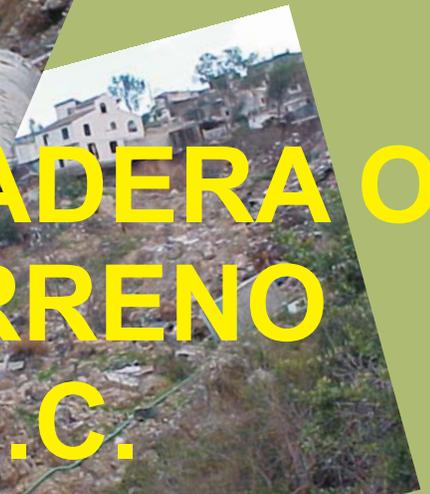




**CESPT**  
COMISIÓN ESTATAL DE SERVICIOS  
PÚBLICOS DE TIJUANA



# MOVIMIENTOS DE LADERA O DE MASAS DE TERRENO EN TIJUANA, B.C.

## Sus causas y prevenciones



Grupo de Trabajo Tijuana  
**RADIUS**  
Por una Ciudad Siempre Comenta Segura



La presente publicación es una reedición del documento “Movimientos de Laderas en Tijuana, B.C.” impreso en 2004 con fondos del Programa Habitat SEDESOL y del XVII Ayuntamiento Constitucional de Tijuana a través de su Dirección Municipal de Protección Civil.

El documento ha sido actualizado y su reedición auspiciada y financiada por las siguientes instituciones:

**International Community Foundation of the San Diego Foundation ([www.icfdn.org](http://www.icfdn.org))**

**GeoHazards International, con sede en Palo Alto, California ([www.geohaz.org](http://www.geohaz.org))**

**Dirección Estatal de Protección Civil del Gobierno del Estado de Baja California**

**([www.depcbc.gob.mx](http://www.depcbc.gob.mx))**

**Dirección de Bomberos y Protección Civil de Tijuana ([www.tijuana.gob.mx](http://www.tijuana.gob.mx))**

**Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana ([www.cespt.gob.mx](http://www.cespt.gob.mx))**

**Grupo Zeta Gas, División Tijuana ([www.grupozeta.com](http://www.grupozeta.com))**

**Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada ([www.cicese.mx](http://www.cicese.mx))**

Agradecemos a todas ellas y al Grupo RADIUS Tijuana “Por una ciudad sísmicamente segura” por su motivación a emprender y desarrollar este esfuerzo.

Otros agradecimientos:

Al Dr. Raul Castro Escamilla, investigador del Departamento de Sismología de CICESE.

A los lectores y sus comentarios al escrito: Arq. Luis A. Lopez Alvarez (consultor privado), Lic. Ana

María Frías León (facilitador CICESE), Ing. José M. Cázarez Rubio (consultor privado), Arq.

Claudia Cabanillas García (SIDUE), Ing. Ángel Zamorano García (Grupo ZETA Gas), Arq.

Margarita Hurtado Mendiola (DAU-Ayuntamiento Tijuana), Ing. Ernesto Rocha Guerrero e Ing.

Rogelio Reyes Serrano del Depto. de Sismología de CICESE.

A los promotores de la reedición, Sr. Gabriel Gómez Ruiz (Dirección Estatal de P.C. del Estado de

B.C.), Ing. J. Aldo Esquer Campoy (CESPT - Operación), Sr. Marco A. Sánchez Navarro y Antonio

Alfaro Figueroa (Dirección de Bomberos y P.C. Tijuana)

**Autores: Luis H. Mendoza Garcilazo, Sergio Vázquez Hernández,  
Antonio Rosquillas Navarro.**

©Toda reproducción parcial o total del documento debe contar con el permiso de los autores y/o financiadores.

Tijuana B.C., Agosto de 2007

# I N D I C E

PREFACIO.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. MOVIMIENTOS DE LADERA O MOVIMIENTOS DE MASAS DE TERRENO. ...	5
2.1. Descripción del fenómeno.....	5
3. MARCO GEOLÓGICO GENERAL DEL ÁREA URBANA TIJUANA.....	7
4. CAUSAS NATURALES QUE PROMUEVEN EL MOVIMIENTO DE LADERA.....	8
4.1. Materiales, edad, espesores, arreglo de capas, etc.....	8
4.2. Morfológicas.....	9
4.3. Estructura geológica .....	10
4.4. Físicas y químicas.....	10
5. FACTORES HUMANOS QUE PROMUEVEN EL MOVIMIENTO DE LADERA. .	11
5.1. Cambio en la pendiente natural del terreno por medio de excavación o corte.....	11
5.2. Aumento de la presión de poro por introducción de agua a los suelos .....	12
5.3. Adición de pesos (construcciones) .....	12
5.4. Exposición al efecto intemperismo por cortes de ladera y/o remoción de la cubierta vegetal.....	13
6. COMO ACTUAR PARA RETARDAR O EVITAR UN MOVIMIENTO DE LADERA .....	14
7. EFECTOS DE UN MOVIMIENTO DE LADERA.....	16
8. QUE HACER SI SOSPECHA DE UN MOVIMIENTO DE LADERA EN PROCESO .....	18
9. QUE HACER CUANDO HA INICIADO UN MOVIMIENTO DE LADERA .....	20
10. REFERENCIAS RELACIONADAS AL TEMA .....	20

## MOVIMIENTOS DE LADERA O MOVIMIENTOS DE MASAS DE TERRENO

### PREFACIO

Esta publicación tiene como objetivo, **dar información a la población de la ciudad de Tijuana acerca del fenómeno conocido como: *movimientos de ladera (deslizamientos de masas de terreno, derrumbes, caídas de bloques, etc.)*, común en nuestra actual zona urbana.** Esta difusión de información esta dirigida particularmente a personas habitando zonas de ladera o cercanas a ellas, para que conozcan algunas características de estos terrenos, que si **NO** son bien entendidas y se realizan acciones humanas no adecuadas, pueden contribuir a aumentar su debilitamiento e inestabilidad, finalmente manifestándose en forma de movimientos de ladera. Si el movimiento es súbito y de proporciones considerables puede amenazar la vida e integridad física de personas. Si es lento y gradual, ocurren solamente lamentables pérdidas materiales y afecta de manera importante los servicios públicos.

Este fenómeno de impacto negativo para la población, se ha incrementado en esta ciudad en los ultimos 15 años y continúa; por lo que se hace necesario una campaña de información que ayude a evitar o reducir la ocurrencia de este fenómeno. El número de sitios y área urbana con potencial para que ocurra el movimiento de ladera en Tijuana es alto, la probabilidad de que un evento se repita en un sitio previamente afectado también es alta, por lo que la tarea de difusión sobre sus causas y prevenciones debe incrementarse día a día.

Por ello, es necesario que toda la población con este potencial de afectación (directa o indirectamente) entienda los fundamentos básicos del fenómeno, sus causas y forma de prevenirlo, para disminuir la enorme tarea de aplicar recursos económicos para su mitigación y control. En la medida que más ciudadanos conozcan el problema y tomen acciones dirigidas a la reducción del impacto e incluso aportar soluciones, las pérdidas serán reducidas, especialmente las pérdidas humanas.

La experiencia en Tijuana es que el fenómeno se da en áreas extensas urbanizadas y por urbanizar y en todos los niveles sociales, desde asentamientos formales (fraccionamientos, colonias, etc), hasta nuevos asentamientos en zonas de invasión de terrenos e incluso donde no hay asentamientos ni infraestructura. Como siempre, las personas menos favorecidas económicamente son las más vulnerables, llegando a perder todas sus pertenencias y esfuerzos de toda una vida que representan su patrimonio familiar.

Para mayor comprensión y difusión entre los ciudadanos, se cuida hasta lo posible, no utilizar términos muy técnicos.

## 1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Tijuana inició su crecimiento urbano y poblacional, mayormente en las zonas bajas (planas) del cauce Río Tijuana y gradualmente la concentración de viviendas y personas fue cubriendo las zonas de topografía, en su parte norte, sur y este. Conforme fue aumentando su población, se fueron utilizando terrenos en zonas más altas y en zonas de laderas (terrenos con inclinaciones) y cauces de arroyo.

La ocupación de áreas de laderas, que por la topografía de Tijuana son áreas de extensión considerable, se da en forma de asentamientos regulares, construidos con asistencia técnica y también por invasiones de terrenos, que después de un tiempo buscan su regularización e instalación de servicios. En este lapso de tiempo, entre el momento de la invasión y construcción de viviendas, hasta el logro de instalación de sus servicios, particularmente el de drenaje, conlleva a que mientras no existe esta infraestructura sanitaria la disposición de sus aguas residuales se aplica en forma de letrinas o directamente sobre la superficie de terreno.

Además, los cortes y movimientos de terreno sin conocimiento y asesoría técnica calificada representan un factor generador de problemas en el corto plazo. En otras palabras, el proceso de debilitamiento del terreno, se inicia en diferentes puntos de la ladera, principalmente, por efectos de la invasión de las personas que cortan la ladera para construir su vivienda y por la falta de servicios públicos se ven obligados a verter sus aguas negras y de riego directamente sobre el terreno.

En algunos casos, la suma de factores de varios puntos en un área desemboca en un movimiento de ladera de gran magnitud, como son los casos de:

- Desarrollo Habitacional Lomas del Río 2001, figura 1.
- Colonia Los Maestros, 2000, figura 2.
- Defensores de Baja California, 2002, figura 3.
- Colonia Anexa Ramírez-Cumbres del Rubí, 1998, 2000, 2002, figura 4.

En otros casos, se presenta como casos aislados (pero más frecuentes) que afectan solo a una o dos familias.

Así, la informalidad en el inicio de ocupación con los terrenos crea una situación que con el paso del tiempo está destinada a terminar, si no se toman las medidas correctivas necesarias, en el fenómeno conocido como **movimiento de ladera**.



Figura 1. Colonia Lomas del Río, parte baja. Afectación de 18 viviendas en construcción y 6 edificios de 6 niveles c/u. Afectaciones al terreno (cortes inadecuados, introducción de agua, combinación de estratos de arenas-arcillas) en varios puntos de la ladera superior provocaron un movimiento de ladera de magnitud considerable.



Figura 2. Colonia Los Maestros. Afectación de aproximadamente 10 viviendas y ruptura de un tramo de acueducto Aguaje de la Tuna.



Figura 3. Colonia Defensores de Baja California. Presencia de una falla e intenso fracturamiento, combinado con cortes inadecuados de terreno, intemperismo químico, introducción de aguas residuales y por ruptura de tuberías. Las personas afectadas alcanzaron un número aproximado de 60 familias.



Figura 4. Colonia Anexa Ramírez-Cumbres del Rubí. Presencia de 4 fallas, intenso fracturamiento, intemperismo químico, cortes inadecuados, introducción de aguas residuales, pesos excesivos, entre otros, afectó aproximadamente 80 familias.

## 2. MOVIMIENTOS DE LADERA O MOVIMIENTOS DE MASAS DE TERRENO.

### 2.1. Descripción del fenómeno

Para la descripción del fenómeno iniciamos con la definición del término 'Ladera':

**Ladera: Costado de una montaña o de un terraplén (natural o formado por acción humana), figuras 5 y 6.**



Figura 5. Ladera natural afectada por cortes y movimientos de terreno.



Figura 6. Ladera artificial creada por movimientos de terreno y formación de terraplén.

En la definición se incluye la palabra 'costado' que va asociada a otro término muy importante alrededor de este fenómeno, que es el grado de inclinación de ese costado y para lo cual se utiliza el término, 'pendiente'.

Hay diferentes tipos de movimientos (figura 7) y sus nombres (deslizamientos, derrumbes, caídas de bloques, flujos de material, etc.) dependen de los materiales que las constituyen, de las condiciones por las que se presenta el fenómeno y de la forma y duración en tiempo, del movimiento total.

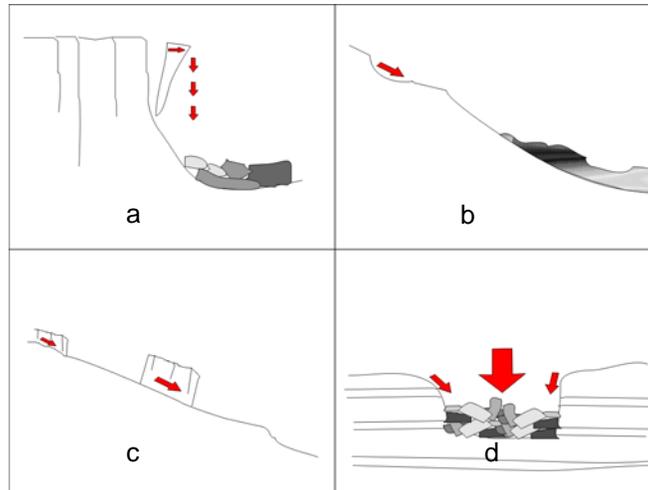


Figura 7. Diferentes tipos de movimientos de ladera: a) Caídas de bloques, b) Flujos de lodo, c) Deslizamiento de bloques o masas de terreno, d) Subsistencia

La atención que se le presta a estos eventos por autoridades y medios informativos, está asociada a los volúmenes de material involucrados o al número de habitantes afectados. Obviamente, a mayor volumen y habitantes, mayor atención, pero no hay que olvidar que en Tijuana diariamente ocurren movimientos de ladera de proporciones menores, que sumadas en el tiempo pueden representar un considerable número y volumen. También hay movimientos de ladera en forma tan lenta (Figura 8. reptación del terreno) con manifestaciones superficiales que pasan desapercibidas por la gran mayoría de personas. El número y ubicación de este tipo de movimientos en Tijuana aún no ha sido cuantificado.



Figura 8. Movimiento de ladera con una velocidad tan lenta (reptación del terreno) que pasa desapercibido por el ser humano. Solo la visión de un geólogo e instrumentos apropiados son capaces de detectar y cuantificar su avance.

### 3. MARCO GEOLÓGICO GENERAL DEL ÁREA URBANA TIJUANA

Observando la geomorfología (forma natural del terreno) de Tijuana y la topografía (irregularidades en altura del terreno) donde se encuentra la actual zona urbana, se pueden identificar 6 zonas geomorfológicas: Mesa de Otay, Zona Río, Sierras Alargadas, Sierra de la Presa, Sierra de la Gloria y Cerro Colorado (para mayor detalle consultar Diagnóstico de Riesgos Urbanos, 2001, Capítulo 1, editado por la Dirección Municipal de Protección Civil, 2002).

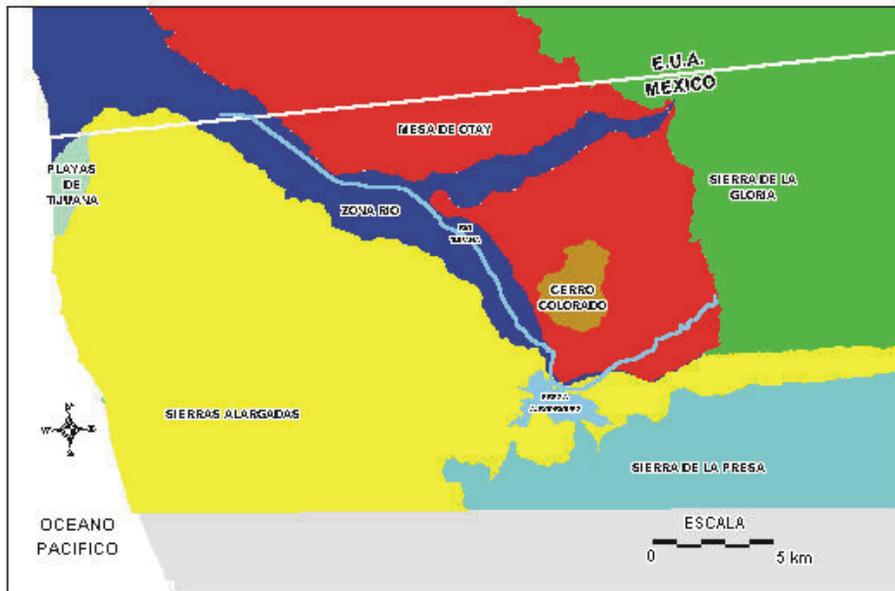


Figura 9. Principales zonas geomorfológicas de Tijuana, B.C.

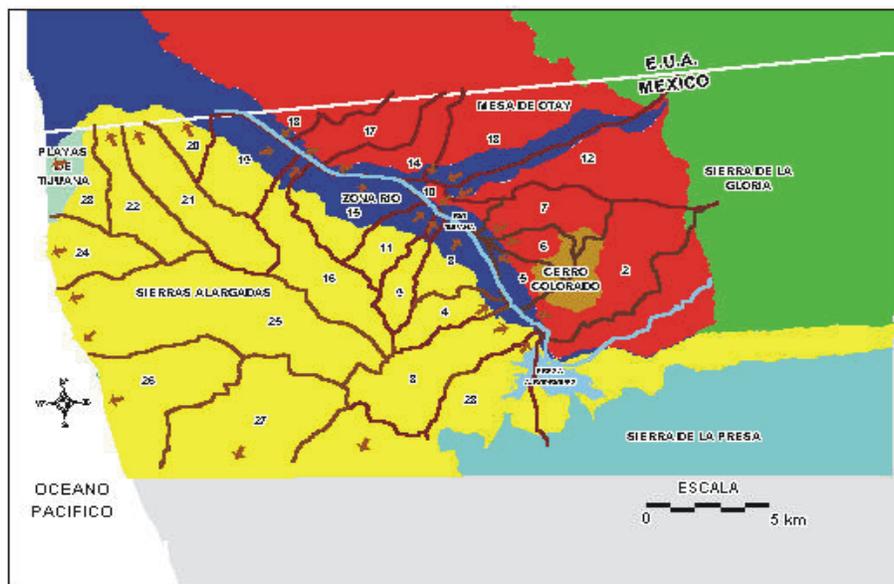


Figura 10. Principales zonas geomorfológicas y ubicación de 28 cuencas hidrológicas de Tijuana, B.C.

En 5 de ellas (exceptuando Zona Río), puede ocurrir el fenómeno conocido como 'Movimiento de Ladera', debido a la presencia de elevaciones con variación de pendiente y a la exposición de materiales debilitados. En Zona Río puede ocurrir el fenómeno de subsidencia.

La mayor parte de los suelos de la zona urbana actual -según materiales expuestos en superficie y cortes-, son producto del acarreo natural y acumulación de sus componentes (partículas) por los diferentes tipos de ambientes: marino, fluvial, transicional y aluvial. Solamente con la excepción de los suelos de origen volcánico encontrados en el Cerro Colorado y el Cerro de la Abeja en la parte este; y en la zona costa y parte suroeste cerca del límite con el municipio de Playas de Rosarito.

#### 4. CAUSAS NATURALES QUE PROMUEVEN EL MOVIMIENTO DE LADERA

##### 4.1. Materiales, edad, espesores, arreglo de capas, etc.

En Tijuana los depósitos superficiales sobre los que se encuentra asentada la mayor área urbana en 2007, consisten de paquetes o capas de boleos (piedra bola), gravas, arenas, limos y arcillas intercaladas y/o mezcladas. Los espesores de las capas varían desde pocos centímetros hasta metros. El arreglo en capas o estratos se ha formado ya sea por descargas de ríos y arroyos en el mar (depósitos marinos) o en áreas cercanas a la costa (depósitos continentales). Sus diferentes espesores pueden ser explicados por diferencias en el volumen y velocidad de arrastre al momento de la depositación, así como cambios en la dirección de las corrientes de arrastre.

La gran mayoría de estos depósitos marinos y continentales (conglomerados, arenas, limos y arcillas) sobre los que están asentadas las edificaciones e infraestructura de la actual zona urbana de Tijuana se compone de depósitos estratificados del período geológico Cuaternario y posiblemente finales del Terciario (hasta 1.5 millones de años). Por estas edades geológicas recientes, reciben el nombre de 'suelos jóvenes'. Esta relativa 'juventud de suelos' sumada al efecto que recibieron por procesos geológicos regionales no permitió lograr en ellos una consolidación, por lo que se refiere a ellos también con el término de suelos no-consolidados.

Las arenas, debido a la baja cohesión de sus partículas, permiten que el agua circule fácilmente por sus espacios libres, tanto vertical como horizontalmente, lo que no ocurre con las arcillas, en consecuencia regularmente se encuentra agua en la frontera entre capas de arena y arcillas. Este volumen de agua puede ser desde una delgada película de agua o bien en el caso de una fuente abundante y constante de agua, puede llegar a formarse una amplia zona de saturación (Figura 11). Cuando las capas de arena tienen algún grado de inclinación y un sitio expuesto a la intemperie, puede ocurrir un flujo externo (arenas no confinadas). En caso contrario, arenas confinadas, donde no existe comunicación del estrato de arena hacia el exterior, conservan el agua (acuíferos), pudiendo darse o no, un flujo lateral.



Figura 11. Se muestra la zona de contacto entre arenas-arcillas. El efecto impermeable de arcillas no deja circular el agua formandose una pelicula de agua y un potencial alto de deslizamiento de la masa de arenas en la direccion del plano inclinado del estrato.

En Tijuana, han ocurrido un gran número de movimientos de ladera asociados a esta combinación de estratos (arenas permeables superficiales encima de arcillas impermeables) y a la presencia de agua, ya sea de fuente natural (época de lluvias) o de fuente humana (riego de jardines, letrinas, ausencia de drenaje habitacional, ruptura de tuberías, etc.). En la década de 1990 a 2000 la mayoría de movimientos de ladera ocurrían a mediados o finales de la temporada de lluvias (enero a marzo), pero en los últimos 7 años estos movimientos se han dado en meses sin presencia de lluvias, por lo que el factor humano, y otros factores naturales están provocando los movimientos de ladera.

#### 4.2. Morfológicas

Las características del terreno y su inclinación juegan un papel fundamental en la estabilidad de una ladera. Por experiencia humana, en forma muy generalizada una inclinación con relación 1:1.5 (1 unidad en vertical por cada 1.5 unidades en horizontal) son relativamente estables. Estos valores determinados por obras humanas en muchos sitios y por muchos años, fué considerado aceptable, hasta que eventos de movimiento de ladera con estas especificaciones (1:1.5) consideradas adecuadas, obligaron a tomar en cuenta otras variables, entre ellas la inclinación y arreglo de estratos.

También participa en estas causas morfológicas la presencia de capas de materiales pesados sobre estratos más ligeros o el debilitamiento de su base, por causa natural como erosión del material debido a una corriente de agua.

#### 4.3. Estructura geológica

La estructura geológico-estructural de las 6 diferentes provincias geomorfológicas de Tijuana es un factor determinante en el comportamiento del fenómeno. Los límites geológico-estructurales y su control, corresponden a fallas y fracturas resultantes del tectonismo presente en la zona. Este tectonismo se lleva a cabo en forma de actividad sísmica, de forma perceptible e imperceptible (microsísmicidad). La ubicación de microsismicidad en una zona determinada puede ser indicativa de un proceso de movimiento en los niveles de la corteza terrestre y en sus partes superficiales. Cuando estos movimientos rebasan ciertas magnitudes pueden ser agentes 'disparadores' del fenómeno en muchos puntos, en un solo instante de tiempo y amplias zonas.

#### 4.4. Físicas y químicas

Una de las mayores causas físicas asociadas a movimientos de ladera está en la pérdida gradual o súbita (por un movimiento sísmico) de la fuerza de cohesión entre partículas de suelo (no se olvide que el suelo es un material formado de muchas partículas). Esta fuerza de cohesión entre partículas se adquiere con el paso del tiempo y la presencia de cementantes. Como ya se ha referido, la reciente edad de los suelos superficiales de Tijuana no ha permitido que esta fuerza de cohesión llegue a niveles máximos, de ahí su nombre de suelos no-consolidados. También la creación de fracturamiento es un factor físico que disminuye estas fuerzas cohesivas.

El fracturamiento está asociado a los estados de esfuerzos verticales y horizontales presentes en las masas de suelo; una fuente importante de esfuerzos es el tectonismo asociado a la dinámica de la corteza terrestre en forma de movimiento de placas tectónicas. Los suelos de Tijuana, sobre una zona de límite de placas tectónicas (Placa Pacífico y Placa Americana) están permanentemente sometidos a esfuerzos tectónicos a profundidad y superficiales, los cuales por su incansable y siempre presente labor, crean un patrón de fracturamiento (fallas tectónicas). La presencia de fracturas y la exposición del material a la intemperie, permite la introducción de agua y cambios de temperatura, la cual suaviza y debilita el material creando un fracturamiento secundario. Adicionalmente, procesos químicos de oxidación y descomposición de minerales, van reduciendo estas fuerzas cohesivas y disminuyendo la resistencia al esfuerzo de cortante que se opone al movimiento intragranular ó de partículas de suelo (figura 12).

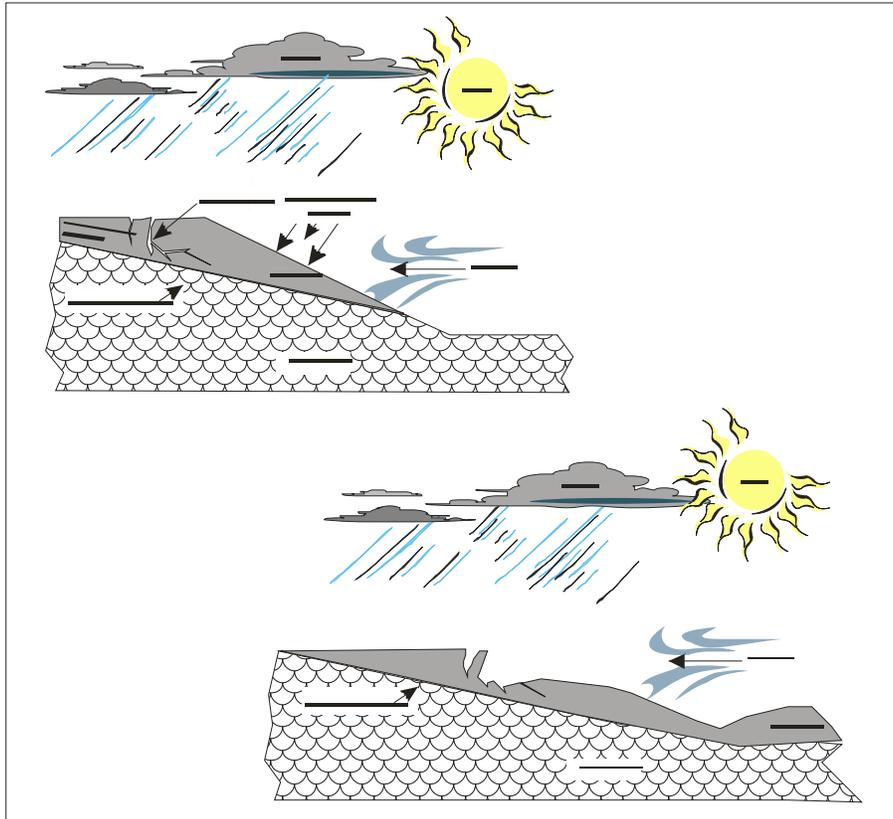


Figura 12. Fuerzas promotoras de movimiento de ladera por factores naturales (sol, lluvia, viento, fracturas, fallas, estratigrafía, inclinación de capas).

## 5. FACTORES HUMANOS QUE PROMUEVEN EL MOVIMIENTO DE LADERA

Los más importantes y generalizados son:

### 5.1. Cambio en la pendiente natural del terreno por medio de excavación o corte

Los materiales que componen las laderas (capas y estratos) encuentran con el paso del tiempo y la acción de la erosión, su ángulo natural de reposo, cuyo valor depende de las propiedades inherentes (dureza, consolidación, etc.) de sus materiales (Figura 13 inciso a). Laderas con materiales 'suaves' tienen ángulos de reposo bajos (20-30 grados), en contraste, laderas de materiales duros alcanzan mayores valores (60-70 grados). Al momento del cambio de este valor de pendiente, inicia un proceso de equilibrio de fuerzas (promoventes = gravedad vs. resistivas = ángulo de fricción, cohesión). En el cambio de la pendiente natural de una ladera, la mayor fuerza promovente del movimiento de ladera es la gravedad, la cual actúa permanentemente, pudiendo llegar a vencer las fuerzas resistivas, dando como resultado un movimiento de ladera (Figura 13 inciso b).

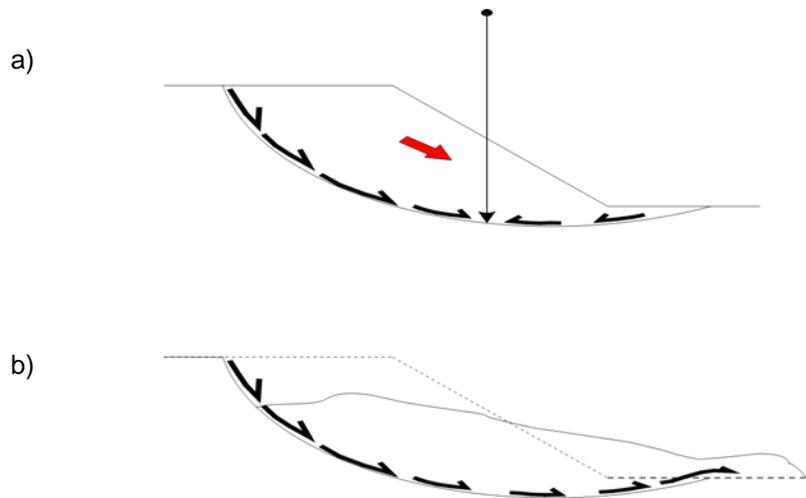


Figura 13. a) Equilibrio de fuerzas promoventes vs. resistivas. b) Aumento de fuerzas promoventes que logran vencer fuerzas resistivas dando como resultado un movimiento de ladera.

## 5.2. Aumento de la presión de poro por introducción de agua a los suelos

Los suelos están compuestos de partículas y entre ellas existen espacios vacíos (aire) – característico de los suelos no-consolidados-, los cuales con la introducción de agua son llenados con este líquido. Este intercambio aire-agua y consecuente llenado de espacios aumenta la presión de poro y reduce la fuerza de fricción que se tenía por el solo hecho de estar en contacto las partículas. Es por ello que, un material saturado de agua requiere de menor esfuerzo para ser trasladado de lugar, por alguna fuerza externa o por la permanente fuerza de gravedad.

## 5.3. Adición de pesos (construcciones)

La adición de pesos por infraestructura y construcciones, sobre los bordes y costados de laderas es otro factor promovente del movimiento (Figura 14 y 15). El peso de la construcción y sus interiores, tiene una componente de fuerza vertical que se suman al peso propio de la masa del talud y que por efectos de la gravedad actúan acelerando el reacomodo de las partículas del suelo hasta llegar nuevamente a un estado de reposo. La conjunción de ellos se esquematiza en las figuras 16 y 17.

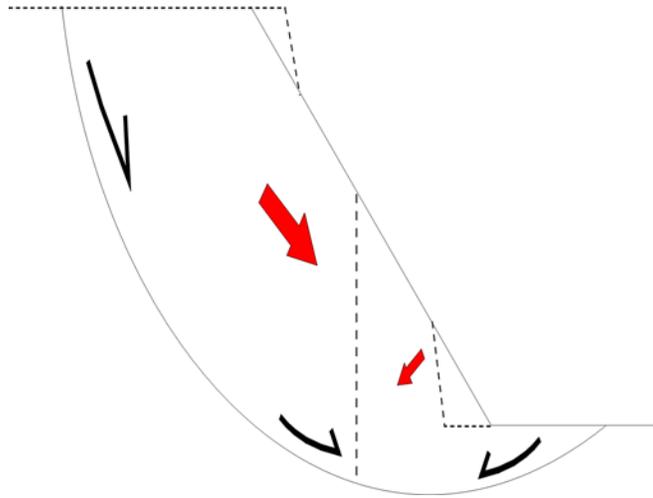


Figura 14. Diagrama de fuerzas promotoras y opositoras al movimiento de ladera.

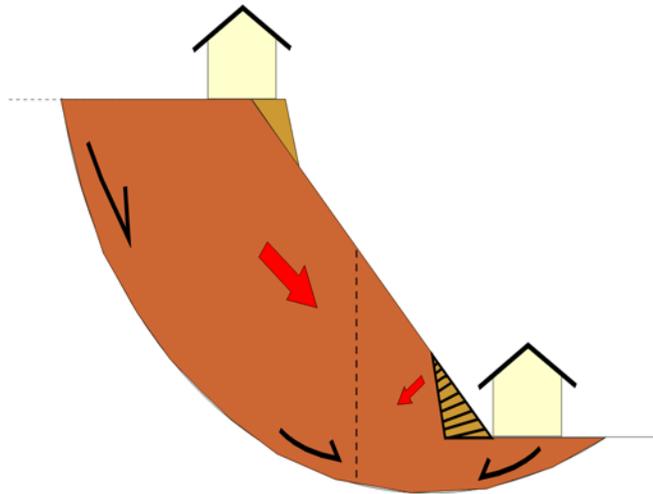


Figura 15. Esquema de acciones humanas no recomendadas. Adición de pesos en la parte superior y cortes de talud y remoción de material en su base.

#### 5.4. Exposición al efecto intemperismo por cortes de ladera y/o remoción de la cubierta vegetal.

Definición de Intemperismo: Rocas o suelos expuestos a la acción de la atmósfera están permanentemente sujetos a un 'ataque' químico, físico y biológico, conocido como Intemperismo. Los minerales que componen la masa de terreno expuestos a la intemperie son oxidados y degradados por acción de viento, sol, agua, seres vivos y el clima. Los efectos degradantes de este proceso se reflejan en las diversas formas del relieve, asociado a la diferencia de resistencia y exposición de los diferentes materiales. El factor tiempo en este proceso es fundamental, a mayor tiempo de exposición mayor es el efecto destructivo.

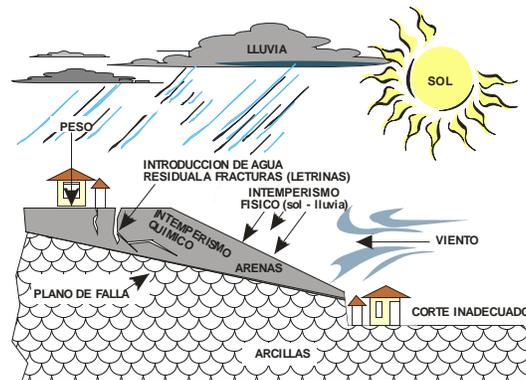


Figura 16. Diagrama de fuerzas naturales y acciones humanas promotoras al movimiento de ladera.



Figura 17. Resultado de suma de acciones naturales y humanas = a movimiento de ladera.

## 6. COMO ACTUAR PARA RETARDAR O EVITAR UN MOVIMIENTO DE LADERA

Para evitar o disminuir el potencial de movimiento de ladera en un sitio se deberán realizar acciones que NO promuevan la ocurrencia del fenómeno. Estas acciones tendrán el objetivo de contribuir a aumentar las fuerzas opositoras al movimiento.

Entre estas acciones están:

- Evitar al máximo la introducción del elemento agua hacia los estratos de suelo. Para el caso de lluvias, construir rutas de drenajes superficiales (bermas), evitando especialmente la introducción de agua sobre los bordes y cara de la ladera donde ya se hayan efectuados cortes de terreno que hayan modificado su pendiente natural (Figura 18). En el caso de agua por uso humano disminuir su introducción al terreno al máximo posible; la ubicación y riego de jardines debe también ser considerado. Definitivamente, las letrinas (fosas sépticas sin revestimiento e impermeabilidad) son uno de los factores que más contribuyen al movimiento de ladera; es muy importante que se trabaje en la introducción de infraestructura de drenaje formal, conectado a la red ciudadana.
- En el caso de haber cambiado muy drásticamente la pendiente natural del terreno, realizar obras civiles que apliquen fuerzas contenedoras (muros de contención) de

las fuerzas gravitacionales y de pesos aplicados en los bordes (Figura 19). Estas obras de ingeniería que ayudan a las fuerzas resistentes contra el movimiento deben ser aplicadas en los sitios adecuados, particularmente en la base del talud para el caso de materiales homogéneos o en los planos potenciales de deslizamiento, en el caso de materiales estratificados.

- Para evitar la introducción de agua por neblina-lluvia y retardar el efecto de exposición a la intemperie de materiales, sembrar especies de vegetación que para su funcionamiento no requieran de un riego constante, de preferencia que se alimenten con el agua proveniente de neblinas (comunes en estas latitudes). La especie conocida como 'hielito' y otras afines han mostrado su valía en algunos puntos de la Ciudad.
- Tener una buena comunicación y vigilancia con los vecinos. En algunas ocasiones el agua que debilita los terrenos en un sitio puede provenir de otras partes, particularmente partes más altas. Otras personas pueden hacer un mal uso y disposición del agua (no contar con drenaje, riego excesivo, etc) y esa acción se refleja en la estabilidad de otros terrenos aledaños y en partes mas bajas.



Figura 18. Construcción de bermas para conducción de agua superficial.



Figura 19. Muro de contención y sembrado de vegetación para evitar infiltración de agua.

## 7. EFECTOS DE UN MOVIMIENTO DE LADERA

Quizá el primer efecto que habría que apuntar por la ocurrencia de este fenómeno, es que tiene el potencial de causar pérdida de vidas, lo más valioso para una Comunidad. Otros, son que la Ciudad está perdiendo terrenos, la Autoridad predial contribuciones y los vecinos afectados, todo el trabajo y esfuerzo de muchos años (casa, inversiones, vehículos, etc).

Después de ocurrido el movimiento de ladera, los terrenos afectados quedan en un estado de estabilidad muy delicado, que lo más recomendable en la mayoría de casos es abandonarlos. Las obras de remediación o re-estabilización son quizá más costosas que la adquisición de otro predio.

En casos pasados, particularmente donde un número considerable de viviendas se ha perdido, la Autoridad debe contribuir con la ubicación de nuevos predios para los afectados y ellos con un reinicio en su vida. Esto sin considerar que quizá en los nuevos predios puedan estar presentes nuevamente condiciones de potencial de movimientos de ladera u otros riesgos. Después de vivido el fenómeno, es posible que pueda repetirse, si no se tienen las consideraciones necesarias. Figuras 20, 21 y 22.



Figura 20. Movimiento de ladera en colonias Anexa Ramirez y Cumbres del Rubi (31 de diciembre de 2002). Fue necesaria la reubicación inmediata de 40 familias en albergues y el corte inmediato de todos los servicios en un área mayor a la afectada.



Figura 21. Movimiento de ladera en colonias Anexa Ramirez y Cumbres del Rubi (31 de diciembre de 2002). Este evento costó la reubicación de 80 familias y el corte del servicio de agua por varios meses a otras 20 familias viviendo en las partes altas y bordes de la ladera.



Figura 22. Movimiento de ladera en colonia Maestros (marzo 7 de 2001). Este evento desde el momento de su ocurrencia hasta su reparación total, costo además de lo económico, que el 30% de la población de Tijuana no contara con el servicio de agua por 8 días.

#### 8. QUE HACER SI SOSPECHA DE UN MOVIMIENTO DE LADERA EN PROCESO

Algunas evidencias claras del inicio o inminencia de un movimiento de ladera es la aparición de fracturas en el terreno o en las edificaciones, banquetas, andadores (Figuras 23, 24, 25 y 26). Si estas fracturas son continuas por tramos considerables del terreno e incluso cruzan de una propiedad a otra, es muy probable que se esté ante la inminencia de un movimiento de ladera. En otros casos, horas anteriores al movimiento de ladera, particularmente durante la noche (menor ruido civil), se escuchan ruidos inusuales, tanto en las construcciones como en el terreno. En cualquiera de estos casos deberá comunicarse a su Delegación y/o a las oficinas de la Dirección Municipal de Protección Civil, para que se tomen las medidas necesarias.



Figura 23. Colonia Anexa Ramirez 30 de diciembre de 2002. Estas fracturas entre la cabecera y el flanco oeste se manifestaron tres días antes de darse el movimiento de ladera.



Figura 24. Colonia Anexa Ramirez 30 de diciembre de 2002. Estas fracturas en paredes y techo de casa se manifestaron quince días antes de darse el movimiento de ladera.



Figura 25. Colonia Anexa Ramirez 30 de diciembre de 2002. Estas fracturas en el flanco oeste de la cabecera se manifestaron tres días antes de darse el movimiento de ladera.



Figura 26. Colonia Anexa Ramirez 30 de diciembre de 2002. Estas fracturas en la cabecera se manifestaron quince días antes de darse el movimiento de ladera.

## 9. QUE HACER CUANDO HA INICIADO UN MOVIMIENTO DE LADERA

Una vez iniciado un movimiento de ladera, debe ser inmediatamente notificado a las Autoridades competentes (Protección Civil Municipal y Delegación correspondiente). En la medida de lo posible, cerrar las llaves de paso de agua potable, de gas e interrumpir suministro de energía eléctrica de la vivienda, para evaluar la situación. Mantenerse atento a la evolución del fenómeno hasta que las dependencias competentes delimiten el área de impacto y determinen si se requiere iniciar la evacuación de personas y bienes.

En algunos casos estos movimientos son muy lentos y dan oportunidad de evacuar rescatando pertenencias, en otros el movimiento es repentino y no hay oportunidad de nada, incluso llegan a perderse vidas por su velocidad de caída. De cualquier forma deberá crearse una zona de seguridad por las Autoridades o vecinos si aún no hay autoridades presentes. La cooperación de personas afectadas y vecinos con sus autoridades para estos casos es sumamente importante.

Una vez que el evento alcanzó su máximo impacto, no debe intentarse regresar al área, porque los suelos están muy reblandecidos, el ambiente se torna insalubre y existen grietas por todas partes, invariablemente ocultas por los materiales arrastrados.

## 10. REFERENCIAS RELACIONADAS AL TEMA

Secretaría de Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil.  
EROSIÓN, Fascículo No. 8 Primera Edición, 1994.

Secretaría de Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil.  
INESTABILIDAD DE LADERAS NATURALES Y TALUDES, Fascículo No. 11 Segunda Edición, 2001

A. Rosquillas, L. Mendoza y Colaboradores  
ATLAS MUNICIPAL DE RIESGOS. Sistema Municipal de Protección Civil de Tijuana. Versión 1.0, 2000.

DIAGNOSTICO DE RIESGOS URBANOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE TIJUANA. H. Ayuntamiento de Tijuana, Dirección Municipal de Protección Civil. Arq. Luis A. López Álvarez Editor. 2001-2002.

GUÍA PARA LOCUTORES Y CONDUCTORES DE RADIO Y TELEVISIÓN EN CASO DE TERREMOTO. Dirección Municipal de Protección Civil. Antonio Rosquillas, Luis H. Mendoza, Rosalinda Frías. 2003

Tijuana, B.C. septiembre 2007