



COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

## Protección, restauración y conservación de suelos forestales

Manual de obras y prácticas



Juntos conservamos nuestro medio ambiente  
[www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)

## Índice

Presentación	
Reconocimientos y agradecimientos especiales	
Introducción	
Capítulo I.	
Importancia del control en la degradación de áreas forestales.....	1
Elementos topográficos utilizados en la conservación y restauración de suelos forestales.....	3
Descripción de instrumentos topográficos.....	3
Caballetes.....	3
Nivel de manguera.....	8
Niveles de mano.....	9
Procedimientos topográficos.....	11
Determinación de la pendiente de un terreno.....	12
Trazo de curvas a nivel.....	17
Capítulo 2.	
Estimación de escurrimientos superficiales.....	21
Capítulo 3.	
Obras y prácticas de conservación y restauración de suelos.....	37
Presas de malla de alambre electro soldada o ciclónica.....	37
Presas de morillo.....	46
Presas de ramas.....	53
Presas de piedra acomodada.....	59
Presas de costales.....	69
Presas de geocostales.....	76
Presas de llantas.....	83
Presas de mampostería.....	90
Presas de gaviones.....	99
Terrazas de muro vivo.....	113
Terrazas de formación sucesiva.....	121
Terrazas individuales (cajeteo).....	127

Zanja trinchera (tinas ciegas).....	132
Zanja bordo.....	140
Zanjas derivadora de escorrentía.....	145
Cortinas rompevientos.....	152
Enriquecimiento de acahuales.....	160
Acomodo de material vegetal muerto.....	170
Obras de protección y conservación de caminos forestales.....	175
Sistemas agroforestales.....	181
Afine de taludes.....	192
Barreras de piedra en curvas a nivel.....	196
Cabeceo de cárcavas.....	201
Bibliografía.....	205
Glosario.....	207

Todos los derechos reservados para:  
Comisión Nacional Forestal  
Periférico Pte. No.5360, Col. San Juan de Ocotán,  
C.P. 45019,Zapopan, Jal. México.  
Tel. 01(33) 37777000 [www.conafor.gob.mx](http://www.conafor.gob.mx)

2a edición. México, 2004.

Colaboradores: Leticia Cuevas Flores, Jacinto Samuel García Carreón, Jesús Alejandro Guerrero Herrera, Juan Carlos González Olarte, Honorio Hernández Méndez, María de Lourdes Lira Quintero, Jorge Luis Nieves Frausto, David Tejeda Sartorius, Carlos Manuel Vázquez Martínez y Ramón Cardoza Vázquez

Fotografía: Gerencia de Suelos Forestales  
Figura 184. Tomada del Manual de Control de Erosión CONAF-JICA,1998.  
Portada: Edith Morales Reyna  
Diseño editorial: Edith Morales Reyna y Dalia de la Peña Wing  
Corrección y revisión: Aida Valdés, Leticia Cuevas Flores y Cesar Villanueva

ISBN 968-6021-19-1



## Presentación

El agua, los suelos y bosques son patrimonio de todos los mexicanos y su conservación ha sido reconocida por el Presidente Vicente Fox Quesada como un asunto de seguridad nacional.

Dentro de este conjunto, el cuidado de los suelos en las zonas forestales resulta ser una acción prioritaria para lograr una completa recuperación de los bosques y selvas de México, pues sin suelos fértiles, el agua no se retiene y la vegetación no puede desarrollarse.

Es por ello que la Comisión Nacional Forestal (Conafor) a través de su Programa de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales (Procoref), atiende en forma integral la problemática de las áreas degradadas en todo el territorio nacional mediante una labor cotidiana con los habitantes de las zonas forestales, lo que se traduce en una mejora no sólo de su ambiente sino de su calidad de vida.

Como resultado de una larga experiencia de trabajo y de las capacidades técnicas de quienes han participado en estas acciones, la Conafor ofrece en este *Manual de protección, restauración y conservación de suelos forestales* toda la información relacionada con las obras y prácticas de suelos que se desarrollan en este rubro, para conocimiento tanto de ingenieros forestales y especialistas, como de los silvicultores, campesinos, habitantes de las zonas boscosas y en general de toda persona interesada en el tema ambiental.

Estoy convencido que este manual es una valiosa herramienta para el trabajo conjunto entre sociedad y gobierno, lo que ayudará a heredar a las siguientes generaciones: agua, suelos y bosques para siempre.

Ing. Manuel Agustín Reed Segovia  
Director General de la Conafor

## Agradecimientos

Agradecemos la colaboración del Dr. Carlos Ortiz Solorio y de la Dra. Ma. Del Carmen Gutiérrez Castorena, edafólogos del Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados, por la revisión técnica del manual. A la Lic. Dalia de la Peña Wing y a la L.D.G. Edith Rosario Morales Reyna, quienes desde la Gerencia de Cultura Forestal de la Conafor, realizaron el trabajo editorial.

*El suelo ha sido hasta el presente un patrimonio subestimado, un recurso que hemos dilapidado y cuya pérdida, de continuar, pone en peligro nuestra viabilidad como nación (...).*

*Recuperar el suelo y protegerlo eficazmente de los agentes erosivos y degradantes sólo será posible con grandes esfuerzos de muchas generaciones (...).*

*De la manera como una sociedad utiliza la tierra se puede predecir cuál será su futuro.*

*Plan Estratégico Forestal para México 2025*

## Introducción

El suelo ha sido hasta el presente un patrimonio subestimado, un recurso que hemos dilapidado y cuya pérdida, de continuar, pone en peligro nuestra viabilidad como nación. La falta de atención y regulación de su uso se refleja en altos niveles de degradación, cuyas repercusiones sociales, económicas y ambientales, aunque graves, no han sido valoradas cabalmente.

El Plan Estratégico Forestal para México 2025 plantea estrategias y líneas de acción que contemplan como prioridad poner en práctica medidas urgentes para la protección, conservación, restauración y manejo adecuado de los suelos forestales, como una de las bases esenciales para el aprovechamiento forestal sustentable.

La Comisión Nacional Forestal (Conafor), organismo público descentralizado del gobierno federal, constituido por Decreto Presidencial del 4 de abril del 2001, tiene entre sus funciones la de: "ejecutar y promover programas productivos de restauración, de conservación y de aprovechamiento sustentable de los suelos forestales y de sus ecosistemas".

Por lo que concierne a la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, faculta a la Conafor para diseñar, ejecutar y promover programas de prevención, conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los suelos forestales, así como para elaborar programas de desarrollo forestal atendiendo a la situación que guardan los suelos.

Para dar cumplimiento a los lineamientos de política nacional emanados de los mandatos de carácter jurídico mencionados, la Conafor crea dentro de su estructura, la Coordinación General de Conservación y Restauración, y adscrita a ella, la Gerencia de Suelos Forestales, la cual tiene el objetivo de implementar y ejecutar acciones para frenar y revertir la tendencia de la degradación de los suelos en las áreas forestales, así como atender las causas y procesos que provocan su degradación, siendo las principales la deforestación, los cambios de uso del suelo, el sobrepastoreo y los incendios forestales. Para lograrlo, se ha establecido el *Programa Nacional de Suelos Forestales*, que se ejecuta en áreas prioritarias de las 32 entidades federativas del país, a través de las 13 Gerencias Regionales de la Conafor.

Los trabajos de protección, conservación y restauración de suelos se han realizado principalmente en áreas forestales de ejidos y comunidades donde participan mujeres y hombres, jóvenes y adultos, quienes han entendido la utilidad de este tipo de obras y prácticas para conservar sus suelos, adaptadas a las

condiciones naturales, sociales y económicas para resolver los problemas que se presentan en cada lugar, de tal manera que la gente las asimile y las haga suyas, proceso que ya se ha venido dando por lo que puede considerarse que tienen sentido humano y pueden con el tiempo, formar parte de su cultura con respecto al uso y conservación del recurso suelo.

El principal objetivo de este *Manual de protección, restauración y conservación de suelos forestales* es divulgar los tipos de obras y prácticas de suelos que se están realizando en el país a través de la Conafor, apoyadas principalmente por los gobiernos federal y estatal así como por organismos descentralizados, con el propósito de que sirva de apoyo a los técnicos responsables del programa de suelos en las gerencias regionales y de la Gerencia de Suelos Forestales. Si además, a técnicos relacionados con el recurso suelo o cualquier ciudadano le son de utilidad las obras y prácticas que aquí se describen, la Comisión Nacional Forestal considerará que el objetivo de este manual ha sido cumplido.

## Capítulo 1

El suelo es un recurso natural considerado como no renovable debido a lo difícil y costoso que resulta recuperarlo o mejorar sus propiedades después de haber sido erosionado o deteriorado física o químicamente. De ahí la importancia de controlar su degradación en áreas forestales.

Sin embargo estudios recientes muestran que el 64% de los suelos del país presentan problemas de degradación en diferentes niveles –que van de ligera a extrema– mientras que el 13% son terrenos desérticos, rocosos, zonas abandonadas o improductivas, y tan sólo el 23% del territorio nacional cuenta con suelos que mantienen actividades productivas sustentables o sin degradación aparente.

De la superficie degradada, el tipo de erosión más importante es sin duda la hídrica, que afecta el 37% (73 millones de ha) de la misma. Sus efectos son más evidentes en la formación de cárcavas, las cuales comprenden una extensión del 12% (24 millones de ha), lo que conduce a tener zonas improductivas o de baja productividad para cualquier actividad económica. Asimismo, este tipo de erosión afecta las capas superficiales de las tierras en una superficie de aproximadamente 25% en las que todavía es posible desarrollar actividades agropecuarias y forestales –a pesar de una reducción considerable en la producción– y aún puede revertirse este fenómeno mediante el uso y manejo sustentable del recurso. Otros tipos de degradación importante son: la erosión eólica, que afecta el 15% del territorio nacional principalmente en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, y la degradación química (salinización y contaminación por desechos urbanos e industriales), que se encuentra principalmente en las zonas agrícolas y abarca 13 millones de hectáreas a nivel nacional, de las cuales 6.6 millones presentan problemas de salinidad.

También se ha identificado que la causa principal de la degradación del suelo se debe a la deforestación asociada a los cambios del uso del suelo y actividades agropecuarias que representan el 51.3% del área degradada. Otras causas de deterioro del suelo están exclusivamente ligadas con las actividades agrícolas, específicamente con prácticas inadecuadas de producción tales como: riego excesivo, quema de residuos de cosecha, exceso de labranza y falta de prácticas de conservación de suelo y agua.

Con respecto a las áreas forestales, la superficie degradada comprende aproximadamente 16 millones de hectáreas donde los niveles de degradación se clasifican en ligeros, moderados, severos y extremos, afectando vegetación de bosque, selva, matorral y sus respectivas vegetaciones secundarias (*Carta de uso del suelo y vegetación*, INEGI, 1996). Ante esta situación, es importante considerar acciones de protección, conservación y restauración de suelos forestales integradas al manejo de los recursos naturales –especialmente del suelo, la vegetación y el agua– que contribuyan parcialmente al objetivo global de mantener y mejorar la condición del suelo encaminado a la producción sustentable. Para llevar a cabo un programa integral de manejo de suelos en áreas forestales se deben considerar las prácticas vegetativas, agronómicas y mecánicas. Estas últimas tienen influencia principalmente sobre el transporte de las partículas del suelo y poco efecto en su desprendimiento, en donde las dos primeras son más eficientes. Las prácticas vegetativas que utilizan biomasa viva o muerta en la superficie del suelo como barrera protectora o estabilizadora, a través de medidas preventivas para disminuir el problema de escorrentía y erosión, consecuentemente mejoran la estructura del suelo, incrementan la infiltración y la resistencia del suelo al arrastre por el agua o por el viento.

La reforestación es una práctica vegetativa importante para la protección, conservación y restauración de suelos, pero debe ser acompañada de diferentes prácticas mecánicas que aumenten la supervivencia, mejoren su desarrollo y con ello contribuyan a disminuir la degradación del suelo. Las consecuencias de la deforestación y de la degradación del suelo forestal son: la erosión, sedimentación en lagos, ríos y lagunas; disminución en la captación de agua y recarga de mantos acuíferos en varias regiones del país, inundaciones, reducción del potencial productivo por la pérdida paulatina de fertilidad de suelos e impactos negativos en la biodiversidad: los efectos resultantes son pobreza y migración de la población rural. El proceso de deforestación y degradación del suelo se inicia al fragmentar la vegetación. En nuestro país los casos más preocupantes son las selvas, bosques y matorrales donde aún es posible frenar dicho proceso mediante la aplicación de programas de manejo forestal sustentable y acciones de conservación y restauración de suelos.

## Elementos topográficos utilizados en la conservación y restauración de suelos forestales

### Descripción de instrumentos topográficos

Los instrumentos que se utilizan para realizar trabajos topográficos comprenden diferentes aparatos y materiales; su uso depende de la precisión que se requiera para cada tipo de obra.

Entre los de alta precisión se encuentran el nivel montado y el tránsito; de precisión intermedia existen el caballete, nivel de manguera y nivel de mano simple o clisímetro.

El diseño y construcción de prácticas y obras de conservación y restauración de suelos que se presentan en el presente manual no requieren de aparatos de alta precisión. Los que se utilizan comúnmente por su fácil construcción en campo, bajo costo y buen funcionamiento son los niveles de caballetes, de manguera y niveles de mano.

### Caballetes

Se caracterizan por ser ligeros y de construcción sencilla. Entre los diseños de caballetes se encuentran los de tipo rectangular, trapezoidal y triangular (Figuras 1-3).

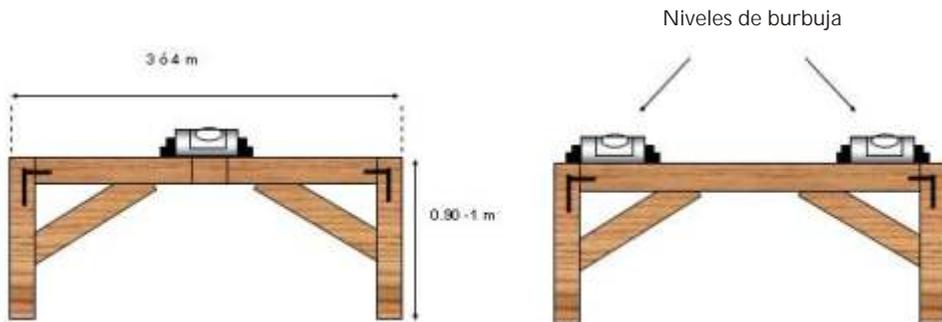


Figura 1. Tipo rectangular

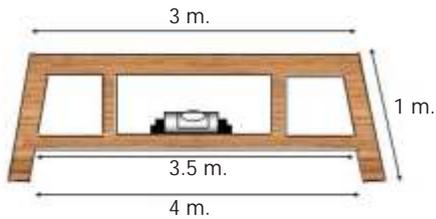


Figura 2. Tipo trapezoidal

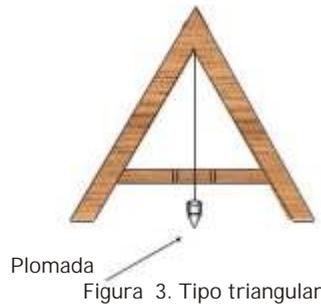


Figura 3. Tipo triangular

En la construcción de caballetes rectangulares y trapezoidales se requiere de madera, ángulos de acero y niveles de burbujas, además de considerar las medidas y ajustes necesarios para alcanzar la mayor precisión en su aplicación.

A diferencia de ellos, el caballete de tipo triangular o aparato "A" sólo se construye con madera, clavos y una plomada. Es el más liviano de todos y posibilita trazar líneas a nivel aunque no se haya construido con dimensiones exactas. En este documento se hace mayor referencia a éste por ser el más utilizado para efectuar trabajos topográficos en obras pequeñas.

### Aparato "A"

Los materiales necesarios para construir el aparato "A" son:

- dos fajillas o tablillas de 2 a 3 cm de grosor, 8 cm de ancho y 2 m de largo y otra de 1.5 m con el mismo grosor y ancho
- tres clavos de 2.5 pulgadas
- hilo cáñamo (2 m)
- una plomada o botella vacía con tapa de rosca
- lápiz

### Construcción del aparato "A"

- Emparejar las puntas de las fajillas formando una "A". La distancia entre los extremos separados del aparato debe ser de 2 m.
- A partir de los extremos, unir las dos fajillas con un clavo; éste no debe introducirse totalmente ya que en él se sujetará el hilo que sostiene la plomada (Figura 4).



Figura 4. Unión de los palos base marcado para colocar el travesaño

3. Colocar el travesaño de 1.5 m a la mitad de la "A". La parte media se puede obtener estirando el hilo atado al clavo hasta las partes terminales de las fajillas y doblándolo a la mitad; se colocan marcas con lápiz en ambas fajillas (Figura 5).



Figura 5. Colocación del travesaño

4. Colgar la plomada aproximadamente 3 cm debajo del travesaño. Si no se cuenta con plomada se puede usar una botella llena de agua, arena o tierra, haciendo un amarre por dentro de la tapa. (Figura 6).



Figura 6. Colocación de la plomada

5. Ajustar el aparato "A". A dos metros de distancia se anclan dos estacas gruesas en el terreno; sobre ellas se colocan los dos extremos del aparato "A", manteniéndolo en forma vertical para localizar el lugar que indica la plomada, mismo que ha de marcarse con el lápiz. Esta acción se repite cambiando de lugar las extremidades sobre las mismas estacas con lo que se obtienen dos marcas una de cada lado (Figura. 7).



Figura 7. Ajuste del instrumento

6. El paso siguiente es realizar una tercera marca a la mitad de las dos primeras. Para que la plomada vuelva a caer en el centro de las marcas, se ajusta la altura de una de las dos estacas enterrándola suavemente en el terreno. Cuando el hilo llegue al centro de las dos marcas, los extremos estarán a nivel. Para comprobarlo se da la vuelta al aparato sobre las mismas estacas: si la plomada vuelve a caer en el centro, el instrumento está listo para ser utilizado. De no ser así, deberá repetirse el procedimiento (Figura 8).



Figura 8. Ajuste de altura del aparato con dos estacas

## Nivel de manguera

Es un instrumento simple que consta de dos fajillas delgadas y una manguera, el cual puede construirse en campo ofreciéndonos la precisión suficiente para determinar la pendiente y el trazo de curvas a nivel (Figura 9).



Figura 9. Construcción de nivel de manguera

Los materiales necesarios son:

- a) dos fajillas de 2 cm de grosor, 8 cm de ancho y 2 m de longitud
- b) una manguera transparente de 14 m de largo, utilizando 2 m en cada fajilla de tal manera que al extender las fajillas queden separadas a 10 m
- c) dos cintas métricas flexibles (como las que se usan en costura), pegamento, alambre y pinzas

## Procedimiento de construcción

1. Pegar con resistol las cintas métricas a lo largo de las fajillas. Debe cuidarse que la manguera no quede muy ajustada, pero sí lo suficientemente fija para no tener errores al momento de efectuar las lecturas.
2. Poner agua a la manguera a 1m de altura del soporte (fajilla), para facilitar las lecturas y evitar derrames. Es necesario eliminar las burbujas que se forman dentro de la manguera.
3. Para ajustar el instrumento se colocan las fajillas juntas y a la misma altura marcando con lápiz el nivel de los meniscos de agua en ambas. A éste se le llama nivel original.

## Niveles de mano

Son aparatos de construcción industrial que requieren de mayor práctica para su manejo y para obtener mayor precisión en los trabajos.

Existen diversos tipos de niveles: de mano, como son el tipo *Abney* o clisímetro; y digitales, como el torpedo level, *multi-digit pro*, entre otros. Todos ellos se usan para la medición de líneas horizontales y ángulos verticales en el diseño de obras sencillas.

### Nivel de mano *Abney* o clisímetro

Este nivel cuenta con un *vernier* que permite realizar nivelaciones y medidas de ángulos verticales (Figura 10). Se ajusta elevando o bajando un extremo del tubo hasta que la burbuja se centre, manteniendo la escala del *vernier* en cero.

En la medición de ángulos verticales, se localiza el punto de interés y se enfoca hasta que éste coincida con el hilo horizontal de la retícula; se libera el tornillo que controla el *vernier* y la burbuja moviéndolo hasta lograr la coincidencia del hilo medio de la retícula, el centro de la burbuja y el punto visualizado. En este momento es cuando se fija el *vernier* y se toma la lectura en el círculo vertical graduado.

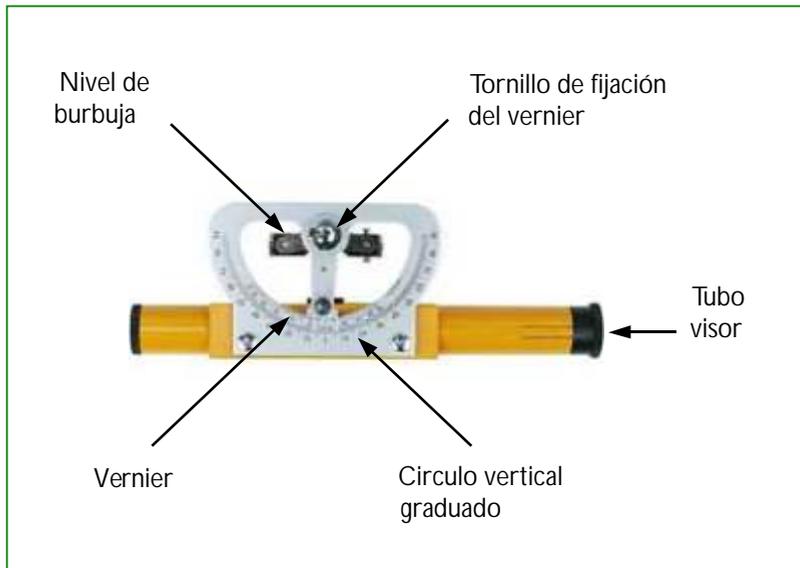


Figura 10. Componentes de un nivel de mano tipo Abney

Los métodos de ajuste que pueden aplicarse para el Abney son los siguientes:

- a) Instalar el nivel con la burbuja centrada en un punto A; posteriormente, ubicar un punto B a unos 10 m del punto A; trasladar el nivel al punto B y con la burbuja centrada determinar un punto C sobre la misma línea vertical de A. Si A y C coinciden, el nivel está ajustado; de no ser así, se estima un punto medio entre A y C.
- b) Mantener el nivel de mano a la misma altura de un nivel montado con niveles y ajustes correctos y con el que previamente se haya logrado observar un punto de interés que indique la horizontalidad del instrumento. Cuando la burbuja esté centrada, la línea visual del nivel de mano debe coincidir con el mismo punto que se observa en el nivel montado .

### Niveles digitales

Entre los niveles digitales que actualmente se pueden encontrar en el mercado está *el torpedo level*, el cual está diseñado para medir ángulos desde 45°, 90° y 180° y pueden ajustarse con línea láser (Figura 10).



Figura 11. Nivel de mano tipo *Torpedo level*

Otro de los diseños digitales es el *multi-digit pro*, el cual permite medir ángulos con inclinómetro electrónico y nivel alineador láser, así como proporcionar la pendiente en grados o en porcentaje. Contiene una memoria para guardar valores y rayo láser visible hasta 20 m (Figura 12).



Figura 12. Nivel de mano tipo *Multi digit pro*

### Procedimientos topográficos

Los procedimientos topográficos constituyen una serie de pasos bien definidos que se siguen en la elaboración de planos, delimitación de superficies, diseño y construcción de obras, establecimiento de linderos o nivelaciones de terrenos.

A través del uso de instrumentos topográficos, comprenden mediciones de distancias horizontales y verticales entre puntos, determinación de direcciones de líneas, elevaciones y áreas, entre otros.

Estos procedimientos se dividen principalmente en dos tipos: *planimetría* y *altimetría*. El uso de cada uno de ellos depende de los siguientes aspectos:

- tipo de trabajo que se va a realizar
- forma, extensión y relieve del terreno
- presencia de obstáculos en la superficie de trabajo
- instrumentos topográficos disponibles
- precisión deseada

Para el diseño y construcción de obras y prácticas de conservación y restauración de suelos forestales sólo se consideran los procedimientos de altimetría. Ésta agrupa las diferentes formas de nivelación existentes:

1. Nivelación diferencial. Se efectúa con la ayuda de un nivel topográfico y un estadal.
2. Nivelación barométrica. Se realiza para medir la variación de presiones atmosféricas en las diferentes estaciones.
3. Nivelación trigonométrica. Consiste en medir ángulos verticales y distancias horizontales o inclinadas calculando desniveles a través del uso de funciones trigonométricas.

La finalidad de la nivelación es determinar la diferencia de alturas entre los puntos de un terreno. La nivelación diferencial es la que se usa comúnmente para determinar pendientes y trazos de curvas a nivel con ayuda de niveles de precisión.

#### Determinación de la pendiente de un terreno

La determinación de la pendiente es de gran relevancia para la planeación y construcción de obras de conservación de suelos y estimación de escurrimientos superficiales. La pendiente es el grado de inclinación que presenta un terreno; una forma de conocer su valor es obteniendo el porcentaje de desnivel entre dos puntos, mediante el uso de equipo y aparatos topográficos. Una forma sencilla de estimar la pendiente de un terreno es a través del uso de aparatos de construcción manual como el aparato "A", nivel de manguera o bien con nivel de mano.

## Medición de pendiente con aparato "A"

En un terreno se pueden tener dos o más áreas con diferente inclinación y superficie por lo cual debe medirse la pendiente para cada caso. Los materiales que se requieren son: un aparato "A", una cinta métrica y una vara recta (Figura 13). Para obtener los porcentajes de pendiente deben seguirse los siguientes pasos:

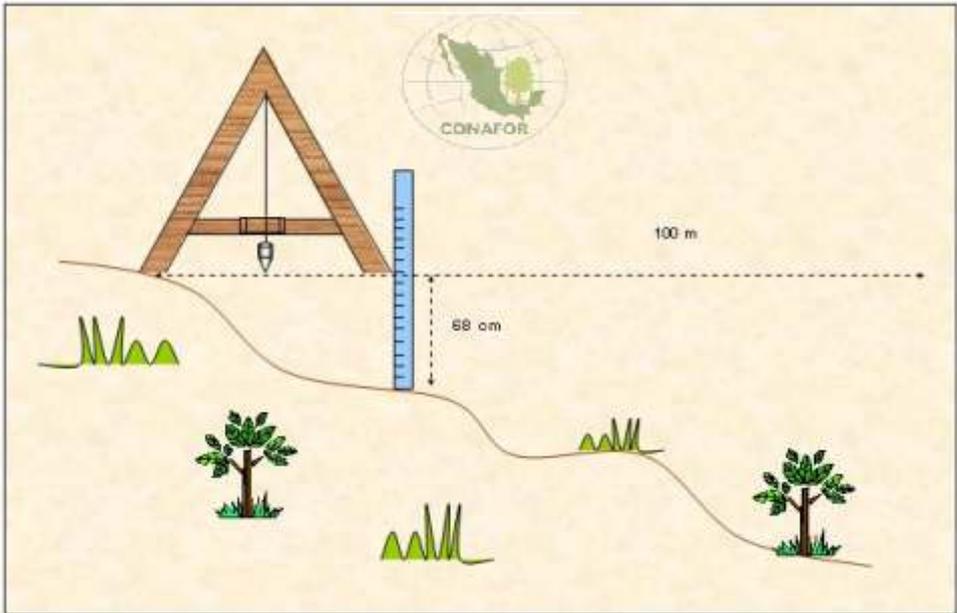


Figura 13. Medición de la pendiente con el aparato "A"

1. Coloque el aparato "A" en el sentido de la pendiente
2. Levante poco a poco el extremo del aparato que se halla aguas abajo, hasta que la plomada marque el centro
3. Ponga una vara, caña o palo recto cerca del extremo que se alzó
4. Marque con un lápiz sobre la vara la altura exacta a la que llegó el extremo del aparato "A"

5. Mida la altura en centímetros; el valor obtenido se divide entre 200 cm ( distancia de la apertura del aparato). Posteriormente multiplique la cifra por cien. El dato obtenido será la medida de la pendiente.

Si se realizan varias mediciones deberá obtenerse un dato promedio que represente la pendiente del terreno, a través de la suma de todos los valores de las lecturas realizadas. Éste se obtendrá sumando los valores de las mediciones efectuadas; el resultado de esta suma se divide entre la cantidad de lecturas realizadas. Por ejemplo:

Mediciones:

$$1^a = 20 \%$$

$$2^a = 15 \%$$

$$3^a = 10 \%$$

$$4^a = 30 \%$$

$$5^a = 25 \%$$

$$\text{Total} = 100 \%$$

$$100 / 5 = 20 \% \text{ de pendiente en el terreno}$$

Medición de pendiente con nivel de manguera

Para determinar la pendiente con el nivel de manguera se colocan los dos soportes juntos y a la misma altura, se marca el nivel inicial del agua; posteriormente, se aleja una de las fajillas a distancia –que permita la inclinación del terreno y la longitud de la manguera–, y se marca el nivel de agua. Posteriormente, en uno de los maderos se mide la altura entre las dos marcas y se multiplica por dos; este resultado es el desnivel entre dos puntos. Posteriormente se mide la distancia horizontal entre dichos puntos (Figura 14). La pendiente se obtiene dividiendo el desnivel entre la distancia horizontal y multiplicando por cien, como se indica en la siguiente fórmula.

$$S = \frac{100 (dl)}{L}$$

Donde:

S = pendiente (%)

dl = desnivel de dos puntos multiplicado por 2 m

L = distancia horizontal medida a la altura de los niveles de agua (m)

Por ejemplo, en un terreno se colocan los dos soportes juntos y se marca el nivel del agua inicial, el cual está a 100 cm en el estadal; luego se aleja uno de los estadales con la manguera a 15 m y se vuelve a marcar el nivel del agua que es igual a 15 cm; la diferencia de lecturas se multiplica por dos, ya que el nivel del agua se distribuye en las dos lecturas. Por lo tanto:  $15 \times 2 = 30$  cm de desnivel en 15 m.

$$S = \frac{100(dl)}{L} = \frac{100(0.30)}{15} = 2\%$$

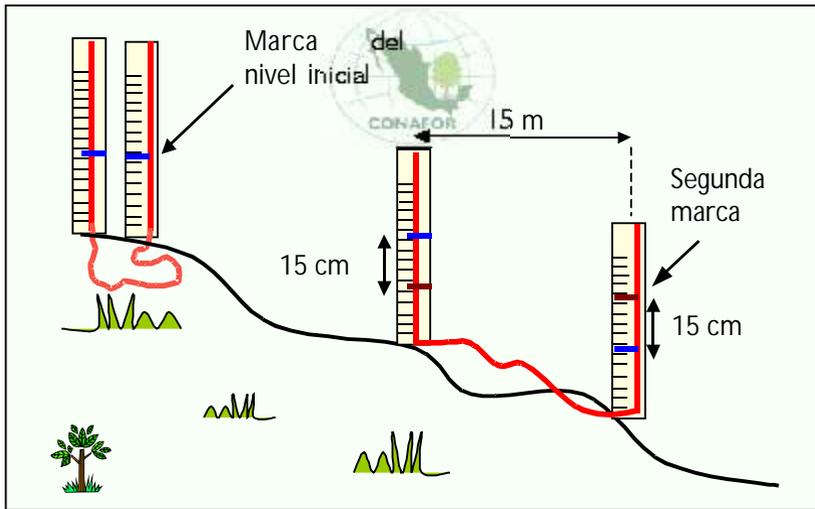


Figura 14. Medición de pendiente con nivel de manguera

Si la longitud de la pendiente de un terreno es muy amplia o variable es conveniente hacer varias mediciones con el nivel a lo largo del área con inclinación. Para obtener un valor promedio se suman las diferencias de lecturas, se multiplican por 100 y se dividen entre la longitud total de la pendiente, tal como se indica a continuación:

$$S = \frac{100 \sum dl}{L} \quad \text{Donde:}$$

$S$  = pendiente (%)

$\sum dl$  = suma de las diferentes lecturas de cada medida (m)

$L$  = longitud total de la pendiente (suma de distancias entre cada lectura)

## Medición con nivel de mano

Uno de los procedimientos para determinar la pendiente con nivel de mano es el siguiente:

1. Determinar la altura visual del operador.
2. La persona que realizará las lecturas deberá colocarse frente a la pendiente, mientras que el estadalero se mueve a unos 10 m en dirección de la misma.
3. La diferencia entre la lectura del estadal y la altura de la visual del operador se multiplica por 100 y se divide entre la distancia que existe del operador al estadalero.

El resultado de la operación es el porcentaje de pendiente de esa parte del terreno. Por ejemplo, a una distancia de 10 m, con una altura de la visual del operador de 1.60 m y una lectura de 0.30 m en el estadal, se obtiene una diferencia de 1.30 (Figura 15).

Aplicando la fórmula:

$$S = \frac{1.30 \times 100}{10} = 13 \% \text{ de pendiente}$$

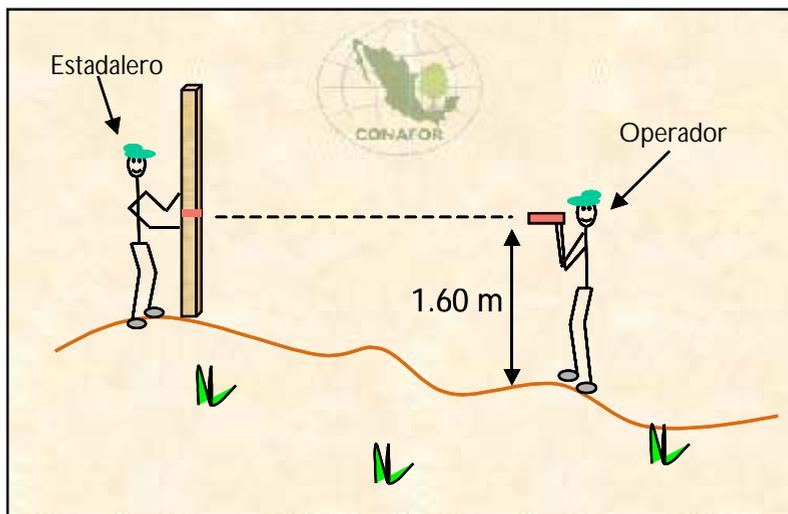


Figura 15. Determinación de pendiente con nivel de mano

Otra forma de determinar la pendiente utilizando el nivel tipo *Abney* es siguiendo los pasos que se indican a continuación:

- a) se marca la altura visual del operador sobre el estadal
- b) la persona que sostiene el estadal se mueve a unos 15 m en dirección de la pendiente, mientras el operador libera el tornillo que controla la burbuja y el arco graduado hasta hacer coincidir la burbuja y la retícula
- c) en el arco graduado se toma lectura del porcentaje de pendiente del terreno, o bien la inclinación en grados que hay entre dos puntos

### Trazo de curvas a nivel

Una curva a nivel es una línea imaginaria que une puntos con elevaciones iguales sobre el terreno. El trazo de curvas a nivel puede realizarse de manera sencilla y eficiente con niveles de caballete, de manguera o de mano.

Con caballete triangular o aparato "A"

- a) se coloca una estaca en la parte alta del terreno
- b) se acomoda el aparato "A" con sus extremos perpendiculares a la pendiente; uno de ellos deberá quedar junto a la estaca
- c) se mueve el otro extremo hasta que la plomada o el nivel marque el centro y se entierra otra estaca en ese punto.
- d) el aparato se mueve en dirección del trazo, ubicando la primera pata en la última estaca y así sucesivamente hasta llegar al extremo del terreno (Figura 16).

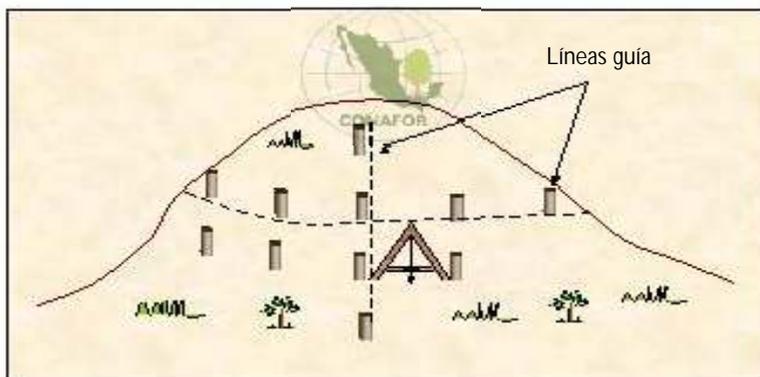


Figura 16. Trazo de curvas de nivel con aparato "A"

Una vez que se ha terminado el trazo de todas las curvas se pueden alinear las estacas que hayan quedado muy abajo o arriba para suavizar las curvas y facilitar trabajos posteriores.

### Con nivel de manguera

- a) se colocan ambas fajillas juntas y a nivel, marcando en ellas el nivel original del agua
- b) se mueve uno de los soportes hasta donde lo permita la longitud de la manguera (normalmente 10 m) y ahí se desplaza hacia arriba o abajo del terreno hasta que el menisco del agua en la manguera coincida con la marca del nivel original en el madero. Ahí se clava otra estaca
- c) el procedimiento se repite a partir de la última estaca y hasta llegar al límite del terreno o hasta donde exista un obstáculo (Figura 17)

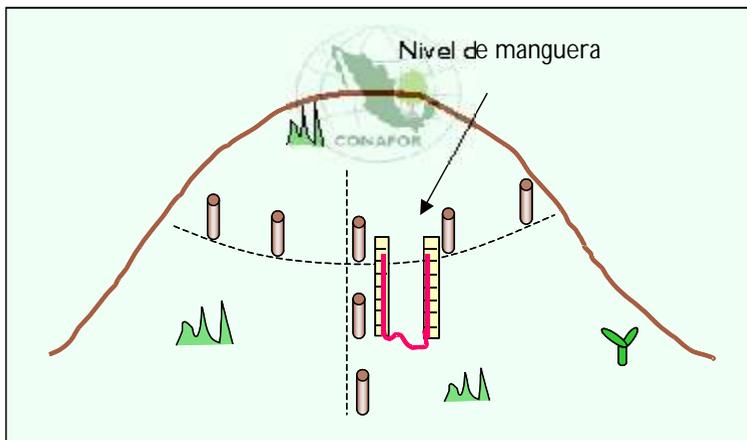


Figura 17. Trazo de curvas con nivel de manguera

### Con nivel de mano

- a) se determina la altura de la visual del operador del nivel que se instala en el inicio de la curva
- b) el estadalero se ubica a 15 metros a nivel del otro operador

- c) el estadalero se alinea hasta que coincidan el hilo de la retícula, la burbuja y la altura determinada de la visual del operador del nivel. Cuando esto se logra, las dos personas están sobre la misma línea
- d) el estadalero marca con una estaca el punto donde se encuentra el estadal; ambos operadores se desplazan en dirección del trazo y se repite la acción (Figura 18)



Figura 18. Trazo de curvas con nivel de mano

Otra forma de trazar curvas de nivel es mediante el uso de un nivel de mano construido con una manguera transparente (de  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{3}{4}$  de pulgada de diámetro), con agua al 50% y unida con los dos extremos de la misma manguera o bien con un tapón de madera, formando un círculo de 25 cm de diámetro. Se utiliza de la misma forma que el clisímetro, es decir, se coloca a la altura visual del operador y se hace coincidir con el nivel del agua y el punto marcado inicialmente en el estadal.





## Capítulo 2

### Estimación de escurrimientos superficiales

El escurrimiento superficial es la parte de la precipitación que se mueve sobre los terrenos de manera laminar y que al acumularse en las zonas mas bajas del terreno, forma pequeños arroyos que alimentan a las corrientes intermitentes para que éstas a su vez alimenten a los ríos (Figura 19). Cuando ocurre este escurrimiento en suelo desprotegido, provoca erosión en forma de canalillos que finalmente constituyen cárcavas.

En la planeación de trabajos de conservación y restauración de suelos, ya sea para la construcción de obras de captación *in situ* o en aquellas construidas en cárcavas, es necesario conocer el comportamiento de los escurrimientos superficiales de cada área.



Figura 19. Arroyo con flujo temporal de lluvias

#### Objetivos

- Estimar la cantidad de agua de lluvia que escurre superficialmente
- Definir los factores que inciden sobre el escurrimiento superficial
- Estimar los periodos de retorno y la probabilidad de una lluvia determinada

### Beneficios

- Permite obtener datos para planear obras de conservación de suelos, manejo y captación de agua de lluvia
- Promueve la elección de las obras más apropiadas para conservar y restaurar los suelos

### Probabilidad y periodo de retorno de la lluvia

Para conocer la cantidad de agua que escurre es necesario conocer la probabilidad de ocurrencia de la lluvia, ya que es fundamental para el diseño de varias obras de conservación y restauración de suelos, sobre todo de aquellas destinadas al control de cárcavas y captación de agua de lluvia.

También es necesario conocer el periodo de retorno de la lluvia para que con ese dato se estime el escurrimiento medio y máximo instantáneo. En el caso del presente manual se considera un periodo de retorno de cinco años.

### Cálculo de la probabilidad de lluvia

Para poder calcular la probabilidad de lluvia de una determinada zona es necesario conocer los registros de precipitación máxima anual al menos en 15 años.

Para las obras mencionadas en este manual se usará la lluvia máxima en 24 horas .

Con estos datos se aplica la fórmula siguiente:

$$P = \frac{m}{n + 1} \times 100 \quad (E1)$$

Donde:

P = probabilidad de ocurrencia de una lluvia (%)

m = número de orden de la lluvia

n = número de eventos registrados

## Procedimiento

1. Para obtener la probabilidad de lluvia, se revisan los registros de precipitaciones diarias, seleccionando la lluvia de máxima para cada año. Para llevar un registro ordenado se crean dos columnas: en la primera se anota el año y en la segunda se coloca la cantidad de lluvia que precipitó en día seleccionado.

<b>Columna 1</b>	<b>Columna 2</b>
Año	Lluvia (mm)

2. Se ordenan los valores de la lluvia de manera decreciente (de mayor a menor).

<b>Columna 1</b>	<b>Columna 2</b>	<b>Columna 3</b>	<b>Columna 4</b>	<b>Columna 5</b>
Año	Lluvia (mm)	Año	Lluvia ordenada	Número de orden (m)

3. Se aplica la Fórmula E1.

<b>Columna 1</b>	<b>Columna 2</b>	<b>Columna 3</b>	<b>Columna 4</b>	<b>Columna 5</b>	<b>Columna 6</b>
Año	Lluvia (mm)	Año	Lluvia ordenada (mm)	Número de Orden (m)	Probabilidad (%)
					$P = \frac{m}{n+1} \times 100$
<b>Total</b>					

## Cálculo del periodo de retorno

El periodo de retorno o frecuencia de una determinada cantidad de lluvia es la periodicidad estadística en años con que pueden presentarse tormentas de características similares en intensidad y duración. El cálculo del periodo de retorno es sumamente importante para la planeación de obras de conservación de suelos.

Para el propósito de las obras descritas en el presente manual el periodo de retorno será de cinco años.

Para el cálculo del periodo de retorno se aplica la siguiente fórmula:

$$F = \frac{n + 1}{m} \quad (E2)$$

Donde:

F = frecuencia o periodo de retorno  
n = número total de años de registro  
m = número de orden de la lluvia

Procedimiento:

1. Para el cálculo se utiliza el mismo procedimiento usado en el cálculo de probabilidad de la lluvia.
2. Se aplica la Fórmula E2.

<b>Columna 1</b>	<b>Columna 2</b>	<b>Columna 3</b>	<b>Columna 4</b>	<b>Columna 5</b>
Año	Lluvia (mm)	Año	Lluvia ordenada (mm)	Número de orden (m)

<b>Columna 6</b>	<b>Columna 7</b>
Probabilidad (%)	Periodo de retorno (años)
$P = \frac{m}{n + 1} \times 100$	$F = \frac{n + 1}{m}$

Mediante los datos de la columna 7 y su correspondiente lluvia (columna 4), se realiza una extrapolación para obtener el periodo de retorno deseado, que para este caso es de 5 años.

Ejemplo de cálculo de la probabilidad y periodo de retorno de la lluvia máxima en 24 horas de la estación 16138 de Uruapan, Michoacán.

Coordenadas 19° 42' latitud norte y 102° 07' longitud oeste.

Cuadro 1. Tabla de datos

<b>Columna 1</b>	<b>Columna 2</b>	<b>Columna 3</b>	<b>Columna 4</b>	<b>Columna 5</b>	<b>Columna 6</b>	<b>Columna 7</b>
Año	Lluvia máxima en 24 horas (mm)	Año	Lluvia máxima en 24 horas ordenada (mm)	Número de Orden (m)	Probabilidad (%)	Periodo de retorno (años)
					$P = \frac{m}{n+1} \times 100$	$F = \frac{n+1}{m}$
1951	5	1955	152.3	1	4.76	21
1952	82.5	1967	121.3	2	9.52	10.5
1953	58.5	1970	119.5	3	14.29	7
1954	59	1958	114	4	19.05	5.25
1955	152.3	1952	82.5	5	23.81	4.20
1956	58.5	1959	79.3	6	28.57	3.5
1957	47.5	1968	77.8	7	33.33	3
1958	114	1962	77	8	38.10	2.63
1959	79.3	1963	73.6	9	42.86	2.33
1960	61	1969	73	10	47.62	2.10
1961	41.5	1964	64.3	11	52.38	1.91
1962	77	1960	61	12	57.14	1.75
1963	73.6	1954	59	13	61.90	1.62
1964	64.3	1953	58.5	14	66.67	1.5
1965	41.7	1956	58.5	15	71.43	1.4
1966	51.5	1966	51.5	16	76.19	1.31
1967	121.3	1957	47.5	17	80.95	1.24
1968	77.8	1965	41.7	18	85.71	1.17
1969	73	1961	41.5	19	90.48	1.11
1970	119.5	1951	5	20	95.24	1.05
<b>Total</b>				<b>20</b>		

Para saber el valor de la lluvia de un periodo de retorno de cinco años se hace una interpolación de los valores.

<b>Lluvia máxima en 24 hrs (mm)</b>	<b>Periodo de retorno (años)</b>
114	5.25
82.5	4.20

De 4.20 a 5.25 hay un intervalo de 1.05 años, y de 82.5 a 114 hay un intervalo de 31.50, por lo tanto:

1.05 años —————> 31.50 mm

0.80 años —————> X

$$X = \frac{0.80 \times 31.50}{1.05} \quad X = 24 \text{ mm}$$

Por lo tanto, la lluvia correspondiente a un periodo de retorno de cinco años será:

- a) 82.5 mm (correspondiente a 4.20 años) + 24 mm (lluvia correspondiente a 0.80 años en este intervalo)
- b) entonces:  $82.5 + 24 = 106.5$  mm, que es la cantidad de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de cinco años

Es importante aclarar que entre mayor sea el número de años con registro, mayor será la precisión del método.

### Cálculo del escurrimiento superficial

El escurrimiento superficial es un tanto difícil de estimar, ya que no se cuenta con datos suficientes, depende de la cantidad e intensidad de la lluvia, la cobertura vegetal tanto herbácea como arbórea, la rugosidad del terreno, la textura y contenido de materia orgánica del suelo, la pendiente del suelo y el manejo que se le dé a éste (Figura 20).

Dado que en México no se cuenta con suficientes estaciones meteorológicas que registren la intensidad de la lluvia, sólo se tiene el dato de lluvia máxima en 24 horas para determinar la cantidad de la precipitación que escurre en forma superficial. En este manual se tomará el método del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA-SCS, por sus siglas en inglés), que toma en cuenta la mayoría de los parámetros que inciden en el escurrimiento superficial.

Las curvas numéricas son similares al coeficiente de escurrimiento y fueron obtenidas por el Servicio de Conservación de Suelos, basándose en la observación de hidrogramas procedentes de varias tormentas en diferentes cuencas de los Estados Unidos. Estas curvas dependen del tipo de suelo, condición hidrológica de la cuenca, uso y manejo del suelo, así como de su antecedente condición de humedad .

El cálculo del escurrimiento medio a partir de las curvas numéricas es obtenido mediante las siguientes relaciones:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (E3)$$

Donde:

Q = escurrimiento medio en mm

P = precipitación en mm

S = potencial máximo de retención de humedad en mm



Figura 20. Escurrimientos superficiales en áreas forestales

Esta fórmula sólo es válida si  $0.2S < P$ , es decir, si la precipitación es mayor que la retención máxima de humedad, ya que si no se cumple esto la lluvia es retenida por el suelo y por lo tanto no escurre.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (E4)$$

Donde:

S = potencial máximo de retención de humedad

CN = curva numérica o número de curva obtenida de tablas

El valor de las curvas numéricas está determinado por los siguientes factores:

a) Suelo. El suelo es uno de los factores de mayor incidencia en el escurrimiento; su contenido de materia orgánica y textura son los factores que ayudan de manera importante en la infiltración. El USDA tomó en cuenta la clase textural de los suelos y su infiltración básica y para agruparlos en cuatro clases.

Cuadro 2. Grupos de suelos de acuerdo a sus características

Grupo de suelos	Descripción
A	Suelo con bajo potencial de escurrimiento, incluye arenas profundas con muy poco limo y arcilla; también suelo permeable con grava en el perfil. Infiltración básica 8-12 mm/hr.
B	Suelos con bajo potencial de escurrimiento, arenosos menos profundos y más agregados que el grupo A. Cuando húmedo, éstos tienen una infiltración mayor que los grupos promedio. Ejemplos: suelos migajones, arenosos ligeros y migajones limosos. Infiltración básica 4-8 mm/hr.
C	Suelos con alto potencial de escurrimiento, comprende suelos someros y suelos con considerable contenido de arcilla, pero menor al del grupo D. Éstos tienen una infiltración menor que la promedio después de saturación. Ejemplo: suelos migajones arcillosos. Infiltración básica 1-4 mm/hr.
D	Suelos con alto potencial de escurrimiento como suelos pesados, con alto contenido de arcillas expandibles y suelos someros con materiales fuertemente cementados. Infiltración básica menor 1 mm/hr.

b) Condición hidrológica o cobertura vegetal del terreno. Este factor considera la cobertura vegetal del terreno, el cual incide directamente sobre la interceptación de la precipitación y la rugosidad que se opone al escurrimiento. Para este factor se determinaron tres clases de cobertura así como una serie de parámetros para agruparlas de acuerdo al uso del terreno.

Clases de Cobertura Vegetal

Buena > de 75 %

Regular entre 50 y 75 %

Mala < de 50 %

Cuadro 3. Vegetación y condición hidrológica

Vegetación	Condición hidrológica
Pastos naturales	Pastos en malas condiciones, dispersos, fuertemente pastoreados, con cobertura vegetal en menos de la mitad del área total. Pastos en condiciones regulares, moderadamente pastoreados con cobertura vegetal en la mitad o en tres cuartas partes del área total. Pastos en buenas condiciones, ligeramente pastoreados y con cobertura vegetal en más de tres cuartas partes del área total.
Áreas boscosas	Áreas en malas condiciones, con árboles dispersos y fuertemente pastoreados, sin crecimiento rastroero. Áreas en condiciones regulares, moderadamente pastoreadas y con algo de crecimiento. Áreas buenas, densamente pobladas y sin pastorear.
Pastizales mejorados	Pastizales mezclados con leguminosas sujetas a un cuidadoso sistema de manejo de pastoreo. Se considera que tienen buenas condiciones hidrológicas.
Rotación de praderas	Praderas densas, moderadamente pastoreadas, usadas a través de una bien planeada rotación de cultivos y praderas. Se consideran en buenas condiciones hidrológicas. Áreas con material disperso, sobrepastoreado, se consideran en malas condiciones hidrológicas.
Cultivos	En buenas condiciones hidrológicas, se refieren a una buena rotación de cultivos (de escarda, praderas, cultivos tupidos). En malas condiciones hidrológicas se refieren a un manejo de cultivos basado en monocultivos.

c) Uso del suelo. El uso del suelo es un factor determinante en la estimación del escurrimiento superficial. Por tal motivo se consideran las diferentes prácticas de manejo a que es sometido. Con este último parámetro se compone el cuadro para obtener la curva numérica que se utilizará en la fórmula.

Cuadro 4. Uso, tratamiento y condición hidrológica del suelo

Uso del suelo	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	Curvas numéricas			
			A	B	C	D
Suelo en descanso	Surcos rectos		77	86	91	94
Cultivos de escarda	Surcos rectos	Mala	71	81	88	91
	Surcos rectos	Buena	67	78	85	89
	Curva a nivel	Mala	70	79	84	88
	Curva a nivel	Buena	95	75	82	86
	Terraza y curva a nivel	Mala	66	74	80	82
	Terraza y curva a nivel	Buena	62	71	78	81
Cultivos tupidos	Surcos rectos	Mala	65	76	84	88
	Surcos rectos	Buena	63	75	83	87
	Curvas a nivel	Mala	63	74	82	85
	Curvas a nivel	Buena	61	73	81	84
	Terraza y curva a nivel	Mala	61	72	79	82
	Terraza y curva a nivel	Buena	59	70	78	81
Leguminosas en hilera o forraje en rotación	Surcos rectos	Mala	66	77	85	85
	Surcos rectos	Buena	58	72	81	85
	Curva a nivel	Mala	64	75	83	85
	Curvas a nivel	Buena	55	60	78	83
	Terraza y curva a nivel	Mala	63	73	80	83
	Terraza y curva a nivel	Buena	51	67	76	80

Uso del suelo	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	Curvas numéricas			
			A	B	C	D
Pastizales	Sin tratamiento mecánico	Mala	68	79	86	89
	Sin tratamiento mecánico	Regular	49	69	79	84
	Sin tratamiento mecánico	Buena	39	61	74	80
	Curva a nivel	Mala	47	67	81	88
	Curva a nivel	Regular	25	59	75	83
	Curva a nivel	Buena	20	35	70	79
Pasto de corte		Buena	30	58	71	78
Bosque		Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Camino de tierra		Buena	72	82	87	89
Caminos pavimentados		Buena	90	90	90	90

### Ejemplo de cálculo

En un área forestal-ganadera se tiene una cobertura arbórea de 40%; la cobertura superficial con zacatonal es de aproximadamente 60%; el suelo es un andosol mólico de más de un metro de profundidad, franco arenoso y con un contenido de materia orgánica de 4%.

Analizando la situación, podemos decir que las condiciones que presenta el terreno son:

- bosque ralo
- condición hidrológica mala (<50% de cobertura)
- tipo de suelo: franco arenoso que corresponde al grupo B
- con estos datos ingresamos a la tabla y se obtiene que el valor de la curva numérica es de 66

Conociendo el valor de la curva numérica se procede a calcular el valor del potencial máximo de retención de humedad y escurrimiento medio, utilizando las fórmulas E3 y E4, respectivamente.

$$S = \frac{25400}{66} - 254 \quad (E3)$$

$$S = 130.85$$

$$Q = \frac{(106.5 - 0.2(130.85))^2}{106.5 + 0.8(130.85)} \quad (E4)$$

$$Q = 60.56$$

Este valor quiere decir que con estas condiciones de vegetación y suelo, de los 106.5 mm de lluvia escurrirá una lámina de 30.56 mm. Este valor de escurrimiento es el que se tomará en cuenta para el diseño de las obras de conservación de suelos, considerando, por supuesto, las características particulares en cada una de ellas.

El escurrimiento calculado es propicio cuando existen condiciones de humedad intermedia, aunque el método considera sus tres condiciones -seca, húmeda, y mojada o saturada-, por lo que se deberá ajustar a la condición que se tenga en el terreno. Para ello, se toma en cuenta la precipitación de cinco días previos a la tormenta considerada utilizando la siguiente tabla:

Condición de humedad antecedente	Precipitación acumulada de los cinco días previos al evento (mm)
I	0 - 12.7
II	12.7 - 38.1
III	> 38.1

Para cambiar la condición de humedad se emplea la siguiente tabla.

Cuadro 5. Condiciones de humedad en el suelo

Curvas numéricas (CN) para cada condición de humedad		
Condición I	Condición II	Condición III
100	100	100
87	95	98
78	90	96
70	85	94
63	80	91
57	75	88
51	70	85
45	65	82
40	60	78
35	55	74
31	50	70
26	45	65
22	40	60
18	35	55
15	30	50
12	25	43
9	20	37
6	15	30
4	10	22
2	5	13

Como los números no corresponden exactamente, se debe realizar una interpolación similar a la que se realizó para el cálculo del periodo de retorno, o bien utilizar las siguientes fórmulas:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad (E5)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad (E6)$$

### Cálculo del escurrimiento máximo instantáneo

El escurrimiento máximo es indispensable para el diseño de obras de conservación de suelos, como lo son las zanjas derivadoras y las presas de control de azolves.

Usando el escurrimiento medio obtenido mediante el método del Servicio de Conservación de Suelos del USDA, el área de drenaje, la duración del exceso de lluvia y el tiempo de concentración, se puede obtener una buena estimación del escurrimiento máximo instantáneo a través de la siguiente fórmula:

$$Q_p = \frac{0.0021QA}{\frac{1}{2}D + 0.6T_c} \quad (E7)$$

Donde:

$Q_p$  = escurrimiento máximo ( $m^3/seg$ )

$Q$  = escurrimiento medio (mm)

$A$  = área de drenaje (ha)

$D$  = tiempo de duración del exceso de lluvia (hr)

$T_c$  = tiempo de concentración (hr)

Para fines prácticos, la duración del exceso de lluvia se puede asumir como el tiempo de duración de la tormenta, y el tiempo de concentración, el lapso que tarda en llegar una gota de agua de la parte más alta de la cuenca a su parte más baja o al lugar donde se ubica la obra. Para ello, se calcula el escurrimiento con la ecuación (E8).

$$T_c = 0.02 \frac{L1.15}{H0.38} \quad (E8)$$

Donde:

$T_c$  = tiempo de concentración en minutos

$L$  = longitud de la corriente principal en metros

$H$  = diferencia altitudinal entre el sitio más elevado (parteaguas) y la boquilla de la cuenca o donde se ubica la obra

Cuando no sea posible contar con los datos de exceso de lluvia o duración de la tormenta se puede usar la siguiente fórmula:

$$Q_p = \frac{PA}{360} \quad (E9)$$

Donde:

$Q_p$  = escurrimiento máximo instantáneo ( $m^3/seg$ )

= coeficiente de escurrimiento ( $Q/P$ )

$P$  = intensidad de la lluvia ( $mm/hr$ )

$A$  = área de drenaje ( $ha$ )

360 = factor de ajuste de unidades

El coeficiente de escurrimiento ( ) se obtiene al dividir el escurrimiento medio calculado entre la cantidad de lluvia. Para aplicar la fórmula se requiere conocer la intensidad de la lluvia ( $P$ ) en  $mm/hr$ . Para ello, la precipitación se divide entre el tiempo de concentración determinado en la fórmula (E8).

Ejemplo de cálculo: continuando con el anterior, se sabe que la cuenca tiene un área de mil 400 hectáreas, la lluvia máxima es de 106.5 mm, la duración del exceso de lluvia es 30 minutos, el cauce tiene una longitud de 13 kilómetros y el desnivel es de 900 m. Ya se calculó el escurrimiento medio, el cual fue de 30.56 mm.

Ahora, el volumen total escurrido se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \text{total escurrido} = \frac{30.56 * 1400ha * 10,000m^2}{1,000}$$

$$Q = 427,890 m^3$$

Existen otros métodos para el cálculo del escurrimiento medio. Sin embargo, el aquí descrito es el que mejor se ajusta a las características de México, pues hay que inferir datos con los que no se cuenta.

También existen otras fórmulas para determinar los escurrimientos medio y máximo de una cuenca, los cuales son importantes para el diseño de algunas obras que por el momento no se analizarán por no ser propiamente objeto de este manual.



## Capítulo 3

### Obras y prácticas de conservación y restauración de suelos

#### Presas de malla de alambre electro soldada o ciclónica

Las presas de malla electro soldada o ciclónica son estructuras para controlar la erosión en cárcavas. Son similares a las presas de gaviones, sólo que éstas no son prefabricadas, sino que se arman en el lugar de acuerdo con las características de las cárcavas (Figura 21).



Figura 21. Presas de malla electro soldada o ciclónica

#### Objetivos

- Controlar la erosión
- Reducir la velocidad de la escorrentía
- Impedir el crecimiento de las cárcavas

#### Beneficios

- Retienen azolves
- Disminuyen la cantidad y velocidad de los escurrimientos
- Estabilizan las cárcavas

## Diseño

Entre las presas de piedra acomodada y las presas de gaviones, las presas de malla de alambre electro soldado o ciclónicas son estructuras intermedias en cuanto a su uso y costo, por lo que representan una alternativa viable en lugares donde las presas de piedra acomodada no resisten los embates de la escorrentía, o donde las presas de gaviones se consideran muy costosas para el tamaño de las cárcavas. Antes de la construcción se deben considerar los siguientes aspectos:

### a) Altura

Se recomienda construir las presas a una altura entre 1.20 m hasta los 3 m (medida de la corona de la presa a la superficie de la cárcava), ya que para alturas mayores es preferible construir una presa de gaviones.

La altura efectiva de la presa es la distancia del suelo al vertedor, ya que hasta ahí se retendrán los azolves. Asimismo, es ésta la variable relacionada directamente con el espaciamiento (Figura 22).

Figura 22. Vista frontal de la estructura de una presa



### b) Espaciamiento

Considerando que estas presas son pequeñas y que se usarán para estabilizar cárcavas pequeñas con poca carga de escorrentía, se recomienda distribuir las presas con el criterio de doble espaciamiento, es decir, al doble del distanciamiento pie-cabeza (Figura 23).



Figura 23. Diseño de espaciamiento entre presas de malla

### c) Empotramiento

El empotramiento es una de las actividades más importantes en la construcción de presas ya que de ella depende la efectividad de la obra. En el caso de presas de malla electrosoldada, el empotramiento debe hacerse con medidas promedio de 40 a 50 cm a los lados y cimentarse en el fondo. En el caso de que el suelo sea muy arenoso se deben empotrar hasta el piso firme o hasta 70 cm para que el agua no flanquee la estructura o la derribe (Figura 24).



Figura 24. Excavación de zanja para empotramiento de la estructura

#### d) Corona de la presa

La corona es la parte superior de la presa y quedará al nivel original del suelo si ésta se construye con una altura igual a la profundidad de la cárcava, tal como se observa en la ilustración correspondiente (Figura 25).

#### e) Vertedor

El vertedor es la parte de la presa prevista para desalojar el agua de la cárcava. Debido a que la obra constituye un obstáculo a la corriente del agua, ésta buscará una salida; en caso de no existir el vertedor, el agua se disipa, pudiendo ocasionar la destrucción de la presa.

El vertedor deberá medir un tercio del ancho de la presa y una cuarta parte de su altura. Para evitar que el agua provoque erosión a los lados de la cárcava, el vertedor deberá ubicarse donde pase la corriente principal, lo que no forzosamente sucede al centro de la presa.

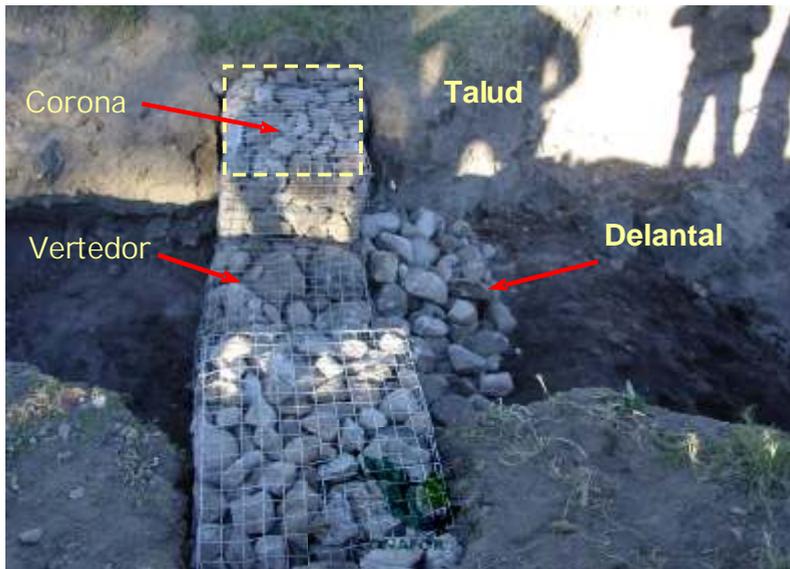


Figura 25. Vertedor en una presa de malla

#### f) Delantal

El delantal es una plataforma de piedra que se coloca aguas abajo de la presa y que sirve para amortiguar la caída del agua e impedir que ésta socave la estructura. En el caso de las presas de malla electro soldada, las cuales se construyen en forma piramidal, los escalones ejercen la función de delantal.

Cuando no haya escalones, el delantal se formará acomodando debajo de las aguas de la presa, piedras que formen una calzada para amortiguar la caída del agua que desaloja el vertedor.

#### g) Procedimiento de construcción

Se mide el ancho de la cárcava y de acuerdo a ésta se excava a los lados y hacia el fondo para empotrar la presa (Figura 26). Los cajones más usados con este tipo de malla son los de 60 x 60 cm. Después de definir el largo de éstos y tomando en cuenta que tienen 1.20 m de ancho, se doblan para obtener la mitad del cajón (60cm).



Figura 26. Excavación de zanja dentro de la cárcava para empotrar la presa

Posteriormente se dobla el resto de la malla para obtener la otra mitad. Por alguno de sus lados se cosen las dos mallas ya dobladas y se obtiene el cajón completo. El otro lado formará la tapa del cajón y se coserá una vez que éste se haya llenado de piedras (Figuras 27 y 28). Se armarán tantos cajones como sean necesarios.



Figura 27. Unión de paredes de malla



Figura 28. Armado de cajones de malla

El cajón vacío se coloca dentro de la zanja excavada al fondo de la cárcava y se rellena con piedras; el acomodo de éstas debe ser de tal forma que las caras más planas queden a los costados del cajón.

Se deben combinar piedras grandes y chicas para reducir los espacios vacíos, lo que permitirá que el cajón sea más pesado y estable (Figura 29).

Al momento de llenar los cajones se deberán colocar tensores a la mitad de la altura del cajón así como a lo ancho, cada 50 cm aproximadamente. Éstos son sumamente importantes, ya que si no se colocan los cajones se deforman por efecto de la fuerza de la escorrentía, lo que ocasiona que la presa se debilite y se derrumbe (Figura 30).



Figura 29. Llenado de cajones con piedra



Figura 30. Colocación de tensores en el llenado de cajones

Una vez que se ha llenado el cajón, se procede a coser la tapa para cerrarlo (Figura 31). Siguiendo el mismo procedimiento se colocan tantos cajones como sean necesarios.

Hay que recordar que, para que sirva como vertedor, se deberá dejar del ancho de la presa en el tercio medio ó donde pase la corriente principal (Figura 32).



Figura 31. Cierre de cajón con alambre



Figura 32. Formación del vertedor en la presa de malla

Después de colocar todos los cajones, se construye una pequeña calzada de piedras para que sirva como delantal y disipe la energía en la caída de aguas abajo de la presa e inmediatamente abajo del vertedor. (Figura 33).



Figura 33. Calzada o delantal en la construcción de presas

## Costos

Cuadro 6. Costos promedio para la construcción de presas de malla de alambre

Concepto	Unidad de medida	Costo unitario (\$)	Cantidad requerida	Costo de la actividad (\$)
Ubicación, limpia y trazo	Jornal	45	0.15	7
Excavación cimentación	Jornal	45	0.50	23
Conformación de presa (alambre)	Jornal	45	0.75	34
Acomodo de piedra	Jornal	45	3.00	135
Pepeña de piedra	Jornal	45	2.00	90
Acarreo de piedra	Jornal	45	2.00	90
Excavación para delantal	Jornal	45	0.50	23
Construcción de delantal	Jornal	45	0.50	23
		Subtotal		425
Malla ciclón o electrosoldada	Rollo	540	0.25	135
Alambre galvanizado calibre 14	Kg	18	0.20	4
		Total		564

Para estimar el costo anterior se han considerado presas de 5 m de ancho x 0.80 m de grosor x 2 m de altura. El costo de 1m<sup>3</sup> de presa de malla de alambre requiere de 9.40 jornales, que corresponden a \$425.00, así como los siguientes materiales: malla ciclónica (\$135.00) y alambre (\$4). De ésta manera el costo total por 1m<sup>3</sup> de presa de malla de alambre sería de \$564.00 (\$425.00 de jornales + \$139.00 de materiales).

### Presas de morillos

Son estructuras conformadas con postes o troncos de diámetros mayores a 10 cm las cuales se usan temporalmente y se construyen en sentido transversal a la dirección del flujo de corrientes superficiales en cárcavas pequeñas y angostas para el control de azolves (Figura 34).



Figura 34. Presa de morillo

### Objetivos

- Reducir la velocidad de escurrimiento
- Retener azolves
- Propiciar condiciones favorables para el establecimiento de cobertura vegetal que estabilice el lecho de la cárcava
- Proteger obras de infraestructura rural, tales como presas hidráulicas, caminos y puentes
- Retener humedad

## Beneficios

- Disminuyen la erosión hídrica
- Controlan azolves
- Detienen el crecimiento de cárcavas

### a) Elementos de diseño

Como primera actividad en la construcción de presas se deben identificar las cárcavas pequeñas en donde aún sea posible detener su crecimiento con prácticas sencillas y de bajo costo (Figura 35).



Figura 35. Localización de cárcava en áreas forestales

Como práctica previa es conveniente realizar cabeceo de cárcavas para evitar su crecimiento aguas arriba y suavizar taludes. Los materiales de construcción pueden provenir de productos obtenidos en aprovechamientos forestales, incendios, podas o residuos de material muerto (Figura 36).



Figura 36. Aprovechamiento de productos de incendios forestales para elaborar presas de morillos

## b) Espaciamiento

El espaciamiento entre presas se calcula de acuerdo con la altura efectiva y pendiente de la cárcava; normalmente se recomienda construir una presa con separación cabeza-pie:

$$E = \frac{H}{P} * 100$$

Donde

E = espaciamiento entre presas (m)

H = altura efectiva de la presa, (m)

P = pendiente de la cárcava en (%)

En cárcavas que presenten 10% de pendiente y una altura efectiva de 1m la separación entre presas debe ser de 10 m aproximadamente. Cabe señalar que la distribución espacial calculada no se debe aplicar estrictamente, ya que en campo se debe dar prioridad a sitios cuyas características sean más apropiadas para su construcción (Figura 37). De esta manera, una presa podrá moverse uno o dos metros con relación al dato estimado.



Figura 37. Distribución espacial de presas de morillos en áreas forestales

### c) Construcción

La construcción se inicia colocando una hilera de postes o morillos (con un corte en forma de punta en uno de sus extremos para que puedan anclarse fácilmente al suelo), separados cada 0.80 m en sentido transversal a la cárcava y anclados al suelo a una profundidad aproximada de un metro. Estos postes deberán medir, preferentemente, 2.5 m de largo y 10 cm de diámetro (Figura 38).



Figura 38. Establecimiento de hilera de morillos base

Una vez colocada la hilera de morillos se procede a construir una zanja de 1/4 parte de la altura total de la presa y del ancho necesario para empotrar la estructura.

Posteriormente se colocan morillos a lo largo de la zanja excavada, sujetando uno sobre otro con la ayuda de alambre, clavos u otro material resistente para fijar la presa (Figura 39).

El empotramiento o anclado de morillos en las partes laterales de la cárcava deberá quedar asegurado de tal manera que se evite que los escurrimientos socaven las partes laterales de la presa y afecten su funcionamiento.

Es conveniente que la altura efectiva de las presas de morillos no sea mayor a

Se recomienda compactar el suelo circundante a la presa de morillos establecida y colocar el material obtenido de la zanja aguas arriba para proporcionar mayor estabilidad a la estructura. Es importante también realizar un corte en la parte central del muro para formar un vertedor que controle el flujo del agua.



Figura 39. Vista frontal del vertedor en una presa de morillos

Las dimensiones recomendables para formar el vertedor son de un tercio de la longitud transversal de la presa y una altura de 0.25 veces la altura total de ésta. Por ejemplo, si la presa tiene una longitud de 2m y 1.20m de altura, el vertedor tendrá aproximadamente 70 cm de ancho por 30 cm de alto (Figura 40).

Con el fin de proteger el fondo de la cárcava de la erosión hídrica provocada por la caída de agua que pasa por el vertedor y mantener la estabilidad de la presa, se recomienda construir, aguas abajo de la presa, un delantal con piedra acomodada o morillos empotrados a 10 ó 15 cm de profundidad. La construcción del delantal no requiere el uso de materiales específicos y medidas estrictas; sin embargo, se deben preferir aquellos que no sean fáciles de arrastrar por las corrientes de agua. Si se cuenta con trozos de morillos, es conveniente que éstos queden lo suficientemente sujetos para evitar que se deslicen a lo largo de la cárcava. (Figura 41). Cuando se usen piedras se recomienda que éstas sean mayores de 15 cm de diámetro y muy consistentes para evitar que se desintegren.



Figura 40. Colocación transversal de morillos y formación del vertedor en una presa

Figura 41. Formación de delantal utilizando trozos de morillos



Si la pendiente de la cárcava es menor del 15 % el delantal deberá ser, en promedio, de 1.5 m de largo, pero si ésta es mayor se recomienda que el delantal sea de 1.7 m de largo (Figura 42).

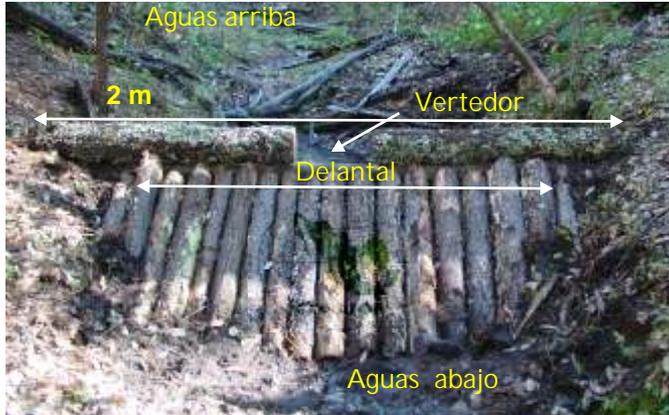


Figura 42. Vista frontal del delantal en una presa de morillos en áreas forestales

## Recomendaciones

- Las presas de morillos se recomiendan para cárcavas con pendientes máximas de 35%
- el control de cárcavas se debe iniciar desde la parte alta donde se origina el problema de erosión
- se recomienda construir la primera presa a un metro de donde inicia la cárcava
- en caso de que se requiera se recomienda estabilizar los taludes de las presas
- la estabilización total del fondo de las cárcavas sólo se alcanzará cuando se desarrolle vegetación permanente que retenga el suelo
- la altura total de la estructura no debe exceder de 1.5 m y el área de aporte de escurrimientos no debe exceder las diez hectáreas
- el material para construir las presas (morillos, troncos o postes) deberá proceder de residuos de incendios, podas o material vegetal muerto y no de la tala de árboles
- para alcanzar mejores resultados en la aplicación de presas de morillos cuya vida útil se estima de 2 a 5 años, y para estabilizar el fondo de las cárcavas, se sugiere que se acompañen de otras prácticas de conservación de suelos como cabeceo de cárcavas, reforestación, zanjas derivadoras de escorrentía y terrazas, entre otras.

## Costos de construcción

Cuadro 7. Costos promedio para presas de morillos

Concepto	Unidad de medida	Costo unitario (\$)	Cantidad requerida	Costo de la actividad (\$)
Recolecta y distribución de material	Jornal	45	0.75	34
Limpia y excavación para empotramiento	Jornal	45	0.20	9
Conformación de presa	Jornal	45	0.75	34
Estacado y amarrado	Jornal	45	0.50	23
Alambre galvanizado calibre 14	Kg	15	0.75	14
			<b>Total</b>	<b>114</b>

En el cuadro anterior se consideró que los materiales ya existían en los predios: subproductos de aprovechamientos forestales, incendios forestales, podas y residuos de material muerto. Las presas que se consideraron para obtener el costo tienen las siguientes dimensiones: 2 m de largo y 1 m de altura; el costo por pieza es de \$114 y serán espaciadas cada 10 m. Es decir, que en una hectárea se colocarán diez presas, equivalentes a \$1,140.00. Para que se considere como presa de morillos los troncos deben tener un diámetro mayor de 10 cm.

### Presa de ramas

Son pequeñas estructuras construidas con ramas entretejidas en forma de barreras que se colocan en sentido transversal a la pendiente para controlar la erosión en cárcavas (Figura 43).

### Objetivos

- Controlar la erosión
- Reducir la velocidad del escurrimiento
- Retener azolves
- Proteger obras de infraestructura rural

## Beneficios

- Reducen la erosión hídrica
- Detienen el crecimiento de cárcavas
- Permiten la acumulación de sedimentos favorables para el establecimiento de cobertura vegetal



Figura 43. Presa de ramas

## Elementos de diseño

Las presas de ramas se pueden utilizar para el control de la erosión en cárcavas pequeñas que se deben identificar previamente en recorridos de campo, específicamente en áreas que dispongan de material vegetal muerto (ramas, troncos, producto de podas, incendios o aprovechamientos forestales).

Un aspecto importante a considerar en el diseño de las presas de ramas es asegurar su estabilidad, por lo que su construcción se debe iniciar con la excavación de una zanja transversal a la cárcava, con medidas de 30 cm de ancho x 25 cm de profundidad, ampliando la longitud de la zanja hacia los taludes de la cárcava (Figura 44) .

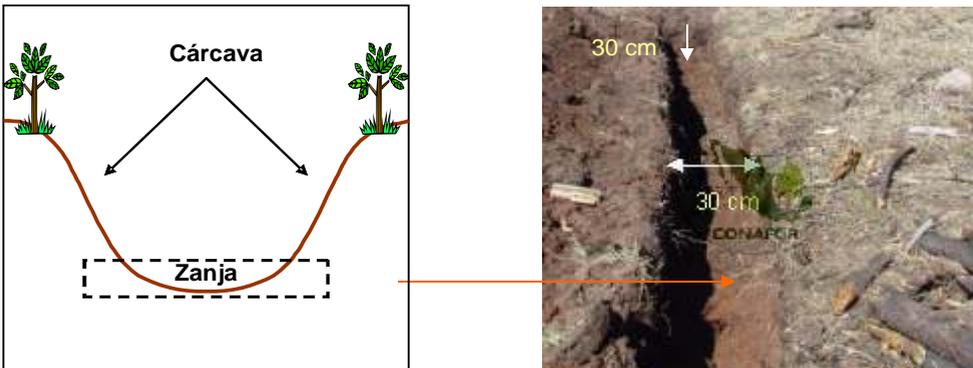


Figura 44. Sección transversal de una cárcava y área de corte para zanja

Posterior a la construcción de la zanja, se debe colocar una hilera de estacas base en forma transversal a la cárcava. Se aconseja que éstas tengan una longitud igual a 4 veces la altura total de la presa, 10 cm de diámetro en promedio, y que se anclen al suelo tratando de que queden firmes. (Figura 45).

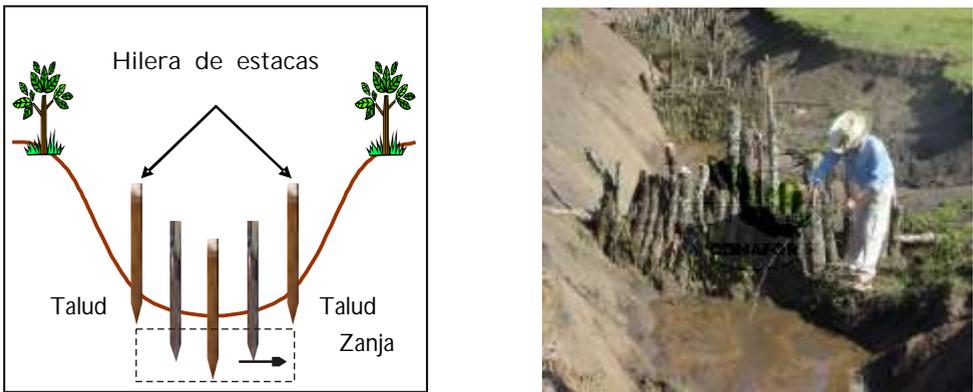


Figura 45. Colocación transversal de hilera de estacas

Después de fijar la hilera de estacas base se debe proceder a formar la barrera, colocando en la zanja construida primero, las ramas de mayor longitud, diámetro y peso y procurando que queden insertadas firmemente para lograr mejor estabilidad de la estructura. Posteriormente se colocan ramas flexibles entretrejidas entre sí y adheridas a la hilera de estacas base mediante el uso de alambre u otro material útil para unir la estructura que deberá quedar empotrada por lo menos a 0.25 m en las áreas laterales de la cárcava.

El diseño de presa de ramas se puede adaptar de acuerdo al material disponible en cada lugar. La hilera de estacas base se puede constituir de una o dos líneas paralelas. Este método tiene la ventaja de proporcionar mayor equilibrio a la estructura (Figura 46).



Figura 46. Presa de ramas con doble hilera de estacas base

Las presas de ramas deberán tener una parte que funcione como vertedor, ubicada en el área donde se concentre la escorrentía, normalmente el centro. Ello, para evitar que las corrientes de agua impacten las paredes y afecten su funcionamiento (Figura 47).



Figura 47. Diseño de presa de ramas en cárcavas

Es conveniente que la altura efectiva de las presas de ramas no sea mayor a un metro. Se aconseja utilizar el suelo extraído en la construcción de la zanja para compactar la base de la presa. Los materiales a utilizar deben provenir de residuos de material muerto, aprovechamientos forestales, incendios y/o podas (Figura 48).



Figura 48. Aprovechamiento de ramas producto de incendios para construcción de presas

Con la finalidad de evitar que el agua que se vierte abajo socave el fondo de la cárcava y derribe la presa, se recomienda construir un delantal con ramas, troncos, piedras u otro material acomodado en el fondo de la cárcava. Es también conveniente que se propicie el desarrollo de pastos o especies forestales en el área donde se hayan acumulado los sedimentos con la finalidad de estabilizar la cárcava con mayor éxito. El espaciamiento entre presas se calcula de acuerdo con la altura efectiva y la pendiente de la cárcava (Figura 49). La fórmula utilizada para estimar la distancia entre presas es la siguiente:

$$E = \frac{H}{P} * 100$$

Donde

E = espaciamiento entre presas (m)

H = altura efectiva de la presa (m)

P = pendiente de la cárcava (%)

Considerando una cárcava con 10 % de pendiente y una altura efectiva de la presa de 0.6 m la distancia entre presas será de 6 m.



Figura 49. Distribución espacial de presas de ramas en una cárcava

### Recomendaciones

Cuando se utilicen presas de ramas es conveniente que se integren algunas prácticas de conservación de suelos, como cabeceo de cárcavas, afine de taludes, presas de piedra acomodada, de morillos, reforestación, zanjas derivadoras de escorrentía, entre otras. Asimismo, se recomienda plantar especies vegetales fáciles de adaptar a cada región, sobre los sedimentos depositados aguas arriba de las presas. La altura total de la barrera de ramas no deberá exceder de un metro.

### Costos

Cuadro 8. Costos para la aplicación de presas de ramas

Concepto	Unidad de medida	Costo unitario (\$)	Cantidad requerida/ha	Costo de la actividad
Recolecta y distribución de material	Jornal	45	0.50	23
Limpia y excavación para empotramiento	Jornal	45	0.25	12
Conformación de presa	Jornal	45	0.30	14
Estacado y amarrado	Jornal	45	0.35	16
Alambre galvanizado 14	Kg	18	0.50	9
			<b>Total</b>	<b>74</b>

Para estimar el costo anterior se consideran presas de 2 m de largo por 0.6 m de alto y 20 cm de empotramiento, colocadas con 6 m de distancia entre cada una. El costo por presa es de \$74.00; el metro lineal tiene un costo de \$32.50; por lo tanto, si se construyen 16 presas en una hectárea el costo será de \$1,184.00.

### Presas de piedra acomodada

Son estructuras construidas con piedras acomodadas, las cuales se colocan transversalmente a la dirección del flujo de la corriente y se utilizan para el control de la erosión en cárcavas (Figura 50).



Figura 50. Presa de piedra acomodada

### Objetivos

- Controlar la erosión en cárcavas
- Reducir la velocidad de escurrimiento
- Retener azolves

### Beneficios

- Retienen suelo
- Estabilizan lechos de cárcavas
- Permiten el flujo normal de escurrimientos superficiales

La construcción de presas de piedra acomodada ha sido una de las prácticas de conservación de suelos más utilizada para el control de azolves en cárcavas en las diferentes regiones del país, debido a la facilidad de su construcción y a la disponibilidad del material que requiere.

### Elementos de diseño

Para construir presas de piedra acomodada se deben identificar previamente los sitios donde se ubicarán, así como considerar la disponibilidad de piedra en dicha zona. El procedimiento general para realizar la obra consta de los siguientes pasos:

- a) diseño
- b) cimentación o empotramiento
- c) formación de la presa
- d) diseño del vertedor
- e) construcción del delantal
- f) espaciamiento

#### a) Diseño

Las dimensiones de una presa de piedra acomodada dependen de la pendiente o grado de inclinación que presente la cárcava, así como de la profundidad y cantidad de escurrimientos superficiales.

La obra se recomienda para cárcavas con pendientes moderadas donde la superficie del área de escurrimiento genere flujos de bajo volumen, ya que son estructuras pequeñas. En promedio miden entre 1.2 m y 2 m de altura, por lo que en caso de presentarse cárcavas de mayor dimensión sólo se construirán hasta este límite. En cuanto a su ancho deberán ubicarse de preferencia en sitios no mayores de 4 m.

Es conveniente asegurar que la estructura sea lo más resistente a volcaduras provocadas por las corrientes de agua que impactan las paredes, por lo que se recomienda fijar adecuadamente.

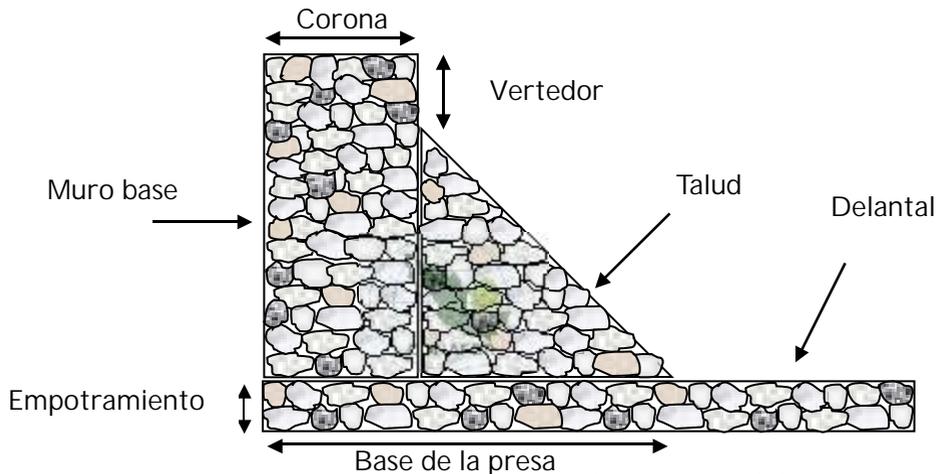


Figura 51. Partes que constituyen a una presa de piedra acomodada

#### b) Cimentación o empotramiento

Una actividad inicial en la construcción de presas de piedra es la excavación de una zanja en el fondo y partes laterales de la cárcava para obtener el llamado empotramiento o cimentación. Dependiendo de las dimensiones de la presa se establece la profundidad de la zanja, cuya profundidad se recomienda sea de un tercio de la presa y con un ancho ligeramente mayor que el grosor de esta misma.

Se recomienda extremar medidas de seguridad en la construcción de estas presas cuando se trata de suelos de textura gruesa o arenosos, o en aquellos donde se presenten grietas en sus taludes. Si se construyen presas de piedra de 0.70 m de grosor por 0.90 m de alto, entonces las medidas de la zanja serán de 0.75 m de ancho y 0.30 m de profundidad por el ancho de la cárcava (Figura 52).



Figura 52. Secciones de excavación para empotramiento de la presa en una cárcava

Es conveniente que el fondo de la zanja esté bien nivelado para evitar deslizamientos del material. Durante el acomodo de piedras para la cimentación, debe procurarse que el material quede colocado lo más estable posible. Cuando se trata de "piedra bola" debe buscarse el ángulo de reposo.

### c) Formación de la presa

La construcción de la presa consiste en el acomodo de piedras para formar una barrera o trinchera que servirá para controlar la erosión en cárcavas, así como para filtrar el agua de escurrimiento y retener azolves (Figura 53). Los métodos de construcción dependen del tipo de piedra que se disponga. Si las piedras son tipo "laja" o planas sólo se acomodan unas sobre otras siguiendo las dimensiones iniciales para formar una barrera de la misma anchura y con paredes rectas y estables. En cambio, si se cuenta con piedra "bola" o redondeada se recomienda manejarla de acuerdo a su forma, es decir, colocar la parte de mayor peso hacia abajo (como se encuentran de manera natural en el suelo). Debe preferirse roca o piedra que tenga mayor peso y dureza, pero también es posible aprovechar otros materiales disponibles (Figura 54). No es conveniente usar rocas que se desintegren o desmoronen fácilmente y sean de bajo peso debido a que pueden ocasionar la destrucción de la presa, arrastre de material y mal funcionamiento de la obra.



Figura 53. Colocación de piedras en la construcción de una presa

Con el fin de lograr que la barrera retenga la mayor cantidad de sedimentos y funcione como presa filtrante debe procurarse que entre las piedras acomodadas no queden espacios grandes y que sean cubiertos con piedras pequeñas (Figura 55). La primera etapa en la construcción de una presa es la formación de un muro o trinchera de un metro de ancho en promedio, que se extiende a lo ancho de la cárcava abarcando los taludes laterales excavados para el empotramiento.



Figura 54 Presa con piedra tipo basalto

Figura 55. Acomodo de piedras en una cárcava pequeña



#### d) Diseño del vertedor

Durante la construcción del muro base debe formarse el vertedor, el cual es una sección rectangular sin piedras que sirve para controlar el paso de los volúmenes de agua; puede consistir de una sección más baja que el resto de la presa ubicada en la parte central de la estructura o ligeramente a un costado de ésta por donde pase la corriente principal (Figura 56).



Figura 56. Diseño del vertedor en una presa de piedra acomodada

Posteriormente se forma el talud con el fin de dar mayor resistencia a la estructura ante la fuerza de las corrientes que impactan en las paredes de la presa. Existen diseños de presas de piedra acomodada con dos taludes: uno, aguas arriba y otro en aguas abajo. Sin embargo, se ha observado que con un talud aguas abajo las presas funcionan adecuadamente y se reducen costos en mano de obra y material (Figura 57).

#### e) Construcción del delantal

Para proteger el fondo de la cárcava de la erosión hídrica provocada por la caída del agua que pasa por el vertedor y mantener la estabilidad de la presa se recomienda construir un delantal con piedra acomodada aguas abajo (Figura 58).



Figura 57. Vista lateral de una presa de piedra acomodada



Figura 58. Formación del delantal

## f) Espaciamiento

El espaciamiento entre presas se calcula de acuerdo a la altura efectiva de la presa y pendiente de la cárcava. Normalmente se recomienda construir una presa con separación pie-cabeza (Figura 59).



Figura 59. Espaciamiento pie-cabeza entre presas de piedra acomodada

La fórmula para estimar el espaciamiento entre presas es la siguiente:

$$E = \frac{H}{P} * 100$$

Donde

E = espaciamiento entre presas (m)

H = altura efectiva de la presa (m)

P = pendiente de la cárcava (%)

La distribución de presas de piedra depende de las características topográficas que presente el terreno, del tipo de suelo, pendiente y grado de erosión que se encuentre en el sitio donde se aplicará la práctica.

La separación entre presas de piedra acomodada de un metro de altura es de 10 m en cárcavas que presentan 10 % de pendiente (Figura 60).

La distribución espacial calculada no debe aplicarse estrictamente con las medidas estimadas, ya que en campo deben localizarse los sitios más apropiados para su construcción y en algunos casos deberá recorrerse la presa a un lugar más angosto, recto o en donde capte la mayor cantidad de azolves .



Figura 60. Distribución espacial de presas de piedra acomodada

Las presas de piedra acomodada pueden utilizarse tanto en regiones tropicales como en zonas áridas para la retención de azolves ocasionados por la erosión hídrica (Figura 61).



Figura 61. Retención de azolves en una presa de piedra acomodada

Los volúmenes de agua de lluvia superficial presentes en las microcuencas no se ven afectados por la construcción de presas de piedra acomodada, ya que su diseño permite el paso del agua en cantidades normales pero sin sedimentos (Figura 62).



Figura 62. Filtración de agua a través de presas de piedra acomodada

#### Recomendaciones

- El control de cárcavas debe iniciarse por la parte alta de las cuencas, donde se origina el problema de erosión
- las presas de piedra acomodada se recomiendan en cárcavas con pendientes máximas del 35 %
- la altura total de la estructura no debe exceder 1.5 m de altura total
- la piedra que se utilice deberá proceder de bancos de piedra y no de lugares que presenten problemas de erosión por la extracción del material
- es conveniente plantar especies forestales en los terraplenes que se van formando con la acumulación de sedimentos
- los resultados de la aplicación serán más efectivos si se integran otras prácticas de conservación de suelos, como cabeceo de cárcavas, afine de taludes, reforestación, zanjas derivadoras de escorrentía, terrazas, protección de caminos, entre otras.

## Costos

Cuadro 9. Costos de construcción en presas de piedra acomodada (m<sup>3</sup>)

Concepto	Unidad de medida	Costo unitario (\$)	Número de jornales	Costo de la actividad (\$)
Medición de pendientes y ubicación de presas	Jornal	45	0.10	5
Limpieza, trazo, nivelación y retiro de material.	Jornal	45	0.25	11
Excavación para cimentación	Jornal	45	0.50	23
Excavación para empotramiento	Jornal	45	0.50	23
Acomodo de piedra	Jornal	45	3.00	135
Pepeña	Jornal	45	2.50	113
Acarreo	Jornal	45	2.50	113
			<b>Total</b>	<b>423</b>

El costo promedio para la construcción de presas de piedra acomodada es de \$423.00/m<sup>3</sup>.

## Presas de costales

Son arreglos de costales (sacos o bolsas de rafia) ordenados en forma de barreras o trincheras que se colocan en sentido transversal al flujo de la corriente para el control de la erosión de cárcavas (Figura 63).

## Objetivos

- Controlar la erosión hídrica
- Reducir la velocidad de escurrimiento
- Detener azolves
- Proteger obras de infraestructura rural

## Beneficios

- Reducen la erosión hídrica
- Estabilizan el fondo de las cárcavas
- Favorecen la acumulación de sedimentos y desarrollo de especies vegetales



Figura 63. Presa de costales

## Elementos de diseño

Las presas de costales se recomiendan en cárcavas menores de un metro de profundidad y con pendientes máximas del 35%. En cárcavas con pendientes de 10% a 35% es conveniente construir una zanja de un metro de ancho x 0.40 m de profundidad, en forma transversal a la cárcava, para insertar en ella la primera fila de costales.

Para cárcavas pequeñas (menores de un metro) con pendientes menores al 10% no se requiere formar zanjas para empotrar la presa; es suficiente despallar el fondo de la cárcava donde se establecerá la estructura.

Con la finalidad de brindar mayor resistencia a la estructura de costales, se recomienda colocar en la parte de aguas abajo de la cárcava una hilera de estacas como respaldo a la barrera. El suelo extraído en la construcción de la zanja se puede utilizar para compactar la base de la presa (Figura 64).

La construcción de presas de costales consiste en acomodar costales llenos de tierra formando una barrera transversal a las cárcavas que se requieren estabilizar (Figura 65).

Los costales se llenan de tierra o suelo, el cual se puede obtener de áreas cercanas al lugar donde se realizará la práctica. En el proceso de extracción de suelo se debe cuidar de no provocar erosión y/o promover la formación de cárcavas.

Los sacos o costales que se utilizan son de tela plástica flexible y representan un producto reciclable después de haberse utilizado como envases de semillas, de fertilizantes o de otros productos. Las medidas de estos costales son de 60 cm de largo x 40 cm de ancho y con una capacidad de 50kg en promedio (Figura 66).

Figura 64. Colocación de estacas en presas de costales

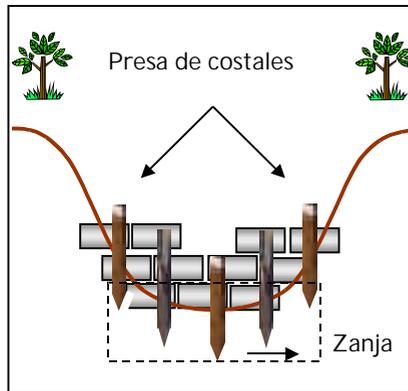


Figura 65. Diseño de presa de costales en una cárcava



Figura 66. Dimensiones de bolsas o sacos de rafia plástica reciclables

Durante la formación de la presa se debe procurar que se coloquen los costales llenos de tierra en forma intercalada para promover mayor estabilidad a la barrera; los arreglos de costales se pueden adaptar de acuerdo a la cantidad de material con el que se cuente y a criterio del constructor. La estructura se puede formar colocando en el primer nivel dos costales paralelos; a continuación dos costales de manera perpendicular y así sucesivamente hasta cubrir el ancho de la cárcava. El siguiente nivel se coloca encima y de manera opuesta a como se colocó en la parte inferior (Figura 67).



Figura 67. Formación de presa de costales en una cárcava

El manejo de unidades costal permite el diseño de presas de las dimensiones que se deseen, de tal manera que se puede ampliar el ancho de la barrera formando escalones para conseguir mayor resistencia. Al construir el muro de costales se debe formar, al centro de la barrera, el vertedor, para evitar que las corrientes de agua impacten a los taludes y afecten su funcionamiento (Figura 68).

Una medida importante que se debe considerar en el diseño de la presa de costales es la elaboración de un delantal o estructura de protección en el fondo de la cárcava aguas abajo, lugar en donde vierte la corriente de agua que al impactarse puede provocar deslaves y desequilibrios en la barrera. Durante la construcción del delantal es conveniente intercalar hileras de costales en forma vertical y horizontal con el fin de evitar deslizamientos (Figura 69).

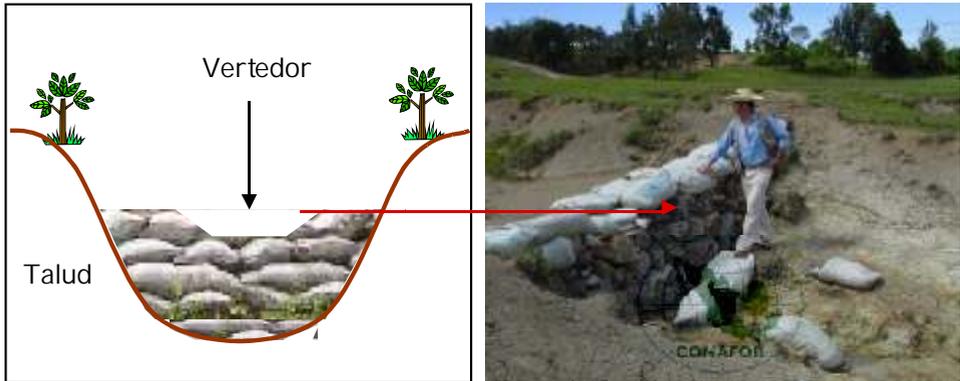


Figura 68. Presa de costales con vertedor en una cárcava

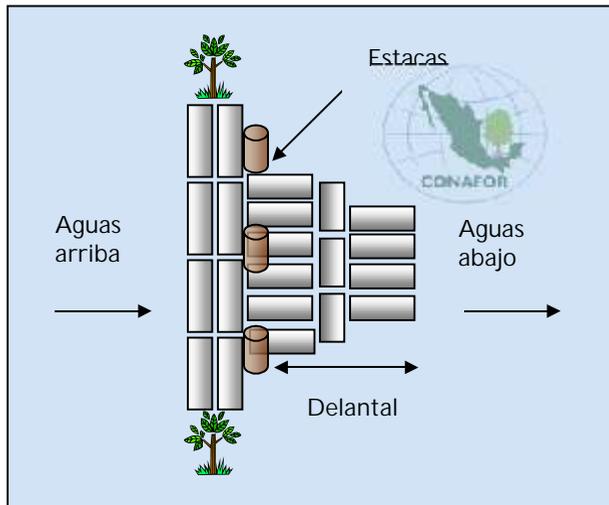


Figura 69 Diseño de presa de costales con delantal

Para lograr el buen funcionamiento de la obra es conveniente que la altura total de las presas de costales no sea mayor de 1.0 m.

## Espaciamiento

El espaciamiento entre presas se calcula de acuerdo a la altura efectiva y la pendiente de la cárcava. La fórmula para estimar la distancia entre presas es la siguiente:

$$E = \frac{H}{P} * 100$$

Donde

E= espaciamiento entre presas (m)

H= altura efectiva de la presa (m)

P= pendiente de la cárcava (%)

Los distanciamientos entre presas de costales se pueden ajustar de acuerdo con las condiciones de cada lugar (tipo de suelo, cantidad y velocidad de escurrimiento, entre otras), así como la aplicación de otras prácticas de protección, conservación y restauración de suelos que se integren en el área donde se ubique la obra. Las alturas promedio de las presas de costales son de 0.80 m de altura efectiva, espaciadas cada 15 m en cárcavas que presenten pendientes de 10 % (Figura 70).

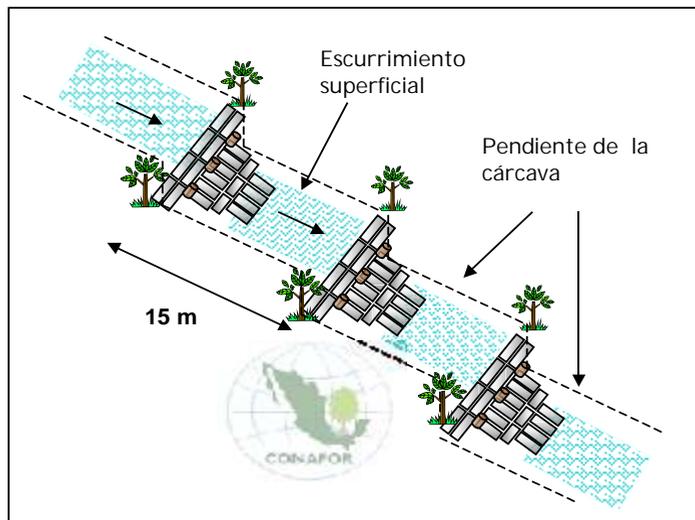


Figura 70. Distribución espacial de presas de costales en una cárcava

## Recomendaciones

Las presas de costales se recomiendan en cárcavas pequeñas y poco profundas, en combinación con otras prácticas de conservación de suelos como cabeceo de cárcavas, afine de taludes, zanjas derivadoras de escorrentía, presas de ramas, presas de morillos, presas de gaviones y de piedra acomodada, entre otras.

Es conveniente sembrar o plantar especies vegetales en la zona de acumulación de sedimentos para promover la mejor estabilización del fondo de la cárcava.

Esta práctica se recomienda únicamente cuando las barreras de costales que forman las presas sean cubiertas por un material aislante como chapopote o impermeabilizante, debido a que el material de los costales tiene una vida útil muy corta cuando se exponen de manera directa a los factores climáticos.

## Costos de construcción

Cuadro 10. Costos promedio para la construcción de 1m<sup>3</sup> de presas de costales.

Concepto	Unidad de medida	Costo unitario (\$)	Número de jornales	Costo de la actividad (\$)
Medición de pendientes y ubicación de presas	Jornal	45	0.10	5
Limpieza trazo, nivelación y retiro de material.	Jornal	45	0.25	11
Excavación para cimentación y empotramiento	Jornal	45	0.50	23
Excavación para llenado de costales	Jornal	45	1.00	45
Llenado y acomodo de costales.	Jornal	45	2.00	90
Compra de costales y chapopote	Pieza	2	20.00	40
Enchapopotado de costales	Pieza	45	1.00	45
			<b>Total</b>	<b>259</b>

Se considera que veinte costales forman 1m<sup>3</sup>. El costo de 3 m<sup>3</sup> es de \$777.00.

## Presas de geocostales

Son estructuras de geocostales (geotextiles) que se ordenan en forma de barreras o trincheras, colocándose en contra de la pendiente para el control de la erosión en cárcavas (Figura 71).



Figura 71. Presa de geocostales

### Objetivos

- Controlar la erosión hídrica
- Reducir la velocidad de escurrimiento
- Detener azolves

### Beneficios

- Estabilizan el fondo de cárcavas a corto plazo
- Favorecen la acumulación de sedimentos
- Protegen obras de infraestructura rural

### Elementos de diseño

El diseño de presas con geocostales comprende las siguientes actividades:

- a) localizar cárcavas pequeñas
- b) medición de las cárcavas
- c) adquirir materiales (geocostales)
- d) construir zanja para el empotramiento
- e) formar la barrera de geocostales
- F) calcular espaciamiento entre presas

### a) Localización de cárcavas

Las presas de geocostales se recomiendan para el control de la erosión en cárcavas menores de 1m de profundidad, con pendientes máximas de 35% donde el escurrimiento superficial no es de gran volumen.

### b) Medición de las cárcavas

Es conveniente calcular la profundidad y el ancho de las cárcavas o barrancas para estimar la cantidad de geocostales que se requerirán en la construcción de la presa. Las medidas de cada geocostal son de 50 cm de ancho x 75 cm de altura (Figura 72). Para formar un m<sup>3</sup> se requieren veinte geocostales.

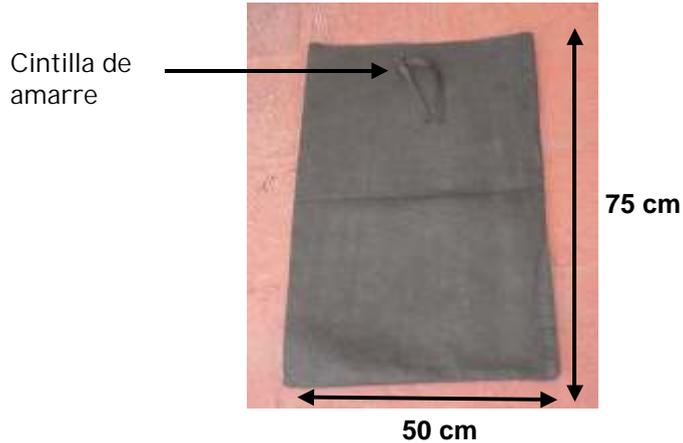


Figura 72. Dimensiones de geocostales utilizados en presas para control de azolves

### c) Adquisición de materiales (geocostales)

Los geocostales se pueden adquirir con empresas comercializadoras de productos agrícolas o directamente con fabricantes de geotextiles. Dentro de las características favorables que poseen estos materiales destacan: su fabricación con fibras de polipropileno, las cuales forman un arreglo estable, son permeables, resistentes a ácidos y álcalis que se encuentran de manera natural en el suelo, a la acción de los rayos ultravioletas (UV) y a la intemperie; disponen de una cinta de amarre en la boca del geocostal para cerrarlos.

#### d) Construcción de zanja para el empotramiento de la presa

En cárcavas con pendientes de 10% a 35 % es conveniente construir una zanja de 1.5 m de ancho x 40 cm de profundidad, en forma transversal, para insertar en ella la primeras hileras de costales base. El suelo extraído en la construcción de la zanja se puede utilizar para llenar los geocostales (Figura 73). Para cárcavas pequeñas (menores a un metro) con pendientes menores del 10% no se requiere formar zanjas para empotrar la presa; es suficiente despalmar el fondo de la cárcava a donde se establecerá la estructura.



Figura 73. Llenado de geocostales con tierra extraída de la zanja

#### e) Construcción de la presa

La construcción consiste en acomodar costales llenos de tierra para formar una barrera o trinchera transversal a la cárcava que se quiere estabilizar. En el proceso de construcción de la presa es conveniente colocar los costales llenos de tierra en forma intercalada para lograr mayor estabilidad en la estructura (Figura 71). Durante su formación es necesario crear un vertedor en el centro de la barrera, con el fin de evitar que las corrientes de agua que llegan a la presa impacten en las paredes de la cárcava, la socaven y provoquen desequilibrio o mal funcionamiento de la obra.

La construcción del vertedor se diseña con los mismos geocostales durante la formación de la barrera (Figura 75).



Figura 74. Diseño de presa de geocostales en una cárcava



Figura 75. Presa de geocostales con vertedor en una cárcava

Otro aspecto importante a considerar es la construcción de un delantal o estructura de protección en el fondo de la cárcava aguas abajo; esto ayudará a que las crecientes de agua que atraviesan por la presa no tengan caída directa en el fondo de la cárcava y proporcionen mayor estabilidad a la obra (Figura 76).

Para lograr mayor eficiencia en la obra es conveniente que la altura efectiva de las presas de geocostales no exceda de un metro.

La siembra o plantación de especies vegetales sobre los sedimentos acumulados aguas arriba, además de la vegetación natural que aparecerá sobre el material de la presa, ayudarán a estabilizar la cárcava en menor tiempo.

La apertura de la malla (0.212 mm= malla No 70) de los geocostales permite el crecimiento de vegetación inducida (siembra de pastos) o natural que posteriormente se integra al paisaje y le da mayor estabilidad a la estructura.

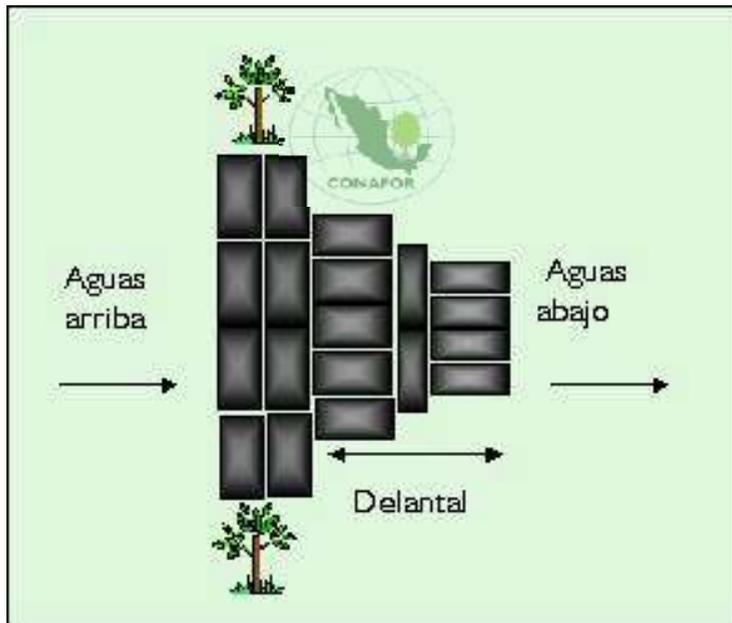


Figura 76. Diseño de presa de geocostales con delantal

#### f) Espaciamiento entre presas

El espaciamiento entre presas se calcula de acuerdo con la altura efectiva y la pendiente de la cárcava. La fórmula que se utiliza para estimar la distancia entre presas es la siguiente:

$$E = \frac{H}{P} * 100$$

Donde

E = espaciamiento entre presas (m)

H = altura efectiva de la presa (m)

P = pendiente de la cárcava (%)

Las presas de geocostales se construyen con alturas que van del metro al 1.5 m de altura, espaciadas cada 15 m aproximadamente, en cárcavas que presentan pendientes del 10% en promedio (Figura 77).

Las distancias entre presas de geocostales se pueden ajustar de acuerdo a las condiciones de cada lugar (tipo de suelo, cantidad y velocidad del escurrimiento, entre otros), así como a la aplicación de otras prácticas de protección, conservación y restauración de suelos que se integren en el área donde se ubique la obra.

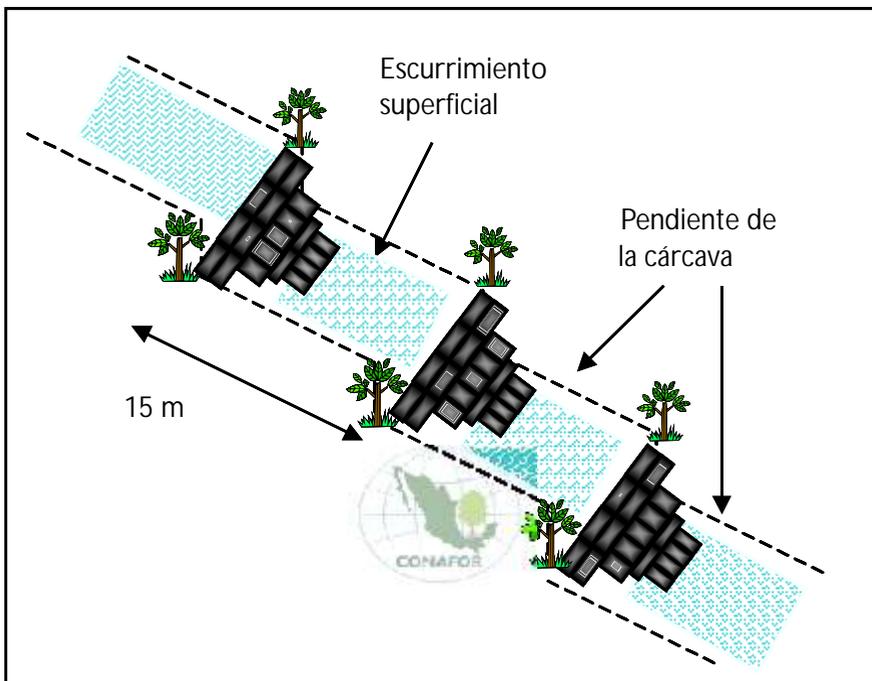


Figura 77. Espaciamiento de presas de geocostales en una cárcava

## Recomendaciones

La construcción de presas de geocostales se recomiendan para el control de la erosión en cárcavas que presentan del 5% al 35% de pendiente (Figura78). Además de realizar este tipo de obra es conveniente integrar otras prácticas de conservación de suelos como el afine de taludes, cabeceo de cárcavas, reforestación, presas de piedra acomoda, presas de rama, zanjas derivadoras de escorrentía, entre otras.



Figura 78. Distribución espacial de presas de geocostales en una cárcava

## Costos

Cuadro 11. Costos para la construcción de 1m<sup>3</sup> de presa de geocostales

Concepto	Unidad de medida	Costo unitario (\$)	Número de jornales	Costo de la actividad (\$)
Medición de pendientes y ubicación de cárcavas	Jornal	45	0.10	5
Limpieza trazo y nivelación y retiro de material.	Jornal	45	0.25	11
Excavación para cimentación y empotramiento	Jornal	45	0.50	23
Excavación para llenado de geocostales	Jornal	45	0.75	34
Llenado y acomodo de costales.	Jornal	45	2.00	90
Geocostales	Pieza	13.3	20.00	266
			<b>Total</b>	<b>429</b>

Se considera que veinte costales forman 1m<sup>3</sup>. El costo de 3m<sup>3</sup> se estima en \$1,287.00.

## Presas de llantas

Son barreras o trincheras para el control de azolves formadas con llantas de desecho y colocadas de manera transversal al flujo de la corriente de las cárcavas (Figura 79).

### Objetivos

- Controlar erosión
- Reducir la velocidad de escurrimiento
- Detener azolves

### Beneficios

- Reducen la erosión hídrica
- Estabilizan el fondo de cárcavas
- Favorecen la acumulación de sedimentos para el establecimiento de especies vegetales
- El material de construcción es durable y de bajo costo



Figura 79. Presa de llantas

## Elementos de diseño

Las presas de llantas se recomiendan para el control de cárcavas pequeñas con pendientes máximas de 20%; su altura no debe ser mayor a 1.5 m y el escurrimiento superficial de la cuenca no debe ser de gran volumen.

Es importante ubicar los sitios donde se construirán las presas para estimar las dimensiones de las cárcavas y calcular los volúmenes de material que se requieren. El proceso de construcción de presas de llantas comprende los siguientes pasos:

- a) cimentación o empotramiento
- b) formación de la presa
- c) construcción del delantal
- d) espaciamiento entre presas

### a) Cimentación o empotramiento

Cuando las cárcavas presenten pendientes del 10% al 20% es conveniente construir una zanja transversal a la cárcava para insertar en ella llantas que servirán como base de la estructura. En cárcavas con inclinaciones menores al 10 % es suficiente despallar el suelo donde ésta se construirá.

El tamaño de la zanja dependerá de las medidas de llanta que se disponga, así como de la dimensión de las cárcavas: si éstas son de 2 m de ancho, la zanja se construirá aproximadamente de 2 m de largo, 0.6 m de profundidad y del ancho necesario que permita el acomodo de dos hileras de llantas.

### b) Formación de la presa

La construcción de la presa consiste en acomodar, en forma de barrera, llantas de desecho rellenas de tierra (para lograr mayor resistencia), colocadas en contra del flujo de la escorrentía. Es conveniente que las partes laterales de la estructura queden insertadas en los taludes laterales y fondo de la cárcava.

Al formar el muro en cárcavas mayores a 2 metros de ancho se recomienda colocar dos hileras de llantas; si son menores a 2 metros y con inclinación moderada funcionan adecuadamente si se forman con una sola hilera (Figura 80).

En regiones tropicales donde se presentan suelos arcillosos se recomienda colocar estacas entre las llantas para evitar deslizamientos y mal funcionamiento.

Durante el proceso de formación de la presa, es recomendable colocar en forma intercalada, llantas con tierra para dar mayor estabilidad a la estructura (Figura 81).



Figura 80. Formación de presa con una hilera de llantas

Figura 81. Acomodo de llantas en la formación de la presa



Debido a que las corrientes de agua impactan directamente contra las paredes de la presa y ocasionan desequilibrio o destrucción de la estructura se recomienda formar el vertedor entre las mismas llantas para controlar el paso del flujo (Figura 82).



Figura 82. Formación del vertedor en una presa de llantas

### c) Construcción del delantal

Una actividad importante que debe considerarse en el diseño de la presa de llantas es la elaboración de un delantal o estructura de protección, mismo que deberá colocarse en el fondo de la cárcava, aguas abajo, con el objetivo de amortiguar el impacto del agua que llega al fondo de ésta y evitar deslizamientos o destrucción de la barrera.

El delantal se puede construir con piedras u otro material disponible, cuidando que quede fijo en el fondo de la cárcava y no sea arrastrado fácilmente por la corriente que cruza por la presa (Figura 83).

Para lograr el buen funcionamiento de la obra es conveniente que la altura efectiva de la presa no exceda a los 1.5 m. Si se dispone de material vegetal muerto como ramas o troncos, producto de incendios, podas o aprovechamientos forestales en la zona donde se realizan las obras, puede emplearse para rellenar el fondo de las cárcavas. Se recomienda establecer especies forestales en el área de retención de azolves, aguas arriba de la presa, para estabilizar la cárcava en menor tiempo (Figura 84).

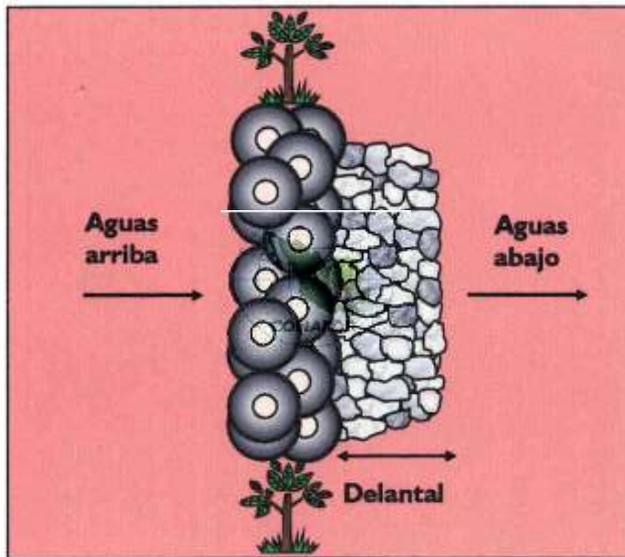


Figura 83. Diseño del delantal en una presa de llantas



Figura 84. Presa de llantas con ramas aguas arriba de la presa

#### d) Espaciamiento entre presas

El espaciamiento entre presas se calcula de acuerdo a la altura efectiva (del nivel del suelo a donde inicia el vertedor), a la pendiente (inclinación) de la cárcava. La fórmula utilizada para estimar la distancia entre presas es la siguiente:

$$E = \frac{H}{P} * 100$$

Donde:

E = espaciamiento entre presas (m)

H = altura efectiva de la presa (m)

P = pendiente de la cárcava (%)

A medida que la pendiente o inclinación de la cárcava sea mayor, la distancia entre presas de llantas será menor. Utilizando la fórmula anterior, sería de 6.6 m en cárcavas que presentan un 15 % de pendiente en promedio y una altura de 1 m (Figura 85).

Comúnmente las distancias entre presas de llantas se ajustan de acuerdo a las condiciones de cada lugar (tipo de suelo, cantidad y velocidad del escurrimiento, entre otras).

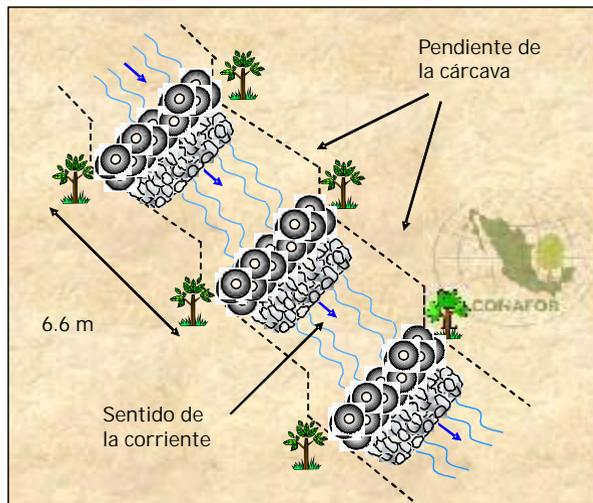


Figura 85. Distribución espacial de presas de llantas en una cárcava

## Recomendaciones

Es conveniente combinar las presas de llantas con otras prácticas de conservación de suelos, como el afine de taludes, cabeceo de cárcavas, reforestación, presas de piedra acomodada, presas de ramas, zanjas derivadoras de escorrentía y mantenimiento de brechas forestales, entre otras.

## Costos

A continuación se describen los principales costos que deben considerarse en la construcción de presas de llantas. Se ejemplificará con estructuras de un metro de altura, un metro de largo y una hilera de llantas.

Cuadro 12. Costos promedio para construcción de presas de llantas

Concepto	Unidad de medida	Costo unitario (\$)	Número de jornales	Costo de la actividad (\$)
Medición de pendientes y ubicación de presas	Jornal	45	0.10	5
Limpieza, trazo, nivelación y retiro de material	Jornal	45	0.25	11
Excavación para cimentación	Jornal	45	0.25	11
Excavación para empotramiento	Jornal	45	0.25	11
Acomodo de llantas y llenado	Jornal	45	2.00	90
Colocación de estacas y compactación de suelo	Jornal	45	2.50	113
Alambre galvanizado calibre 14	Kg	18	2.50	45
Acarreo	Jornal	45	1.00	45
			<b>Total</b>	<b>331</b>

Se considera que las llantas son materiales de desecho y no tienen costo.

## Presas de mampostería

Las presas de mampostería son estructuras de piedra, arena y cemento que se construyen perpendiculares a las cárcavas; controlan la velocidad del escurrimiento al formar un escalón que reduce la erosión hídrica y almacenan agua (Figura 86).



Figura 86. Presa de mampostería

### Objetivos

- Reducir la velocidad de los escurrimientos en las cárcavas
- Retener azolves
- Almacenar agua

### Beneficios

- Retienen azolves
- Reducen la pendiente media de la cárcava
- El agua que se almacena puede tener diversos aprovechamientos para poblaciones rurales

## Diseño

Para realizar el diseño de una presa de mampostería es necesario ubicar previamente el lugar donde se va a construir, determinar el área de la cuenca que lo alimenta, estimar o cuantificar el escurrimiento máximo, así como caracterizar la cárcava en cuestión tomando en cuenta su ancho, profundidad y tipo de suelo.

La profundidad de la cárcava es una característica importante porque a partir de ésta se determina la altura de la presa. Generalmente las presas de mampostería se construyen con la finalidad de cubrir el 100 % de la profundidad de la cárcava.

Existen dos factores fundamentales para asegurar el éxito de la presa: el empotramiento y el tamaño de la base. El empotramiento consiste en excavar una zanja perpendicular al flujo de la cárcava y extenderla hasta las paredes de la misma con la finalidad de asentar la obra más allá del nivel original de la cárcava y evitar con esto posibles franqueamientos (Figuras 87 y 88).

La profundidad del empotramiento recomendable es de 0.6 m en terrenos sueltos y de 0.2m a 0.6 m en terrenos consolidados.



Figura 87. Empotramiento en el cauce

Durante la construcción del empotramiento los dentellones deben colocarse al inicio y al final de la base (Figura 89) .

La profundidad del primero puede variar desde 0.6 m hasta un metro dependiendo del tamaño de la presa; la del segundo se establece dividiendo la anterior entre dos.

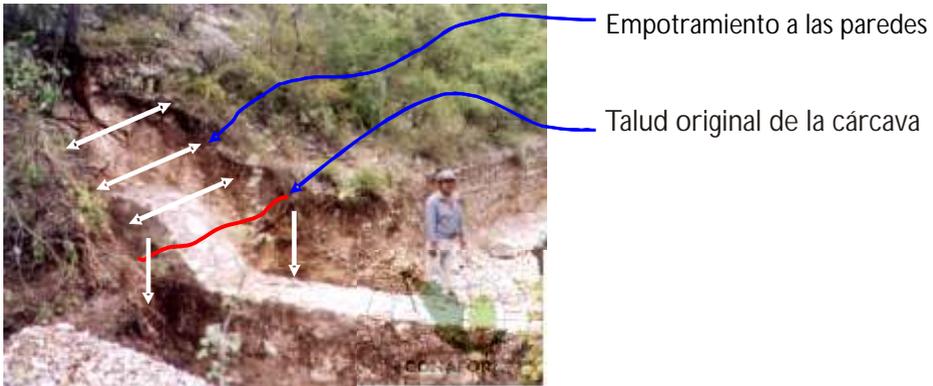


Figura 88. Empotramiento en las paredes del cauce

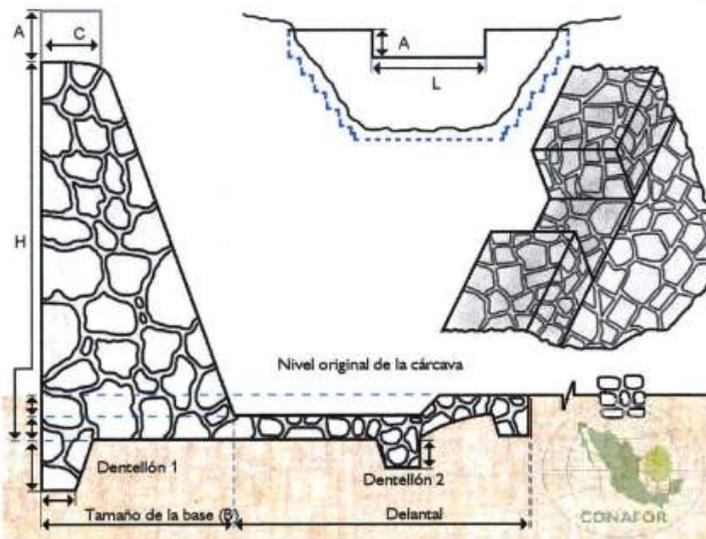


Figura 89. Distintos perfiles de una presa de mampostería

El tamaño de la base está relacionado con la estabilidad de la presa en el sentido de que tiene la función de evitar que el agua la socave o la derribe. A esto se refiere la bibliografía cuando mencionan que estas presas están catalogadas como de gravedad, ya que es su peso el que les permite mantenerse en pie.

Partiendo de esto se calcula el área y el peso de la estructura para poder evaluar si el peso y su diseño son capaces de soportar la fuerza de empuje a la que se va a someter la obra. Para comprender este aspecto observemos la Figura 90.

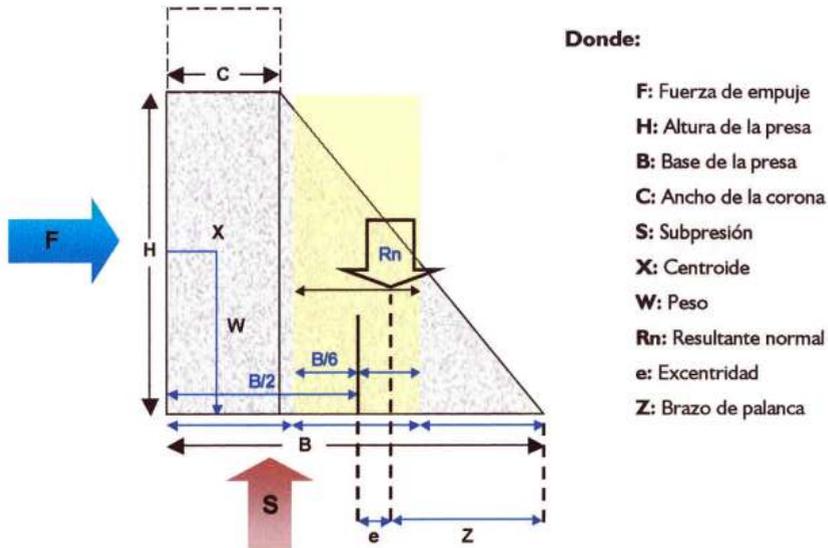


Figura 90. Fuerzas y dimensiones de una presa de mampostería

A partir de esta figura se puede desarrollar la siguiente metodología:

Cuadro 13. Centros de gravedad y área

Figura	Centro de gravedad ( X )	Area (A)	XA
	$\frac{C}{2}$	$CH$	$C^2H$
	$\frac{(B - C)}{3} + C$	$(B - C)\frac{H}{2}$	
		$A$	$XA$

A partir del cuadro anterior se puede obtener el centro de gravedad utilizando la siguiente fórmula:

$$X = \frac{XA}{X} \quad W = \gamma_m \cdot A$$

Y posteriormente, el peso (W), donde  $\gamma_m$  = densidad de la mampostería. Ésta dependerá en gran medida del tipo de roca con la que se construya la presa. El rango de variación va de 2 mil 300 a 2 mil 900 kg/m<sup>3</sup> (basaltos vesiculares o tobas a granito o basalto). Asimismo, se calcula la fuerza de empuje de los sedimentos con la fórmula:

$$F = \gamma_{az} \frac{H^2}{2}$$

Donde:

$\gamma_{az}$  = densidad de los sedimentos (Se considera que la densidad de los sedimentos puede variar desde mil 100 a mil 400 kg/m<sup>3</sup>)

H = altura de la presa (m)

$$S = \frac{K_w HB}{2}$$

La subpresión del agua está dada por la siguiente fórmula:

Donde:

K = coeficiente de subpresión determinado por el material sobre el cual se va a asentar la presa (K = 0, para roca; K = 1/2; y K = 2/3 para arena)

B = tamaño de la base (m)

$$R_n = W - S$$

La resultante normal, a partir de:

Donde:

W = peso

S = subpresión

$$Z = \frac{W(B - X) - F\left(\frac{H}{3}\right) - S\left(2\frac{B}{3}\right)}{R_n}$$

Se calcula el espaciamiento Z con la fórmula:

Donde:

X = centroide de la presa

W, B, F, H, S, R<sub>n</sub> = parámetros ya mencionados

A partir de Z se calcula la excentricidad de la presa ( $e$ ), utilizando la siguiente fórmula:

$$e = \frac{B}{2} - 2$$

Donde:

$e$  = excentricidad de la presa

$B$  = tamaño de la base (m)

Para finalmente calcular R (factor de seguridad) a través de:

$$R = 600 (e/B)$$

A este procedimiento también se le conoce como cálculo por tanteo, ya que en él se supone una base inicial y se desarrolla el procedimiento hasta obtener una R que se aproxime al 90%. Si la R es mayor al 90%, es necesario aumentar el tamaño de la base y desarrollar nuevamente los cálculos anteriores; si la R es menor del 90%, se realiza lo contrario.

Posterior a la determinación de la altura de la presa y el tamaño de la base es necesario calcular las dimensiones del vertedor. Éste se calcula en función del escurrimiento máximo por evento estimado para un periodo de retorno de 10 años y se usa la siguiente fórmula:

$$Q = 1.75 L A^{3/2}$$

Donde:

$Q$  = volumen máximo de descarga ( $m^3/seg$ )

1.75 = coeficiente del vertedor

$L$  = longitud efectiva del vertedor (m)

$A$  = carga sobre la cresta del vertedor (m)

Hasta este punto se ha mencionado cómo determinar la profundidad del empotramiento, la corona, la altura de la presa, el tamaño de la base; sólo queda mencionar el tamaño del delantal. Para éste se requiere de un cálculo que deberá tomar en cuenta varios supuestos, por lo que, para facilitararlo, se considera una

### a) Construcción de una presa de mampostería

Después de haber cumplido con los requerimientos mínimos de diseño para una presa de mampostería se puede comenzar a construir siguiendo los pasos que a continuación se describen:

**Trazo de empotramiento.** Consiste en marcar, con cal o pintura, el área a excavar para el empotramiento (Figura 91).



Figura 91. Trazo del empotramiento

**Excavación del empotramiento y el delantal.** Se realiza para impedir que el agua y los sedimentos flanqueen la estructura y eviten socavaciones que pongan en peligro la obra.

**Transporte de materiales.** Se considera el transporte de piedra, arena o cemento dentro de los costos.

**Conformación del empotramiento base y delantal.** En este paso se procede a construir con la mampostería la base de la presa y el delantal (Figura 92).

**Construcción de las paredes y el vertedor.** De la misma forma que se construyó la base se procede a conformar las paredes y finalmente el vertedor (Figura 93).



Figura 92. Conformación del empotramiento y la base



Figura 93. Paredes de la presa y vertedor

## Recomendaciones técnicas

Los costos de una presa de mampostería indican que son obras de carácter permanente, por lo que se debe asegurar, antes de iniciar su construcción, que el tiempo útil de esta obra sea el mayor posible.

Para lograrlo no se debe perder de vista que las presas de mampostería generalmente son obras que se construyen después del control de los escurrimientos y azolves en una cárcava-cabeceo de la cárcava, presas de ramas, de morillos, de piedra acomodada, de gaviones u otro.

Una característica que se asegura con estas acciones previas es la calidad del agua que almacenamos en la presa en cuanto a sedimentos totales y en suspensión, ya que estos se retienen en la serie de presas antecesoras a nuestra presa de mampostería y/o almacenamiento.

De lo contrario, se corre el riesgo que la inversión realizada en la construcción de esta obra se esfume en un lapso de tiempo no mayor a la temporada de lluvia, dependiendo de la cantidad de sedimentos que acompañen a los escurrimientos.

Otra cuestión importante a considerar es la ubicación más adecuada de la presa considerando que se debe maximizar el vaso de captación que se quiere generar, por lo que se ha de recorrer la cárcava en busca del sitio en donde se genere el vaso de captación más amplio.

## Costos

En el cuadro siguiente se muestran los conceptos y costos mínimos que se deben considerar en la construcción de presas de mampostería. Como base para su cálculo se consideró una presa de 30m<sup>3</sup>.

El costo de 1m<sup>3</sup> de presa de mampostería requiere de 10.70 jornales, lo que corresponde a \$428.00. Además, se requieren los siguientes materiales:

cemento----	\$400.00
arena-----	\$ 37.60
agua:-----	\$ 1.95

El costo del material requerido será de \$439.55. Para 1m<sup>3</sup> será de \$922.00.

Cuadro 14. Costos por m<sup>3</sup> para una presa de mampostería

Concepto	Unidad de medida	Costo unitario (\$)	Cantidad requerida	Costo de la actividad (\$)
Ubicación, limpia y trazo	Jornal	45	0.20	9
Excavación para desplante de cortina	Jornal	45	0.40	18
Construcción de cimentación, cortina empotramiento de mampostería	Jornal	45	5.00	225
Excavación para desplante de colchón	Jornal	45	0.10	5
Construcción de colchón	Jornal	45	1.00	45
Pepena de piedra	Jornal	45	2.00	90
Acarreo	Jornal	45	2.00	90
		Subtotal		482
Cemento	Tonelada	1600	0.25	400
Arena	m <sup>3</sup>	80	0.47	38
Agua	m <sup>3</sup>	15	0.13	2
			Total	922

### Presa de gaviones

Las presas de gaviones consisten en una caja de forma prismática rectangular de malla de alambre de triple torsión, rellena de piedras. Este tipo de presa es de bajo costo y larga duración. Sirve como protección contra la erosión. Sus dimensiones pueden ser variadas dependiendo del tamaño de la cárcava, pero se recomienda para aquellas con alturas mayores de 2.0 metros (Figura 94).

### Objetivos

- Reducir la erosión hídrica
- Disminuir la velocidad del escurrimiento y reducir su poder erosivo
- Evitar el crecimiento en profundidad y anchura de las cárcavas
- Retener y favorecer la infiltración del agua de lluvia

## Beneficios

- Retienen azolves y evitan que suelos infértiles se depositen sobre terrenos fértiles
- Evitan el azolvamiento de los vasos de almacenamiento, canales y otras obras hidráulicas
- Estabilizan en forma casi total el fondo de la cárcava
- Favorecen la retención e infiltración de agua y la recarga de acuíferos
- Favorecen la retención temporal de agua para consumo animal



Figura 94. Presa de gaviones

## Diseño

El diseño de las presas depende del objetivo para el cual se realicen. En este caso, simplemente es un tratamiento para estabilizar y evitar el crecimiento de las cárcavas aunado a una retención e infiltración de agua.

Las presas de gaviones se utilizan generalmente en cárcavas con dimensiones mayores a los 2m de ancho y 1.5m de profundidad. Estas presas no se recomiendan en cárcavas con dimensiones menores dado su alto costo, además de requerir un cálculo de ingeniería específico. Cabe señalar que tienen una alta eficiencia y durabilidad (mayor a cinco años), por lo que se consideran de tipo permanente. Otra ventaja es que son flexibles, permeables y