

El clima en la Inestabilidad de laderas

-La época de lluvias-



SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

Lic. Santiago Creel Miranda
Secretario de Gobernación

Lic. María del Carmen Segura Rangel
Coordinadora General de Protección Civil

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

M. en I. Roberto Quaas Weppen
Director General

Dr. Sergio M. Alcocer Martínez de Castro
Coordinador de Investigación

Ing. Enrique Guevara Ortiz
Coordinador de Instrumentación

M. en I. Tomás Alberto Sánchez Pérez
Coordinador de Difusión

Lic. Gloria Luz Ortiz Espejel
Coordinadora de Capacitación

Lic. Luz María Flores Guerrero
Coordinadora Administrativa

Profra. Carmen Pimentel Amador
Secretaría Técnica

1ª edición, noviembre 2002

© SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN
Abraham González Núm. 48,
Col. Juárez, Deleg. Cuauhtémoc,
C.P. 06699, México, D.F.

© CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES
Av. Delfín Madrigal Núm. 665,
Col. Pedregal de Santo Domingo,
Deleg. Coyoacán, C.P. 0 4360, México, D.F.
Teléfonos:
(55) 54 24 61 00
(55) 56 06 98 37
Fax: 56 06 16 08
e-mail: editor@cenapred.unam.mx
www.cenapred.unam.mx

© Autora: *Ma. Teresa Vázquez Conde*

Edición: Violeta Ramos Radilla
Portada: D.G. Demetrio Vázquez y Susana González

ISBN:970-628-630-6

Derechos reservados conforme a la ley
IMPRESO EN MÉXICO. *PRINTED IN MEXICO*

Distribución Nacional e Internacional: Centro Nacional de Prevención de
Desastres

EL CONTENIDO DE ESTE DOCUMENTO ES EXCLUSIVA
RESPONSABILIDAD DE LA AUTORA



Contenido

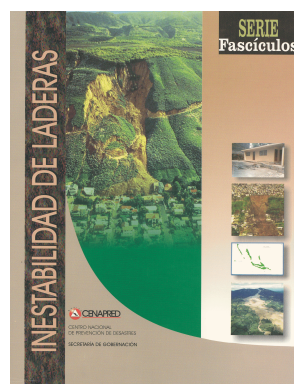
Presentación	3
El clima en la inestabilidad de laderas- La época de lluvias	5
¿Cómo influye el clima en la estabilidad de las laderas?	6
¿Por qué la lluvia puede ser un detonador de un deslizamiento?	8
¿Cómo afecta la lluvia a la ladera?	12
¿Medir la lluvia sirve como un parámetro de alerta en el deslizamiento de una ladera?	14
¿Cómo influye la deforestación en el proceso de inestabilidad de una ladera?	15
¿Qué debo hacer si vivo en una ladera y ocurre una tormenta prolongada o intensa?	17

Presentación

Este folleto forma parte de la serie de publicaciones de la Estrategia Nacional de Mitigación del Riesgo por Inestabilidad de Laderas (MILADERA). Dicha serie tiene la finalidad de difundir las características principales y los conocimientos técnicos del fenómeno. En ella se incluyen folletos, fascículos, guías y otros manuales y documentos técnicos para la reducción del riesgo por inestabilidad de laderas.

La inestabilidad de laderas es, en ocasiones, el resultado de la combinación de varios factores, ya sea naturales o humanos. Uno de ellos es la acción del hombre cuando deforesta los bosques y cambia el uso del suelo, modificando las condiciones de equilibrio de la ladera. Otros son el relieve orográfico, el tipo de suelo, la presencia de sismos y, por supuesto, la lluvia intensa o abundante.

El clima, y en especial la lluvia, es uno de los detonadores naturales más importantes en México. Basta recordar, por ejemplo, los lamentables hechos ocurridos en la sierra norte de Puebla en 1999, que cobró más de 200 víctimas, la mayoría de ellas ocurridas en Teziutlán; o bien los deslaves y flujos de lodo acontecidos en Chiapas en 1998, o el flujo de escombros en Acapulco en 1997, provocado por el huracán Pauline que produjo grandes pérdidas humanas



y económicas. En varios de los casos de mayor impacto, la combinación de lluvias abundantes o intensas, con un inadecuado uso del suelo y deforestación, fue el motor principal de la inestabilidad y los flujos.

En virtud de que el objeto de la Protección Civil es la población, es entre ella donde se deben concentrar los esfuerzos de difusión, capacitación y preparación sobre la inestabilidad de laderas. Se propone hacer énfasis en destacar las consecuencias que tiene la intervención del hombre combinada con situaciones meteorológicas desfavorables. Se espera que los trabajos realizados respecto a este interesante tema, inviten a la reflexión y a adoptar medidas de mitigación y protección.

A la fecha, en el comité técnico de MILADERA, participan expertos de diferentes instituciones, como el CENAPRED, los Institutos de Ingeniería y Geografía de la UNAM, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y el Comité Administrador del Programa Federal de Construcción de Escuelas (CAPFCE). Esta variedad multidisciplinaria ha permitido, sin duda, enriquecer los trabajos publicados.



El clima en la inestabilidad de laderas- La época de lluvias

La inestabilidad de laderas depende tanto de factores naturales como humanos. Entre los primeros destaca el clima, en especial por la influencia de la temperatura, humedad y, sobre todo, de la lluvia (figura 1). Por otro lado, la deforestación provocada por el hombre y los asentamientos humanos en las laderas, frecuentemente de tipo irregular, aumentan las posibilidades de que éstas se deslicen y constituyan enormes amenazas para la población, sus bienes y su entorno.



Figura 1. Flujo de lodo provocado por las lluvias intensas durante el paso del huracán Mitch en Nicaragua, en 1998.

¿Quieres conocer más sobre este interesante tema? Te invitamos a que sigas leyendo y a que consultes la serie de fascículos y material diverso que el CENAPRED ha preparado para conocer y entender el fenómeno de la inestabilidad de laderas.

¿Cómo influye el clima en la estabilidad de las laderas?

México cuenta con una diversidad de climas, la cual comprende climas cálidos-subhúmedos en 23% del territorio nacional; secos en 28%, muy secos en 21% y templados-subhúmedos en 21%. También cuenta con climas cálidos con temperaturas medias anuales mayores que 26°C y climas fríos con temperaturas medias anuales menores que 10°C. En la figura 3 se muestra la distribución de los climas en el territorio nacional.



Figura 2. Varios aspectos que determinan el clima, como la vegetación y el relieve, pueden propiciar la inestabilidad de una ladera.

La capa exterior de la corteza terrestre, conocida como suelo, es la que está expuesta a la acción del clima y puede sufrir serias alteraciones físicas, sobretodo debido a la humedad excesiva de un clima tropical, una nevada intensa o a las lluvias copiosas, aún en climas muy secos.

El clima puede causar cambios en las propiedades físicas del suelo que propicien que una ladera pierda su estabilidad y que entonces pueda moverse. Aunque los movimientos pueden tomar varios años para que sucedan, el proceso puede ser acelerado por la acción del hombre, por un sismo o, incluso, por el mismo clima cuando ocurre un fenómeno extremo como es el caso de una lluvia intensa provocada, por ejemplo, por la presencia de un huracán.



La combinación de diversos factores internos (composición del suelo, geología, resistencia, etc.) y externos (clima, deforestación, sismos, etc.) de una ladera son los que pueden propiciar su inestabilidad. Por ejemplo, la combinación de un sismo y después de éste, intensas lluvias pueden provocar una buena cantidad de deslizamientos (como ocurrió en El Salvador, en 2001), o bien, un volcán activo, con gran cantidad de suelo y rocas sueltas depositadas en sus laderas, más la presencia de lluvias fuertes, puede originar un flujo de escombros o de lodos (como fue el caso de Nicaragua con el huracán Mitch, en 1998).

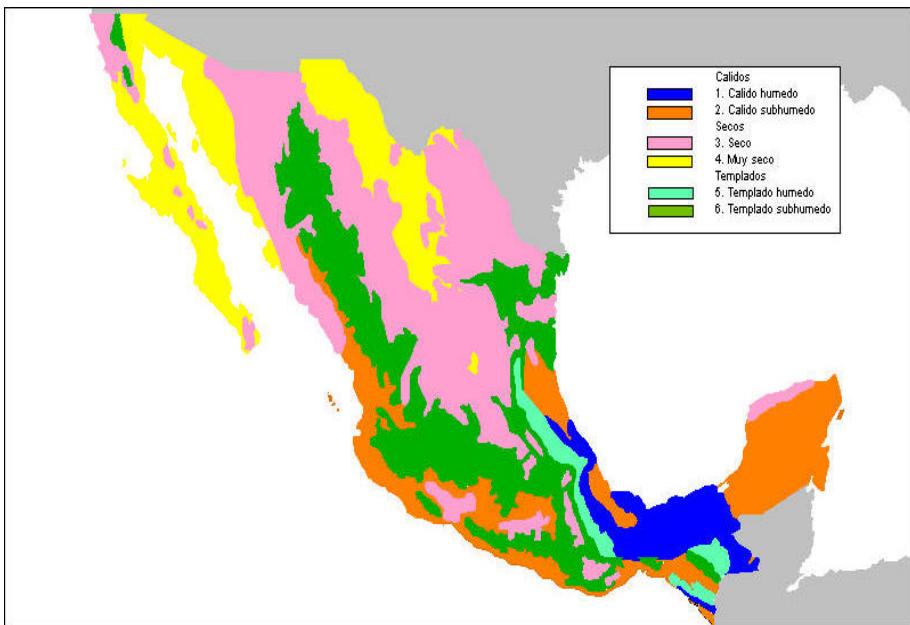


Figura 3. La distribución de climas en México (fuente: INEGI).

¿Por qué la lluvia puede ser un detonador de un deslizamiento?

Cuando la lluvia es abundante, o cuando es intensa (lueve una gran cantidad de agua en corto tiempo), o bien cuando se presenta una combinación de ambas (como ocurre en un ciclón tropical), se puede infiltrar una importante cantidad de agua en el suelo hasta llegar a los estratos que alojan el agua subterránea (cuya frontera superior se llama nivel freático). La entrada de agua al subsuelo en la ladera puede llegar a un punto en que ésta última se desestabiliza. Esto se explica porque el agua que se infiltra “empuja” a las partículas del suelo de modo que éste reduce su resistencia (incluso bajo su peso). De igual manera, cuando las gotas de lluvia tocan la superficie terrestre y comienza a escurrir el agua hasta formar arroyos, ríos y lagos (escurrimiento superficial), es posible que la fuerza y el volumen de agua provoquen erosión en las orillas de los ríos que en ocasiones son laderas de una montaña (figura 4).



Entre los principales aspectos del clima en nuestro país está la distribución de las lluvias en el año. La lluvia varía en el territorio mexicano como se muestra en la figura 5. Las zonas con mayor cantidad de lluvia al año son las de color rojo y las que tienen escasa lluvia son las de color verde claro.



Figura 4. Deslizamiento de una ladera a la orilla de un río.

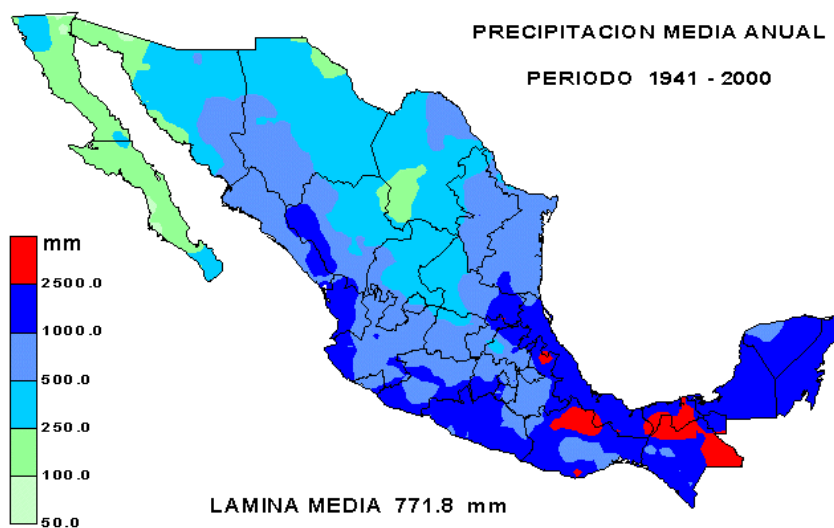


Figura 5. Lluvia media anual en la República Mexicana (fuente: Comisión Nacional del Agua).

Los fenómenos meteorológicos más importantes que provocan lluvia en México son:

- ♦ los **ciclones tropicales** que pueden intensificarse hasta *huracanes* y se presentan de mayo a noviembre; casos importantes de inestabilidad de laderas provocados por la lluvia de ciclones se han dado en Acapulco y Oaxaca en 1997 por el huracán Pauline (figura 6), y un ejemplo de mayor devastación fue el paso del huracán Mitch por Centroamérica en octubre de 1998, cuyas lluvias torrenciales, principalmente en Honduras y Nicaragua provocaron, entre otras cosas, el deslizamiento de laderas de grandes proporciones (figura 7).



Figura 6. Flujo de escombros en Acapulco propiciado por las lluvias del huracán Pauline, 1997.

- ♦ las *tormentas de invierno o frentes fríos*, que en enero de 1993 produjeron lluvias torrenciales en la ciudad de Tijuana, registrando importantes daños por inestabilidad de laderas; también se tienen las *lluvias de verano*, que ocasionan el mayor número de lluvias en el país y que en septiembre de 1998, provocaron graves inundaciones y flujo de lodos a lo largo de las montañas y costa sur del estado de Chiapas (figura 8).

- ◆ las *lluvias convectivas*, que se caracterizan por ser muy fuertes, con poco tiempo de duración (del orden de minutos o cuando mucho un par de horas) y ocurren en áreas pequeñas, éstas ocasionaron daños por inestabilidad de laderas en Cuajimalpa y Milpa Alta, Distrito Federal, en 1998.



Figura 7. Flujo de lodo en el volcán Casita, Nicaragua, 1998.



Figura 8. Flujo de una ladera en Motozintla, Chiapas, provocada por una lluvia de verano, 1998.

¿Cómo afecta la lluvia a la ladera?

Los efectos de la lluvia en la ladera se pueden entender al revisar el transporte de agua en la atmósfera y en la tierra (ciclo hidrológico).

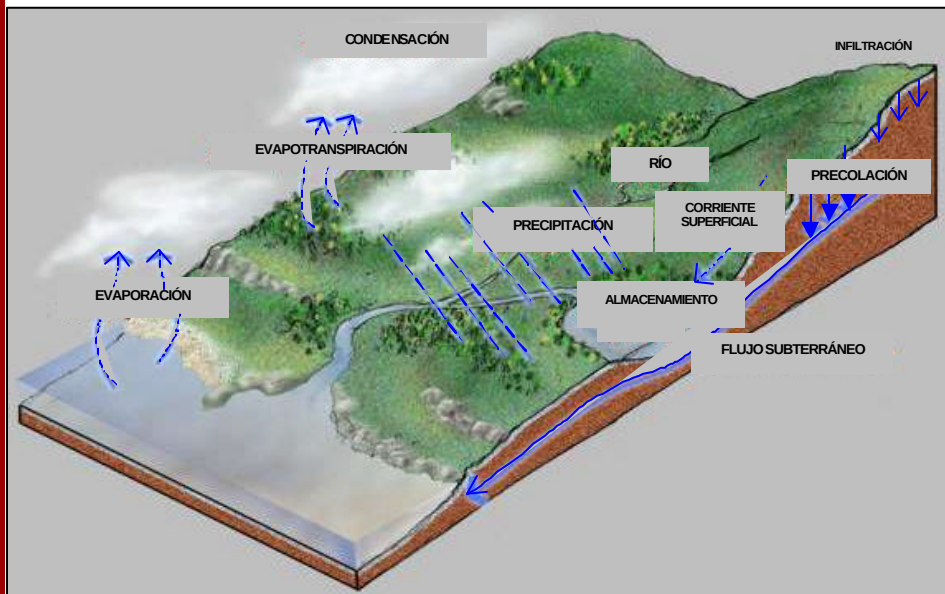


Figura 9. Ciclo hidrológico.

En la figura 9 se observa la forma en que el agua realiza un ciclo, el cual inicia cuando ésta se evapora en los océanos debido al calentamiento producido por el sol y sube a la atmósfera formando nubes. Los vientos transportan las nubes a la masa continental donde pueden generarse lluvias. Al caer el agua de lluvia sobre la superficie terrestre, es interceptada en parte por la vegetación, una parte escurre sobre el suelo (flujo superficial), otra es absorbida por éste (infiltración) e incluso sirve de recarga al agua subterránea (percolación). El agua que escurre sobre el suelo des-

carga en ríos, arroyos y lagos, como escurrimiento superficial. El agua que se precipita en la tierra, fluye hacia el mar como destino final, ya sea por medio de la infiltración, agua subterránea o por el escurrimiento superficial, comenzando con ello nuevamente el ciclo hidrológico.

La infiltración o percolación del agua en el suelo provoca que éste se impregne de humedad. La cantidad de agua que se infiltra al suelo depende de la capacidad de absorción o retención de éste. Cuando el terreno se humedece al máximo (saturación) y esta condición dura un largo periodo, el suelo obtiene un peso adicional al suyo, debido a la carga de agua, el cual puede ocasionar la reducción de la resistencia del suelo e incluso causar que éste se comporte como un fluido.

El grado de afectación de la lluvia a la ladera depende de la cantidad de humedad del suelo, de la inclinación de la ladera, del tipo de suelo, de su estado de alteración, de la temperatura y del tipo de vegetación, entre otros. Es importante hacer notar que la inestabilidad de una ladera no se dará por la acción de una tormenta ordinaria, sino que ocurrirá tras una lluvia intensa o bien, después de una lluvia pertinaz por semanas, que saturará y eventualmente afectará la estabilidad de la ladera. El momento del colapso está relacionado con el debilitamiento provocado por la acción del hombre, con el tipo de suelo y con el clima predominante en la zona.



¿Medir la lluvia sirve como un parámetro de alerta en el deslizamiento de una ladera?

Si se estudian estadísticamente las lluvias y los escurrimientos medidos con aparatos, y se revisan contra valores máximos admisibles, se puede estimar la probabilidad de que una ladera se vuelva inestable. Este factor se debe tomar en cuenta para identificar zonas de riesgo por inestabilidad de laderas provocadas por lluvias intensas.



Figura 10. Aparato de bajo costo para medir la lluvia.

En varias partes del mundo se usan sistemas de alerta basados en la cantidad de lluvia acumulada, en su relación cantidad de lluvia- duración, así como en mediciones de la humedad y otras propiedades del suelo. Para ello se establecen límites o umbrales de lluvia para conocer las condiciones mínimas de lluvia que propicien una inestabilidad en las laderas.

La medición de lluvia proporciona un dato muy importante para lograr la detección y pronóstico oportunos de la inestabilidad de una ladera. En caso de no contar con mediciones, es primordial comenzar con ello y, como opción temporal, se pueden utilizar aparatos de bajo costo de medición de lluvia instalados en aquellas zonas con problemas de inestabilidad de laderas (figura 10).

¿Cómo influye la deforestación en el proceso de inestabilidad de una ladera?

La vegetación natural juega un papel importante en la ladera, puesto que su comportamiento difiere dependiendo si se trata de un bosque, estepa, desierto, pradera o selva. Cuando ocurre una lluvia, los árboles y las plantas interceptan una parte del agua en sus ramas y hojas y otra porción de agua es retenida por las raíces en el suelo. Ello permite que una menor cantidad de agua escurra en la superficie y a su vez se reduzca la velocidad en ríos y arroyos; por otro lado, la vegetación evitará la erosión del suelo debida a la lluvia, y mejorará su resistencia al servir las raíces como armazón, evitando su desgajamiento. En cambio, un suelo sin vegetación debido a la acción del hombre (deforestación) o por circunstancias naturales, se satura rápidamente y conduce un mayor volumen de escurrimiento, por ello, la deforestación acelera las condiciones para que ocurra la erosión de los suelos por el efecto de las gotas en el suelo, debilitando su estructura.

Cuando llueve, las gotas de agua chocan con el suelo y provoca que las partículas del suelo se desprendan en todas direcciones y que escurran por la ladera por la acción del agua. Mientras escurre, el agua también arrastra



parte del suelo, llegando a formar pequeños surcos que colaboran a la pérdida del suelo en la ladera. En el caso de que el suelo haya perdido una gran cantidad de material, se llegan a formar grandes surcos que se transforman en ocasiones en barrancas después de varias lluvias intensas. Es común que este suceso se relacione con la deforestación y con un estado muy avanzado de erosión del sitio. Su característica principal es su constante crecimiento tanto en extensión como en profundidad y puede producir inestabilidad en la falda de un cerro. Ejemplos claros de erosión son el de Santa María Jajalpa, Estado de México (figura 11) y la sierra norte de Puebla (figura 12). Esta situación es gravísima, ya que con la erosión se pierde el suelo que se usa para la agricultura y para el crecimiento del forraje para alimentar el ganado.

Por esta razón, la deforestación es un factor que debilita la estabilidad de las laderas debido a la erosión que provoca y que si no se corrige a tiempo, las consecuencias pueden ser irreversibles. La erosión se puede combatir construyendo terrazas en las laderas, reforestando y construyendo pequeñas represas para detener el suelo erosionado en su camino hacia abajo por la ladera.

Si te interesa saber más sobre el tema de la erosión, te invitamos a que leas el Fascículo No. 8 sobre erosión, elaborado en el CENAPRED.



Figura 11. Barranca en franco proceso de formación en Santa María Jajalpa, Estado de México.



Figura 12. Grandes surcos en la sierra norte de Puebla. Nótese la deforestación.

¿Qué debo hacer si vivo en una ladera y ocurre una tormenta prolongada o intensa?

1	¡Manténte despierto y alerta! Muchas de las muertes causadas por flujos y deslizamientos ocurren de noche cuando la gente está durmiendo. Mantenerse atento a los avisos de tormenta por la radio. Tener presente que lluvias intensas de corta duración son particularmente peligrosas, especialmente si ocurren después de periodos largos de lluvia.
2	Considera evacuar tu hogar si vives en un área que es susceptible a movimientos de ladera, teniendo en cuenta que puedas hacerlo sin peligro.
3	Estar atentos a cualquier sonido producido por escombros en movimiento, tales como árboles derrumbándose o peñascos que chocan uno con otro. Usualmente los flujos y deslizamientos mayores son precedidos por movimientos pequeños. Si vives cerca de un canal o arroyo, debes de estar alerta a cualquier cambio súbito en los niveles y turbulencia del agua. Estos cambios pueden indicar que han ocurrido movimientos. Evacúa el área inmediatamente, no trates de cruzar los arroyos, ni siquiera en vehículo pues la fuerza del fluido puede arrastrar objetos muy pesados y convertirlos en chatarra. No trates de salvar tus bienes, tú y tu familia son más importantes.
4	Cuando estés conduciendo un vehículo bajo condiciones de tormenta presta atención a los taludes de las carreteras ya que éstos son muy susceptibles a caídos, flujos y deslizamientos. Mantente alerta a la carretera por si ves lodo y rocas, ó el pavimento colapsándose, ya que estos pueden indicar la presencia de un movimiento de ladera.
5	Vigila el drenaje en los taludes alrededor de tu hogar. En especial observa aquellos lugares donde las corrientes de agua convergen causando que el flujo de agua sobre esos suelos aumente. Mantente atento a cualquier rasgo que pueda indicar algún movimiento de suelo en las colinas que estén cerca de tu hogar, tales como pequeños deslizamientos, flujos de escombros y / o múltiples árboles inclinados cuesta abajo.

Agradecimientos

Se agradece la participación y los valiosos comentarios del Dr. Martín Jiménez, Dr. Oscar Fuentes, Dr. Jesús Gracia del Instituto de Ingeniería, quienes revisaron reiteradamente el documento, al M.I. Carlos Gutiérrez, Dr. Sergio Alcocer, M.I. Fermín García, Dra. Irasema Alcántara, M.I. Alonso Echavarría, M.I. Leobardo Domínguez y M.I. Ignacio Noriega por sus interesantes comentarios. También se agradece la ayuda del pasante en Ingeniería Mario Suárez en la elaboración de las figuras para el presente folleto.

«Folleto El clima en la inestabilidad de laderas - La época de lluvias»
Se terminó de imprimir en Diciembre del 2002,
en los talleres de Medios y Canales S.A. de C.V.
Exconvento de Churubusco No. 331 Col. Evolución Edo. de México, La edición en papel
lustrolito de 150 grs. en interiores y portada en cartulina sulfatada de 14 puntos- consta de
1000 ejemplares más sobrantes para reposición.



**Coordinación General de Protección Civil
Centro Nacional de Prevención de Desastres**

Av. Delfín Madrigal No.665,
Col. Pedregal de Sto. Domingo,
Deleg. Coyoacán,
México D.F., C.P. 04360

www.cenapred.unam.mx