

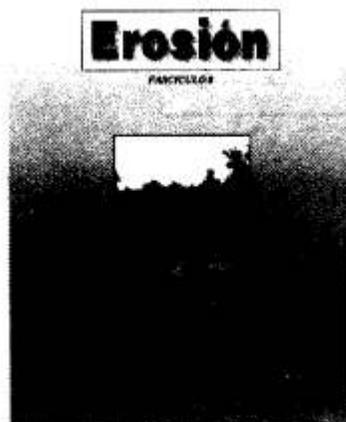
Erosión

FASCICULO 8



Secretaría de
Gobernación
Sistema Nacional de
Protección Civil





1a. edición, 1994
 2a. impresión de la primera edición, 1995
 3a. impresión de la primera edición, 1996
 2a. edición, 1998

© SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN
 ABRAHAM GONZÁLEZ No. 48
 COL. JUÁREZ, DELEG. CUAUHTÉMOC
 C.P. 06699, MÉXICO, D.F.

© CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES
 AV. DELFÍN MADRIGAL N° 665
 COL. PEDREGAL DE SANTO DOMINGO
 DELEG. COYOACÁN, C.P. 04360, MÉXICO, D.F.
 TELÉFONO: 424 - 6100
 FAX: 6 06 16 08

© AUTORES:
 DR. JESÚS GRACIA
 DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ
 ÁREA DE RIESGOS HIDROMETEOROLÓGICOS - CENAPRED

Edición a cargo de: Ricardo Cícero y Violeta Ramos

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

Distribución nacional e internacional: Centro Nacional de
 Prevención de Desastres.

LA RESPONSABILIDAD DEL CONTENIDO DE ESTE
 DOCUMENTO ES EXCLUSIVAMENTE DE LOS AUTORES

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

Lic. Francisco Labastida Ochoa
 Secretario de Gobernación

Lic. Guillermo Ruiz de Teresa
 Coordinador General de Protección Civil

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

Dr. Roberto Mell
 Director General

Dr. Servando de la Cruz
 Coordinador de Investigación

Lic. Ricardo Cícero Betancourt
 Coordinador de Difusión

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
IMPORTANCIA DE LA EROSIÓN HÍDRICA DE SUELOS	2
CUANTIFICACIÓN	7
FÓRMULA UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO	8
ÍNDICES DE EROSIÓN EN MÉXICO	10
CONTROL DE LA EROSIÓN. BENEFICIOS Y COSTOS	14
SOLUCIONES	16
A) REFORESTACIÓN Y CUBIERTAS PROTECTORAS	16
B) TERRAZAS Y CULTIVO EN CONTORNO Y EN FAJAS	18
C) ROTACIÓN DE CULTIVOS Y LABRANZA MÍNIMA	20
D) PROTECCIÓN DE LADERAS, CÁRCAVAS Y CAUCES	22
TAREAS	26
REFERENCIAS	28



INTRODUCCIÓN

Por su orografía accidentada, gran parte del territorio mexicano está expuesto a erosión del suelo, particularmente a la pluvial. Esto provoca pérdida de un recurso natural que para fines prácticos se puede considerar no renovable: el suelo.

La merma de éste repercute en gran cantidad de problemas; dos de los más importantes son: descenso en el rendimiento de los cultivos, y disminución de capacidad en los embalses. En México gran parte de la producción agrícola proviene de zonas temporales; en estos sitios se acentúa la pérdida de suelo útil por erosión, debido a:

- Régimen de lluvias
- Orografía
- Técnicas de cultivo deficientes

Paradójicamente, el suelo **útil** desprendido de las cuencas constituye un problema en los embalses, pues reduce su capacidad de:

- Almacenamiento para riego
- Generación eléctrica
- Control de avenidas
- Disponibilidad de agua para consumo humano

Ante este problema, la acción gubernamental se ha orientado a informar y capacitar a los ciudadanos para enfrentar un problema que hoy es importante, pero que **a plazo mediano se acentuará**.

En este fascículo se describen:

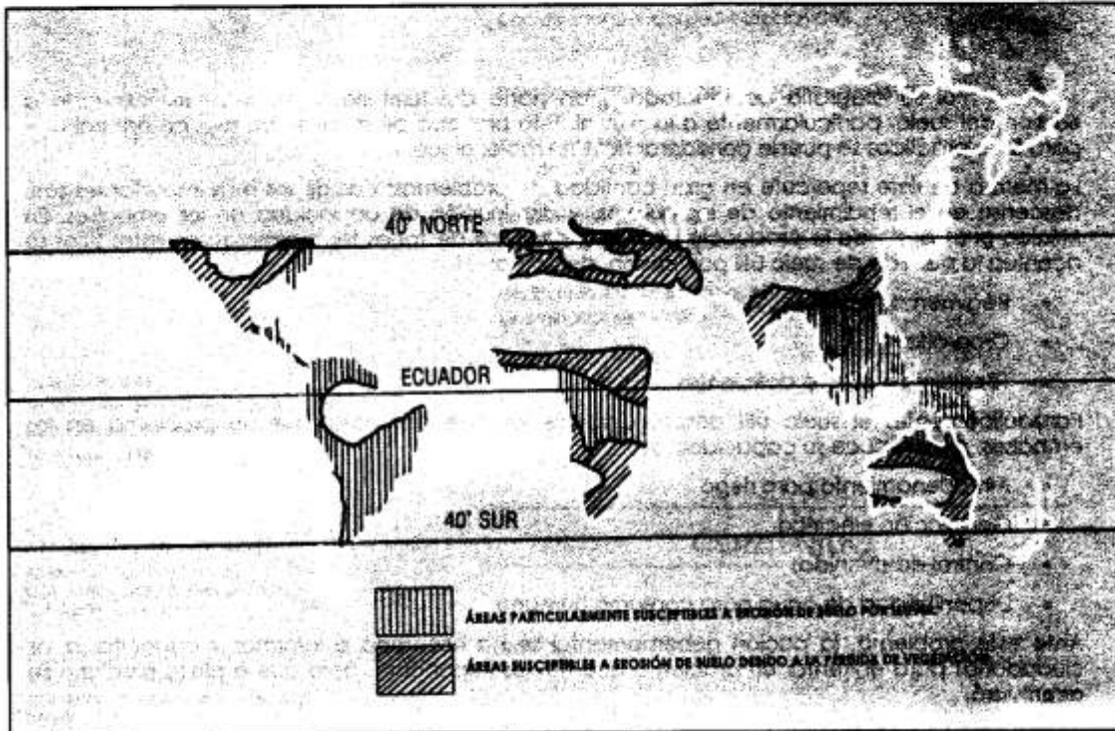
- Conceptos fundamentales del proceso de erosión
- Causas que lo originan
- Evolución
- Consecuencias
- Acerca de suelos, acciones de:
 - Protección
 - Conservación
 - Rehabilitación
- De control:
 - Obras
 - Estructuras

Procurando enriquecer nuestras publicaciones, agradeceremos el envío de sus opiniones a:

Av. Delfín Madrigal número 665, Colonia Pedregal de Santo Domingo, Delegación Coyoacán, México, Distrito Federal, Código Postal 04630. Teléfonos: 606-9520, 606-9942. Fax: 606-1608



IMPORTANCIA DE LA EROSIÓN HÍDRICA DE SUELOS



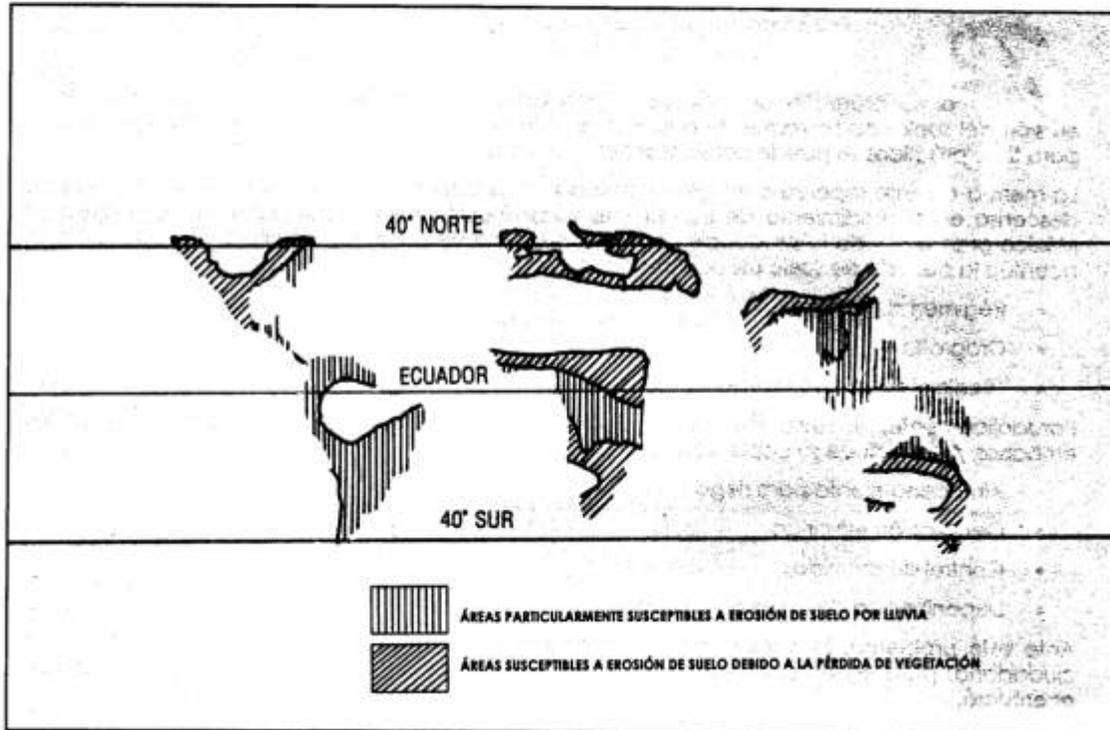
Erosión hídrica es remoción del suelo por efecto del agua, sea por gotas de lluvia o por escurrimiento superficial. Ocurre porque al impacto de tales gotas en el suelo se rompe la estructura superficial de éste, y salpica el material sólido en todas direcciones. Ya suelto el material, el flujo superficial lo transporta, y provoca fuerza de arrastre sobre el terreno; incluso forma pequeños canalillos (*rills*), que en gran medida colaboran a la pérdida del suelo. Generalmente al desgaste causado por gotas de lluvia y escurrimiento superficial se le denomina *erosión laminar*. Ésta remueve principalmente

material fino, el cual viaja en suspensión en las corrientes; en la mayor parte de los problemas de sedimentación es la más importante.

Una vez que el material sólido llega a cauces bien delimitados (ríos), el esfuerzo que el agua ejerce sobre ellos se acentúa, y se genera la erosión denominada *en canales*. Ésta remueve principalmente material grueso, transportado en el fondo del cauce. Su magnitud depende de las características del escurrimiento.



IMPORTANCIA DE LA EROSIÓN HÍDRICA DE SUELOS



Erosión hídrica es remoción del suelo por efecto del agua, sea por gotas de lluvia o por escurrimiento superficial. Ocurre porque al impacto de tales gotas en el suelo se rompe la estructura superficial de éste, y salpica el material sólido en todas direcciones. Ya suelto el material, el flujo superficial lo transporta, y provoca fuerza de arrastre sobre el terreno; incluso forma pequeños canalillos (*rills*), que en gran medida colaboran a la pérdida del suelo. Generalmente al desgaste causado por gotas de lluvia y escurrimiento superficial se le denomina *erosión laminar*. Ésta remueve principalmente

material fino, el cual viaja en suspensión en las corrientes; en la mayor parte de los problemas de sedimentación es la más importante.

Una vez que el material sólido llega a cauces bien delimitados (ríos), el esfuerzo que el agua ejerce sobre ellos se acentúa, y se genera la erosión denominada *en canales*. Ésta remueve principalmente material grueso, transportado en el fondo del cauce. Su magnitud depende de las características del escurrimiento.



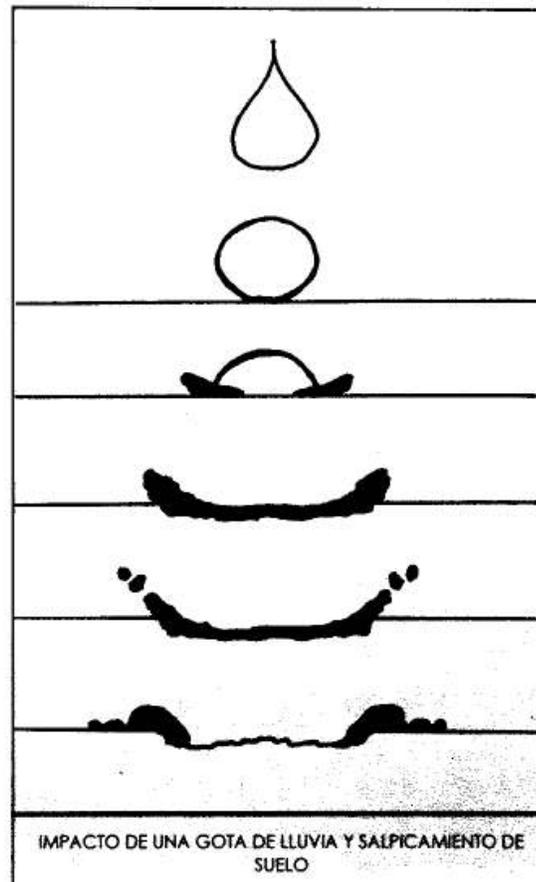
Cárcavas. Son casos particulares de la erosión en canales (cauces), cuya característica principal es crecimiento constante, en extensión (área) y profundidad. Si ambas modalidades principales de erosión son muy agudas, pueden transformarlas en barrancas; además generan fallas de taludes. Generalmente su aparición concuerda con una etapa erosiva muy avanzada. Tal crecimiento pone en peligro áreas y estructuras vecinas: puentes, caminos, etc.

Influencia humana en los procesos erosivos. Aunque siempre existe erosión natural, ocurre a plazo muy largo. El equilibrio natural se altera y los procesos de erosión se aceleran por:

- ⇒ Apertura de caminos
- ⇒ Desmonte de áreas para:
 - ⇒ Cultivo
 - ⇒ Silvicultura
 - ⇒ Urbanización, etc.

Gestación de problemas erosivos. Ocurre en decenios; por ello a plazo corto sus manifestaciones no son claras, sino hasta su fase final, cuando se ha perdido la mayor parte del suelo útil y se han formado cárcavas.

Razón del perjuicio de la remoción del suelo. Éste constituye el soporte principal de las plantas, y el almacenamiento natural del agua y de los nutrientes que aquéllas aprovechan para su crecimiento y desarrollo. Al removerlo se pierde un recurso natural que para fines prácticos es no renovable, pues su generación requiere mucho tiempo. A plazo mediano esto influye principalmente en menor producción agropecuaria y en pérdida de áreas silvícolas; a plazo largo, en cambios de los ecosistemas.





Si la erosión causada por escurrimiento es intensa, se generan cárcavas o barrancas, que además de aportar grandes cantidades de sedimento ponen en peligro caminos y propiedades públicas y privadas.

Consecuencias de la erosión del suelo. El problema principal que induce la erosión del suelo es la sedimentación de material sólido donde esto es indeseable: embalses de presas y lagos, pues disminuye su capacidad. Para desazolve se requieren grandes erogaciones, lo cual no siempre es posible.

Daños causados en embalses mexicanos. La información inherente es escasa. Del análisis de 20 presas presentado en la referencia (ref.) 6 se obtuvieron los resultados siguientes: en menos de 16 años, el 70% ha perdido su capacidad reservada para azolve; en el 40% de los casos se ha reducido en más del 20% su capacidad útil. Los dos casos más evidentes son *La Calera* y *La Soledad*; hasta 1981, se estima que la primera había perdido el 94% de su capacidad útil, y la segunda el 76%. La información empleada para obtener los resultados es aproximada, pero concuerda con las apreciaciones en campo.





Problemas de erosión en zonas urbanas. Dado el constante crecimiento de las ciudades, muchas veces éstas se extienden hacia zonas altas donde, debido a urbanización, se desprende abundante material sólido, el cual causa daños a los sistemas de drenaje, pues reduce su capacidad y provoca inundaciones. Adicionalmente existe falla de taludes, que muchas veces daña a construcciones ubicadas arriba y abajo de la zona de deslizamiento.

Comúnmente no sólo los sitios en proceso de urbanización aportan material sólido, sino también áreas aledañas paulatinamente deforestadas.

Grado de importancia de la erosión en México. El fenómeno ocurre principalmente en zonas de topografía abrupta, con pendientes escarpadas. Tomando en cuenta que el relieve de gran parte del territorio es de este tipo y que las zonas agrícolas temporales están ubicadas en ellas, se considera que el problema es grave. Si por su efecto el suelo se empobrece o desaparece, por baja producción de los cultivos se abandonan dichos lugares. En algunos en 60 años se han perdido estratos de 1 m de suelo. Puesto que generalmente los primeros 60 cm de éste son los más útiles para la agricultura, se ha de comprender la importancia de su acelerado empobrecimiento.





Cifras relativas a consecuencias del problema de la erosión

Desafortunadamente en México existe poca información documentada; empero, algunas cifras contenidas en la literatura respectiva son muy ilustrativas.

En la ref. 7, de los EUA se presenta la información siguiente [los datos de la a) a la d) son anuales]:

- a) Para mantener navegables ríos y puertos, se dragan aproximadamente $300\,000\,000\text{ m}^3$
- b) Los embalses pierden $1\,100\,000\,000\text{ m}^3$ de capacidad
- c) Se estima en $270\,000\,000$ de dólares los daños por erosión de márgenes
- d) Conservadoramente, las pérdidas causadas por fallas masivas (deslizamientos) se estiman en US \$ $100\,000\,000$





CUANTIFICACIÓN

Métodos cuantitativos aplicables.

Una de las condiciones más importantes para resolver problemas de erosión de suelos es la cuantificación adecuada del fenómeno. Ello se puede realizar mediante mediciones directas en campo o utilizando criterios de cálculo.

Determinar la erosión es difícil; se requiere mucho tiempo de registro. En México tales mediciones son escasas, y la información sistemática al respecto es casi nula. Por ello son muy importantes los criterios de cuantificación.

Importancia de los criterios de cálculo. Son de los medios más importantes en planeación y diseño de obras y actividades para conservación de suelos, pues permiten determinar la severidad del problema y la factibilidad de realizar trabajos de protección. En la literatura acerca del tema hay diversos enfoques: desde fórmulas empíricas hasta modelos numéricos de simulación (refs. 3, 8 y 9). Destaca la *fórmula universal de pérdida de suelo (FUPS)*.

Elección del criterio de cálculo. El empleo de un criterio depende del problema que se desee resolver. En una parcela la FUPS puede ser una buena opción; en cuencas es necesario tomar en cuenta otros factores:



- ⇒ Depósito de material en zonas interiores
- ⇒ Efecto de cárcavas
- ⇒ Variación pluvial temporal.

Esto es realizable sólo mediante modelos numéricos. Es recomendable avanzar en selección de criterios cuantitativos aplicables a las características de cada caso. Esto requiere investigación y desarrollo tecnológico propios, para que con la información y los recursos disponibles se puedan generar soluciones y capitalizar experiencias.



FÓRMULA UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO

Es un criterio sencillo y de gran versatilidad, aplicable en parcelas y en obras de control; se generó en los EUA a principios de los años sesenta (refs. 9 y 15).

La expresión general está dada por esta ecuación:

$$A = 0.224 \cdot R \cdot K \cdot SL \cdot C \cdot P$$

A: índice de erosión (kg/m^2) por evento (año, tormenta, etc.)

R: índice de erosividad por lluvia en el sitio

K: erosionabilidad del suelo

SL: factores en los que se toman en cuenta la pendiente y su longitud

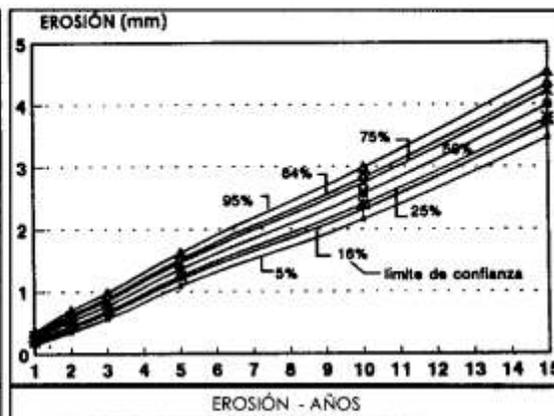
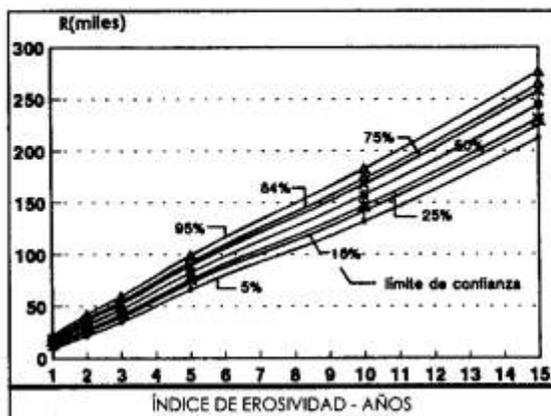
C: tipos de cultivo

P: obras para control de la erosión

Los factores K, SL, C y P se pueden obtener de tablas y nomogramas. El R es más difícil de cuantificar, pues en la versión original se requieren varios años de registro de precipitación pluvial horaria. Esto ha limitado su aplicación en México.

El valor de A ayuda notablemente a detectar la relevancia de los problemas de erosión; empero, si se determina tal valor a partir de información en cuencas se debe usar con precaución.

En las gráficas anexas se presenta un caso de aplicación de la FUPS en determinación del factor R y de láminas de erosión. Los resultados se obtuvieron a partir de una simulación de lluvias horarias. Muestran claramente su utilidad, pues a partir de ellas para diversos años es posible inferir la erosión probable, con diferentes niveles de confianza.





Varios autores han disentido de la utilidad de la FUPS (refs. 1, 3, 4 y 9), en especial si se trata de aplicarla para climas tropicales. Sin embargo, aún con limitaciones, después de 30 años aún sigue siendo el criterio práctico que aporta mejores posibilidades.

Aplicabilidad de la fórmula universal a cuencas. En la ref. 9 se describe un criterio para calcular el aporte de sedimento durante una avenida. El valor R para la cuenca R_c es:

$$R_c = 52\,700 (V Q_p)^{0.56} / A_c$$

V: volumen de la avenida (m³)

Q_p: gasto pico (m³/s)

A_c: área de la cuenca (m²)

Con el fin de tener una idea de las magnitudes de las variables de la FUPS cuando se aplican al área de la cuenca, a continuación se enuncian sus rangos más comunes de variación.

RANGOS DE LAS VARIABLES DE LAS FUPS	
Variabes	Variabilidad
K	0.2 a 0.5: suelos permeables a poco permeables
SL	1.0
C	0.2 a 0.5: buena a mala cobertura vegetal 0.02: en áreas con bosques bien establecidos
P	1.0 cuando no existen obras para control de la erosión 0.6 a 0.3 si existe(n) contorno o cultivo en fajas 0.1 donde hay terrazas

Ejemplo: Se desea determinar el aporte de sedimento de una cuenca de 4*10⁶ m² (A_c) durante una avenida de 51 400 m³ (V), con gasto pico de 7.1 m³/s (Q_p). Los valores estimados de las variables son:

$$K = 0.35, SL = 1, C = 0.35, \text{ y } P = 1$$

Aplicando la FUPS y considerando R = R_c:

$$R_c = [52\,700 (51\,400 \cdot 7.1)^{0.56}] / 4 \cdot 10^6 = 17.16$$

$$A = 0.224 \cdot 17.16 \cdot 0.35 \cdot 1 \cdot 0.35 \cdot 1 = 0.47 \text{ kg/m}^2 = 4.7 \text{ t/ha (toneladas por hectárea)}$$

Esto implica que durante la avenida el aporte de sedimento de la cuenca es:

$$0.47 (4 \cdot 10^6) = 1.88 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

si 2 000 kg/m³ es el peso volumétrico de un suelo seco compactado, se tendrá que el espesor de suelo perdido por erosión hídrica es 0.47/2 000 = 0.235 mm / avenida.

Nota. Para mejorar la selección de los valores de las variables de la FUPS se reitera la recomendación de recurrir a las referencias.



ÍNDICES DE EROSIÓN EN MÉXICO

Para determinar este índice existen diversos criterios; dos de los más empleados son: t/ha-año y mm/año. En rigor ambos son equivalentes, pero muchas veces no se precisa el peso específico real del suelo, y por lo tanto no se puede hacer la conversión. En la ref. 5 se explica que, según las condiciones del sitio, es práctica común considerar permisible la variación del índice de erosión entre 2.2 y 11.2 t/ha-año. Sin embargo, desde el punto de vista geológico la regeneración del suelo oscila entre 0.22 y 2.22 t/ha-año (ref. 11).

Las unidades de mm/año tienen la ventaja de ser fácilmente imaginables. Para fines ilustrativos se puede considerar que en el sitio (real) el peso específico del suelo sea de 1.4 t/m^3 .

Acerca de los índices de erosión en México todavía no existen datos sistemáticos, salvo los incluidos en la ref. 10, referentes a la zona del Lago de Texcoco: el máximo es de 9.176 t/ha-año. Empero, en la misma referencia se explica que en zonas tropicales y subtropicales (el caso de México) son comunes valores de 80 t/ha-año.

Desde tiempo remoto los Estados de México, Tlaxcala y Oaxaca se han caracterizado por fuertes problemas erosivos. No obstante, en muchos otros estados concurre la objetiva evidencia de cárcavas y de azolve de embalses. Se puede asegurar que donde hay cultivos de temporal con relieve abrupto hay problemas erosivos.

Muchas veces se obtienen índices de erosión mediante aforo de corrientes de cuencas, o de medición de la sedimentación en embalses. Estos datos se deben tomar con mucha precaución, pues el aporte de sedimentos de una cuenca es menor que la erosión parcelaria. Por ejemplo una cuenca de 5 km^2 aporta el 40% de la erosión total, y una de 50 km^2 el 25%; si no se





considera esto, los índices así estimados pueden estar subvaluados.

En la tabla inferior se incluyen algunos índices de erosión, calculados con información de la ref. 6 a partir de mediciones en embalses. Por sus altos valores destacan *La Soledad* y *M Ávila Camacho* (en Puebla), *Sanaloa* (en Sinaloa) y *La Calera* (en Guerrero).

Uso del suelo	Erosión	
	Promedio (t/ha-año)	Relativa
Bosque	0.016	1.00
Pastizal	0.028	1.75
Pastos	0.280	17.58
Agrícola, en pendientes	Leves	2.862
	Fuertes	3.065
Suelo expuesto	9.176	576.41

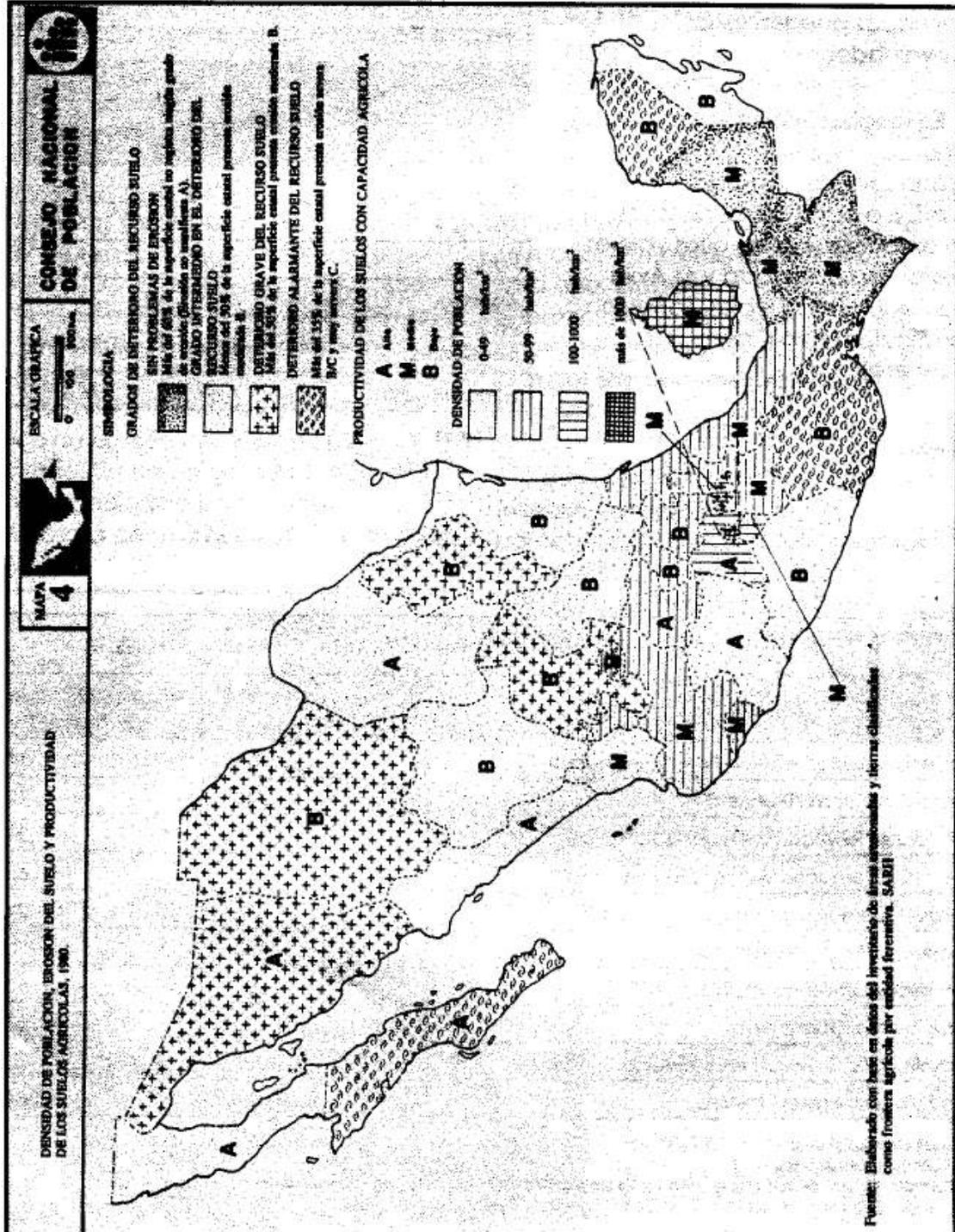
¹ Ref. 10

Embalse/Río/Estado ²	Aporte de la cuenca (m ³ /km ² -año) ³	Erosión Estimada (t/ha-año) ⁴
Francisco I. Madero/San Pedro/Chihuahua	317	18
La Calera/El Oro/Guerrero	743	42
Leobardo Reynoso/Los Lazos/Zacatecas	637	36
M. Ávila Camacho/Atoyac/Puebla	1 064	60
Miguel Alemán/Tlaltengo/Zacatecas	515	29
Requena/Tepeji/Hidalgo	493	28
Sanaloa/Tamazula/Sinaloa	1 009	57
Solis/Lerma/Guanajuato	622	35
Taxhimay/S. L. de las Peras/Hidalgo	363	20
La Soledad/Apulco/Puebla	1 524	85

² Datos obtenidos de la ref. 6

³ Ítem: datos obtenidos de la ref. 6

⁴ Del material se consideraron: a) peso específico: 1.4 t/m³; aporte de sedimento: 25% (muy conservadoramente)





CONTROL DE LA EROSIÓN. BENEFICIOS Y COSTOS

Procedimientos para control de la erosión. En la bibliografía acerca del tema se describe gran cantidad de opciones:

- ⇒ Reforestación
- ⇒ Construcción de terrazas
- ⇒ Cultivo en franjas
- ⇒ Cubiertas del suelo
 - ⇒ Naturales
 - ⇒ Artificiales
- ⇒ Rotación de cultivos
- ⇒ Diseño de parcelas
- ⇒ Labranza mínima
- ⇒ Control del pastoreo
- ⇒ Protección de taludes
- ⇒ Rectificación de:
 - ⇒ Cárcavas
 - ⇒ Cauces

Grado de dificultad de su implementación. En la práctica, las acciones para conservación de suelos son sencillas pero requieren mantenimiento constante. Sin embargo, en la decisión de protegerlos influyen



otros factores, pues con frecuencia es difícil hacer comprender que en los problemas de erosión el beneficio obtenido es el daño evitado. En otras palabras: aunque eventualmente pueden aportar aumento de la producción, las obras de protección son más importantes en virtud de beneficios a futuros usuarios por disponibilidad de un recurso para continuar la producción agropecuaria o forestal.



El usuario se alarma cuando empiezan a formarse cárcavas; pero ésta es la última fase del proceso erosivo, prácticamente imperceptible de un año a otro, pues la laminar, de unos 3 mm anuales (no es de las más altas), en 60 años implica pérdida de 18 cm ($60 \times 3 = 180$). Muchas ocasiones, debido a las características de las precipitaciones pluviales pueden transcurrir varios años sin que el suelo disminuya considerablemente. Empero, una sola tormenta cada 5 años puede erosionarlo 3 veces más que el promedio anual. Una consecuencia de esto ha sido que el usuario destruya muchas de las obras de control, porque "no ve el beneficio inmediato" o "le entorpecen las labores agrícolas". Así se puede destacar un factor común al problema de la protección de suelos: **educación y concientización social.**

Costo. Se puede decir que en general con costo relativamente bajo es posible incrementar el control de la erosión del suelo, pues principalmente depende de realizar labores agrícolas adecuadas. Sin embargo, en los casos de construcción de terrazas y protección de taludes se requiere inversión inicial importante.

Obviamente en cada sitio el problema de erosión es diferente; no es posible elegir soluciones únicas ni generales. Se distinguen dos tipos de soluciones:

Prevención. Donde por erosión no muy acentuada la ejecución de labores apropiadas y obras para control de suelos es rentable.

Mitigación y rehabilitación. Si la erosión ha sido tan devastadora que, desde el punto de vista económico, soluciones diferentes a reforestación son difíciles.

La atención de un caso u otro es según la prioridad de asignación de recursos económicos. Éstos son sólo dos ejemplos de la gran cantidad de posibles variantes.





SOLUCIONES

A) REFORESTACIÓN Y CUBIERTAS PROTECTORAS

Grado de efectividad de la reforestación. Indudablemente la reforestación es la mejor opción para conservación y rehabilitación del suelo. Sin embargo, debido a la constante presión socioeconómica por disponer de tierras de cultivo, en la práctica tal solución sólo en pocos casos es aplicable, o cuando las consecuencias de la erosión han sido extremas. Una opción conciliadora es la alternancia de fajas arboladas con otras de cultivo (ref. 10).



Especies recomendables para reforestación. Bajo asesoría técnica, en cada caso es necesario seleccionar las especies de árboles, pues el éxito de dicha regeneración depende de las características del suelo y del clima. Las especies frutícolas adecuadas son:

Para clima:

- ⇒ Cálido:
 - ⇒ Aguacate
 - ⇒ Anona
 - ⇒ Mango
 - ⇒ Papayo
 - ⇒ Plátano
 - ⇒ Cocotero

- ⇒ Templado:
 - ⇒ Aguacate
 - ⇒ Guayabo
 - ⇒ Higuera
 - ⇒ Durazno
 - ⇒ Chabacano
 - ⇒ Peral
 - ⇒ Almenaro
 - ⇒ Limonero

- ⇒ Semicálido:
 - ⇒ Naranja
 - ⇒ Vid
 - ⇒ Olivo

- ⇒ Semifrío:
 - ⇒ Manzano
 - ⇒ Perón
 - ⇒ Membrillo
 - ⇒ Nogal
 - ⇒ Avellano



Entre la gran cantidad de especies forestales recomendables están (ref. 10):

- ⇒ *Acacia abyssinica*
- ⇒ *Casuarina equisetifolia*
- ⇒ *Eucalyptus camaldulensis*
- ⇒ *Leucaena leucocephala*
- ⇒ *Pinus michoacana*, etc.

Grado de efectividad y de recomendabilidad de las cubiertas.

Para implantar cubiertas para suelos existe gran cantidad de opciones. Entre otras:

- ⇒ Pastos
- ⇒ Composta
- ⇒ Estiércol
- ⇒ Paja de arroz
- ⇒ Serrín
- ⇒ Rastrojo: residuos del cultivo anterior
- ⇒ Productos sintéticos:
 - ⇒ Polietileno
 - ⇒ Emulsiones asfálticas
 - ⇒ Polisacáridos

El uso de cada tipo de cubierta depende de disponibilidad, costo y modalidad de cultivo. Para control de la erosión laminar es la segunda técnica recomendable (la primera es la reforestación).

Pastos recomendables. En la ref. 2 se incluye una larga lista de especies de pastos. Como ilustración se pueden mencionar:

Para climas:

- ⇒ Cálidos:
 - ⇒ Alemán (*Echinochloa polystachia*)
 - ⇒ Bahía (*Paspalum notatum*)
 - ⇒ Braquiarias (*Brachiaria spp.*)
 - ⇒ Elefante haiper (*Pennisetum purpureum*)
 - ⇒ Estrella africana (*Cynodon plectostachyus*)
 - ⇒ Gordura (*Melinis minutiflorum*)
 - ⇒ Navajitas (*Bouteloua spp.*)
- ⇒ Templados:
 - ⇒ Bromos (*Bromus spp.*)
 - ⇒ Fleo o Timothy (*Pheleum pratense*)
 - ⇒ Setarias (*Setaria spp.*)
 - ⇒ Llorón (*Eragrostis curvula*)



B) TERRAZAS Y CULTIVO EN CONTORNO Y EN FAJAS

Terrazas. Son estructuras de defensa; generalmente consisten en una zona de captación y un promontorio (lomo), que se construyen transversalmente a la pendiente del terreno. Su función principal es reducir la longitud de las laderas en varias menores, para regular el escurrimiento superficial. Existen varios tipos de terrazas (refs. 2, 5 y 13); destacan las de:

Tipos		Útiles pendientes de %
Base	Ancha	<10
	Angosta	10 < 25
Banco		>20

TERRAZAS SEGÚN SUS FUNCIONES	
Tipos de	Características
Absorción	Generalmente trazadas a nivel o en contrapendiente
Desagüe	Con pendientes entre 0.1 y 0.2%

Las terrazas requieren mantenimiento constante, pues en caso de falla pueden causar más daño que beneficio.

Sistemas agroforestales. Una práctica que los últimos años ha cobrado impulso es la denominada agroforestal (ref. 10). Consiste en plantar barreras de árboles o de arbustos, espaciadas de 4 a 10 m. El espacio interbarreras se cultiva. Se puede diseñar para que a largo plazo se generen terrazas naturales. Si el terreno no es agrícola, las barreras se pueden construir con zarzas, pietraplenes (cercas de piedra), o fajas quasivegetales.



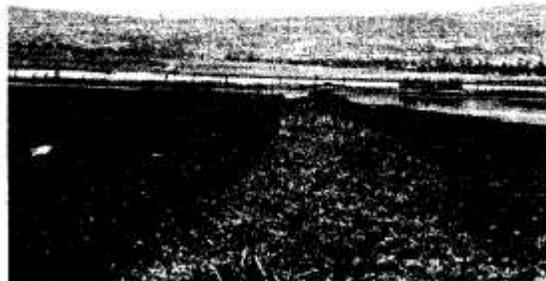


Cultivos en contorno y en fajas. El cultivo en contorno se realiza siguiendo las curvas de nivel del terreno. En el de fajas en contorno se dispone en bandas o fajas alternas. Existen otras variantes (refs. 2, 5 y 14); el objetivo principal consiste en disminuir la velocidad del escurrimiento superficial.

En términos generales, la anchura de las fajas depende de la pendiente del terreno. Se recomienda:

Para pendientes de %	Anchura de Faja (m)
4 a 10	23 a 38
10 < 15	18 a 31
> 15	18 m

Grado de efectividad de los procedimientos. En igualdad de circunstancias, comparativamente con el método de terrazas -posiblemente el procedimiento de erosión mínima-, el cultivo en fajas permitiría el doble de la erosión, y el solo cultivo en contorno propiciaría el doble que el de fajas.





C) ROTACIÓN DE CULTIVOS Y LABRANZA MÍNIMA

Rotación de cultivos. Sin duda alguna, para conservación de suelos lo más importante es elección y utilización correctas de los terrenos agrícolas. La conservación del debido espesor de la capa arable implica:

- ⇒ Uso acertado del rastrojo (residuos de los cultivos)
- ⇒ Métodos adecuados de labranza
- ⇒ Uso de abonos:
 - ⇒ Verdes
 - ⇒ Industriales
- ⇒ Cultivo de:
 - ⇒ Pastos
 - ⇒ Leguminosas, etc.

Esto conduce a necesidad de siembra alterna de cultivos diversos en un mismo suelo: *rotación de cultivos*. Ésta ayuda a controlar la erosión, principalmente por mejora en la cobertura del suelo (ref. 5).

Cultivos de rotación. Según el clima y el tipo de suelo, pueden existir varias combinaciones: una de las más empleadas es maíz, trigo y pasto, de altos rendimientos; sin embargo, edafológicamente (para el suelo) no es la mejor. Posibles mejores opciones: rotaciones de maíz, algodón, avena y trébol, o bien remolacha azucarera, frijol, papa y cebada. Para obtener información más precisa y probada, se recomienda consultar asesoría técnica local.





Factibilidad de monocultivo. Esto y protección simultánea contra la erosión son posibles mediante técnicas actuales para control de suelos:

- ⇒ Cuidado de la fertilidad
- ⇒ Aprovechamiento de residuos
- ⇒ Control de enfermedades y plagas

En este caso también se recomienda consulta técnica.

Labranza mínima. Se ha demostrado que el laboreo excesivo puede ser causa de erosión; además provoca

compactación y pérdida de humedad del suelo. Desde hace varios años se ha observado que mediante revoltura mínima de éste y uso simultáneo de tallos, rastrojo y otros residuos de cosechas previas es posible obtener buenos rendimientos, y abatir la erosión. A este tipo de labranza se le denomina *cultivo de cubierta*. Consiste en siembra en terrenos con pasto bien establecido o sobre suelos que todavía conservan residuos de la cosecha anterior. Por la cubierta constante sobre ellos, además de reducción significativa de costos, mediante esta técnica al suelo se le protege contra la erosión.



D) PROTECCIÓN DE LADERAS, CÁRCAVAS Y CAUCES

Falla de laderas. Desde el punto de vista de la erosión, falla de laderas es movimiento de grandes volúmenes de terreno que se *deslizan* en una pendiente. Estas fallas aportan abundante material sólido, peligroso porque en su movimiento repentino puede dañar construcciones ubicadas arriba o abajo de la zona de falla.

Fallas en cárcavas. Son intermitentes; aunque a veces los volúmenes puntuales no son muy grandes, puesto que ocurren a lo largo de cauces, profusamente liberan sedimento.

Causas de las fallas. Suceden cuando el esfuerzo cortante que ejerce la masa del terreno supera al esfuerzo cortante de resistencia del material que constituye la ladera. Esto se origina cuando se remueve su soporte natural, generalmente a causa de:

- ⇒ Erosión (socavación) por corrientes en la base de una ladera
- ⇒ Aumento de peso en la parte superior de una pendiente (por edificación)
- ⇒ Cortes en carreteras
- ⇒ Sismos
- ⇒ Erosión subterránea, etc.





Eludibilidad de las fallas. Depende de los tipos de agentes que las generen; generalmente se controlan mediante (ref. 13):

- ⇒ Muros de contención en la base de las laderas
- ⇒ Mejora y refuerzo de especies vegetales
- ⇒ Anclaje de la masa de posible falla
- ⇒ Protección de los cauces contra la socavación, etc.

Si se trata de estabilizar grandes zonas, la reforestación es muy adecuada, pues sobre la masa de posible falla los sistemas radiculares (las raíces) de los árboles efectúan un trabajo en arco, que evita su movimiento. Esto se logra aunque las pendientes del terreno sean muy prominentes.

Control del crecimiento de cárcavas. Generalmente hay que realizar tres acciones:

Estabilización de laderas, por medio de:

- ⇒ Reforestación
 - ⇒ Cubiertas vegetales
 - ⇒ Fajas amortiguadoras

- ⇒ Rectificación del fondo del cauce mediante represas
- ⇒ Derivación del flujo principal, con estructuras de drenaje fuera de las cárcavas, según:
 - ⇒ Magnitud del escurrimiento
 - ⇒ Evolución de las cárcavas





Necesidad de control de los cauces.

De los cauces sujetos a erosión se desprende copioso material sólido. En especial de las cárcavas, de crecimiento constante hacia aguas arriba, en área y profundidad. Así disminuye el área útil de suelo y en algunos casos pone en peligro construcciones (caminos, puentes, etc.) vecinas.

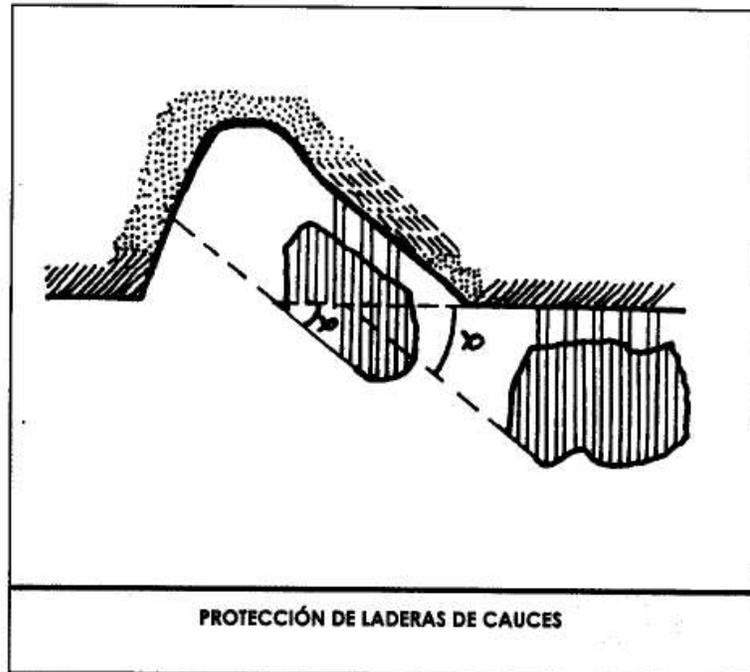
Protección de cauces. Puesto que el principal agente erosivo es el agua, la protección se obtiene disminuyendo la energía de los escurrimientos. Para ello, a lo largo del cauce se construyen represas pequeñas, con el fin de disminuir la velocidad del agua y propiciar que el material sólido se deposite.

Generalmente se recomienda construir las en secuencia: empezando aguas abajo, una vez que se haya llenado la represa, se construye la anterior.

Tipos de represas. En la literatura acerca del tema (refs. 2 y 7) se describen numerosas técnicas para construcción de represas: desde colocación de ramas y troncos

perpendiculares al cauce hasta empleo de mampostería. Una técnica muy utilizada en los últimos años es mediante gaviones; en esencia son cajas de malla de alambre galvanizado rellenas con piedra.

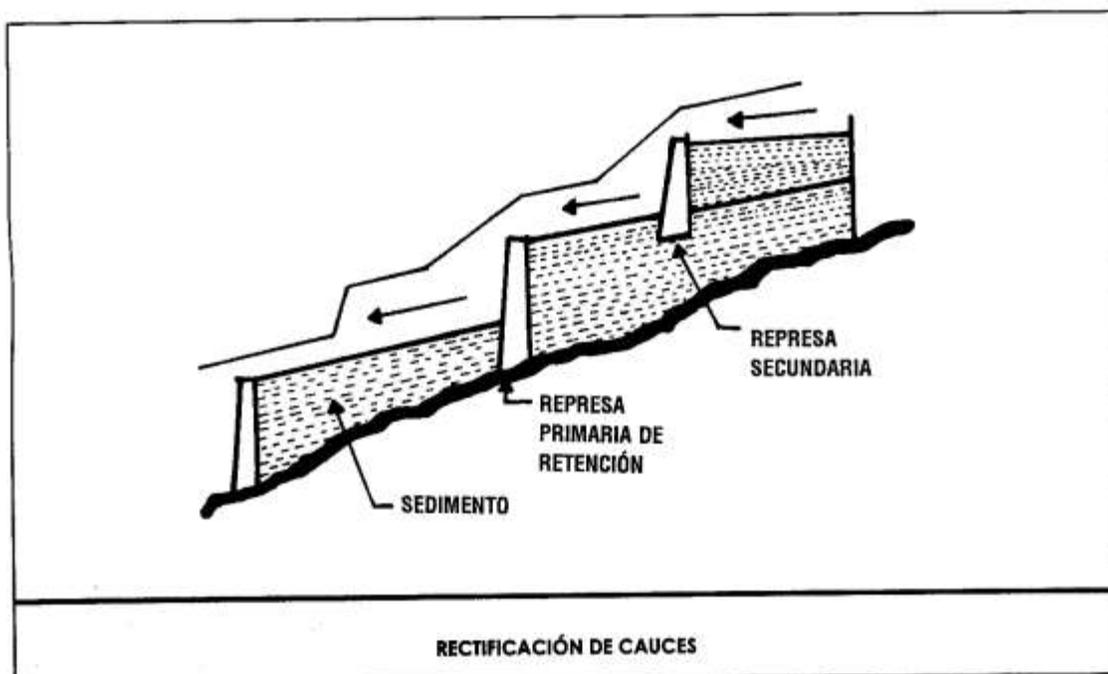
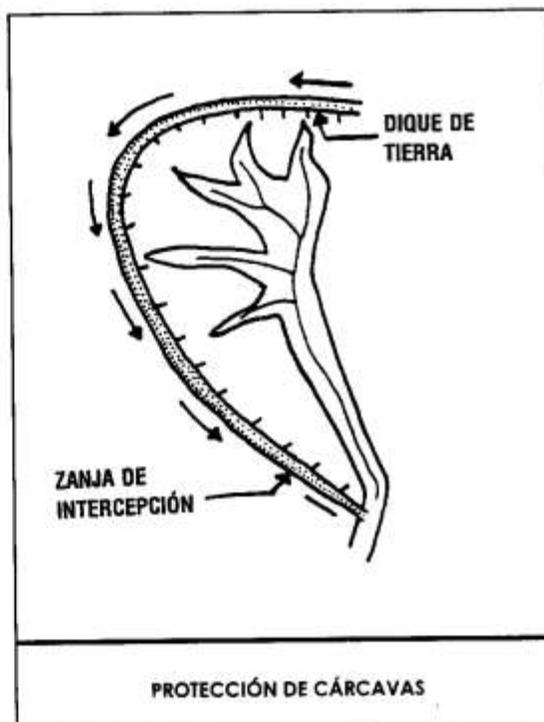
En cualquier caso se recomienda combinar la construcción de represas con emplazamiento de especies vegetales. Si la altura de la represa no excede de 3 m, el propio usuario puede realizar la construcción. Si es mayor, se aconseja buscar asesoría técnica.





Importancia de los sistemas de drenaje. En todas las obras y estructuras de control y conservación de suelos (terrazas, barreras vegetales, represas, etc.), un rubro muy importante es el diseño de estructuras de evacuación del agua de escorrentía superficial (drenaje). El propósito es conducir el agua de manera que no cause erosión ni socavación. Para ello se recomiendan (refs. 8 y 12):

- ⇒ Cauces vegetados
- ⇒ Revestimientos
- ⇒ Estructuras de caída simple, rápida
- ⇒ Tanques amortiguadores
- ⇒ Zanjas de intercepción, etc.





TAREAS

Confrontación al problema de erosión. Desde un punto de vista muy general, para conservación de suelos sería conveniente dedicar mayores recursos económicos y técnicos. Esto se podría realizar mediante incremento de apoyo técnico y financiero a los usuarios, lo cual simultáneamente requiere un proceso de concientización. Se necesita:

- ⇒ Documentación y seguimiento de las experiencias obtenidas
- ⇒ Incremento de trabajos de investigación
- ⇒ Preparación del personal técnico que tratará con el usuario
- ⇒ Formación de especialistas para:
 - ⇒ Planeación
 - ⇒ Diseño
 - ⇒ Seguimiento a los trabajos de campo
- ⇒ Elaboración de manuales de conservación de suelos acordes con la realidad nacional
- ⇒ Difusión mediante publicaciones, a nivel del técnico y del usuario, de acciones de control y de sus ventajas

Instituciones mexicanas avocadas al problema de erosión. Oficialmente la institución encargada de este problema es:

- ⇒ Comisión Nacional del Agua. Para ello cuenta con diversas dependencias:
 - ⇒ Dirección general de conservación de suelo y agua (DGCSA)
 - ⇒ Dirección de normas para tecnificación de manejo, conservación y uso de suelo y agua (DNTMCUSA)
 - ⇒ Comisiones regionales integradas para tratar problemas locales

Otras instituciones:

- ⇒ FIRA
- ⇒ FIRCO
- ⇒ Dirección general de política agrícola
- ⇒ Proyecto Lago de Texcoco
- ⇒ CFE: Comisión Federal de Electricidad



Otras instituciones educativas y de investigación: UACH (Universidad Agronómica Chapingo), UNAM, etc., también realizan trabajos relacionados con este tema.

Participación de dependencias gubernamentales. Lo hacen mediante planeación nacional y regional, decisión de prioridades de atención, y por tanto organización y asignación de recursos económicos, estímulos e incentivos. Incluye:

- ⇒ Asesoría técnica
- ⇒ Difusión
- ⇒ Capitalización de experiencias
- ⇒ Determinación de políticas para aprovechamiento de cuencas hidrológicas

Centros educativos. A diversos niveles, en sus planes de estudios incluyen capacitación de personal para abordar el problema. Mantienen relación estrecha con dependencias gubernamentales, para generar personal realmente útil en apoyo técnico.

Participación adecuada de los usuarios. La parte medular de cualquier plan de conservación de suelos debe ser el usuario, pues él ejecutará las obras de protección, mantenimiento y conservación. Gran parte de las labores agronómicas y mecánicas son sencillas: requieren mano de obra y material

locales. Mediante asesoría técnica adecuada y concientización del usuario es posible poner en práctica el plan.

Intervención de los centros de Investigación. Si bien desde hace varios decenios se inició el desarrollo de la mayoría de las técnicas inherentes, su aplicación a condiciones diferentes de las originales no siempre es exitosa. Esto implica necesidad de desarrollar técnicas y métodos apropiados al país. Por ejemplo: respecto de la fórmula para calcular la pérdida de suelo, actualmente su aplicación a climas tropicales todavía genera controversia. Además, en México no existe información suficiente para aplicarla sistemáticamente.

El interés fundamental de los centros de investigación debe ser la generación de técnicas que, con los recursos disponibles, resuelvan los diversos problemas que provoca la erosión o, en su caso, hacer la transferencia tecnológica más adecuada.



REFERENCIAS

1. ASA, 1982. *Soil erosion and conservation in the tropics*. ASA special publication No.43. USA.
2. Colegio de Postgraduados, 1977. *Manual de conservación del suelo y del agua*. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Mex.
3. Haan, C. T., Johnson, H. P., y Brakensiek, ..., 1982. *Hydrologic modeling of small watersheds*. ASAE, USA.
4. De Boodt, M., y Gabriels, D., 1980. *Assessment of erosion*. John Wiley & Sons. Gran Bretaña.
5. Foster, A. B., 1964. *Approved practices in soil conservation*. Interstate Printers & Publishers, Inc. USA.
6. Gracia, S. J., 1986. *Estado del arte del problema de sedimentación en embalses*. Informe del Instituto de Ingeniería, UNAM, a la CFE, Méx.
7. Gray, D. H., y Leister, A. T., 1982. *Biotechnical slope protection and erosion control*. Van Nostrand Reinhold Company, USA.
8. Jansky, L., et al., 1992. *Simulation model of surface runoff and erosion process (SMODERP). Application and verification in Japan*. Proc. of the Intl. Symp. of Land Reclamation: Advances in Research & Technology, ASAE, pp. 24-29. USA.
9. Kirkby, M. J. y Morgan, R. P. C., 1980. *Soil Erosion*. John Wiley & Sons. Gran Bretaña.
10. Lal, R., 1990. *Soil erosion in the tropics*. McGraw Hill, Inc. USA.
11. Logan, T. J., 1977. *Establishing soil and sediment yield limits for agricultural land*. Proc. of Soil Erosion and Sedimentation, ASAE, pp. 59-68. USA.
13. McCuen, R. H., 1989. *Hydrologic Analysis and Design*. Prentice Hall, USA.
14. Schwab, G. O., Frevert, R. K., Edminster, T. W., y Barnes, K. K., 1981. *Soil and water conservation engineering*. John Wiley & Sons, USA.
15. UNESCO, 1986. "Problèmes d'érosion, transport solide et sédimentation dans les bassins versants". Proyecto 5.3 del Programa hidrológico internacional, Francia.
16. USDA, 1978. *Predicting rainfall erosion losses, Supersedes Agriculture Handbook No. 282*, USDA, USA.