación natural (deforestación).

CAMBIO DE LA PENDIENTE NATURAL DEL TERRENO DEBIDO A CORTES O EXCAVACIONES

Los cortes o excavaciones constituyen unas de las actividades más frecuentes que desencadenan deslizamientos de laderas; estos trabajos deberían efectuarse posteriormente a los estudios ingeniero-geológicos mínimos requeridos, además del análisis de estabilidad geotécnica antes y después de efectuar los cortes. En general todo corte en las laderas produce variación en el estado de esfuerzos y, por ende, de equilibrio del terreno, y cuando no se estabiliza adecuadamente se pueden producir agrietamientos, deformaciones, hundimientos, desequilibrio de masas, etcétera, todos ellos señales indicativas del mal comportamiento que puede desencadenar deslizamientos de laderas.

Al efectuar un corte en una ladera se producen los siguientes cambios que influyen de manera directa en su estabilidad y comportamiento:

- Aumento del ángulo de inclinación del talud con efecto directo en el factor gravitacional.
- Descompresión del material de la ladera al quitarle soporte y presión lateral.
- Incremento de meteorización en los materiales expuestos por el corte que perdieron su protección superficial (suelos de cobertura y vegetación).
- Cambio del flujo de agua a través de los materiales de la ladera.
- Inestabilidad en rellenos colocados a volteo para incrementar el ancho del corte.

Aumento del ángulo de inclinación del talud de la ladera

La estabilidad de una ladera depende de la altura de su talud, el ángulo de inclinación, la litología y estratigrafía, el peso volumétrico y la resistencia al esfuerzo cortante de sus materiales constitutivos. Si bien es cierto que los terrenos más susceptibles a los deslizamientos son los que tienen una morfología de tipo montañoso y escarpado, donde la influencia del factor gravitacional es significativa (Tabla 2), también laderas con poca pendiente, pueden sufrir inestabilidades si su resistencia es baja o si disminuye en la época de lluvias o durante un evento sísmico. Al realizar un corte en una ladera natural se provoca un incremento en el ángulo del talud, lo que resulta en un aumento del efecto gravitacional.

CARACTERÍSTICAS DE LADERA	DETALLES INTRÍNSECOS				
	Plano	Lomerío suave	Lomerío fuerte	Montañoso	Escarpado
Morfología					
Inclinación β	0 – 5°	5 – 15°	15 – 30°	30-53°	>53°
Factor gravitacional	Bajo	Moderado	Medio	Alto	Extremo

Tabla 2. Factor gravitacional en función de la morfología de las laderas

Existe una relación inversamente proporcional entre la pendiente del talud β y el factor de seguridad F_s ; es decir a mayor ángulo β , menor factor de seguridad F_s .

$$F_s = \frac{c}{W \text{ sen } \beta} + \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \dots \dots \dots (1)$$

En laderas donde la disposición de los estratos de suelo y/o roca favorece el fallo a través de una superficie de rotura plana, la influencia del ángulo de inclinación del talud (β) y su relación con la pendiente de los estratos (α) juegan un papel esencial en el comportamiento de la estabilidad (Foto 2).



Foto 2. Deslizamiento traslacional a través de una superficie plana (Necaxaltepetl, Puebla).

Descompresión del material de la ladera

La descompresión se define como la liberación de una presión y es el opuesto a la compresión física; el efecto inmediato de esta descompresión es una expansión o incremento del volumen que experimenta el material de la ladera al perder una parte importante de su presión confinante. Cuando se efectúan cortes o excavaciones en las laderas, se anula la presión o empuje lateral que sostiene y estabiliza el talud natural (Foto 3).

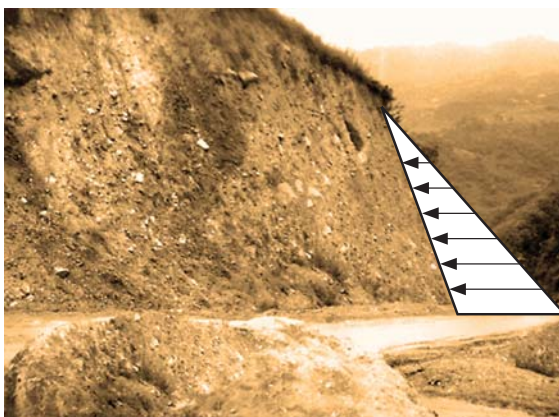


Foto 3. Descompresión del material de la ladera.

En estado de reposo, cuando no existe ningún desplazamiento del terreno, la presión horizontal " σ_h " en el interior de una masa térrea, es función de la presión vertical existente " σ_v ", y el coeficiente de correlación entre estas presiones se denomina coeficiente de presión de tierras en reposo κ_0 , definido mediante la siguiente expresión:

$$\kappa_0 = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \dots\dots\dots (2)$$

Donde σ_h = Empuje horizontal en estado de reposo.
 $\sigma_v = \gamma_m * h$ = Esfuerzo vertical.
 γ_m = Peso volumétrico del material.
 h = Altura o profundidad a la que se evalúa el esfuerzo.

En suelos gruesos como gravas y arenas, el coeficiente en reposo κ_0 puede variar entre 0.33 para materiales muy compactos a 0.53 para muy sueltos; en suelos finos arcillosos y limosos normalmente consolidados κ_0 puede variar entre 0.4 y 0.7, y puede alcanzar valores mayores a 1 en los suelos preconsolidados (aquellos que han estado sometidos en su pasado geológico a presiones mayores que la actual).⁴

Así pues, los cortes en laderas imponen un nuevo estado de esfuerzos al interior del talud, el cual deberá movilizar su resistencia al esfuerzo cortante para compensar el material excavado y lograr autosostenerse. Una manera de mejorar la estabilidad de los cortes en laderas es por medio del diseño y construcción de muros de contención (de mampostería o concreto armado) y/o de elementos estructurales de refuerzo como anclas y barrera de pilotes.

Incremento de meteorización en los materiales expuestos por el corte

La meteorización es uno de los más importantes procesos geológicos por el cual las rocas y sus minerales constitutivos sufren fragmentación o desintegración y descomposición, transformado, modificando y/o alterando su estructura y sus propiedades físico químicas. La meteorización se clasifica en tres grupos básicos, cuyos agentes característicos en general, interactúan entre ellos (Tabla 3).

El grado de meteorización en una región específica está íntimamente relacionado con la litología o estratigrafía de los materiales y las condiciones climáticas o ambientales que integran la ladera. Cuando se efectúa un corte en una ladera, los materiales que forman el talud quedan expuestos a diversos agentes de meteorización y por ende a un deterioro acelerado; la energía potencial que provee la gravedad origina que los materiales sueltos, se desprendan del talud y caigan. Además “el Sol”, da origen a los agentes principales de meteorización por erosión de viento y lluvia. Las variaciones de humedad y temperatura también afectan las rocas desde el punto de vista mecánico, ya que el agua y el calor favorecen las reacciones químicas que las alteran.

La lluvia es uno de los factores que afecta la estabilidad de las laderas. Por ejemplo en las Sierras Norte y Nororiental del estado de Puebla, donde la precipitación anual varía entre 1000 y 4000 mm, es común encontrar espesores importantes de suelos residuales producto de la alteración de las rocas sedimentarias y volcánicas que conforman estas serranías, además la presencia de niveles freáticos variables, con mayor presión en la época de lluvias lo que puede originar mantos de agua colgados o flujos subterráneos que provocan disolución o remoción de los cementantes del terreno, afectando sus propiedades geomecánicas y activando diferentes movimiento del terreno (caídos de rocas, deslizamientos, flujos de suelos, avalanchas, erosión hídrica, etcétera.). Entre el 4 y 6 de octubre de 1999 se precipitaron 750 mm de lluvia en la Sierra Nororiental, valor que sobrepasa con mucho los 100 mm/día establecidos como el umbral que activa deslizamientos de laderas en las regiones montañosas del estado de Puebla.⁵⁻⁷

Para la construcción del Periférico Ecológico, en el tramo ubicado al oriente de la ciudad de Puebla, se realizaron en el año 2010, cortes en laderas constituidas por rocas calizas, los cuales representan un alto riesgo para los vehículos que circulan por dicha carretera, debido a las siguientes características: gran altura de los cortes, algunos superiores a los 30 m, fuerte inclinación de los taludes, con ángulos entre 60 y 90 grados, los cortes sin elementos de estabilización (muros, anclas, pilotes, etcétera), roca de origen sedimentario

METEORIZACIÓN	EFFECTOS/ REACCIONES	AGENTES CARACTERÍSTICOS
Física o mecánica	Fragmentación y desintegración	Fuerzas gravitacionales, cambios térmicos diarios y estacionales, congelamiento de agua en las discontinuidades de las rocas, erosión por viento y lluvia, y fricción entre partículas durante el transporte (abrasión)
Química	Disolución, hidratación, hidrólisis, oxidación, carbonatación y reducción	Agua de lluvia, vapor de agua y dióxido de carbono
Biológica/orgánica	Agua de lluvia, vapor de agua y dióxido de carbono	Acción de las raíces de árboles y plantas, hongos, insectos y gusanos

Tabla 3. Agentes de Meteorización.

marino con planos estratigráficos, de mala calidad, con agrietamiento y fracturación intensa, presencia de plegamientos y de estratos buzando hacia el corte o completamente verticales y algunos tramos con alto grado de meteorización y roca completamente fracturada con comportamiento similar a un suelo. De lo anterior, podemos establecer con cierto grado de certeza que los cortes en este tramo carretero (km 28 a 34), tendrán serios problemas de inestabilidad al presentarse un evento sísmico o en la época de lluvias.

Cambio del flujo de agua a través de los materiales de la ladera

En general, al efectuar un corte en una ladera, se cambia el flujo natural interno del agua que puede originar aumento de presiones y de fuerzas de filtración desfavorables. Se ha reconocido que muchas fallas de laderas se presentan durante o posteriormente a la temporada de lluvias, y que existe una estrecha relación con el régimen de las filtraciones y con el establecimiento de los escurrimientos subterráneos.⁸⁻¹⁴

Cuando el agua se mueve a través de una masa de suelo, lo hace con una presión hidrodinámica en la dirección del flujo que es superior a la presión hidrostática; lo anterior puede alterar el peso volumétrico sumergido del suelo y origina reducción de la resistencia al esfuerzo cortante, al disminuir la presión efectiva del terreno por aumento de la presión de poro. El incremento en la presión de poro puede ser considerable en casos en los que en la ladera se encuentran estratos con diferentes permeabilidades o discontinuidades litológicas, presentándose saturación diferencial, que

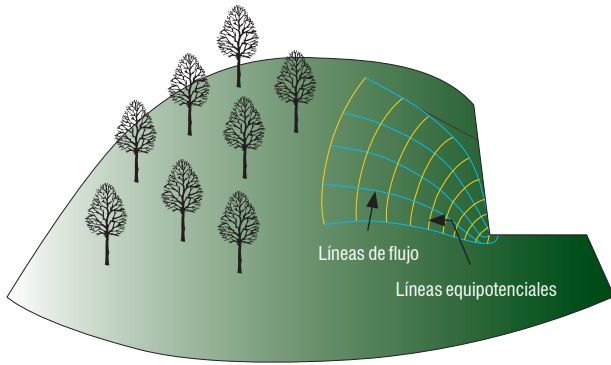


Figura 4. Red del flujo de agua en el interior de una ladera.

hace que el agua se infiltre y se detenga a una determinada profundidad creando un plano sobresaturado, el cual con ayuda de la gravedad puede hacer que se deslicen los estratos superiores.¹⁵ El análisis de estabilidad de un talud sometido a fuerzas de filtración, se efectúa a partir de la red de flujo, que según la ecuación de continuidad de Laplace, la cual gobierna la condición de flujo establecido para un punto dado en el interior de la masa de suelo,¹⁴ está representada por dos familias de curvas ortogonales entre sí, que se denominan “líneas de flujo y líneas equipotenciales” (Figura 4). Una vez trazada la red de flujo, se podrán determinar las presiones neutras en cualquier punto de la ladera, el gradiente hidráulico, la velocidad del agua y su correspondiente fuerza de filtración. El análisis de estabilidad de la ladera se podrá efectuar utilizando los pesos totales de material y el valor de las fuerzas de filtración evaluadas según la ecuación 3); o también se podrán utilizar los pesos sumergidos del suelo (cuando sea el caso), más el peso del agua, más las presiones hidrodinámicas en la dirección del flujo y tangentes a las respectivas líneas de flujo.

$$j = i \gamma_w \dots \dots \dots (3)$$

Donde j = fuerza de filtración por unidad de volumen del suelo.

i = gradiente hidráulico (pérdida de carga hidráulica entre la distancia de dos puntos).

γ_w = Peso volumétrico del agua.

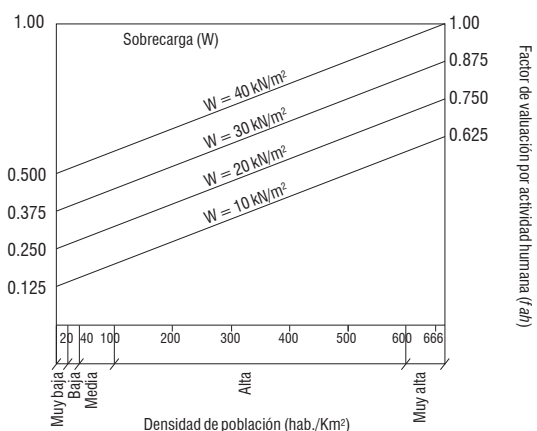
En general se puede afirmar que el cambio del flujo de agua a través de los materiales de la ladera afecta

la estabilidad de la misma debido a la erosión interna por fuerzas de filtración originadas por el flujo subterráneo, la meteorización y cambios en la composición mineralógica del material y, en algunos casos, la apertura de discontinuidades por agua congelada.

ADICIÓN DE SOBRECARGAS DEBIDO A LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES Y OBRAS DE INFRAESTRUCTURAS, DEPÓSITO DE MATERIALES, ETCÉTERA

Los esfuerzos que transmiten las construcciones al terreno de cimentación y los materiales depositados sobre las laderas, constituyen sobrecargas que tienen incidencia directa en el comportamiento y estabilidad. Un análisis de la influencia de las sobrecargas debidas a viviendas puede hacerse usando los llamados *factores de valuación por actividad humana* (f_{ah}), obtenidos a partir de los esfuerzos o cargas promedio que transmiten las construcciones al terreno de cimentación y la densidad de la población (Figura 5).¹⁶ La gráfica de la Figura 5 muestra que a medida que aumenta la sobrecarga “ W ” sobre el terreno y la densidad de población, mayor será el factor de valuación, con valores ponderados comprendidos entre 0 y 1, el primero corresponde a un efecto nulo o mínimo sobre la estabilidad y el segundo, al de mayor impacto en esta misma. El depósito de materiales en zonas de ladera y el aumento de sobrecarga sobre esta, genera una condición de amenaza a la población, porque estos materiales al ser más porosos y permeables que el suelo subyacente permiten una mayor concentración de agua en sus vacíos, siendo más susceptibles a deslizarse bajo acciones sísmicas y/o de lluvias,¹ lo cual ha ocasionado

Figura 5. Factores de valuación por sobrecargas.



tragedias como la de Bello en Colombia en el año 2010 con un saldo lamentable de 82 víctimas.

AUMENTO DE LA PRESIÓN DE PORO EN EL TERRENO POR EL VERTIDO INCONTROLADO Y EXCESIVO DE AGUA

Anteriormente se explicaron los efectos del cambio de flujo de agua a través de los materiales que conforman la ladera. La presencia de agua aumenta la presión de poro “*u*” y reduce el esfuerzo normal σ_n , por ende disminuye también la resistencia cortante del material según se consignan en la ecuación 8 (Figura 6); además genera presión sobre las grietas de tensión lo que incrementa las fuerzas desestabilizantes y aumenta el peso del material por saturación.^{17,18}

$$\tau_f = c + (\sigma_n - u) \tan \phi \dots \dots \dots (4)$$

REMOCIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL O CAMBIO DE LA VEGETACIÓN NATURAL

La presencia de vegetación es un factor que condiciona en gran medida la acción de otros factores considerados como desencadenantes de la inestabilidad de laderas. Las raíces de los árboles y las plantas ayudan a fijar los suelos superficiales a los estratos de roca más resistentes ubicados a mayor profundidad, absorben parte del agua del subsuelo, mitigan con su follaje el impacto de las gotas de lluvia y reducen la erosión superficial al disminuir la velocidad del agua de escurrimiento. Para tomar en cuenta el efecto que la vegetación ejerce sobre la estabilidad de la ladera, se requiere investigar el tipo de vegetación, su volumen, la densidad de su follaje, el área cubierta y la profundidad de las raíces. Algunos autores proponen determinar el tamaño, ángulo de inclinación y aspereza de las hojas, altura total de la cobertura vegetal, presencia de diferentes tipos de cobertura, así como el tipo, forma, profundidad, diámetro, densidad, cubrimiento y resistencia de las raíces.¹⁷ Cuanalo y colaboradores,¹⁹ proponen factores de valuación de la vegetación (*f_v*) dependientes del tipo de vegetación, de la densidad de follaje, del área cubierta y de la profundidad de las raíces. La remoción de la cubierta vegetal también

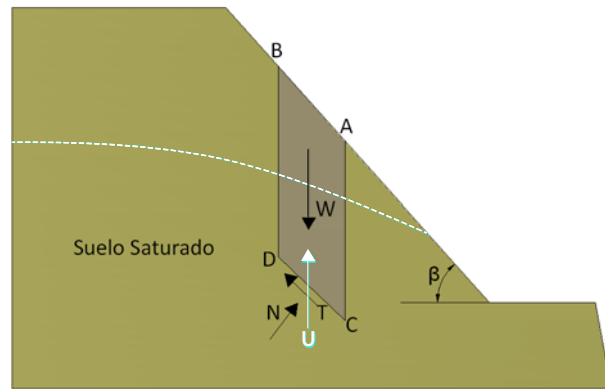


Figura 6. Efecto del agua en el equilibrio de fuerzas.

condiciona la acción de factores desencadenantes; el retiro de la parte superficial del suelo que funciona como una segunda capa de protección natural contra la pérdida de suelo por erosión y el aumento de presión de poros por la infiltración del agua. El cambio de la vegetación natural incide en el patrón de escorrentía que se presenta en la ladera, debido a que este cambio involucra una modificación en la distribución espacial y densidad de las plantas, que puede llevar a crear sitios de concentración de la escorrentía formándose canales de drenaje más pronunciados, transportando mayor cantidad de agua a la zona baja de la ladera con el consecuente aumento de la erosión.²⁰

ACCIONES PARA REDUCIR EL IMPACTO DE LA ACTIVIDAD HUMANA

Estudios acerca de las características de los factores antrópicos generadores de inestabilidades de laderas, demuestran que algunas medidas estructurales como la ejecución de obras de protección y control, contribuyen a la reducción del impacto de la actividad humana en la inestabilidad de laderas. Dichas obras, entre las que se encuentran los cambios de geometría, las estructuras de contención y sostenimiento, elementos de drenaje, uso de la vegetación y reforestación, pueden prevenir o mitigar desastres provocados por movimientos de masas de suelo y rocas como deslizamientos, flujos de lodo, avalanchas y caída de rocas, entre otros. Estas obras pueden ofrecer protección sustancial en muchas áreas, sin embargo, en la mayoría de los casos, solo consiguen reducir parcialmente el riesgo y en

ocasiones pueden llegar a causar impactos negativos en el medio ambiente. Hay ejemplos de laderas donde las soluciones de estabilización han fallado debido a la acción negativa de la actividad humana. Investigaciones recientes parecen indicar que un conjunto de medidas no estructurales dirigidas a la regulación en los usos del suelo, al fortalecimiento institucional, la educación y la preparación de la comunidad, así como a la legislación y la planificación, son de especial importancia para que, en combinación con las medidas estructurales, se pueda mitigar el impacto de la actividad humana de una manera efectiva y balanceada. Algunas de estas medidas incluyen: desarrollo y fortalecimiento institucional, educación formal y capacitación, información pública e implementación de campañas de difusión, participación comunitaria y gestión a nivel local, códigos y normas de construcción, reglamentación de usos del suelo y el ordenamiento territorial.

CONCLUSIONES

La construcción en laderas y su entorno es una práctica habitual en ciudades y poblados en muchas regiones del planeta. Los cortes, excavaciones y movimientos de tierra que se realizan en esas zonas sin asesoría técnica, los diseños inapropiados de estructuras muchas veces construidas con tecnologías inadecuadas y con materiales de mala calidad, así como la ausencia de redes para la evacuación de aguas residuales que se vierten directamente sobre el terreno, provocan erosión, debilitamiento e inestabilidades del terreno que desencadenan los movimientos de masas de suelo y rocas. Una adecuada cultura de la vivienda en zonas de laderas con la combinación óptima de medidas estructurales y no estructurales será la mejor decisión para reducir el riesgo de desastres ocasionados por eventos relacionados con fenómenos de inestabilidad de laderas (caído de rocas, deslizamientos, flujos de suelos y avalanchas).

RECONOCIMIENTO

Por su participación en este artículo a los alumnos de Servicio Social: Roberto Tonix Reyes, Jorge Hernández Gordillo, Gustavo Saldaña Molina y Jorge González Pérez.

REFERENCIAS

- ¹ Montiel González Y, Loaiza C y Gouveia E. Inestabilidad de laderas en el barrio Cerros de Marín, Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. *Terra Nueva Etapa*. Vol. 24, julio-diciembre (2008) 13-53.
- ² Cuanalo O, Oliva A y Flores C. Factores condicionantes y desencadenantes de los deslizamientos de laderas en las Sierras Norte y Nororiental de Puebla, México. *Memorias del VI Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables*. Valencia, España. Vol. 2 (2005) 705-715.
- ³ Escobar C. La degradación de las laderas urbanas y su relación con la pobreza. *Revista Electrónica Luna Azul* 15 (2001). http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1
- ⁴ Braja D. "Principles of geotechnical engineering". Lateral earth pressure. PWS Publishing Company, USA (2003) 380-381.
- ⁵ Hubo L, Vázquez M, Melgarejo G, García F y Matias G. Procesos Gravitacionales en las montañas de Puebla. *Revista Ciencia y Desarrollo* 157 (2001).
- ⁶ Cuanalo O., Quezada P. y Aguilar A. Sismos y lluvias, factores detonantes de deslizamientos de laderas en las regiones montañosas de Puebla, México. *Revista Digital Científica y Tecnológica e-Gnosis*. Vol.4, Art. No.13 (2006). <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/730/73000413.pdf>
- ⁷ Cuanalo O. y Melgarejo G. Inestabilidad de laderas Sierras Norte y Nororiental del estado de Puebla. *Elementos* 47 (2002). <http://www.elementos.buap.mx/num47/pdf/51.pdf>. Universidad Autónoma de Puebla.
- ⁸ Godt J. W. Maps showing locations of damaging landslides caused by El Niño rainstorms, winter season 1997-98, San Francisco Bay region, California (1999). <http://pubs.usgs.gov/mf/1999/mf-2325/>
- ⁹ Heyerdahl H, Harbitz C., Domaas U., Sandersen F., Tronstad K., Nowacki F., Engen A., Kjekstad O., Devoli G., Buezo S., Díaz M. y Hernández W. Rainfall induced lahars in volcanic debris in Nicaragua and El Salvador practical mitigation. *Proceedings of the International conference on fast slope movements, prediction and prevention for risk mitigation*. Editorial Bologna., Nápoles, Italia. Vol. 1 (2003) 275-282.
- ¹⁰ Harp E. Landslides in Honduras triggered by hurricane Mitch. *Memorias del III Simposio Panamericano de deslizamientos*. Cartagena, Colombia. Vol. 1 (2001) 387-392.
- ¹¹ Sobre la avalancha y flujo de agua con sedimentos, en el volcán Casita, Nicaragua, disparados por el huracán Mitch (1998). <http://www.ineter.gov.ni/geofisica/vol/casita/rep-sheridan-es.html>
- ¹² Honduras suffered the brunt of hurricane Mitch (2003). <http://landslides.usgs.gov/Honduras/>
- ¹³ Mora R. Arancibia landslide-debris avalanche in Costa Rica (2003). http://www.crid.or.cr/crid/EIRD/DIRDNINF/No2_2001/ingles/Pagina12.htm
- ¹⁴ Braja D. "Principles of geotechnical engineering". Flow of water in soil: permeability and seepage. PWS Publishing Company, USA (2003) 129-181.
- ¹⁵ Valladares F. "Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante". Editorial Ministerio de Medio Ambiente, España (2004) 309-334. <http://www.globimed.net/publicaciones/LibroEcolndice.htm>
- ¹⁶ Cuanalo, O. "Metodología para la selección de procesos constructivos empleados en estabilizar deslizamientos de laderas". Tesis Doctoral. Facultad de Construcciones. Universidad Central de Las Villas, Cuba (2004) 137.
- ¹⁷ Suárez J. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Editorial UIS, Colombia (1998) 548.
- ¹⁸ González L., Ferrer M., Ortuño L. y Oteo C. "Ingeniería Geológica". Editorial Prentice Hall, España (2002) 15.
- ¹⁹ Cuanalo, O., Oliva, A. y González, C. Estabilidad de laderas. Análisis mediante factores de valuación. *Revista IngeoPress* 164 (2007) 38-44.
- ²⁰ Lavee, H., A.C. Imeson y P. Sarah. The impact of climate change on geomorphology and desertification along a mediterranean arid transect. *Land Degradation & Development* 9 (1998) 407-422.

Oscar Andrés Cuanalo Campos
Facultad de Ingeniería BUAP
oscar.cuanalo@fi.buap.mx

Aldo Onel Oliva González
Universidad de las Californias Internacional UDCI

Romel Gallardo Amaya
Universidad Francisco de Paula
Santander Ocaña UFPSO