

PROTECCIÓN, RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DE SUELOS FORESTALES

Manual de obras prácticas



CONAFOR

COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

PROTECCIÓN, RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DE SUELOS FORESTALES

Manual de obras y prácticas

1.^a edición: 2004
2.^a edición: 2006
3.^a edición: 2007. Quinta reimpresión. 2012
4.^a edición: 2013. Tercera reimpresión. 2016
5.^a edición: 2018

Fotografía: Gerencia de Restauración Forestal
y personal del programa de suelos en las Gerencias Estatales.

Autor: Gerencia de Restauración Forestal

D.R. © 2007. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)
Periférico Poniente No. 5360, Col. San Juan de Ocotán
C.P. 45019, Zapopan, Jalisco, México.
Tel. 01 (33) 3777-7000
www.gob.mx/conafor

Impreso y hecho en México ♦ Printed and made in Mexico
Distribución gratuita. Prohibida su venta.

Contenido

Mensaje del Director General de la CONAFOR	5
El reto que enfrentamos.....	7
El trabajo por hacer y fortalecer	8
Presentación	9
Capítulo 1. El Suelo	11
Capítulo 2. Degradación del suelo y erosión	21
Capítulo 3. Cuencas hidrográficas	41
Capítulo 4. Estimación de escurrimientos superficiales....	53
Capítulo 5. Uso de instrumentos en la construcción de obras de suelos	71
5.1 Aparato “A”	75
5.2 Nivel de manguera.....	83
5.3 Nivel de hilo	87
5.4. Ajuste de distancias horizontales por factor de corrección.....	90
Capítulo 6. Recomendaciones generales para la realización de trabajos de conservación y restauración de suelos.....	93
Capítulo 7. Obras y prácticas para el control de la erosión laminar	103
Zanja bordo	106
Zanja trinchera	110
Terrazas de formación sucesiva	114
Terrazas individuales	117
Bordos en curvas a nivel	121
Roturación.....	125
Barreras de piedra acomodada en curvas a nivel	128
Acomodo de material vegetal muerto.....	132
Prácticas vegetativas.....	137
Terrazas de muro vivo.....	137
Barreras vivas.....	142
Cortinas rompevientos	148
Enriquecimiento de acahuales.....	153
Sistemas agroforestales con especies de cobertera.....	156
Prácticas alternativas para la mitigación de la sequía	161
Sistema Negarim	163

Bordos en “V”	169
Capítulo 8. Obras para el control de la erosión en cárcavas	171
Control de la longitud de cárcavas	175
Cabeceo de cárcavas con piedra	176
Cabeceo de cárcavas mediante zanjales interceptoras de escorrentía	181
Control de la amplitud de cárcavas	193
Estabilización de taludes	194
Control de la profundidad de cárcavas	199
Presas para el control de azolves	207
Presa de malla de alambre electrosoldada	207
Presa de morillos	213
Presa de ramas	217
Presa de piedra acomodada	220
Presa de llantas	227
Presa de mampostería	232
Presa de gaviones	246
Presa de geocostales	287
Glosario	269
Bibliografía	273
Anexo 1	277
Anexo 2	290
Anexo 3	293

MENSAJE DEL DIRECTOR GENERAL DE LA CONAFOR

El Gobierno Federal, reconoce a los recursos forestales como factor determinante de desarrollo, para mejorar las condiciones sociales y económicas de las personas que habitan en las zonas rurales y por su aportación en las estrategias nacionales e internacionales de conservación del bosque y de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático, principalmente por su capacidad para almacenar el bióxido de carbono.

Por ello, resulta estratégico elaborar acciones que al mismo tiempo contribuyan a mantener y a mejorar la calidad del suelo, mitigar las causas del cambio climático, y lucha contra la desertificación y la sequía.

En este marco, la Comisión Nacional Forestal, CONAFOR, contribuirá a ello, reconociendo la conservación y restauración de suelos en las cuencas hidrográficas, como una acción que permitirá, recuperar los terrenos degradados, mediante la implementación de obras de conservación y restauración de suelos, las cuales propiciarán el establecimiento y recuperación de la cobertura forestal, derivando indiscutiblemente en un aumento de la productividad económica para sus dueños y poseedores a través de una acción focalizada en los paisajes forestales.

Este documento cuenta con temas referentes a la degradación del suelo, cuencas hidrográficas, control de la erosión y captación de agua de lluvia, que lo convierten en un elemento imprescindible de consulta que permite a los técnicos y dueños de los terrenos forestales –y al público en general– realizar de una manera sencilla y adecuada la restauración de los terrenos forestales.

Con lo anterior el Gobierno de México impulsa la restauración del suelo, como un elemento básico para generar los servicios ambientales que la población requiere y a su vez dar una opción productiva a los dueños de los terrenos forestales.

SALVADOR ARTURO BELTRÁN RETIS.



EL RETO QUE ENFRENTAMOS

Las principales causas de la degradación del suelo en México son la realización de forma no sustentable de las actividades agrícolas y pecuarias (35%), la pérdida de la cobertura vegetal (7.5%) y en menor medida la urbanización, la sobrexplotación y las actividades industriales (2.4%) (SEMARNAT, 2008).

En diversos estudios se han realizado mediciones de la superficie nacional con degradación del suelo, el más reciente muestra que el 44.9% (alrededor de 85.7 millones de hectáreas) de los suelos del país muestran algún tipo de degradación en diferentes niveles, que van de ligera a extrema, y el 55.1% (105.2 millones de hectáreas) del territorio nacional cuenta con suelos sin degradación aparente (SEMARNAT, 2008).

La pérdida de suelo superficial es el tipo de degradación dominante, la cual tiene serias consecuencias en las funciones del mismo: remueve los nutrientes y la materia orgánica, reduce la profundidad de enraizamiento de las plantas y disminuye la tasa de infiltración y la capacidad de retención de agua. Su efecto más evidente es la formación de cárcavas (SEMARNAT, 2008).

Los principales impactos de la pérdida de suelo superficial son la sedimentación en lagos, ríos y lagunas; la disminución en la captación de agua y recarga de mantos acuíferos; las inundaciones; la reducción del potencial productivo por la pérdida paulatina de fertilidad de suelos, y los impactos negativos en la biodiversidad, cuyas consecuencias son la pobreza y migración de la población rural.

EL TRABAJO POR HACER Y FORTALECER

El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 plantea estrategias y líneas de acción, para lograr un crecimiento verde incluyente y facilitador que preserve y acrecente el patrimonio natural, promoviendo la generación de recursos y beneficios a través de la conservación, restauración y aprovechamiento del capital natural, con innovación y el uso de instrumentos económicos, financieros y de política pública.

Contamos con un marco legal sólido establecido en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, mismo que 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.

Parte fundamental para lograr lo anterior es la difusión de la información técnica probada para controlar y revertir la degradación de los suelos y la presente obra contribuye de forma notable para ello.

PRESENTACIÓN

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) es un organismo público descentralizado del Gobierno Federal, constituido por Decreto Presidencial el 4 de abril del 2001, tiene entre sus funciones “Ejecutar y promover programas productivos de restauración, de conservación y de aprovechamiento sustentable de los suelos forestales y de sus ecosistemas”.

Para dar cumplimiento a sus funciones, la CONAFOR creó, dentro de su estructura, a la Coordinación General de Conservación y Restauración y, adscrita a ella, a la Gerencia de Restauración Forestal.

La Gerencia de Restauración Forestal 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 los procesos que provocan su degradación, siendo las principales la deforestación, los cambios de uso del suelo, y el sobrepastoreo, por lo que ha implementado programas de conservación de suelos, de compensación ambiental por cambio de uso de suelo, lucha contra la desertificación y el programa de restauración forestal en cuencas hidrográficas prioritarias.

Los trabajos de conservación y restauración de suelos que se han implementado operan en las 32 entidades federativas y se han adaptado a las condiciones naturales, sociales y económicas para resolver los problemas presentes en cada lugar, para este fin, se han seleccionado áreas prioritarias con el propósito de lograr un mayor impacto de los trabajos realizados en los ejidos, comunidades y pequeñas propiedades, donde participan mujeres y hombres, jóvenes y adultos, quienes han comprendido y adoptado la conservación y restauración de suelos para su beneficio.

Las principales estrategias de la Gerencia de Restauración Forestal para alcanzar el éxito de estos trabajos han sido, entre otras, la capacitación

que se otorga a los ejecutores de obras y a los asesores técnicos corresponsables de la ejecución, así como la divulgación de información técnica plasmada en videos, folletos y manuales.

El “Manual de obras y prácticas de protección, restauración y conservación de suelos forestales” forma parte de dicha estrategia, y su propósito esencial es difundir la variedad de obras y prácticas que se pueden emplear para la restauración de las áreas forestales degradadas del país.

Esta quinta edición del Manual se ha complementado con diversas especificaciones observadas en las visitas de campo, de acuerdo a las experiencias de los ejecutores, se han incluido capítulos adicionales que servirán para ampliar el conocimiento sobre el suelo y los procesos de degradación que servirán como un diagnóstico al elaborar los proyectos de restauración de suelos, por otro lado, se incluyeron algunos cálculos y fórmulas que permitirán al asesor técnico y al ejecutor realizar los trabajos como un traje a la medida de las necesidades de los terrenos degradados.

Capítulo 1. El Suelo





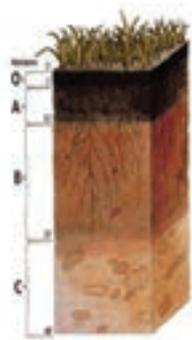
EL SUELO

El suelo juega un papel fundamental en todos los procesos ecosistémicos, debido a las funciones que realiza y servicios que proporciona, y aunque constantemente está en formación, su proceso es sumamente lento, por lo cual se considera que es un recurso natural no renovable en la escala de tiempo humana, aunado a lo difícil y costoso que resulta recuperarlo o mejorar sus propiedades después de haber sido deteriorado física o químicamente.

Al formar parte de los ecosistemas, el suelo contribuye de manera sustancial a la provisión de servicios ambientales de soporte, regulación y provisión, indispensables para el sustento de la humanidad, razón por la cual surge la importancia del cuidado de este recurso y la necesidad de su conservación.

El suelo se define como un cuerpo formado por sólidos (material mineral y material orgánico), líquidos y gases que hay sobre la superficie de la Tierra, que ocupan un lugar en el espacio y que presentan una o ambas de las siguientes características: horizontes o capas (figura 1) que se diferencian del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia; o por la habilidad de soportar raíces de plantas en un ambiente natural (Soil Survey Staff, 1998).

Las características de los horizontes o capas del suelo se analizan detalladamente mediante un perfil de suelo, que es una excavación en donde al menos una cara permite dicho análisis de capas (foto 1).



Capa A: Colores oscuros denotan materia orgánica.

Capa B: Capa de transición entre la capa orgánica y la capa C.

Capa C: Suelo con fragmentos de roca madre que le dió origen.



Foto 1. Perfil de suelo, donde se diferencian las capas de formación.

Figura 1. Horizontes o capas de formación del suelo.

Importancia del suelo

Los suelos contienen más carbono que el que se encuentra contenido en la vegetación y dos veces más que el que hay en la atmósfera (FAO, 2004). Este “secuestro” o captura de carbono en el suelo reduce su liberación a la atmósfera como CO₂, uno de los principales gases de efecto invernadero. El carbono que almacena el suelo es completamente estable, perder un mínimo porcentaje de carbono del suelo conlleva muchos años, cosa que no sucede con la vegetación.

Del suelo se desprende el ciclo hidrológico, ya que es responsable de la recarga de acuíferos y la regulación de la humedad desde las partes altas a las bajas (de las áreas forestales a las áreas agrícolas o a los centros de población). Esta regulación es función de la “salud” del suelo, porque suelos muy deteriorados o degradados no permiten la infiltración; por el contrario fomentan el escurrimiento.

México es uno de los países más diversos ya que cuenta con 25 de los 28 grupos de suelos reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (FAO-ISRIC-ISSS, 1988).

Factores de formación del suelo

La formación del suelo es una acción influenciada por factores como el material parental, el clima –humedad y temperatura–, macro y micro organismos y topografía en un periodo de tiempo. Se calcula que para tener un centímetro de suelo en la capa superficial son necesarios entre 100 y 400 años (SEMARNAT, 2008).

Dentro del proceso de formación de los suelos se pueden identificar las siguientes etapas (figura 2):

1. Roca madre;
2. Acción mecánica (cambios de temperatura, hielo, etc.);
3. Acción química del agua y de sus sales minerales;
4. Acción de los seres vivos;
5. Acción conjunta de todos los componentes.

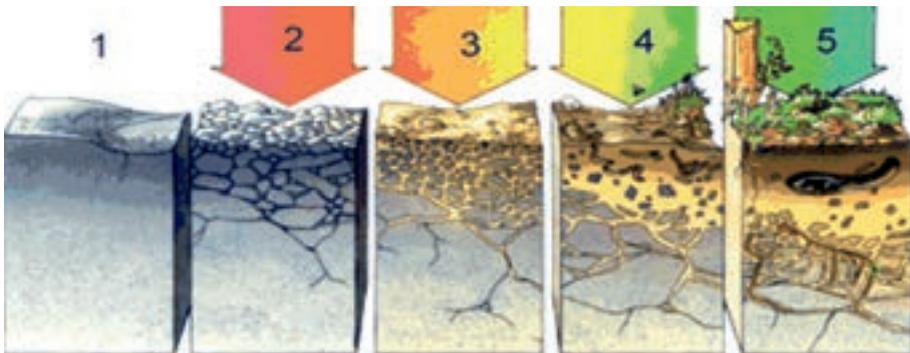


Figura 2. Etapas de formación del suelo (Sorensen, 1959).

Propiedades del suelo

Para planear la construcción de las obras de conservación y restauración de suelos es importante conocer las propiedades del suelo, por lo que a continuación se detallan las siguientes:

I. Propiedades físicas

a. Textura: es la proporción relativa de arena, limo y arcilla del suelo. Cuando se determina la textura al tacto se denomina arenosa cuando predominan las arenas (consistencia rasposa); limosa (como el jabón) si predominan los limos y arcillosa (pegajoso, se puede moldear), cuando predominan las arcillas.

Mediante la textura del suelo, se puede establecer que:

- Los suelos arcillosos retienen mayor cantidad de humedad, a diferencia de los arenosos que son los que retienen menos.
- Los suelos arcillosos retienen mayor cantidad de nutrientes.
- Los taludes de suelos arenosos son más inestables.
- Las texturas medias son más susceptibles de erosionar.

En las cartas edafológicas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) se establecen 3 rangos de clases texturales:

- 1. Gruesa:** con más de 65% de arena;
- 2. Media:** las 3 partículas están en equilibrio;
- 3. Fina:** con más de 35% de arcilla.

b. Estructura: es la capacidad para formar agregados naturales del suelo y que éstos se dividan en fragmentos pequeños o granos, sin la intervención del hombre.

Esta propiedad proporciona información acerca de:

- Infiltración del agua en el suelo, el drenaje, la aireación y el desarrollo de raíces, lo cual interviene en la productividad del suelo (Aguilera, 1996).

c. Color del suelo: se relaciona con algunas propiedades físicas, químicas y biológicas.

Mediante el color del suelo se puede interpretar que:

- Suelos moteados verde-azulados se relacionan con mal drenaje,
- Suelos con colores rojizos se relacionan con presencia de óxido de hierro,
- Suelos con colores blanquecinos indican presencia de carbonatos de calcio o de sales y pH altos,
- Suelos con colores negros indican presencia de materia orgánica y las manchas blancas indican la acumulación de cal.

d. Porosidad: es la proporción del suelo no ocupado por partículas sólidas. Los espacios porosos están ocupados por aire y agua.

Esta propiedad influye en:

- La capacidad de retención del agua, el drenaje y el crecimiento de las raíces.

e. Consistencia: es la resistencia que el suelo opone a la deformación o ruptura, o bien al grado de cohesión o adherencia de la masa del suelo.

f. Profundidad: es el espesor del suelo, favorable para la penetración de las raíces de las plantas; normalmente limitado por roca madre o alguna capa endurecida, desempeña un papel muy importante en el manejo de los suelos y en la obtención de buenos rendimientos.

g. Densidad aparente (Dap): es el peso del suelo seco entre el volumen total, incluyendo los poros. Se puede relacionar la clase textural con la densidad aparente (cuadro 1).

Cuadro 1. Densidad aparente del suelo.

Textura del suelo	Densidad aparente (gramos/cm ³)
Arena	1.6
Franco arenoso	1.5
Franco	1.4
Franco limoso	1.3
Franco arcilloso	1.2
Arcilla	1.1

- La densidad aparente ayuda en la caracterización de capas de suelo y al cálculo de su peso.

Ejemplo para calcular el peso de suelo perdido, utilizando la densidad aparente del suelo:

En una hectárea de terreno se perdieron dos centímetros de suelo arcilloso en una tormenta. Con la densidad aparente de 1.1 gramos por centímetros cúbicos (gr/cm³) podemos calcular el peso del suelo perdido en una hectárea, mediante la siguiente fórmula:

Suelo perdido = superficie afectada x Dap x profundidad del suelo perdido

Suelo perdido = 10,000m² x 1,100kg/m³ x 0.02m

Suelo perdido/ha= 220,000 kg o 220 toneladas

“El suelo perdido durante la tormenta fue de 220 toneladas en una hectárea”.

Para llegar al resultado anterior se consideró lo siguiente:

- Una hectárea equivale a 10,000 metros cuadrados (m²);
- Para convertir la densidad aparente de gr/cm³ a kilogramos por metros cúbicos (kg/m³), se multiplicó su valor (1.1) por

- 1,000;
- Dado que las unidades de la densidad se han convertido a metros, los dos centímetros de suelo perdido se dividieron entre 100 para convertirlos a metros y homogeneizar las unidades de medición;

II. Propiedades químicas

a. pH: indica el grado de acidez o alcalinidad del suelo.

Esta propiedad influye en el desarrollo de la vegetación, interviniendo en la mayor o menor asimilación de los diferentes nutrientes y perturbando el crecimiento vegetal de dos formas principales:

- Afectando la disponibilidad de nutrientes y
- Perjudicando al proceso fisiológico de absorción de nutrientes por parte de las raíces.

b. Capacidad de intercambio catiónico (CIC): es la capacidad que tiene un suelo para el intercambio entre un catión en solución y otro catión sobre cualquier material de superficie activa como la arcilla o el material orgánico.

Los cationes de mayor importancia con relación al crecimiento de las plantas son:

- Calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), amonio (NH_4^+), estos son nutrientes y se encuentran involucrados directamente con el crecimiento de las plantas.
- Sodio (Na) e hidrógeno (H), tienen un pronunciado efecto en la disponibilidad de los nutrientes y la humedad.

c. Conductividad eléctrica: se relaciona con la concentración de sales en la solución del suelo.



Capítulo 2. Degradación del suelo y erosión





DEGRADACIÓN DEL SUELO

Se considera como un “grupo de procesos que ocasionan el deterioro del suelo, los cuales provocan una disminución de su productividad biológica o de su biodiversidad” (foto 2).



Foto 2. Degradación del suelo.

En la planeación de trabajos de conservación y restauración de suelos, se hace referencia a los procesos de degradación que originan las actividades humanas y que provocan que el suelo disminuya su capacidad para poder sostener ecosistemas.

Para evaluar el proceso de degradación de suelos existen diferentes metodologías;

- I. **Metodología GLASOD** (*Global Assessment of Soil Degradation*, 1988) de la evaluación de la degradación de suelos causada por el hombre, y
- II. **Metodología ASSOD** (*Assessment of the Status of Human-induced Soil Degradation*, 1997, promovida por la FAO), propuesta por Van Lyden y Oldeman.

En la GLASOD se reconocen dos grandes categorías de procesos de degradación del suelo:

- a) La degradación por desplazamiento del material del suelo, que tiene como agente causal a la erosión hídrica o eólica (foto 3) y,
- b) La degradación resultante de su deterioro interno, que considera a los procesos de degradación química, física y biológica.



Foto 3. Degradación por desplazamiento.

La metodología ASSOD se fundamenta en la metodología de GLASOD con algunas modificaciones, tal como la eliminación del proceso de degradación biológica.

Para evaluar la degradación del suelo en un predio que se va a restaurar, se deben identificar todos los factores del proceso de degradación; principalmente se consideran los seis siguientes:

I. Procesos de degradación:

- a. Desplazamiento de los materiales del suelo (erosión hídrica y eólica) que implica la remoción de los materiales del suelo por medio de las corrientes de agua o por el viento.
- b. Deterioro interno del suelo (degradación química y física) el cual involucra procesos que conducen a la disminución

o eliminación de la productividad biológica del suelo y un cambio en la estructura del suelo, manifestada principalmente en la pérdida o disminución de su capacidad para absorber y almacenar agua.

II. Tipos de degradación:



Figura 3. Tipos de degradación (Metodología ASSOD).

III. Nivel de afectación: este elemento se evalúa en términos de la reducción de la productividad biológica de los terrenos, considerando los siguientes niveles:

Cuadro 2. Nivel de afectación del suelo.

Nivel	Descripción.	Valor*
Ligero	Presentan alguna reducción apenas perceptible en su productividad, en la que se ha perdido hasta el 25% de la capa superficial; entre 10 y 20% de la superficie del área presenta problemas de canalillos y cárcavas pequeñas.	1
Moderado	Marcada reducción en su productividad. El suelo ha perdido de 26 a 50% de la capa superficial; presenta erosión en canalillos, canales y cárcavas pequeñas (foto 4).	2

Nivel	Descripción.	Valor*
Fuerte	Se requieren grandes trabajos de ingeniería para su restauración, presenta pérdida de 51 a 75% de la capa superficial del suelo. Ocurre en manchones de material consolidado, tipo tepetate o afloramientos rocosos, así como cárcavas de todos los tamaños. Presenta niveles con degradación ligera o moderada en 25% del área total (foto 5).	3
Extremo	Terrenos cuya productividad es irrecuperable, presenta pérdidas superiores a 75% de la capa de suelo superficial, con cárcavas profundas (foto 6).	4

*Valor asignado por la Metodología ASSOD.



Foto 4. Degradación moderada.



Foto 5. Degradación fuerte.



Foto 6. Degradación extrema.

IV. Porcentaje de afectación: indica la proporción de la superficie que está afectada por el proceso de degradación, y se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Superficie afectada por el proceso de degradación}}{\text{Superficie total del terreno}} \times 100$$

V. Factores causativos: son aquellas causas que provocan la degradación (figura 4):

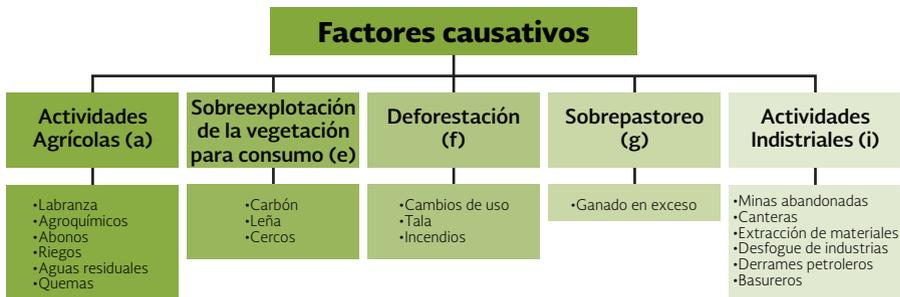


Figura 4. Factores causativos de la degradación (Metodología ASSOD).

VI. Tasa de degradación: indica la rapidez o la velocidad de la degradación y se identifica con los símbolos siguientes:

- + (significa que la degradación del terreno va en aumento).
- 0 (se trata de terrenos sin cambios, es decir, no avanza la degradación).
- (se trata de terrenos que están en recuperación).

EROSIÓN DEL SUELO

Se ha definido como “el proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo” (Colegio de Postgraduados, 1991).

Como resultado de dicho proceso natural, se ha moldeado lentamente todo el relieve del planeta ocasionando formaciones como mesetas y barrancas (foto 7).

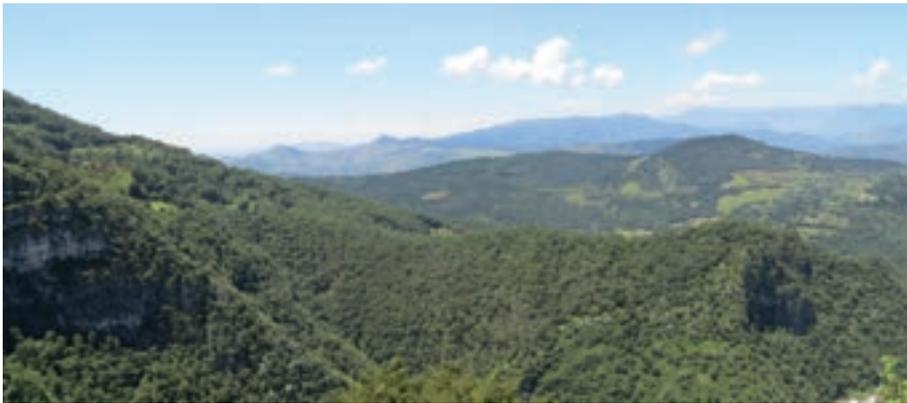


Foto 7. Moldeado natural ocasionado por la erosión del suelo.



Foto 8. Erosión del suelo inducida por el hombre.

El uso intensivo e inapropiado que el hombre ha dado al suelo eleva considerablemente las tasas anuales de erosión a velocidades mayores a las tasas de formación, es decir, se pierde más rápido el suelo de lo que éste es capaz de formarse (foto 8).

Erosión hídrica

La erosión hídrica se produce por diversas razones como la presencia de lluvias extraordinarias, las características del suelo que lo vuelven resistente o vulnerable a la erosión, la pendiente y la cobertura del terreno y las actividades humanas.

Algunas de las actividades humanas más comunes son el sobrepastoreo, el cambio de uso del suelo y las prácticas inadecuadas de manejo del suelo, la expansión de los terrenos de cultivo, la deforestación, el sistema de roza, tumba y quema, así como la mala planeación en la construcción de caminos (fotos 9-11).



Foto 9. Cárcava formada por la mala planeación de caminos.

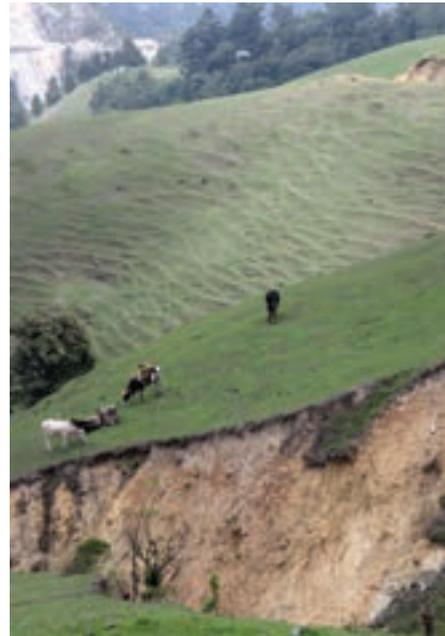


Foto 10. Compactación del suelo por sobrepastoreo.



Foto 11. Expansión de terrenos de cultivo.

El proceso de erosión comienza cuando la cobertura vegetal del terreno se remueve y el suelo queda descubierto y sin protección, este proceso tiene dos componentes principales –desprendimiento y arrastre:

El *desprendimiento* se presenta cuando las gotas de lluvia chocan en el suelo desnudo y rompen los terrones o agregados del suelo en partículas muy pequeñas (foto 12), que pueden ser transportadas fácilmente por el escurrimiento, también sucede en menor escala cuando el agua que escurre se combina con las partículas desprendidas, friccionando la superficie del suelo y desprendiendo parte de éste. El impacto directo de las gotas de lluvia en el suelo es abismalmente grande respecto al poder erosivo del escurrimiento.

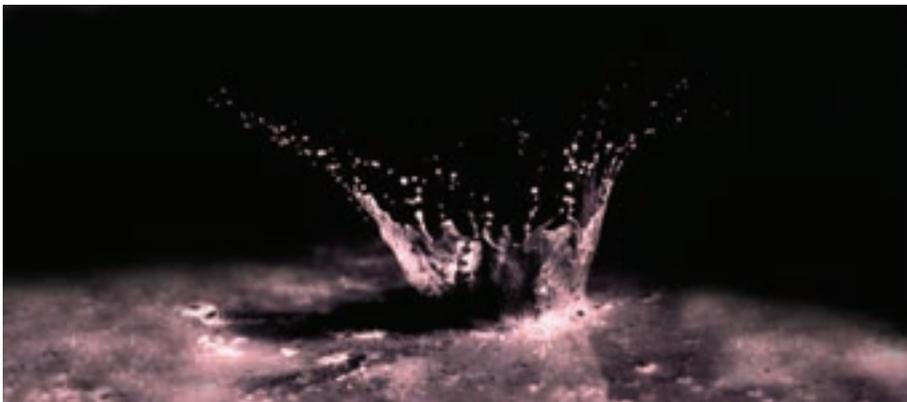


Foto 12. Impacto de una gota de lluvia en el suelo desnudo.

El arrastre ocurre cuando las partículas desprendidas son transportadas por el escurrimiento aguas abajo (foto 13).



Foto 13. Evidencia del arrastre de suelo.

Algunos de los daños causados por la erosión hídrica son:

- Pérdida de la capa superficial en terrenos forestales, lo que disminuye la sobrevivencia de la reforestación.
- Azolve de las obras hidráulicas en la parte baja de la cuenca.
- Limitación del agua de lluvia aprovechable debido al papel de dren que hace la cárcava.
- Aumento en los costos de operación.
- Riesgo de formación de socavaciones en los caminos cercanos a las cárcavas.

En este tipo de erosión el flujo superficial inicia removiendo suelo y formando surcos, a los que se les llama zanjeado incipiente (erosión laminar), conforme aumenta el escurrimiento se forman canalillos que continúan creciendo hasta formar las cárcavas (erosión en cárcavas).

Erosión laminar

Esta clase de erosión se presenta principalmente en laderas y actúa superficialmente removiendo el espesor del suelo. A través del agua, como agente transportador, las partículas más ligeras como el limo y las arcillas son removidas de su sitio y depositados en forma de láminas, de ahí el nombre de erosión laminar (foto 14).



Foto 14. Erosión laminar

El grado de erosión laminar, depende de la cobertura vegetal del sitio, pendiente del terreno, tipo de suelo y la acción del agente erosivo, esta última provocada principalmente por la escorrentía superficial.

La escorrentía –o flujo superficial– se produce en las laderas durante una lluvia, cuando se supera la capacidad de almacenamiento del suelo, ya sea por un evento prolongado o de intensidad superior a la capacidad de infiltración del suelo (Morgan, 1997).

Estimación de la pérdida de suelo por erosión laminar

El método más empleado –a nivel mundial– es resultado de más de 50 años de investigación por parte del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (EE.UU.) y es conocido como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) (Wischmeier W.H. and Smith D.D., 1978), que involucra tanto variables físicas como variables de manejo asentadas en la siguiente expresión:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Donde:

A = pérdida de suelo (toneladas/hectárea)

R = factor erosivo de la lluvia (MJ • mm/ha • h)

K = factor de erosionabilidad del suelo (ton • ha • h/MJ • mm • ha)
LS = factor de longitud y grado de la pendiente (adimensional)
C = factor de cobertura y manejo (adimensional)
P = factor de prácticas de cultivo (adimensional)

Erosión en cárcavas

Se conoce como erosión en cárcavas a los procesos de remoción del suelo por el agua, ésta se presenta cuando se concentra la escorrentía en una sola línea de escurrimiento.

En sus etapas iniciales, se le conoce como erosión en canalillos y canales que al ensancharse forman zanjas profundas o cárcavas (foto 15-16).



Foto 15-16. Erosión en canalillos y formación de cárcavas.

Una vez que la cárcava se ha iniciado, continúa su crecimiento en tres dimensiones:

- a) Crecimiento longitudinal o erosión remontante (largo):** se presenta en la parte alta o cabecera de una cárcava y lo ocasiona la caída de agua en la entrada de la misma, que normalmente tiene una caída cercana a los 90° de inclinación y salpica hacia la pared (1), la socava generando un hueco (2 y 3), esto provoca una saliente que al paso del tiempo no puede sostenerse y cae (4), generando una nueva pared de la cárcava aguas arriba (figura 5). Este proceso se repite lo que genera que la cárcava sea cada vez más larga (foto 17).



Figura 5. Erosión remontante.



Foto 17. Crecimiento longitudinal de una cárcava.

b) Crecimiento lateral (ancho): este crecimiento lo puede provocar la erosión remontante o la erosión en canalillos que se presenta a lo largo de la pared de toda la cárcava (foto 18).



Foto 18. Crecimiento lateral de una cárcava.

c) Crecimiento del fondo de la cárcava (profundidad): el incremento en la profundidad lo ocasiona el escurrimiento superficial en el piso de la cárcava y depende de la velocidad y volumen del escurrimiento y de las características del suelo o material que constituye el fondo de la cárcava (foto 19).



Foto 19. Incremento de la profundidad de una cárcava.

Las cárcavas se pueden clasificar dependiendo de:

a) La forma de la **sección transversal**: en tipo “U”, tipo “V” y tipo trapezoidal “◻”, la cual se debe a la resistencia del suelo a la erosión, tanto del suelo superficial como del subsuelo. Por ejemplo, el tipo “V” se forma cuando el subsuelo tiene más resistencia que el suelo superficial.

b) Su **profundidad** y **área de drenaje**, en:

Cuadro 3. Clasificación de las cárcavas.

Clase	Profundidad (m)	Área de drenaje (ha)
Pequeñas	<1	<2
Medianas	1 a 5	2 a 20
Grandes	> 5	> 20

c) Su **continuidad** a lo largo de la pendiente en:

1. **Continuas**: que tienen una cárcava principal donde confluyen las cárcavas secundarias y conforman uno o varios sistemas de drenaje. Para este tipo de cárcavas, se recomienda establecer un sistema de nomenclatura como el usado para la definición de orden de cauces en una cuenca.

- 2. No continuas:** que se presentan aisladas y no conforman un sistema de cárcavas.

En los proyectos de conservación y restauración de suelos, resulta importante conocer el tipo de cárcava a restaurar, ya que al identificar que una cárcava es de orden 3, se sabe de antemano que es una cárcava que tiene varias ramificaciones y que es más urgente su control que una cárcava de orden 1.

Quantificación del volumen de suelo perdido en cárcavas

Para saber cuánto suelo se pierde por la formación de una cárcava, se debe cuantificar el área de las secciones transversales de la cárcava en diferentes tramos y medir su longitud (figura 6). La multiplicación de ambas medidas dará como resultado el volumen de suelo perdido, y éste a su vez, por la densidad aparente del suelo, permitirá obtener la cantidad de suelo perdido (peso).

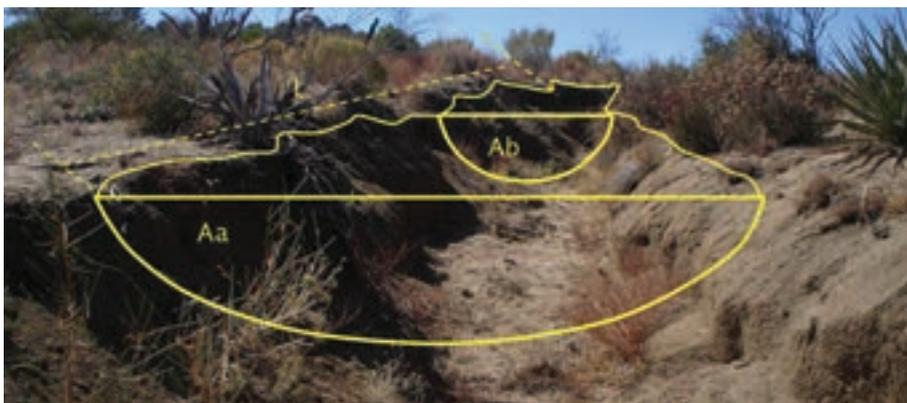


Figura 6. Cuantificación de suelo perdido en una cárcava.

El procedimiento para la cubicación de cárcavas es el siguiente:

1. Medir el ancho total de la cárcava o cauce.
2. Dividir el ancho de la cárcava en porciones iguales. Entre más irregular sea el fondo de la cárcava o cauce se recomienda una mayor cantidad de porciones (figura 7).
3. Medir la profundidad de cada una de las distancias parciales.

4. Calcular, con estos datos, el área de la sección de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$A = d \left(\frac{he}{2} + \sum_{i=1}^n h_i + \frac{he'}{2} \right)$$

Donde:

A: área de la sección.

d: ancho definido para la toma de las profundidades de la cárcava.

h: profundidad de la cárcava.

$\sum_{i=1}^n h_i$: suma de las “n” secciones.

5. Repetir este procedimiento en otro tramo de la cárcava donde exista cambio significativo de la sección transversal.
6. Obtener el promedio de las secciones transversales y multiplicar por la longitud de los tramos.

Ejemplo del cálculo del volumen de suelo perdido en una cárcava:

En un terreno se presenta una cárcava de 8 metros de largo, la cual se dividió en diferentes secciones como lo muestra la figura 7, obteniendo las mediciones siguientes:

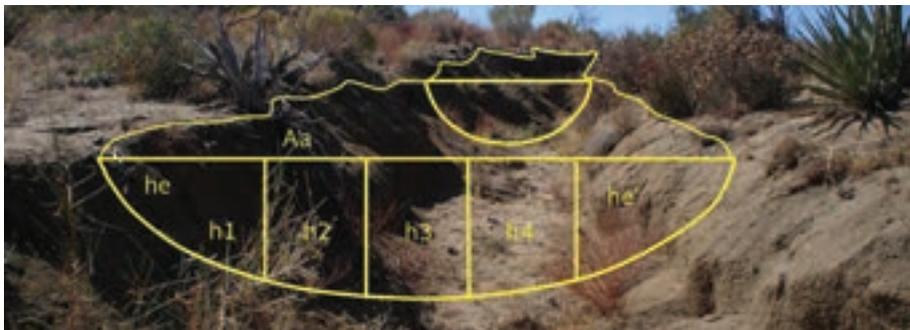


Figura 7. Secciones de una cárcava.

Medición a la coordenada	Profundidad de la cárcava aguas abajo (m)	Profundidad de la cárcava aguas arriba (m)
He	1.0	0.9
H1	1.10	1.05
H2	1.24	1.15
H3	1.45	1.32
H4	1.35	1.18
He'	1.15	0.95

Para obtener el área de la cárcava se utiliza la siguiente fórmula:

$$A_m = \frac{A_a + A_b}{2}$$

Donde:

A_m = Área de la sección media de la cárcava.

A_a = Área de la cárcava aguas arriba.

A_b = Área de la cárcava aguas abajo.

El resultado se obtiene de:

$$A_b = 1.4 \left(\frac{1}{2} + \sum_{i=1}^4 1.10 + 1.24 + 1.45 + 1.35 + \frac{1.15}{2} \right)$$

$$A_b = 3.304$$

$$A_a = 1.3 \left(\frac{0.9}{2} + \sum_{i=1}^4 1.05 + 1.15 + 1.32 + 1.18 + \frac{0.95}{2} \right)$$

$$A_a = 2.73$$

Por lo que el área de la sección media de la cárcava se calcula con:

$$Am = \frac{Aa + Ab}{2}$$

$$Am = \frac{3.304 + 2.73}{2}$$

$$Am = 3.017 \text{ m}^2$$

Una vez obtenida el área de la cárcava, se calcula el volumen del suelo perdido mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen} = Am \times L$$

Donde:

Am= área de la sección media de la cárcava

L=longitud de la cárcava.

$$\text{Volumen} = 3.017\text{m}^2 \times 8 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = 24.1\text{m}^3$$

Finalmente, si la densidad aparente del suelo es 1,100kg/m³ únicamente se multiplica dicha densidad por el volumen del suelo:

$$\text{Suelo perdido} = 24.1 \text{ m}^3 \times 1,100 \text{ kg/m}^3$$

Suelo perdido=26,510 kg o 26.5 toneladas

Los cálculos anteriores demuestran que el suelo que se perdió en la formación de la cárcava de 8 metros de largo es de 26.5 toneladas.



Capítulo 3. Cuencas hidrográficas





DEFINICIÓN

Una *cuenca* es toda área drenada por una corriente o sistema de corrientes, cuya agua confluye a un punto de salida, y es considerada como la unidad de planeación en los trabajos de conservación y restauración de suelos (foto 20).

La definición de cuenca no establece límites en cuanto a la extensión de su superficie, por lo que con base en su tamaño puede recibir denominaciones tales como: subcuenca, cuenca mayor o menor, microcuenca, entre otras.



Foto 20. Cuenca.

Tipos de cuencas

Cuenca hidrográfica. Es un área fisiográfica delimitada por una línea divisoria conocida como “parteaguas” que une los puntos de mayor elevación del relieve, en donde fluyen corrientes superficiales de agua que desembocan en ríos, lagos, presas o al mar. Está definida por sistemas topográficos.

Cuenca hidrológica. Es un área fisiográfica delimitada por un “parte aguas” que contiene una corriente o un sistema de corrientes hídricas superficiales y toda la estructura hidrogeológica subterránea como

una sola unidad. Está definida por la disposición y colocación de las capas geológicas, los límites geológicos de la cuenca pueden ser mayores a los topográficos y el agua interceptada en una cuenca puede fluir a otra cuenca vecina.

En México, de acuerdo con las cartas de hidrología superficial, editadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el país se divide en 37 regiones hidrológicas, 158 cuencas hidrológicas y 1,003 subcuencas (diccionario de datos de hidrología superficial escala 1:250 000 y 1: 1000 000, 2001).

Importancia de las cuencas

Las cuencas tienen gran importancia, ya que son el espacio geográfico donde interacciona el hombre con el medio ambiente. Todo lo que sucede dentro de los límites de una cuenca es relevante, ya que la disponibilidad, calidad y permanencia de sus recursos naturales dependen del uso y manejo que se les brinde dentro de ella; el agua, suelo, bosques y demás recursos bióticos son insumos esenciales para la vida de numerosas comunidades rurales que obtienen alimentos, bienes y servicios a partir de ellos (foto 21).



Foto 21. Recursos naturales en una cuenca.

La cuenca representa un marco apropiado para la planeación y aplicación de medidas destinadas a corregir impactos ambientales generados por un uso desordenado de los recursos naturales

y donde se facilita la gestión ambiental e implementación de programas para mejorar el nivel de vida de sus habitantes.

La importancia de la aplicación de trabajos –con enfoque de cuencas– radica en que se pueden cuantificar y evaluar los efectos de las diferentes actividades del hombre; erosión, sedimentación, escurrimiento e infiltración. Es vital considerar al agua como elemento unificador de la cuenca; muchos de los fenómenos que se cuantifican en ella tienen que ver con el fenómeno hídrico.

Características de las cuencas



Figura 8. Principales zonas que forman una cuenca.

Las cuencas tienen dos zonas básicas de funcionamiento hídrico que son importantes tener presentes para su manejo y planeación (figura 8):

Parte alta. Es la zona de captación y suministro de agua de lluvia hacia la parte baja de la cuenca, por lo que es la parte de mayor importancia y donde se ubica principalmente la vegetación forestal. Es el lugar donde se originan manantiales, arroyos y ríos.

Parte baja. Es la zona de descarga de agua, de almacenamiento y aprovechamiento por las poblaciones, donde se realizan actividades agrícolas y pecuarias (foto 22).



Foto 22. Actividades productivas en la parte baja de una cuenca.

Las características propias de las cuencas –forma, tamaño, relieve, vegetación, uso y aprovechamiento de los recursos naturales– influyen directamente en el comportamiento de los escurrimientos superficiales y disponibilidad de agua:

Forma. En las cuencas de forma alargada los escurrimientos superficiales fluyen lentamente, en comparación con las cuencas redondas en donde el flujo del agua es más rápido.

Tamaño. A medida que las cuencas incrementan su tamaño tienen más capacidad de captar agua y disponer de mayores volúmenes de escurrimientos.

Relieve. La forma del relieve influye directamente en el comportamiento de las corrientes superficiales como la velocidad, dirección, longitud y número de arroyos que se originan principalmente en la parte alta de la cuenca.

Vegetación. El tipo de vegetación –su condición y manejo en una cuenca– es de vital importancia para la captación, retención, infiltración, almacenamiento y aprovechamiento del agua de lluvia.

Para fines del control de la erosión, establecimiento de obras y prácticas de conservación y restauración de suelos y de reforestación y, en general, para el manejo de los recursos naturales a nivel comunitario, se ha adoptado a la microcuenca como la unidad básica de planeación, la cual considera en promedio una superficie menor a seis mil hectáreas.

Elementos de una cuenca

Las partes –o los elementos– más relevantes que intervienen en el escurrimiento de la cuenca son:

- a) **Parteaguas.** Es el límite físico de la cuenca que define la dirección de los escurrimientos superficiales, es determinado por el trazo de una línea imaginaria a partir de la boquilla –o parte más baja– y prolongándola por el filo de mayor elevación del área de confluencia (figura 9) cuidando que los escurrimientos superficiales concurren hacia el punto de salida previamente establecido y hasta llegar nuevamente a la boquilla, por el margen opuesto a donde se inició el trazo.

La delimitación de una cuenca se realiza normalmente en una carta topográfica escala 1:50,000 o mayor.



Figura 9. Parteaguas de una cuenca.

El límite de una cuenca puede prolongarse por las fronteras de países, estados, municipios, comunidades, localidades y hasta en una misma propiedad.

b) Vertientes o laderas. Es el área donde se presenta directamente el impacto de las gotas de lluvia, produciendo los escurrimientos laminares que son la fuente de abastecimiento de las corrientes superficiales. La presencia de vegetación en las laderas amortigua el impacto de la lluvia, por lo que son más susceptibles a la erosión cuando están desprovistas de vegetación (foto 23).



Foto 23. Laderas desprotegidas y efecto de los escurrimientos superficiales.

c) Boquilla. Es la parte más baja de la cuenca donde los escurrimientos superficiales convergen en un punto sobre la corriente principal (figura 10).

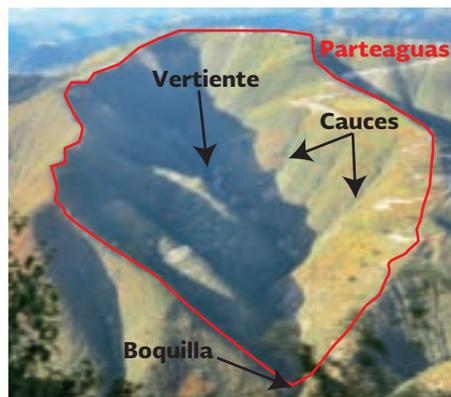


Figura 10. Partes de una cuenca.

d) Red de drenaje. Es el conjunto de afluentes naturales por donde circulan las corrientes de agua superficial. Se compone de un cauce principal y de afluentes que se derivan de él, los cuales se clasifican de acuerdo con el número de orden; se consideran de primer orden aquellos que no tienen tributarios; de segundo orden, aquellos con dos o más tributarios de primer orden; de tercer orden aquellos que tienen dos o más tributarios de segundo orden y así sucesivamente (figura 11).

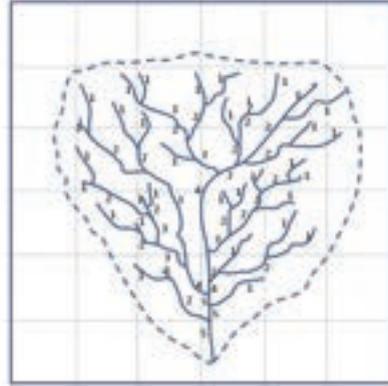


Figura 11. Red de drenaje.

Para el establecimiento de obras de conservación y restauración de suelos, se recomienda iniciar de la parte alta a la parte baja, iniciando en la corriente de primer orden como área primaria de intervención y posteriormente hacia la parte baja hasta cubrir la superficie total de la microcuenca.

e) Tipo de drenaje. La configuración de las redes de drenaje, es el resultado de las influencias que tienen los suelos, las rocas, el grado de fracturación, estratificación y topografía.

Los sistemas de drenaje más comunes son: dendrítico, enrejado o rastrillo, radial, paralelo, anular y rectangular (figura 12).

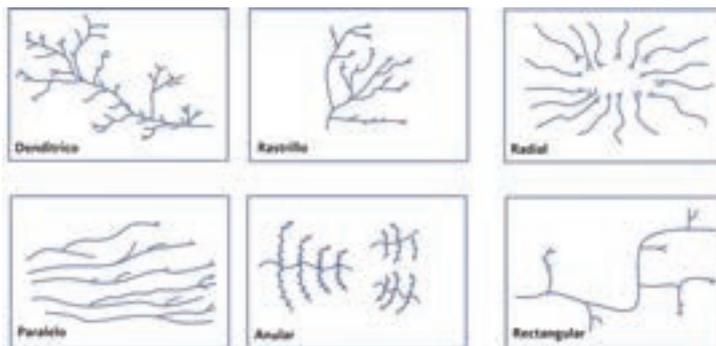


Figura 12. Tipos de drenaje.

A partir de estos elementos de una cuenca, se pueden establecer las siguientes generalidades:

- Cuenclas de mayor superficie tendrán mayores volúmenes de escurrimiento, que otras con características similares pero más pequeñas.
- Las redes de drenaje poco ramificadas desfogarán más rápidamente que las que tienen mayor ramificación.
- En cuencas con pendientes mayores, la velocidad de descarga será mayor que en aquellas con una menor pendiente.
- Redes de drenaje radial, tienen un menor tiempo de concentración de las aguas resultado del escurrimiento.

Delimitación de cuencas

Trazo del parteaguas. Puede realizarse de manera digital o manual. Para su trazo se pueden seguir los siguientes pasos (figura 13):

1. Remarcar o identificar la red de drenaje de interés.
2. Identificar el inicio de la red de drenaje en la parte alta de la cuenca.
3. Identificar la salida de la cuenca.
4. Marcar las elevaciones más altas que rodean la cuenca.
5. Trazar el parteaguas, uniendo con una línea todas las elevaciones que rodean la cuenca.



Figura 13. Pasos a seguir en el trazo del parteaguas de manera digital.

Para el trazo del parteaguas en una carta topográfica 1:50 000 se debe considerar las siguientes indicaciones (figura 14):

1. Para trazar el parteaguas de la parte baja hacia la alta, se sigue el centro de la “U” que forman las curvas de nivel señaladas en la carta.

2. La U invertida (∩) indica que se trata de un arroyo o depresión abrupta (foto 24).
3. Las curvas a nivel que forman círculos indican cimas de cerros o conos cineróticos.
4. La dirección del número de la altitud de la curva de nivel indica la tendencia de la altitud.

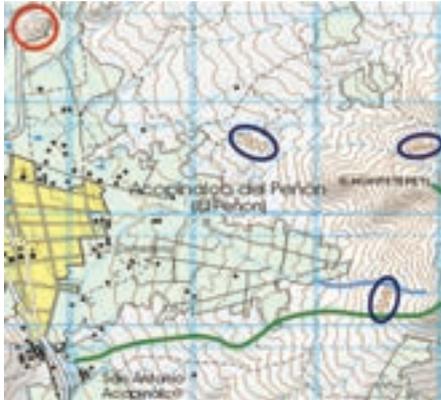


Figura 14. Delimitación del parteaguas en una carta topográfica.



Foto 24. Delimitación física siguiendo curvas a nivel.

Medición de una cuenca

Para la medición de una cuenca se consideran diferentes elementos en su comportamiento hidrológico, los cuales se detallan a continuación:

Perímetro. Se refiere a la longitud del parteaguas, se cuantifica haciendo coincidir un hilo por la línea que define la cuenca, posteriormente se mide la longitud de la medición y se realizan las conversiones necesarias. Otra manera de conocer este parámetro, es a través de medios digitales.

Área. Es la superficie interior limitada por el parteaguas, se mide por cualquier método convencional (planímetro, malla de puntos o software).

Longitud de la cuenca. Es la distancia en línea recta entre el punto más alejado y la parte más baja o boquilla de la cuenca.

Intervalo de altitud. Se refiere a la diferencia de altitud entre el punto más alto de la cuenca y la boquilla de la misma o punto más bajo.

Pendiente de la cuenca. Es el grado de inclinación que existe entre el punto más bajo y más alto de la cuenca, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Pc = \frac{Db}{L} \times 100$$

Donde:

Pc = pendiente de la cuenca.

Db = desnivel entre la boquilla y el punto más lejano (km).

L = distancia horizontal entre la boquilla y el punto mas lejano (km).

Capítulo 4. Estimación de escurrimientos superficiales





ESTIMACIÓN DE ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES

El escurrimiento superficial es la parte de la precipitación que fluye sobre los terrenos de manera laminar y que, al acumularse en las zonas más bajas del terreno, forma pequeños arroyos que abastecen a las corrientes intermitentes para que éstas a su vez alimenten a los ríos (foto 25).



Foto 25. Arroyo con flujo temporal de lluvias.

Cuando este escurrimiento ocurre 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 de agua *in situ* o para aquellas construidas en cárcavas– es necesario conocer el comportamiento de los escurrimientos superficiales del área, para lo cual se deben considerar los siguientes aspectos:

- 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.

Probabilidad de la lluvia

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

Cálculo de la probabilidad

Para 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, bajo el siguiente procedimiento:

Fórmula (F1):

$$P = \frac{m \times 100}{n + 1}$$

Donde:

P = probabilidad de la lluvia.

m = número de orden de la lluvia.

n = número de eventos registrados.

Primer paso. Revisar los registros de precipitaciones diarias, seleccionando la lluvia máxima para cada año.

Para establecer un registro se crea una tabla con dos columnas, en la primera se anota el año y en la segunda se coloca la cantidad de lluvia que precipitó el día seleccionado.

Columna 1	Columna 2
Año	Lluvia máxima (mm)

Segundo paso. Ordenar los valores de la lluvia de manera decreciente (de mayor a menor).

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5
Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Lluvia máxima ordenada	Número de orden (m)

Tercer paso. Aplicar la fórmula (F1) para obtener el dato.

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6
Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Lluvia máxima ordenada	Número de orden (m)	Probabilidad (%) $P = \frac{m \times 100}{n + 1}$

Periodo de retorno de la lluvia

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.

Para la planeación de obras de conservación de suelos es muy importante conocer el periodo de retorno de la lluvia, para que se estime el escurrimiento medio y máximo instantáneo.

Cálculo del periodo de retorno

Para el cálculo de las obras descritas en el presente manual, el periodo de retorno se considera de cinco años. Para estimar el periodo de retorno se aplica el siguiente procedimiento:

Fórmula (F2):

$$F = \frac{n + 1}{m}$$

Donde:

F = frecuencia o periodo de retorno.

n = número total de años de registro.

m = número de orden de la lluvia.

1. Aplicar el primer y segundo paso del procedimiento para el cálculo de la probabilidad de lluvia.
2. Aplicar la fórmula (F2) y obtener el dato.

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7
Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Lluvia máxima ordenada	Número de orden (m)	Probabilidad (%) $P = \frac{mx100}{n+1}$	Periodo de retorno (años) $F = \frac{n+1}{m}$

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 cinco años.

Ejemplo para calcular la probabilidad de lluvia y el periodo de retorno:

Calcular la probabilidad y el 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.

Datos para cálculos del ejemplo.

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7
Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Lluvia máxima ordenada	Número de orden (m)	Probabilidad (%) $P = \frac{mx100}{n+1}$	Periodo de retorno (años) $F = \frac{n+1}{m}$
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

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7
Año	Lluvia máxima (mm)	Año	Lluvia máxima ordenada	Número de orden (m)	Probabilidad (%) $P = \frac{m \times 100}{n + 1}$	Periodo de retorno (años) $F = \frac{n + 1}{m}$
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.	1963	73.6	9	42.86	2.33
1960	61	1964	73	10	47.62	10
1961	41.5	1964	64.3	11	52.38	1.19
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
TOTAL				20		

Para estimar el valor de la lluvia de un periodo de retorno de cinco años, se realiza la interpolación de los valores:

Lluvia máxima en 24 horas (mm)	Periodo de retorno (años)
114	5.25
82.5	4.20

En el periodo de retorno se presenta un intervalo de 1.05 años (de 4.20 a 5.25) y en la lluvia máxima se estimó un intervalo de 31.50 milímetros (mm) (de 82.5 a 114) por lo que:

$$1.05 \text{ años} \rightarrow 31.50 \text{ mm}$$

$$0.80 \text{ años} \rightarrow X$$

$$X = \frac{0.8 \times 31.50}{1.05}$$

$$F = 24 \text{ mm}$$

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

a) 82.5 mm (correspondiente a 4.20 años) + 24 mm (lluvia correspondiente a 0.80 años en este intervalo.

b) entonces: $82.5 + 24 = 106.5 \text{ mm}$, que es la cantidad de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de cinco años

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

Cálculo del escurrimiento superficial

El escurrimiento superficial depende de la cantidad e intensidad de la lluvia, la cobertura vegetal –tanto herbácea como arbórea–, la rugosidad del terreno, la textura, el contenido de materia orgánica del suelo, la pendiente y el manejo que se le dé al terreno (foto 26).



Foto 26. Esgurrimiento superficial en áreas forestales.

Para propósitos de estimación a nivel de proyecto, 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 esgurre en forma superficial, por lo que 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 USDA–SCS. 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 el siguiente proceso:

Fórmula (F3)

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

Donde:

Q = escurrimiento medio (mm).

P = precipitación (mm).

S = potencial máximo de retención de humedad (mm).

Esta fórmula sólo es válida si $0.2(S) < P$, 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, por lo tanto, no escurre y la retención máxima se define mediante lo siguiente :

Fórmula (F4)

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254$$

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:** 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–SCS tomó en cuenta la clase textural de los suelos y su infiltración básica, para agruparlos en cuatro clases (cuadro 4).

Cuadro 4. Grupos de suelos de acuerdo con sus características.

Grupo de suelos	Descripción de las características del suelo
A	Suelo con bajo potencial de escurrimiento. Incluye arenas profundas con muy poco limo y arcilla y suelo permeable con grava en el perfil. Infiltración básica 8–12 mm / hr.
B	Suelos con moderadamente bajo potencial de escurrimiento. Son suelos arenosos menos profundos y más agregados que el grupo A. Este grupo tiene una infiltración mayor que el promedio cuando húmedo. Ejemplo: suelos migajones, arenosos ligeros y migajones limosos. Infiltración básica 4–8 mm / hr.
C	Suelos con moderadamente alto potencial de escurrimiento. Comprende suelos someros y suelos con considerable contenido de arcilla, pero menos que el grupo D. Este grupo tiene 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. Ejemplo, suelos pesados, con alto contenido de arcillas expandibles y suelos someros con materiales fuertemente cementados. Infiltración básica menor a 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 con el uso del terreno (cuadros 5 y 6).

Cuadro 5. Clases de cobertura vegetal.

Clase	% de cobertura
Buena	> de 75%
Regular	entre 50 y 75%
Mala	< de 50%

Cuadro 6. Vegetación y condición hidrológica.

Vegetación	Condición hidrológica
Pastos naturales	En malas condiciones: dispersos, fuertemente pastoreados, con menos que la mitad del área total con cobertura vegetal. En condiciones regulares: moderadamente pastoreados, con la mitad o las tres cuartas partes del área total con cubierta vegetal. En buenas condiciones: ligeramente pastoreados y con más de las tres cuartas partes del área total con cubierta vegetal.
Áreas boscosas	En condiciones malas: tienen árboles dispersos y fuertemente pastoreadas, sin crecimiento rastrero. En condiciones regulares: moderadamente pastoreadas y con algo de crecimiento. En buenas condiciones: densamente pobladas y sin pastorear.
Pastizales mejorados	En buenas condiciones: pastizales mezclados con leguminosas sujetas a un cuidadoso sistema de manejo de pastoreo.
Rotación de praderas	En malas condiciones: áreas con material disperso, sobrepastoreado. En buenas condiciones: praderas densas, moderadamente pastoreadas, bajo una adecuada planeación de rotación de cultivos.
Cultivos	En malas condiciones: cultivos manejados con base en monocultivos. En buenas condiciones: cultivos que forman parte de una buena rotación de cultivos (cultivos de escarda, praderas, cultivos tupidos).

- c) **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 7 para obtener la curva numérica que se utilizará en la fórmula.

Cuadro 7. 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
Pastizales	Sin tratamiento mecánico	Mala	68	79	86	99
	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
	Curvas 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
Camino pavimentados		Buena	90	90	90	90

Ejemplo de cálculo del escurrimiento superficial:

En un área forestal, con presencia de pastoreo, 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, se puede 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.

Estos datos se buscan en la tabla y se obtiene el valor de la curva numérica que es de 66.

Conociendo el valor de la curva numérica, se procede a calcular el valor del potencial máximo de retención de humedad y el escurrimiento medio, –utilizando las fórmulas F3 y F4– respectivamente:

$$S = \frac{25,400}{66} - 254 = 130.85$$

$$Q = \frac{(106.5 - 0.2 (130.85))^2}{106.5 + 0.8 (130.85)} = 30.56 \text{ mm}$$

Con este valor, se interpreta que con estas condiciones de vegetación y de 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 y prácticas de conservación y restauración de suelos, considerando 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. Seca	0 - 12.7
ii. Húmeda	12.7 – 38.1
iii. Mojada o saturada	> 38.1

Para cambiar la condición de humedad se emplea el siguiente cuadro:

Cuadro 8. Condiciones de humedad en el suelo.

Curvas numéricas		
Condición I. Seca	Condición II. Húmeda	Condición III. Mojada o saturada
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 (F5 y F6):

$$CN (I) = \frac{4.2 CN (II)}{10 - 0.58 CN (II)}$$

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

Cálculo del escurrimiento máximo instantáneo

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

Usando el escurrimiento medio obtenido mediante el método del USDA–SCS, 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 lo siguiente:

Fórmula (F7):

$$Q_p = \frac{0.0021 QA}{\frac{1}{2}D + 0.6 T_c}$$

Donde:

Q_p = escurrimiento máximo (m³/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 siguiente fórmula (F8):

$$T_c = 0.02 \frac{L^{1.15}}{H^{0.38}}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración (minutos).

L = longitud de la corriente principal (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 (F9):

$$Q_p = \frac{\alpha PA}{360}$$

Donde:

Q_p = escurrimiento máximo instantáneo (m³/seg.).

α = coeficiente de escurrimiento (Q/P).

P = intensidad de la lluvia (mm/h).

A = área de drenaje (ha).

360 = factor de ajuste de unidades.

El coeficiente de escurrimiento (**α**) 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/h. Para ello, la precipitación se divide entre el tiempo de concentración determinado en la fórmula (F8).

Ejemplo de cálculo del escurrimiento máximo instantáneo:

Continuando con el ejemplo anterior, se sabe que la cuenca tiene un área de 1,400 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 metros. Ya se calculó el escurrimiento medio, el cual fue de 30.56 milímetros (mm).

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

$$Q = \text{total escurrido} = \frac{30.56 \times 1,400 \text{ ha} \times 10,000 \text{ m}^2}{1,000}$$

$$Q = 427,840 \text{ m}^3$$



Capítulo 5.
Uso de instrumentos en
la construcción de obras de suelos





INSTRUMENTOS

En este capítulo se describen los materiales y métodos de construcción de los instrumentos comúnmente utilizados para realizar obras y prácticas de conservación y restauración de suelos.

El funcionamiento en campo de los instrumentos depende del tipo de trabajo a realizar, en esta sección se hace referencia principalmente a los procedimientos básicos de ayuda en el trazo de curvas a nivel y cálculos de la pendiente del terreno.

Por lo anterior, resulta necesario precisar que la pendiente es el grado de inclinación de un terreno, comúnmente expresado en porcentaje, mientras que la curva a nivel es una línea imaginaria que une puntos con elevaciones iguales sobre el terreno.

La elección de los instrumentos para realizar actividades en campo depende principalmente de la forma, extensión, relieve y la presencia de obstáculos en la superficie del terreno o sólo la preferencia del técnico o del beneficiario.

A continuación, se describen las características de cada instrumento que, por su fácil construcción en campo y bajo costo, son los más utilizados por los encargados de realizar los trabajos:

Nivel de caballete

Los caballetes se caracterizan por ser ligeros y de construcción sencilla. Existen distintos diseños como los de tipo rectangular, trapezoidal y triangular, este último también llamado aparato A (figuras 15-17).

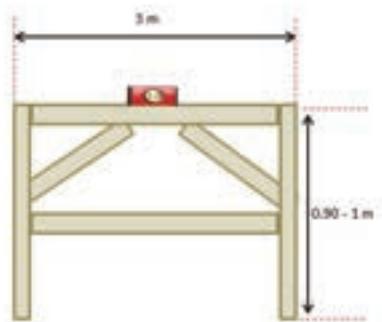


Figura 15. Tipo rectangular.

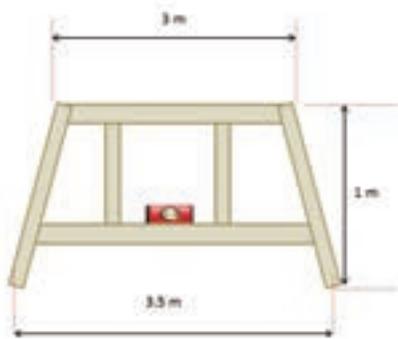
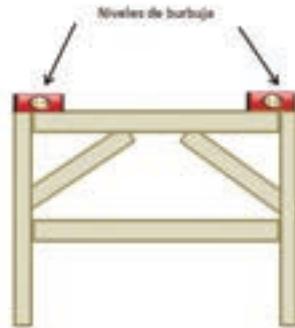


Figura 16. Tipo trapezoidal.

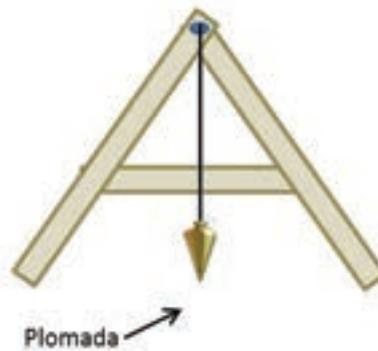


Figura 17. Tipo triangular (aparato A).

Para la construcción de caballetes rectangulares y trapezoidales se requieren tablillas 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 (foto 27).



Foto 27. Nivel de caballete, tipo rectangular.

En este manual se hace mayor referencia a los niveles de tipo triangular o aparato “A”, por ser más utilizados para efectuar medición de pendiente y trazos de curvas a nivel en la construcción de obras en laderas, para el control de la erosión laminar.

5.1. Aparato “A”

5.1.1. Materiales:

- Dos tablillas de 2 metros (m) de largo, 2 a 3 centímetros (cm) de grosor, 8 cm de ancho.
- Una tablilla de 1.2 m de largo, 2-3 cm de grosor, 8 cm de ancho.
- Tres clavos de 2.5 pulgadas.
- Dos metros de hilo cáñamo.
- Una plomada.
- Un lápiz.

5.1.2. Construcción

Colocación de tablillas. Emparejar las dos tablillas más largas por uno de los extremos hasta formar una “A”. Para comprobar que la unión de las tablillas es correcta, los extremos separados deberán tener una distancia de dos metros.

Unión de tablillas. Unir las dos tablillas con un clavo. Es importante no introducir totalmente el clavo, de modo que se pueda sujetar el hilo que sostendrá la plomada (foto 28).



Foto 28. Unión de tablillas.

Colocación del travesaño.

Unir con un clavo de cada lado las tablillas en su parte media, colocando la tablilla de 1.2 metros, para formar la “A”, la parte media se obtiene al colocar el hilo cáñamo a lo largo de las tablillas y al doblarlo por la mitad, dicha distancia se debe marcar con lápiz en ambas tablillas – normalmente la distancia debe quedar a un metro en cada tablilla– (foto 29).



Foto 29. Colocación del travesaño.

Colocación de hilo y plomada. Colocar el hilo en el clavo de la parte superior de la “A” y colgar la plomada máximo cinco centímetros debajo del travesaño; la plomada puede sustituirse utilizando una botella pequeña llena de suelo o grava y para colgarla se perfora el centro de la tapa rosca y se hace un amarre por dentro de la misma (fotos 30-31).



Foto 30. Colocación de hilo.



Foto 31. Colocación de la plomada.

5.1.3. Calibración

Construido el aparato “A” se procede a encontrar el punto a nivel, el cual se marca sobre el travesaño horizontal, para lo cual se colocan los dos extremos, tratando de observar que estén a la misma

altura, manteniéndolos en forma vertical hasta obtener un punto fijo del lugar que indica la plomada, el punto se marca con el lápiz en el travesaño horizontal, después se invierten los extremos del aparato de modo que el lado derecho ocupe exactamente el lugar del izquierdo, hasta obtener un punto fijo nuevamente, con lo que se obtiene la segunda marca en el travesaño (foto 32).



Foto 32. Ajuste del aparato.

Los extremos estarán a nivel cuando el hilo llegue al punto central (a la mitad de las dos marcas) señalando una tercera marca, entonces el instrumento estará listo para ser utilizado (foto 33).



Foto 33. Colocación de la plomada.

5.1.4. Medición de la pendiente

Para medir la pendiente en porcentaje de un terreno se requiere, además del aparato "A", una cinta métrica, una vara recta y se obtiene mediante el siguiente procedimiento:

1. Colocar el aparato "A" en el sentido de la pendiente (figura 18).

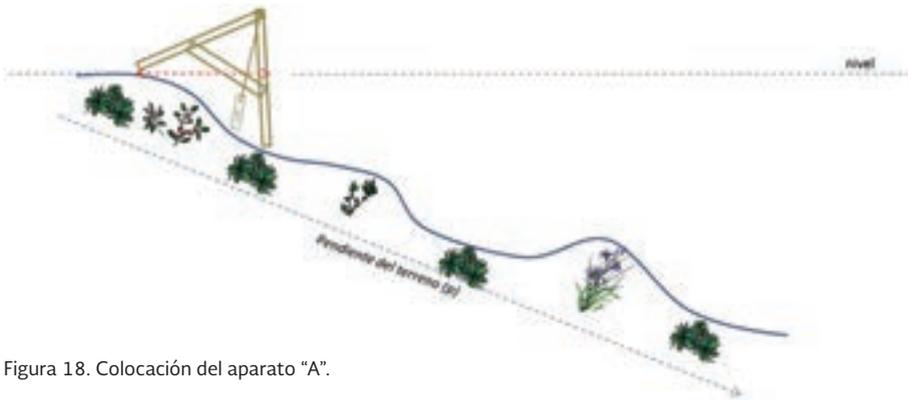


Figura 18. Colocación del aparato "A".

2. Levantar poco a poco el extremo que se encuentra aguas abajo, hasta que la plomada marque el centro (figura 19).

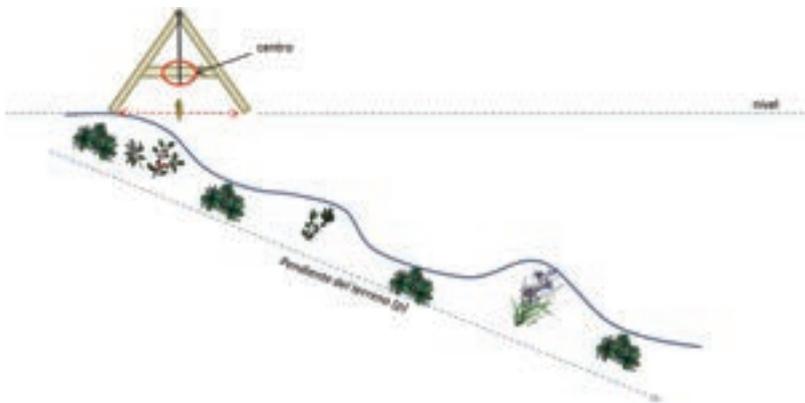


Figura 19. Posición del aparato "A" para encontrar el nivel.

- Una vez encontrado el centro del aparato, colocar una vara, caña, estaca o palo recto cerca del extremo que se levantó. Con un lápiz marcar sobre la vara la altura exacta a la que llegó el extremo del aparato "A". Posteriormente tomar la cinta métrica y medir la altura en centímetros, para determinar la diferencia de alturas (figura 20).



Figura 20. Medición de la diferencia de altura.

- La pendiente se calcula dividiendo la diferencia de alturas (del punto anterior) entre 200 centímetros (la distancia entre los extremos del aparato) y se multiplica por 100 para obtener el porcentaje (figura 21).

Para fines prácticos, la altura medida se puede dividir entre dos y esa será la pendiente; sin embargo, es necesario que la distancia entre extremos sea exactamente de 2m.



Figura 21. Cálculo de la pendiente con el aparato "A".

Cuando se presenten dos o más áreas con diferente inclinación se deben delimitar dichas áreas y en cada caso realizar al menos tres mediciones de la pendiente y obtener una promedio por área.

Ejemplo de medición de la pendiente promedio de un terreno con aparato “A”:

Se realizó un recorrido por un predio en el cual se tomaron 3 mediciones como se muestra en el cuadro:

Sitio	Pendiente %
1	32
2	30
3	34
TOTAL	96

La pendiente promedio se obtuvo con la fórmula:

$$\text{Pendiente promedio} = \frac{\text{Sumatoria de las mediciones (\%)}}{\text{Número de mediciones}} = \frac{96\%}{3}$$

$$\text{Pendiente promedio} = 32$$

5.1.5. Trazo de curvas a nivel

El trazo de curvas a nivel debe iniciarse de la parte alta hacia la parte baja de un terreno. Para su trazo se utilizan estacas, piedras o cal para identificar las marcas realizadas al mismo nivel y se sigue el procedimiento que se detalla a continuación:

1. Colocar el aparato “A” en la parte alta del terreno y señalar una marca inicial, a partir de ésta se medirá la distancia de separación de las diferentes curvas a nivel, aguas abajo. A esta línea imaginaria en dirección de la pendiente se le denomina *línea madre*.

2. Situar el aparato "A" sobre la marca inicial, en sentido perpendicular a la pendiente y mover el extremo del aparato "A" hasta que la plomada se ubique en el centro y en ese punto realizar la segunda marca de la curva a nivel (figuras 22 y 23).



Figura 22. Aparato "A" sobre la marca inicial.



Figura 23. Centro del aparato "A" para una segunda marca.

3. Mover el aparato "A" en dirección del trazo, colocando el primer extremo del instrumento en la última marca realizada y así sucesivamente, hasta llegar al otro lado del terreno (figura 24).



Figura 24. Trazo de curvas a nivel.

Una vez terminado el trazo, se alinean las estacas que hayan quedado muy abajo o arriba de la curva original, con el propósito de suavizar o alinear la curva a nivel y facilitar trabajos posteriores (figura 25).



Figura 25. Trazo y alineación de curvas a nivel en un terreno.

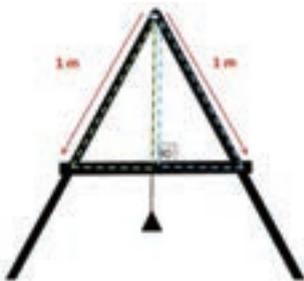
Es importante aclarar que la separación entre curvas se establece en el paso uno, pero durante el trazo del resto de las curvas dichos distanciamientos pueden variar.

5.1.6. Trazo de curvas con desnivel del 1 %

Para la construcción de algunas obras y prácticas de conservación y restauración de suelos –como las zanjas interceptoras de escorrentía– se requiere trazar las curvas con cierto desnivel para que la velocidad de la escorrentía no provoque erosión.

El trazo de curvas con desnivel del 1 %, utilizando el aparato “A” se realiza de la siguiente manera:

1. Señalar dos marcas a una distancia de 0.86 centímetros con respecto de la marca central que indica que el aparato “A” está calibrado.



Figuras 26 y 27. Identificación de triángulos rectángulos en el aparato “A” y movimiento del péndulo en terreno con pendiente

2. Trazar la curva con desnivel haciendo coincidir el péndulo con alguna de estas dos marcas –según la dirección de la curva– y sus extremos tendrán pendiente de 1 % (figuras 26 y 27).

5.2. Nivel de manguera

Es un instrumento que ofrece la precisión suficiente para determinar la pendiente, el trazo de curvas a nivel y el trazo de desnivel. Los materiales de construcción son fáciles de conseguir y su construcción es sencilla.

5.2.1. Materiales

- Dos tablillas de 2 centímetros (cm) de grueso, 8 cm de ancho y 2 metros de largo.
- Una manguera transparente de 0.5 a 1 cm de diámetro y 14 metros de largo.
- Dos cintas métricas flexibles (como las que se usan en costura).
- Un lápiz o plumón.
- Pegamento.
- Alambre.
- Pinzas.

5.2.2. Construcción

Colocación de cinta y manguera. Pegar las cintas métricas a lo largo de cada tablilla, posteriormente sujetar dos metros de manguera en cada tablilla, de tal manera que al extenderlas queden separadas a una distancia de 10 metros (foto 34).



Foto 34. Construcción del nivel de manguera.

Se recomienda fijar la manguera adecuadamente, de modo que no quede muy apretada para no tener errores al momento de efectuar las lecturas.

Llenado de la manguera. Llenar con agua la manguera, hasta que el nivel del agua marque un metro de altura sobre cada tablilla. Es necesario eliminar las burbujas que se forman para evitar errores en las lecturas.

5.2.3. Calibración

Para el ajuste de este instrumento se colocan las tablillas juntas y a la misma altura, se marca con un lápiz el nivel inicial del agua en ambas tablillas, a esto se le llama nivel original, y a partir de ahí se puede comenzar a realizar las mediciones (foto 35).



Foto 35. Calibración del nivel de manguera.

5.2.4 Medición de la pendiente

Para obtener la pendiente de un terreno, usando el nivel de manguera, se realiza lo siguiente:

1. Marcar el nivel original del agua y alejar una de las tablillas en el sentido de la pendiente –la distancia que permita la inclinación del terreno y la longitud de la manguera– y se marca el nivel actual del agua en ambas tablillas (figura 28).
2. Medir, en una de las tablillas, la diferencia entre las dos marcas (nivel original y nivel actual) y multiplicar por 2, ya que el nivel del agua se distribuye en las dos tablillas. Este resultado es el desnivel entre dos puntos (figura 28).

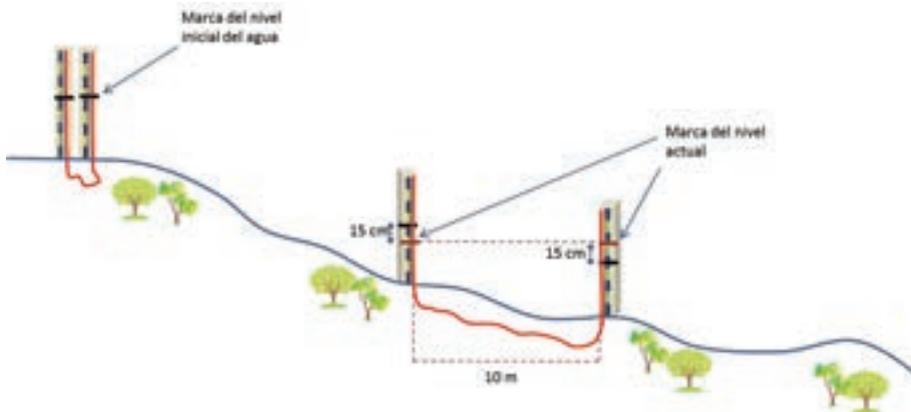


Figura 28. Medición de la pendiente con nivel de manguera.

Mediante la división de la diferencia obtenida entre la distancia horizontal entre tablillas y multiplicando por 100, se obtiene la pendiente del terreno, tal y como se indica en la fórmula:

$$S = \frac{dl}{L} \times 100$$

Donde:

S = pendiente (%)

dl = desnivel de dos puntos (multiplicado por dos) (m)

L = longitud medida entre los extremos de las tablillas (m)

Ejemplo de medición de la pendiente de un terreno con nivel de manguera:

Calcular la pendiente de un terreno que se va a restaurar, en dicho terreno se coloca el nivel de manguera y se marca el nivel original; sin embargo, al alejar una de las tablillas en dirección de la pendiente a una distancia de 10 metros, el nivel del agua se mueve, marcando una diferencia entre el nivel original y el nivel actual del agua de 15 centímetros.

La diferencia obtenida se multiplica por 2, por lo tanto se tiene una diferencia entre puntos de 30 centímetros de desnivel en 10 metros

de longitud. A partir de los datos anteriores, y homogeneizando las unidades a metros, se calcula la pendiente como sigue:

$$S = \frac{0.3 \text{ m}}{10 \text{ m}} \times 100 = 3\%$$

Si el terreno presenta dos o más áreas con diferente inclinación, se deben realizar al menos tres mediciones para obtener un promedio.

5.2.5. Trazo de curvas a nivel

1. Colocar ambas tablillas juntas y a nivel en un extremo del terreno, marcando en ellas el nivel original del agua y colocar una señal en ese punto inicial.
2. Mover una de las tablillas extendiendo la manguera (normalmente 10 metros) o más corta si el terreno no es uniforme; posteriormente, mover la tablilla hacia arriba o abajo del terreno, hasta que el menisco del agua en la manguera coincida con la marca del nivel original de la tablilla. Ahí se coloca otra señal.
3. El procedimiento se repite a partir de la última estaca y hasta llegar al límite del terreno o hasta donde exista un obstáculo (figura 29).



Figura 29. Trazo de curvas con nivel de manguera.

5.2.6. Trazo de curvas con desnivel de 1 %

Considerando que la longitud del nivel de manguera es de 10 metros –cuando se estira totalmente– se determinó que para que exista un desnivel o pendiente de 1%, entre las dos tablillas, debe existir un desnivel de 10 centímetros, por lo que en cada tablilla se deben marcar 5 centímetros arriba y abajo de la marca del nivel original.

Por lo anterior, y derivado de dicho análisis, para el trazo de las curvas de desnivel se siguen los siguientes pasos:

1. Señalar en cada tablilla una marca a una distancia de cinco centímetros a partir de la marca del nivel original señalada en el apartado de ajuste de este instrumento.
2. Marcar el primer punto con una estaca inicial, posteriormente –aguas abajo– se coloca la otra tablilla extendida a 10 metros, hasta que el menisco llegue a la marca de cinco centímetros, continuando hasta llegar al lugar de desagüe. El trazo de este tipo de curvas normalmente se utiliza iniciando de la parte alta hacia la parte baja.

5.3. Nivel de hilo

El nivel de hilo es un instrumento de bajo costo y práctico para realizar actividades de conservación y restauración de suelos (figura 30). Es fácil de usar cuando el terreno donde se van a trazar las curvas a nivel, presenta especies arbustivas o herbáceas que dificultan la utilización de un instrumento más voluminoso.



Figura 30. Nivel de hilo.

5.3.1. Materiales

- Un nivel de hilo.
- Dos tablillas del mismo tamaño.
- Hilo de cáñamo de cinco metros de longitud.

5.3.2. Construcción

1. Realizar una marca a la misma altura en ambas tablillas, ésta indicará el nivel en el que se debe amarrar el hilo. Se recomienda tallar un poco alrededor de la marca para que cuando el hilo se amarre en la tablilla éste se encaje en la ranura y se mueva lo menos posible (foto 36).
2. Amarrar el hilo en cada una de las tablillas, posteriormente éstas deben separarse a una distancia de cinco metros, pudiendo ser mayor o menor según las condiciones del terreno y la precisión deseada, para que una vez extendido el hilo, en el centro se coloque el nivel y quede listo para comenzar el trazo (foto 37).



Foto 36. Colocación de marca y amarre de hilo.



Foto 37. Colocación de nivel de hilo.

5.3.3. Trazo de curvas a nivel

1. Colocar una tablilla en un punto fijo y marcarlo en el suelo, la otra tablilla se extiende hacia arriba o abajo del terreno hasta que la burbuja se encuentre en el centro (foto 38).



Foto 38. Trazo de curvas a nivel con nivel de hilo.

2. Observar cuando la burbuja se encuentre en el centro del nivel y señalar una segunda marca, posteriormente se recorren las tablillas, colocando la primera en la última marca y extendiendo el hilo a cinco metros, y así sucesivamente hasta llegar a la orilla del terreno.

5.3.4. Medición de la pendiente

Para la medición de la pendiente solo se utiliza el hilo de 5 metros y el nivel, para lo cual se coloca un extremo del hilo al ras del suelo, el otro extremo se extiende en dirección de la pendiente, aguas abajo (figura 31, B), este último se eleva hasta que la burbuja está en el centro del nivel (figura 31, C).

Una vez que la burbuja está a nivel, se debe medir la altura entre el suelo y el extremo del hilo (A), dicha distancia se divide entre la longitud del hilo (L) y se multiplica por 100:

$$P = \frac{A}{L} \times 100 = \frac{0.15 \text{ m}}{5 \text{ m}} = 3\%$$



Figura 31. Medición de pendiente con nivel de hilo.

5.4. Ajuste de distancias horizontales por factor de corrección

Cuando se establece la separación entre curvas a nivel o la distancia entre presas, se utilizan diferentes criterios; sin embargo, todos los distanciamientos están referidos a mediciones horizontales.

En la práctica, quienes efectúan los trabajos realizan las mediciones sobre el terreno, lo cual en caso de pendientes mayores de 10% representa un error significativo.

Para subsanar lo anterior, a continuación se explica el ajuste de distancias horizontales con el fin de conocer las distancias entre las curvas a nivel de acuerdo a la pendiente, tal como se indica en el cuadro 9:

Cuadro 9. Distanciamiento sobre el terreno entre curvas a nivel de acuerdo a la pendiente.

Pendiente (%)	Factor de corrección	Distancia (m).					
0-5	1.0000	25.0	20.0	16.7	14.3	12.5	10.0
10	1.0050	25.1	20.1	16.8	14.4	12.6	10.0
15	1.0112	25.3	20.2	16.9	14.5	12.6	10.1
20	1.0198	25.5	20.4	17.0	14.6	12.7	10.2
25	1.0308	25.8	20.6	17.2	14.7	12.9	10.3
30	1.0440	26.1	20.9	17.4	14.9	13.1	10.4
35	1.0595	26.5	21.2	17.7	15.2	13.2	10.6
40	1.0770	26.9	21.5	18.0	15.4	13.5	10.8
45	1.0966	27.4	21.9	18.3	15.7	13.7	11.0
50	1.1180	28.0	22.4	18.7	16.0	14.0	11.2
60	1.1662	29.2	23.3	19.5	16.7	14.6	11.7
70	1.2207	30.5	24.4	20.4	17.5	15.3	12.2
80	1.2806	32.0	25.6	21.4	18.3	16.0	12.8
90	1.3454	33.6	26.9	22.5	19.2	16.8	13.5
100	1.4142	35.4	28.3	23.6	20.2	17.7	14.1

En el cuadro anterior se aprecia que en pendientes menores a 10%, los distanciamientos horizontales no varían significativamente, por lo que en este rango de pendiente la distancia horizontal no sufrirá cambios; sin embargo, cuando se presentan pendientes mayores del 10%, la distancia entre curvas debe multiplicarse por el factor de corrección y esta distancia será la que se deberá medir en el terreno.

Ejemplo de cálculo de distancias entre curvas a nivel de acuerdo a la pendiente:

Se construyen barreras de piedra en curvas a nivel en pendientes del 45%, y la distancia horizontal entre curvas es de 25 metros, obtenida por algún criterio general de separación.

Al observar el cuadro 9, en el cruce de 25 metros y 45% de pendiente, se obtiene un valor de 27.4 metros, el cual resulta de multiplicar la distancia de 25 metros por el factor de corrección correspondiente a 45% de pendiente, esta distancia de 27.4 metros es la separación entre curvas a nivel que deberá aplicarse sobre la línea madre en terrenos con pendiente similar (figura 32).

La separación entre curvas a nivel puede mantenerse, aumentar o disminuir conforme se vayan trazando aguas abajo o aguas arriba y de acuerdo a las características del terreno.

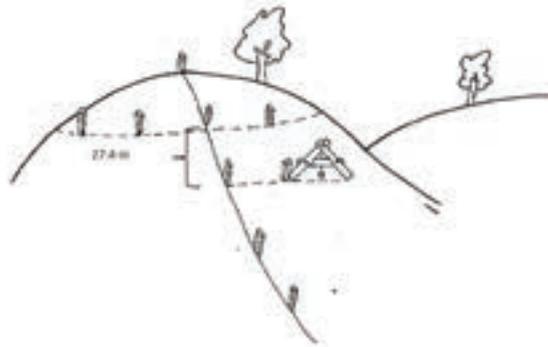


Figura 32. Distanciamiento entre curvas a nivel en predio con 45% de pendiente utilizando el factor de corrección.

Capítulo 6. Recomendaciones generales para la realización de trabajos de conservación y restauración de suelos





CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Para seleccionar las obras o prácticas más acordes a las necesidades del terreno degradado, antes de iniciar los trabajos se recomienda:

a) Consultar información del área.

La información bibliográfica y cartográfica consultada en gabinete proporciona una idea aproximada de las condiciones imperantes del predio donde se implementarán las obras o prácticas.

La información bibliográfica y cartográfica de la región donde se llevarán a cabo los trabajos permitirá interpretar las condiciones del suelo, vegetación, clima, relieve, entre otros. Por ejemplo, con el uso de la carta edafológica o la de uso del suelo y vegetación se puede conocer la cobertura del terreno existente y la susceptibilidad de los suelos a la erosión.

b) Verificar en campo el predio a restaurar.

Es importante corroborar que la información bibliográfica y cartográfica coincida con lo que está presente en el terreno, para lo cual es necesario realizar un recorrido en campo por el predio propuesto a trabajar, para lo cual se debe considerar lo siguiente:

1. Recorrer el perímetro del predio a trabajar y cuantificar la superficie.



Foto 39. Recorrido de campo.

2. Observar el tipo y nivel de degradación del terreno, identificando testigos de la erosión, como plantas o rocas reteniendo suelo, pináculos, pedestales, raíces desnudas, ausencia de vegetación en manchones, canalillos o cárcavas (foto 40).



Foto 40. Testigos de la erosión.

3. Delimitar las zonas que presentan pendientes diferentes y calcular la pendiente promedio (figura 33).

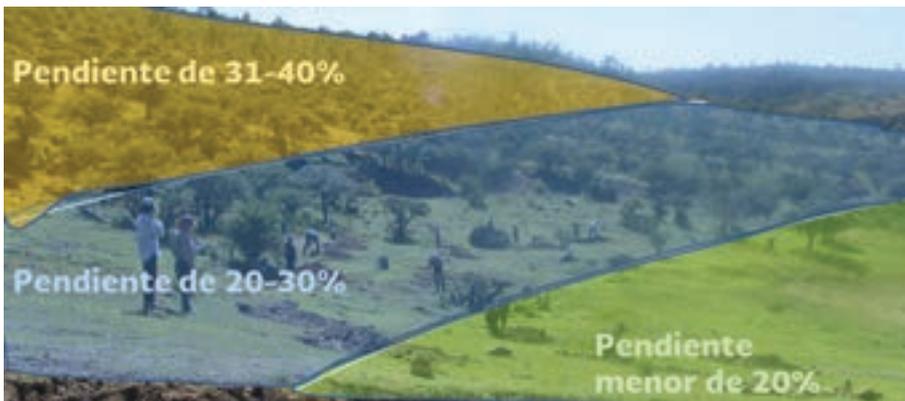


Figura 33. Identificar zonas con diferente pendiente.

4. Determinar algunas propiedades del suelo como profundidad, textura, presencia de capas endurecidas, pH, así como el porcentaje de pedregosidad (foto 41).



Foto 41. Pedregosidad presente en el predio.

5. Observar algunos aspectos de la vegetación como cobertura arbórea, arbustiva y herbácea. En caso de existir materiales vegetales muertos mayores de 10 centímetros de diámetro éstos se deben cuantificar (foto 42).



Foto 42. Identificación de material vegetal muerto.

c) Selección de obras.

1. Definir la prioridad principal de los trabajos:

- Restauración de suelos en laderas o en cárcavas.
- Infiltración de agua para mantos acuíferos.
- Disminuir la degradación del suelo por erosión hídrica (laminar o en cárcavas), erosión eólica, degradación química o física.
- Captación de agua para la reforestación de especies nativas.

- 2.** Elegir la obra adecuada, una vez que se ha identificado la prioridad, tomando en cuenta lo siguiente:
 - I.** Observar la vegetación nativa del predio, ya que es un buen indicador de la fertilidad del suelo (altura, aspecto, abundancia).
 - II.** El tipo de material presente en el terreno determina el tipo de obra a realizar. No se recomienda proponer obras cuando se carezca del material para su construcción.
 - III.** Dar prioridad al material vegetativo para realizar prácticas vegetativas, siempre y cuando en la región se cuente con dicho material.
 - IV.** Emplear a la población que habita en la misma población o en las comunidades donde se realizarán las actividades.

Con base en el cuadro 10, se presenta el propósito y las limitantes para la construcción de las diferentes obras y prácticas de conservación y restauración de suelos. Por ejemplo, para el caso de zanjas trinchera se tiene que:

- Preferentemente se realizan en suelos con presencia de degradación ligera.
- Son diseñadas para captar agua, pero también retienen sedimentos.
- Pueden construirse en pendientes menores a 30 %.
- Para su construcción se requiere que los suelos tengan una profundidad mayor de 40 centímetros.

Cuadro 10. Propósitos y limitantes de las obras y prácticas.

Obras y/o prácticas	Propósito:				Limitantes:												
	Nivel de Degradación	Extrema	Fuerte	Erosión	Altura Máxima	Pendiente				Profundidad del suelo		Topografía		Disponibilidad de materiales			
	Ligera	Moderada		Hidráulica Láminar	Hidráulica en cárcavas	Edáfica	< 15%	< 20%	< 25%	< 30%	< 35%	> 40 cm	> 40 cm	Uniforme	Accidentada	Material vegetal	
Obras en cárcavas																	
Presas de ramas																	
Presas de geostales																	
Presas de llantas																	
Presas de morillos																	
Presas de piedra acomodada																	
Presas de malla																	
Presas de gaviones																	
Presas de mampostería																	
Prácticas de Bioingeniería																	
Cabeceo de cárcavas																	
Estabilización de taludes																	
Obras en ladera																	
Zanjas trinchera																	
Sistema de zanja bordo																	
Terrazas de formación sucesiva																	
Bordos en curvas a nivel																	
Negarim																	
Bordos semicirculares																	
Roturación																	
Barreras de piedra en curvas a nivel																	
Acomodo de material vegetal muerto																	
Prácticas de Bioingeniería																	
Barreras vivas																	
Terrazas de muro vivo																	
Terrazas individuales																	
Corrinas rompevientos																	
Sistemas agroforestales																	
Enriquecimiento de acahuales																	

S: Retención de sedimentos
A: Captación de agua de lluvia *in situ*
NA: No aplica

d) Realización de cálculos.

Para obras en ladera principalmente se calculan las distancias entre curvas a nivel, considerando el criterio a utilizar.

Para obras en cárcavas se miden las cárcavas y se define el criterio para la separación entre presas, ya sea cabeza pie, doble cabeza pie o por el criterio de colocación, además de ubicar el lugar en que se construirán.



Foto 43. Ubicación de presas.

En los capítulos de control de la erosión laminar y control de la erosión en cárcavas, se especifica el tipo de cálculos a realizar de acuerdo a cada tipo de obra.

e) Capacitación y ejecución de obras.

Realizar la capacitación técnica en campo, a los dueños y poseedores de los terrenos, así como a asesores técnicos, para la realización de obras y prácticas, incluyendo la construcción y utilización de uno o varios instrumentos para el trazo de curvas a nivel y la medición de pendientes.

Adicionalmente a la capacitación se debe incluir la construcción de las obras tipo requeridas en el terreno de modo que cumplan con los requisitos técnicos señalados en este manual (foto 44 y 45).



Foto 44. Construcción de obras tipo -barreras de piedra-.



Foto 45. Construcción de obras tipo -zanja bordo-.



Capítulo 7.
Obras y prácticas para el control de
la erosión laminar





OBRAS Y PRÁCTICAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN LAMINAR

Las obras para el control de la erosión laminar consisten en tratamientos mecánicos o manuales en terrenos con laderas degradadas.

Objetivos y beneficios

- Retener suelo y sedimentos;
- Disminuir el grado y longitud de la pendiente;
- Impedir la formación de cárcavas;
- Reducir el contenido de sedimentos en el agua de escorrentía;
- Captar agua de lluvia, propiciando la infiltración de agua;
- Interceptar escurrimientos y disminuir su velocidad;
- Incrementar la humedad en el suelo, lo que coadyuva al establecimiento de la vegetación forestal;
- Mejorar la calidad del agua;

Algunas obras que se realizan con materiales vegetales, vivos o muertos, aportan materia orgánica al suelo, mejoran el paisaje y los sistemas de producción en laderas (aprovechamientos productivos) y se pueden generar productos adicionales (leña o forraje).

En el anexo 1, se pueden consultar en forma detallada y con ejemplos los cálculos para el espaciamiento de obras, del que se hablará en este capítulo.

Así mismo, en el anexo 2 se pueden consultar desglosados los rendimientos para estimar el costo de cada obra.

OBRAS Y PRÁCTICAS

ZANJA BORDO



Foto 46. Zanjas bordo.

Son un conjunto de zanjas y bordos continuos construidos en curvas a nivel, colocando el producto de la excavación aguas abajo de la zanja para formar el bordo. Las zanjas se construyen con diques divisores para seccionar el almacenamiento de agua.

Proceso de construcción

Primer paso. Trazar las curvas a nivel con base en la cantidad de escurrimientos que se quiere captar (ver metodología c del anexo 1).

Su construcción considera la excavación necesaria para captar del 50% y hasta el total de los escurrimientos que se producen en un periodo de retorno de 5 años, de acuerdo a las propiedades del suelo y vegetación.

Segundo paso. Iniciar la excavación del terreno y conformación del bordo.

Sobre las curvas a nivel trazadas se inicia la excavación de zanjas continuas de 40 centímetros de ancho por 40 centímetros de profundidad (la profundidad debe medirse en la zona mas baja de

la zanja, de lo contrario no se alcanza el volumen previsto en el cálculo de espaciamiento de la obra).

El producto de la excavación se acomoda aguas abajo de la zanja y debe separarse de la misma en al menos 20 centímetros, para evitar que el material regrese a la excavación, es importante que el bordo se compacte con el fin de brindar estabilidad y facilitar la propagación de vegetación herbácea sobre el mismo (foto 48).

Es muy importante que la obra este completamente a nivel, ya que de lo contrario existiría un riesgo elevado de ruptura del mismo, en caso de un evento de lluvia extraordinario.

Con estas dimensiones, y considerando un metro de largo, el volumen estimado de captación corresponde a 0.16 m^3 (figura 34).

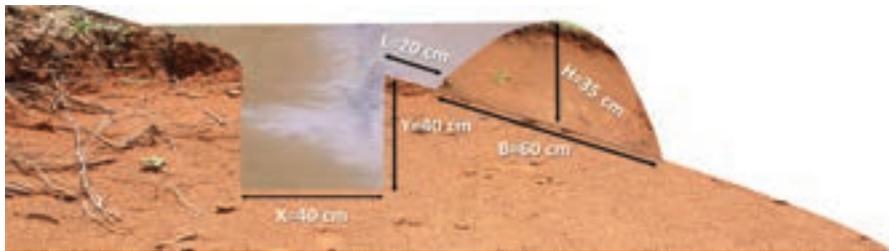


Figura 34. Dimensiones recomendadas de la zanja y el bordo.

La excavación de la zanja puede ser realizada con maquinaria, de forma manual con pico y pala, o de forma combinada. La elección del uso de maquinaria dependerá de las condiciones del terreno (foto 47).



Foto 47. Zanja bordo construida en áreas con presencia de vegetación.



Foto 48. Zanja bordo, con el bordo separado de la zanja.

Tercer paso. Construir un dique divisor de 50 centímetros aproximadamente cada cuatro o cinco metros.

El dique se construye con la finalidad de seccionar el agua almacenada y evitar que se concentre en ciertos puntos, disminuyendo el riesgo de rompimiento del bordo. La altura del dique puede ser al mismo nivel del terreno (foto 49) o dejarlo 10 centímetros debajo de dicho nivel, para permitir el paso del agua de una zanja a otra (figura 35).



Foto 49. Diques divisores de la zanja bordo, al nivel de la superficie.



Figura 35. Diques de la zanja bordo, por debajo de la superficie.

Recomendaciones

- La construcción de zanjas bordo se recomienda en terrenos con pendientes menores al 25%.
- Cuando en el terreno exista una cárcava o arroyo, se debe terminar la obra antes de que cambie la pendiente, recorriendo el bordo aguas arriba y trasladando el nivel al otro lado de la cárcava o arroyo, con el fin de no provocar daños o derivación de flujos.
- La distancia entre los diques de la zanja bordo debe ser más corta en la medida que la pendiente sea más pronunciada.
- En terrenos con erosión fuerte, se debe combinar esta obra con otras de retención de sedimentos, con el fin de aumentar la vida útil de esta obra.
- Se recomienda construir esta obra cuando el propósito de la práctica de conservación sea el captar la mayor cantidad de escurrimientos.
- Si la obra se acompaña de reforestación se deben usar especies forestales propias de la región, establecer la plantación en época de lluvia y proporcionar los cuidados necesarios para lograr un mayor éxito en los beneficios de la obra.

ZANJA TRINCHERA



Foto 50. Zanjas trinchera.

Las zanjas trinchera o tinas ciegas, son un conjunto de excavaciones intercaladas y diseñadas para la captación de agua de lluvia.

El diseño utilizado para su construcción es a “tres bolillo” con el fin de crear una red de captación de escurrimientos que cubra la mayor parte del terreno.

Proceso de construcción

Primer paso. Calcular el espaciamiento entre curvas a nivel.

El espaciamiento se calcula de acuerdo al escurrimiento que se desea captar (ver metodología c del anexo 1).



Foto 51. Captación de agua en zanja trinchera.

Posterior al cálculo del espaciamiento, se traza la línea madre y a partir de esta se separan y trazan las curvas a nivel.

Se recomienda la marcación previa del terreno para que las brigadas de excavación identifiquen los sitios donde serán construidas las zanjas.

Si el trazo se realiza con aparato "A" (considerando que tiene dos metros de separación entre sus extremos), se sugiere señalar cada medición, ya que esto delimita tanto la curva a nivel como el inicio y fin de cada zanja trinchera (figura 36).



Figura 36. Marcación con aparato "A" para zanjas trinchera.

Segundo paso. Excavar la zanja trinchera.

Las dimensiones de la zanja son 40 centímetros de ancho por 40 centímetros de profundidad (medidos en la parte más baja de la zanja) y dos metros de largo; el producto de la excavación se coloca aguas abajo para conformar el bordo (figura 37).

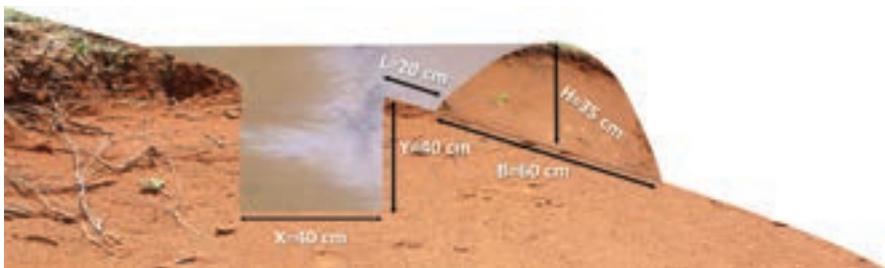


Figura 37. Profundidad, ancho y altura del bordo recomendadas para una zanja trinchera.

El bordo se separa de la zanja al menos 20 centímetros para evitar que el material regrese a la excavación de origen y para en caso de realizar una plantación esta se haga sobre suelo firme; debe compactarse lo mejor posible para darle estabilidad y para facilitar la propagación de herbáceas sobre el mismo (figura 38).



Figura 38. Separación del bordo con la zanja y compactación del mismo.

Se recomienda que el fondo de la zanja esté a nivel para que el agua no se estanque en una determinada zona

En caso de que la cantidad de suelo lo permita y se pretenda almacenar una mayor cantidad de escurrimientos, se propone que el bordo envuelva la zanja por ambos lados. De esta manera el bordo también intercepta y almacena escurrimientos (foto 52).



Foto 52. Zanja trinchera construida con el bordo envolviéndola.

Tercer paso. Continuar con la siguiente zanja trinchera, siguiendo la curva a nivel, hasta llegar al otro extremo del terreno, dejando un espacio de dos metros de separación, llamado tabique divisor, para trabajar con la siguiente excavación.

En la siguiente línea, aguas abajo, debe intercalarse la excavación de las zanjas y tabiques para poder llevar a cabo el diseño a “tresbolillo” con el fin de crear una red de captación en el terreno e interceptar de esta forma los escurrimientos generados (figura 39).



Figura 39. Arreglo en “tresbolillo” de zanjas trinchera.

Recomendaciones

- El uso de zanjas trinchera se recomienda en terrenos con pendientes menores al 30%.
- Se deben eliminar los obstáculos que desvíen los escurrimientos del sitio de interés, sin causar erosión al terreno.
- Se recomienda seleccionar y establecer en época de lluvia, especies forestales que se adapten a cada región. Cuando las zanjas trinchera se usen para interceptar la escorrentía de una cárcava, el diseño debe considerar la captación del 100% del escurrimiento.

TERRAZAS DE FORMACIÓN SUCESIVA



Foto 53. Terraza de formación sucesiva.

Son terraplenes formados por el movimiento del suelo que se deposita en los bordos, dicho movimiento de suelo se debe a los escurrimientos. Este tipo de terrazas se construye a nivel.

Proceso de construcción

Primer paso. Calcular el espaciamiento entre curvas a nivel.

Para conocer la distancia entre curvas a nivel, se pueden utilizar las metodologías a y b, del anexo 1.



Foto 54. Zanja o canal de desagüe de la terraza de formación sucesiva.

Calculado el espaciamiento entre terrazas, se traza la línea madre y se marcan las curvas a nivel.

Segundo paso. Excavar la zanja.

Sobre la curva marcada se realiza la excavación, la profundidad y el ancho de corte dependerán de la profundidad del suelo, sin embargo, se recomienda que las dimensiones sean de 50 centímetros de ancho por 40 centímetros de profundidad.

Puede realizarse la excavación con el uso de maquinaria, equipo de tracción animal, de forma manual (pico y pala) o de manera combinada, de acuerdo a las condiciones de cada lugar y los recursos disponibles. El material resultante de la excavación se coloca aguas arriba de la zanja (figura 40).

Se aconseja construir tabiques divisores de 50 centímetros de longitud, cada 5 metros a lo largo de la zanja, para seccionar el agua almacenada, los cuales pueden quedar al nivel del suelo o rebajarse 10 centímetros del nivel original del mismo (figura 40).



Figura 40. Diques en la zanja de una terraza de formación sucesiva.

Tercer paso. Conformar y compactar el bordo (foto 55).

Se recomienda realizar una plantación en el bordo (siempre y cuando esté bien compactado) con la finalidad de prolongar la vida útil de la obra.



Foto 55. Conformación y compactación del bordo.

Recomendaciones

- Aplicar esta obra en terrenos con pendientes entre 5 y 20%.
- Ya que este tipo de terrazas son a nivel, se recomienda evitar que se construyan en regiones con fuertes precipitaciones.
- Cuando en el terreno exista una cárcava o arroyo, se debe terminar la obra antes de que cambie la pendiente, recorriendo el bordo aguas arriba y trasladando el nivel al otro lado de la cárcava o arroyo, con el fin de no provocar daños o derivación de flujos.

TERRAZAS INDIVIDUALES



Foto 56. Terrazas individuales.

Es un terraplén de forma circular, construido a nivel o en contrapendiente, sobre el cual se establece alguna especie forestal.

Esta práctica está asociada a la reforestación por lo que el número de piezas por hectárea debe ser acorde a la densidad de plantas a reforestar, y puede ser construida en un margen muy amplio de pendientes, siempre y cuando exista la profundidad adecuada. No se debe realizar en suelos con profundidad menor a 10 centímetros.

Su principal objetivo es captar agua de los escurrimientos superficiales para aumentar la humedad disponible para las plantas.

Proceso de construcción

Primer paso. Trazar la curva a nivel o hilera sobre la que se iniciarán los trabajos.

A partir de la curva o hilera se establece el distanciamiento entre plantas y entre las otras curvas a nivel o hileras, con una distribución en un diseño principalmente a tresbolillo, ya que el diseño de marco real no captaría todos los escurrimientos del terreno. Es importante considerar que el trazo de las terrazas pueden o no ser en curvas a nivel, dependiendo de la topografía del terreno.

Segundo paso. Marcar el área de la terraza.

Mediante el uso de una estaca y una cuerda de 50 centímetros de largo, se coloca la estaca sobre la línea de la curva y con la cuerda se marca un círculo (figura 41).

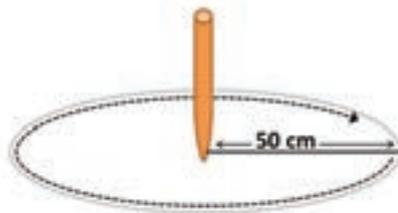


Figura 41. Estaca y cuerda para el trazo de la terraza.

Las terrazas individuales deben tener como mínimo un metro de diámetro y al menos 10 centímetros de profundidad de corte, con taludes estabilizados con materiales disponibles (foto 57).

Estas medidas pueden variar de acuerdo con la pendiente y la profundidad de suelo.



Foto 57. Terraza individual con taludes estabilizados.

Tercer paso. Excavar el suelo para formar la terraza.

Excavar o rebajar la parte alta del círculo trazado (1) y el material se arroja aguas abajo (2) hasta que la terraza pueda almacenar un espejo de agua de 10 centímetros y el piso de la misma quede a contrapendiente (figura 42).

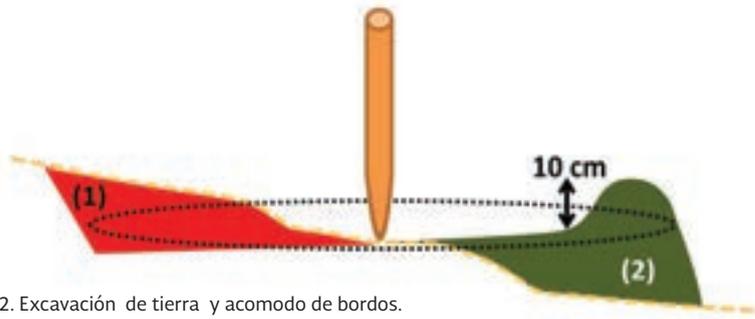


Figura 42. Excavación de tierra y acomodo de bordos.

Con el producto de la excavación se construye el bordo, aguas abajo, en forma de media luna, para conducir los escurrimientos hacia las terrazas ubicadas en la curva a nivel aguas abajo.

El bordo se compacta y suaviza para proporcionar estabilidad y facilitar la instalación de vegetación arriba del mismo (foto 58).



Foto 58. Captación del escurrimiento en una terraza individual.

La siguiente terraza se excava a la distancia prevista para la plantación, procurando que su arreglo sea en “tresbolillo”.

Generalmente se utiliza el diseño “tresbolillo” con distanciamientos de tres metros entre terrazas individuales (cajetes) y tres metros entre líneas, de esta manera pueden alcanzarse densidades de alrededor de 1,100 plantas por hectárea; sin embargo, depende del ecosistema y la especie a reforestar (figura 43).



Figura 43. Arreglo en "tresbolillo" de las terrazas individuales.

Para realizar la plantación de especies forestales se coloca la planta en el centro o en el borde de la terraza, según las características de humedad del terreno. La capacidad de almacenamiento de agua dependerá del tipo de suelo.

En zonas con alta ocurrencia de lluvias se recomienda plantar cerca del bordo construido en el área de relleno y no en el centro de la terraza, para evitar la pudrición o ahogamiento de la planta.

Recomendaciones

- Las terrazas individuales se pueden construir en un margen muy amplio de pendientes, siempre y cuando la profundidad del suelo permita excavar las dimensiones especificadas.
- Si existe material disponible, debe considerarse la estabilización de taludes de la terraza, mediante la colocación de piedras, material muerto o cultivos de cobertera para evitar la destrucción de la obra.
- En regiones áridas y semiáridas, se debe reducir la densidad de obra para evitar la competencia por humedad. De ser posible, debe combinarse con otras actividades para captar la mayor cantidad de escurrimiento, como bordos en curvas a nivel, para hacer eficiente la captación de agua de lluvia e incluso dirigir los escurrimientos hacia las terrazas individuales.
- En regiones tropicales, se recomienda combinar las terrazas individuales con canales de desagüe que intercepten y desalojen los excesos de agua en forma controlada.

BORDOS EN CURVAS A NIVEL



Foto 59. Bordos en curvas a nivel.

Es un sistema de bordos que se conforma con el producto de la excavación del suelo o subsuelo, de forma perpendicular a la pendiente del terreno, siguiendo curvas a nivel.

Los bordos se pueden realizar con maquinaria o aperos de labranza, en combinación con instrumentos manuales. Sirve para propiciar la intercepción de azolves y escurrimientos, así como aumentar la infiltración y retención de humedad para el establecimiento de reforestaciones y vegetación nativa.

Los bordos en curvas a nivel son una práctica utilizada principalmente en las zonas áridas y semiáridas, o con deficiencia de humedad estacional en el suelo.

Esta obra se debe implementar en suelos que tengan como mínimo 60 centímetro de profundidad, ya que en suelos con poca profundidad no se contaría con la suficiente cantidad de material para levantar el bordo.

Proceso de construcción

Primer paso. Trazar las curvas a nivel.

Las curvas se trazarán conforme a los distanciamientos calculados, según el intervalo horizontal para bordos en curvas a nivel (ver

metodología b del anexo 1) tomando en cuenta las características del suelo.

Las líneas se marcan con señales visibles para el operador de la maquinaria, el trazo se realiza utilizando el equipo apropiado según la extensión, visibilidad y características del terreno.

Segundo paso. Romper la capa endurecida del suelo.

Se realiza con un paso de *ripper* para el rompimiento de la capa endurecida en la superficie del suelo, en un solo paso, sobre la curva a nivel (foto 60).



Foto 60. Rompimiento de la capa endurecida.

Generalmente se utiliza un *bulldozer* o tractor agrícola, con un *ripper* o implemento integrado para ranurar o roturar el suelo, por lo general con tres cinceles es suficiente, a una profundidad de corte de 30 centímetros. El objetivo de este paso es romper la capa endurecida del suelo, así como extraer y aflojar el suelo para conformar el bordo.

Tercer paso. Conformar el bordo.

El bordo se conforma mediante el uso de un instrumento de labranza denominado “*bordero*”, el cual deberá trabajar con la mayor abertura posible, con cuatro discos de 32 a 36 pulgadas cada uno (foto 61).



Foto 61. Bordero con 4 discos para formar bordos en curvas a nivel.

Las dimensiones del bordo manual son las siguientes: altura efectiva de bordo 65 centímetros mínimo, ancho total de dos metros y profundidad de zanja a los costados como mínimo de 30 centímetros.

Los bordos en curvas a nivel deben realizarse en terrenos con pendientes menores al 20% (foto 62).



Foto 62. Arado de discos para elaborar bordos en curvas a nivel.

En cuanto a la textura de suelo, se implementa en casi cualquier tipo, pero hay que trabajar en su punto de humedad a los suelos cuyo contenido de arcillas sea muy alto.

Recomendaciones

- Se recomienda que al momento de trabajar el suelo, éste contenga la humedad suficiente para facilitar su manejo.
- El uso de maquinaria se recomienda en terrenos uniformes y de superficies grandes, es primordial que no se afecte la vegetación del lugar
- En caso de utilizar otros implementos como aperos de labranza o trabajar de manera manual, se aconseja realizar el ancho de corte de la superficie como mínimo de un metro de longitud y una profundidad mínima de 20 centímetros. Es necesario pasar varias veces el arado para levantar el bordo a una altura de mínima de 40 cm.
- Se logran buenos resultados utilizando el tractor agrícola con un arado de al menos dos discos, complementado con mano de obra y herramientas manuales.
- En caso de no cumplir con las especificaciones de altura y ancho del bordo, utilizando *ripper* y *bordero*, es necesario acortar las distancias entre los bordos.
- Se puede realizar un segundo paso de *ripper* inmediatamente después del bordo, aguas arriba, lo que favorece la infiltración del agua de lluvia que se va almacenar y la siembra o plantación de la especie más adecuada.

ROTURACIÓN



Foto 63. Roturación de caliche.

Consiste en la ruptura y fragmentación, en franjas, de la capa compactada y endurecida (denominada comúnmente tepetate o caliche o material parental intemperizado) que se encuentra en la parte superficial o subsuperficial del suelo.

Esta actividad se realiza con maquinaria especializada como puede ser el *bulldozer* con *ripper* integrado, aperos de labranza, rodillo o inclusive tractores con los accesorios adecuados y permite el desarrollo de la vegetación natural o establecimiento de plantaciones forestales (foto 64-65).



Foto 64. Roturación con tracción animal.



Foto 65. Roturación con bulldozer que permite un corte profundo.

Esta obra se recomienda realizar en terrenos con suelos delgados o con capas superficiales endurecidas con pendientes menores al 20%, en áreas desprovistas de vegetación, así como sobre suelos secos, ya que si se realiza en suelos húmedos el efecto se puede nulificar, por lo que debe realizarse antes del periodo de lluvias.

La roturación aquí descrita está orientada principalmente a facilitar la plantación de especies y recuperación de la vegetación, por lo que no es necesario trabajar el total de la superficie del terreno, sino solo franjas sobre las cuales se realizará la plantación, dichas franjas son separadas según la densidad deseada.

Proceso de construcción

Primer paso. Trazar las curvas a nivel en el terreno a trabajar.

Si se hace uso de maquinaria, la señalización debe realizarse con estacas de madera o banderines a una altura tal que sean visibles por los operadores, generalmente la separación entre líneas obedece a la densidad de siembra recomendada.

Segundo paso. Evaluar la dureza y profundidad de la capa compactada o endurecida.

Dependiendo de lo anterior, se determina la profundidad de penetración o de corte, la cual debe ser uniforme para evitar encharcamientos o flujos inadecuados y debe variar entre 40 centímetros y un metro. El ancho de corte puede variar según el tipo de implemento utilizado.

Tercer paso. Iniciar la roturación sobre las curvas a nivel (foto 66).

Para cada franja roturada se recomienda que tenga una longitud de entre 5 a 10 metros, separadas por un tabique divisor de al menos 50 centímetros, procurando que éstos se realicen de manera alternada a las líneas consecutivas.

Se recomienda realizar al menos dos pasos de la maquinaria.



Foto 66. Roturación siguiendo las curvas a nivel.

Recomendaciones

- Generalmente esta obra se trabaja en zonas de lomeríos o valles con poca o nula vegetación arbórea, por lo que se puede utilizar equipo topográfico, consiguiendo con esto un trazado más preciso y rápido de la curva a nivel.
- Si en el área existen materiales muy duros, árboles o un conjunto de vegetación homogénea, debe evitarse y continuarse con la franja una vez librado el obstáculo.
- Cuando el paso de maquinaria genere terrones o fragmentos grandes, éstos deben ser disgregados con algún instrumento manual (azadón), para que permitan la plantación adecuada, sin que las raíces queden expuestas a la acción del viento (foto 67).
- Un terreno roturado es poco fértil, por lo que la incorporación de abonos verdes, estiércoles, compostas o fertilizantes favorecerá el desarrollo de la plantación.
- No debe permitirse el acceso de ningún tipo de ganado al área, ya que el efecto de esta práctica es superficial, por lo que si se compacta, el efecto se nulifica.
- Está práctica se puede realizar de manera combinada con la construcción de cualquier sistema zanja bordo.



Foto 67. Roturación y reforestación con pinos.

BARRERAS DE PIEDRA ACOMODADA EN CURVAS A NIVEL



Foto 68. Barreras de piedra acomodada en curvas a nivel.

Es el acomodo de piedras en curvas a nivel, formando una barrera o pequeño muro, con el objeto de retener suelo y disminuir la velocidad de escurrimientos en suelos con presencia de erosión laminar.

Esta obra se implementa principalmente en zonas desprovistas de vegetación, con poca profundidad de suelo y donde exista evidencia de arrastre de suelo superficial y presencia de rocas de modo que se garantice el volumen de obra requerido, de acuerdo a las necesidades del terreno.

Proceso de construcción

Primer paso. Calcular el espaciamiento y trazar las curvas a nivel.

Para este cálculo preferentemente se utiliza la información de erosión actual del suelo (ver metodología a y b del anexo 1), una vez determinado el espaciamiento, se trazan las curvas a nivel sobre las que se construirá la barrera de piedra. Para el marcado pueden utilizarse banderas, cal o estacas.

Segundo paso. Excavar la zanja de empotramiento sobre la curva trazada.

Abrir, con pico y pala, una zanja de 10 centímetros de profundidad, y 30 cm de ancho, para brindar estabilidad a la obra (foto 69).



Foto 69. Barrera de piedra empotrada al terreno.

Tercer paso. Acarrear o acercar el material a la curva a nivel trazada donde se construirá la barrera.

Se puede hacer uso de carretillas, costales, vehículos automotores o de tracción animal, para hacer más rápido su transporte (foto 70).



Foto 70. Uso de carretillas para acercar el material.

Cuarto paso. Formar la barrera.

Se acomodan las rocas de tal manera que se forme una barrera cuadrangular de 30 centímetros de alto por 30 cm de ancho (figura 44).



Figura 44. Dimensiones recomendadas para las barreras de piedra.

Recomendaciones

- Antes de iniciar la obra pueden colocarse hilos sobre la línea a la altura y ancho que debe quedar la obra para llevar una guía y lograr una mejor conformación de la barrera (foto 71).



Foto 71. Uso de hilos para conformar la barrera.

- Las rocas se deben colocar de tal modo que las caras más planas queden hacia afuera, principalmente las que estarán en contacto con los sedimentos. En algunos casos, es necesario romper las rocas para lograr que las caras sean planas.
- El suelo producto de la excavación de la zanja se utiliza para rellenar los pequeños huecos que quedan al realizar el acomodo. Los residuos de materiales vegetales también pueden incorporarse.
- Considerar como material disponible, todas aquellas rocas cuyo volumen se encuentre al menos 80% a la intemperie, es decir, solo el 20% o menos se encuentre enterrado.
- Cuando las barreras crucen por algún arroyo o cárcava, se debe considerar la construcción de presas de piedra acomodada en el sitio. Las barreras deben ser “terminadas” con anticipación a estos escurrimientos (foto 72 y figura 45).



Foto 72. Acompañamiento de barreras de piedra y presas de piedra acomodada.



Figura 45. Barreras de piedra terminadas antes del cambio de la pendiente.

ACOMODO DE MATERIAL VEGETAL MUERTO



Foto 73. Acomodo de material vegetal muerto.

Es la formación de cordones de material vegetal muerto existente en el terreno, resultante de aprovechamientos forestales, podas, preaclareos, aclareos o material incendiado.

El acomodo de estos materiales en curvas a nivel proporciona protección al suelo, disminuye la velocidad y la cantidad de escurrimiento superficial, a la vez que intercepta azolves y favorece la regeneración natural. Es importante resaltar que el correcto acomodo del material muerto evita la propagación acelerada de incendios forestales.

Proceso de construcción

Primer paso. Determinar el espaciamiento entre cordones de material acomodado.

El espaciamiento se determina utilizando las fórmulas de intervalo vertical (IV) y horizontal (IH) o eligiendo un espaciamiento a criterio del asesor técnico, en función de la pendiente, el escurrimiento, la erosión o la cantidad de material disponible en el terreno (foto 74).



Foto 74. Espaciamiento del acomodo de material vegetal muerto.

El trazo de la línea madre, se realiza con base en el espaciamiento definido, posteriormente se trazan y señalan las curvas a nivel.

Segundo paso. Acarrear el material a la línea donde se construirá el acordonamiento y colocar estacas para estabilidad de la obra.

Si el material tiene secciones muy largas, se debe trozar para evitar que las ramas dificulten la compactación y amarre del cordón, logrando uniformidad en la obra (foto 75).



Foto 75. Troncos y material vegetal sin ramas.

Previo a la formación de los cordones se colocan las estacas, las cuales evitarán la deformación del cordón. El estacado puede hacerse sólo de un lado o cubrir ambos lados, es decir, colocarse tanto aguas abajo como aguas arriba del mismo (foto 76). La longitud de las estacas depende de la altura del acordonamiento.



Foto 76. Uso de estacas para reforzar el cordón.

Tercer paso. Distribuir y acomodar el material a lo largo del cordón.

En algunas zonas tropicales y dependiendo del tipo de material, se puede entretejer entre las estacas para dar mayor estabilidad a la obra (foto 77).



Foto 77. Tejido y amarre del material vegetal a las estacas, para mayor estabilidad.

Es importante que el acomodo se realice colocando en primer lugar el material con mayor diámetro y, posteriormente, el de menor diámetro; de esta manera el cordón tendrá más estabilidad y acumulará más sedimentos y azolves.

Las dimensiones deben ser de 40 centímetros de alto y de 30 a 40 centímetros de grosor, según el tipo de material.

Cuarto paso. Formar secciones de acomodo de material con una longitud máxima de 50 metros.

Se considera una separación de entre tres y cuatro metros, sin acordonamiento, sobre la misma curva a nivel, para continuar con la siguiente sección.

El siguiente cordón de material vegetal muerto debe construirse aguas abajo en “tresbolillo”, esto evita la propagación de incendios y zonas donde el escurrimiento y los sedimentos bajen por el terreno de forma no uniforme (figura 46).

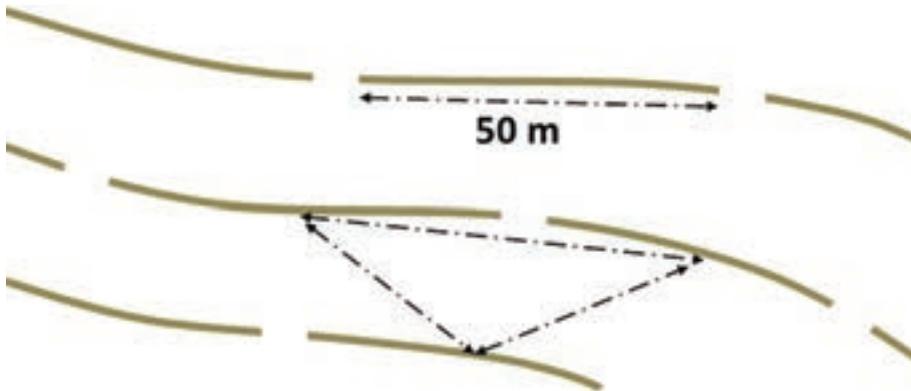


Figura 46. Separación entre cordones y acomodo en tresbolillo.

Cuando el acordonamiento cruce una cárcava o arroyo, es conveniente colocar una presa de morillos o troncos más gruesos en la cárcava (foto 78).



Foto 78. Combinación de presas de morillos y acomodo de material vegetal muerto.

Recomendaciones

- En las secciones de 3 o 4 metros donde no hay acordonamiento, se pueden colocar algunos residuos de dimensiones pequeñas, lo que ayudará a que el suelo no quede totalmente desprotegido.
- Si se utilizan ramas para el acordonamiento, tomar en cuenta que con el tiempo se reduce significativamente el volumen del cordón, por lo que debe preverse que exista material grueso suficiente o los mantenimientos necesarios para que la obra cumpla su función durante un mayor tiempo posible.

PRÁCTICAS VEGETATIVAS

TERRAZAS DE MURO VIVO



Foto 79. Terrazas de muro vivo.

Son terraplenes que se forman gradualmente, a partir del movimiento de suelo durante las labores de cultivo en terrenos de ladera, y es retenido por barreras de diversas especies de árboles o arbustos que se establecen siguiendo curvas a nivel. Las altas densidades de plantación son características de este tipo de obras.

Las especies forestales más utilizadas para la formación de terrazas de muro vivo en zonas tropicales son el “cocuite” o “palo de sol” (*Gliricidia sepium*) y “palo mulato” (*Bursera spp*).

Proceso de construcción

Primer paso. Calcular el espaciamiento a través del intervalo vertical u horizontal, conociendo la pendiente del terreno y la cantidad de lluvia anual y trazar la curva a nivel.

Debe ubicarse la línea madre y a partir de ella, marcar las curvas a nivel en el terreno, de acuerdo al instrumento elegido y a la visibilidad del terreno.

Segundo paso. Construir un surco pequeño sobre la curva a nivel que servirá para realizar la plantación.

En vegetación con altas densidades, sobre las curvas a nivel se realiza una brecha de un metro de ancho aproximadamente, en la cual se levanta el bordo de forma manual, con maquinaria o tracción animal, siempre y cuando la topografía y la vegetación lo permitan (foto 80).



Foto 80. Terraza de muro vivo con formación de surco y apertura de brecha.

Tercer paso. Establecer las plantas que constituyen el muro vivo.

Preferentemente se deben utilizar especies de la zona y de fácil establecimiento ya sea por estacas, siembra directa o una combinación de ambas:

- **Plantación por estaca.** Se lleva a cabo a partir de estacas que se recolectan de árboles como el “cocuite” (*Gliricidia sepium*), “palo mulato” o “chaká” (*Bursera spp*) y ciruela mexicana (*Spondia spp*) que son preferidos por su rápido crecimiento. A las estacas se les forma una punta en el extremo inferior para que se anclen fácilmente al suelo; deben tener una longitud promedio de 30 a 40 centímetros. Se recomienda que se coloquen a distancias de 25 cm entre ellas.
- **Siembra directa.** Se recomienda la siembra a “chorrillo” en doble hilera, separadas a 20 cm entre ellas (foto 81).



Foto 81. Método de siembra a doble hilera de cocuite (*Gliricidia sepium*).

- **Plantación combinada.** Consiste en plantar estacas desde 30 cm hasta 1.5 m de altura, a distancias de entre 50 cm a dos metros en forma lineal (foto 82). Un año después, se debe efectuar la siembra directa entre el seto de estacas, a doble hilera o “tres bolillo”, a una distancia de 20 cm entre hileras.



Foto 82. Formación de terraza con estacas de palo mulato (*Bursera spp*) y siembra directa de cocuite (*Gliricidia sepium*).

Cuarto paso. Realizar el aporque.

Esta actividad consiste en acercar la tierra o material vegetal, proveniente de la base, aguas arriba del muro, para proporcionar mayor estabilidad al cerco, formar los bancales y conducir los excesos de agua en forma controlada.

Recomendaciones

- Es conveniente efectuar el control manual de malezas o deshierbe de las franjas, para no afectar las especies establecidas. Este control debe realizarse 30, 60 y 120 días después de la siembra, durante el primer año de establecimiento del muro vivo.
- Los residuos producto de los deshierbes se acumulan aguas arriba de la barrera para propiciar la formación de terrazas.
- Después de 30 días de siembra, se sugiere aplicar 40 gramos de superfosfato de calcio triple, en forma de banda por cada metro lineal.
- Para el buen manejo de la obra se aconseja realizar la poda de ramas y hojas, logrando el aporte de materia orgánica al suelo.
- Un año después del establecimiento del muro vivo se realizan dos podas al año, para evitar que el crecimiento excesivo de ramas invada el terreno arable; así mismo se debe controlar el exceso de amacollamiento.
- Para garantizar la efectividad del muro vivo, se recomienda brindarle mantenimiento a través de una combinación de prácticas como: surcado al contorno, cultivos de faja, rotación de cultivos y un manejo del suelo ajustado a su capacidad de uso. Para ello se utilizan especies que cumplan con los siguientes requisitos:
 - De rápido crecimiento;
 - Que no compitan por luz con los cultivos;
 - Que no sean hospederas de plagas;
 - De fuerte desarrollo radical;
 - Que se utilizan además como abono verde, forraje o leña.
- Las semillas o estacas utilizadas deben estar libres de plagas y enfermedades y presentar alto vigor.

- La siembra o trasplante de especies debe realizarse en época de lluvias, con el fin de promover mejores resultados en la germinación de semillas y enraizamiento de estacas.
- Es conveniente plantar especies forestales maderables que se adapten a la zona.

BARRERAS VIVAS*



Foto 83. Barrera viva con *Bromelia pinguin* (guamara).

Consiste en la plantación de especies en hileras, sobre curvas a nivel, dispuestas de tal manera que no permitan el libre paso de escurrimientos y sedimentos. La plantación de estas especies se considera en altas densidades y su acomodo depende de la especie elegida.

Proceso de construcción

Primer paso. Colectar el material vegetal en los meses más apropiados, según la especie seleccionada (foto 84).



Foto 84. Colecta de material vegetal para realizar barreras vivas.

Dependiendo de la parte de la planta utilizada como propagación (estaca, hijuelo o penca) es conveniente realizar la colecta con antelación a la época de plantación, ya que algunas especies requieren algún tratamiento especial. Es importante verificar las normas establecidas para la extracción de cada especie, a fin de realizarla de manera racional.

La planta puede, o no, ser almacenada por un tiempo o trasladada al lugar de la plantación. En cualquier caso se debe verificar el cuidado en el traslado, estibado y almacenado para evitar pérdidas de las plantas.

Segundo paso. Trazar las curvas a nivel de acuerdo a los distanciamientos calculados.

Se recomienda marcar una línea madre antes de ubicar las curvas a nivel (foto 85).



Foto 85. Trazo de curvas a nivel para barreras vivas.

Tercer paso. Realizar un surco para permitir la plantación de las especies.

El surco se realiza con pala o pico a partir de la curva a nivel. La excavación para el establecimiento de barreras puede ser de 10 centímetros de profundidad por al menos 15 cm de ancho. Si la topografía es uniforme, y la vegetación no se ve comprometida, se puede hacer uso de maquinaria agrícola.

Cuando los terrenos no son uniformes en cobertura vegetal, se realiza una limpia selectiva sobre la línea en donde se establecerá la plantación.

Cuarto paso. Trasladar las especies al predio y plantarlas por las líneas de plantación.

Las especies se plantan sobre el surco a una distancia de entre 20 y 25 centímetros para permitir el cierre del espacio y formar la barrera; cuando se trate de especies de mayor porte en el ancho de su base, podrán plantarse a una distancia de hasta 50 centímetros.



Foto 86. Establecimiento de la barrera viva.

Con la finalidad de que la barrera retenga la mayor cantidad de azolves, se puede realizar un “cabeceo” al inicio y al final de cada línea, es decir, colocar un metro de barreras vivas de forma perpendicular, en dirección a la pendiente, formando un ángulo de 90 grados.

Quinto paso. Aporcar o arrimar la tierra, con una herramienta manual, de modo que la especie quede bien plantada sobre el surco (foto 87).



Foto 87. Aporque o arrime de tierra a la barrera viva.

Resulta conveniente utilizar especies de fácil establecimiento y propagación que logren de forma natural restaurar las áreas degradadas y además puedan ser aprovechadas.

Para un uso racional de estos recursos no maderables se debe consultar a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), para conocer los parámetros para realizar la recolecta del material.

Barreras vivas con lechuguilla y sábila

La barrera viva con lechuguilla o sábila, es una práctica que permite retener azolves e infiltrar agua, lo cual favorece el desarrollo de vegetación nativa propiciando la restauración de áreas degradadas en zonas áridas y semiáridas (foto 88).



Foto 88. Barrera viva de lechuguilla en curvas a nivel.

Los hijuelos de lechuguilla y sábila pueden ser recolectados al momento del establecimiento de la barrera, dicho material vegetal debe tener al menos una altura de 25 centímetros.

El distanciamiento entre curvas a nivel en zonas áridas, como referencia en el estado de Tamaulipas, se ha realizado con buenos resultados a una distancia de 16.6 metros, en pendientes de 5 a 15%, en suelos poco profundos con degradación ligera.

Se recomienda la plantación de lechuguilla y sábila de manera lineal y contigua (sin separación entre ellas) en una relación de 5 plantas por metro, es importante que se coloquen las plantas de mayor tamaño en zonas donde el escurrimiento pluvial se concentre o los canalillos sean más profundos.

Barreras vivas con candelilla

Los manojos de candelilla pueden ser recolectados al momento del establecimiento de la barrera, su altura puede ser variable pero los manojos deberán tener por lo menos 7 cm de grosor.

Se recomienda la plantación de candelilla de manera lineal y contigua (sin separación entre ellas).

Barreras vivas con maguey

Los hijuelos de maguey pueden ser recolectados al momento del establecimiento de la barrera, con al menos una altura de 25 centímetros.

Se recomienda la plantación de maguey de manera lineal y con una separación de 50 centímetros, sobre la curva a nivel.

Barreras vivas con nopal

Las pencas deben ser recolectadas y puestas a cicatrizar una semana antes de su establecimiento, las pencas deben contar con al menos una altura de 20 centímetros.

Se recomienda la plantación de nopal de dos maneras: de manera lineal y contigua (sin separación entre ellas) o separadas 20 cm entre ellas sobre dos hileras, de manera intercalada (figura 47).

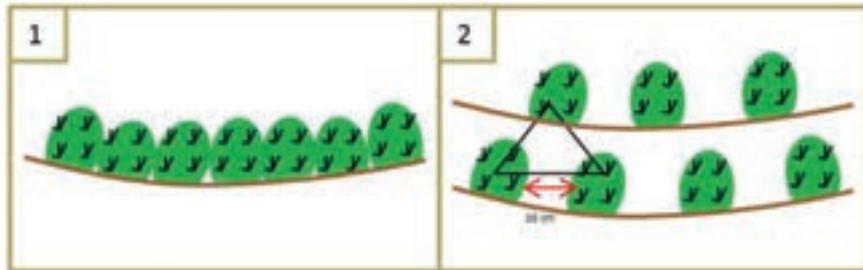


Figura 47. Acomodo de nopal para formar una barrera viva.

Recomendaciones

- Dar mantenimiento al surco y a la plantación.
- Realizar la obra en rangos de 5 a 25% de pendiente.
- Las reforestaciones posteriores podrán combinarse con las barreras vivas (foto 89).
- Las barreras vivas son una opción en las zonas áridas y semiáridas donde predominen suelos poco profundos, pedregosos o compactados, lo cual impide la construcción de otro tipo de obras.
- Adicionalmente las especies utilizadas en la barrera viva tienen otros usos, como es la producción de tuna, extracción de fibra de lechuguilla que las familias campesinas aprovechan y comercializan como complemento del ingreso familiar.



Foto 89. Establecimiento de barrera viva de sábila y lechuguilla.
*Se realizó con la colaboración del Ing. Andrés Zurita Zafra.

CORTINAS ROMPEVIENTOS



Foto 90. Cortinas rompevientos.

Las cortinas rompevientos se realizan para evitar la erosión eólica del suelo o para proteger los cultivos o plantaciones susceptibles a los vientos.

Son acomodos de árboles alineados en forma perpendicular a las corrientes del viento. Se establecen con cuatro o más hileras de árboles y arbustos para formar una barrera lo suficientemente alta y densa para disminuir significativamente la velocidad del viento.

Proceso de establecimiento

Primer paso. Calcular el espaciamiento de la cortina, tomando en cuenta la velocidad máxima del viento y la altura que pueden alcanzar las especies seleccionadas.

La separación entre una y otra cortina estará en función de su altura y la velocidad inicial del viento en barlovento (es decir la parte de donde viene el viento), por lo que se considera que una cortina con una altura “x” puede disminuir hasta 80% la velocidad del viento en la zona de sotavento (es decir, en la parte opuesta al lado que recibe el viento), en una franja con un ancho de hasta cuatro veces “x” (figura 48).

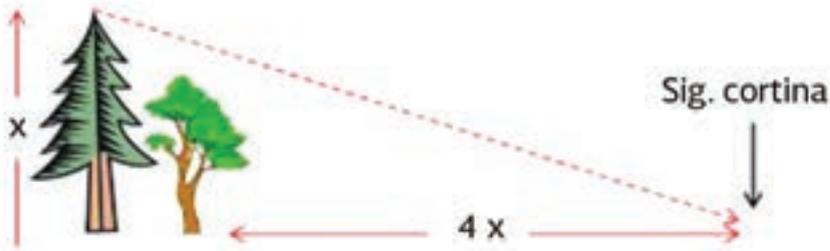


Figura 48. La separación entre cortinas dependerá de la altura final de la cortina rompevientos.

Las cortinas se ubican y orientan en sentido perpendicular a las corrientes de aire y tienen una forma preferentemente trapezoidal ya que se utilizan especies arbóreas en la parte central y arbustos de menor talla en los extremos, de tal manera que la cortina queda conformada por cuatro a diez hileras, combinando árboles y arbustos.

Ejemplo del cálculo del espaciamiento de una cortina rompevientos:

Se selecciona la especie *Cupressus lindeyi* para realizar una cortina rompevientos. La planta se adquiere con una altura de dos metros y se espera una altura a los dos años de 10 metros, por lo tanto, de acuerdo a la fórmula:

$$\text{Distanciamiento cortinas} = 4(\text{Hárbol})$$

Se tiene que:

$$\text{Distanciamiento cortinas} = 4(10 \text{ m}) = 40 \text{ m}$$

Si a esta distancia la velocidad del viento resulta ser mayor a 19 kilómetros/hora, es necesario acortar el distanciamiento entre cortinas o seleccionar especies con mayor talla.

Generalmente, los espaciamientos entre cortinas varían entre 15 y 20 veces la altura de la cortina.

Segundo paso. Selección de especies.

En la selección de especies, se deben considerar las siguientes características:

- Especies adaptadas a las condiciones edáficas y climáticas de la zona.
- Resistentes a la sequía y con un sistema radical vigoroso con desarrollo vertical y horizontal, de manera que puedan aprovechar al máximo la humedad del suelo y que se anclen bien en el suelo.
- Especies de rápido crecimiento y morfológicamente uniforme (troncos rectos, vigorosos y longevos) y con gran densidad de copa (muchas ramas y hojas).
- Las especies arbustivas que se utilizan en las alineaciones exteriores de la cortina, deben ser preferentemente espinosas, no apetecibles para el ganado, con el objeto de restringir el ramoneo.

Las especies arbóreas seleccionadas deben ser las que alcancen mayor talla, ya que en función de su altura protegerán una mayor o menor superficie, a continuación se enlistan algunas de ellas (cuadro 11):

Cuadro 11. Especies arbóreas utilizadas para cortinas rompevientos.

Nombre científico	Nombre común	Nombre científico	Nombre común
<i>Populus alba</i>	Álamo	<i>Prunus serotina</i>	Capulín
<i>Salix alba</i>	Sauz	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Robinia
<i>Salix babylonica</i>	Sauce llorón	<i>Ulmus americana</i>	Olmo
<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce tropical	<i>Ulmus parviflora</i>	Olmo
<i>Cupressus lindleyi</i>	Cedro blanco	<i>Cassuarina equisetifolia</i>	Casuarina
<i>Cupressus sempervivens</i>	Cedro	<i>Eucalyptus spp.</i>	Eucalipto
<i>Cupressus macrocarpa</i>	Ciprés	<i>Fraxinus uhdei</i>	Fresno
<i>Pinus halepensis</i>	Pino alepo	<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite

Nombre científico	Nombre común	Nombre científico	Nombre común
<i>Pinus</i> spp.	Pinos	<i>Grevilea robusta</i>	Grevilea
<i>Acacia</i> spp.	Acacia	<i>Jacaranda mimosaefolia</i>	Jacaranda
<i>Leucaena</i> spp.	Guaje	<i>Delonix regia</i>	Framboyán
<i>Azadirachta indica</i>	Nim		

Tercer paso. Marcar una línea perpendicular al flujo del viento, sobre la cual se realizará la plantación.

Roturar el suelo y levantar el bordo con ayuda de maquinaria o, con herramientas manuales, aflojar la tierra y realizar un cajete en el lugar donde se colocará la planta. El uso de maquinaria o herramienta estará en función del número de especies y el espaciamiento que se establezca para la cortina.

Dentro de la franja el diseño de la plantación deberá ser en “tresbolillo”. Este arreglo tiene la ventaja, comparado con el “marco real”, de que no permite que haya espacios entre hileras de árboles en el sentido del viento (figura 49).

Cuarto paso. Plantación y aporque.

Seleccionadas las especies a utilizar, se realiza el acarreo sobre la línea a plantar, dichas especies se incorporarán dentro de la cepa común, sobre el bordo o la terraza individual realizados con anterioridad.

El espaciamiento entre árboles no debe ser mayor a tres metros; mientras que en una misma hilera de arbustos no debe ser mayor a dos metros.

La variación para espaciamientos menores está en función del hábito de desarrollo vegetativo de las especies utilizadas. El espaciamiento entre árboles y arbustos dentro de la plantación en la cortina es muy importante, ya que siempre será deseable una masa compacta y densa, de tal manera que no permita el paso del viento (figura 49).

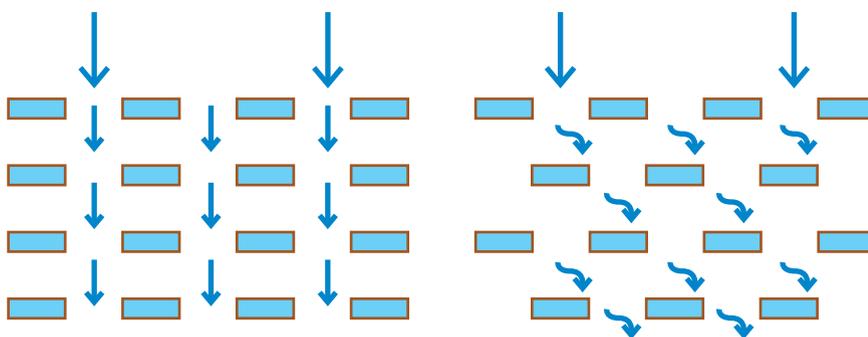


Figura 49. Comparación del paso del viento a través de la cortina rompeviento: "marco real" (izquierda) o "tresbolillo" (derecha).

Recomendaciones

- Utilizar especies que no pierdan su follaje completamente durante el año, con la finalidad de que la cortina cumpla con la función de barrera.
- Combinar especies de rápido crecimiento con otras de lento crecimiento a fin de alcanzar lo más pronto posible el objetivo deseado.
- La diversificación de especies es muy conveniente para que con el tiempo se puedan obtener diversos productos como madera, frutos, miel, forraje, fibra, entre otros.
- El riego de la plantación se aconseja sobre todo en sus primeras fases.

ENRIQUECIMIENTO DE ACAHUALES



Foto 91. Enriquecimiento de acahuales.

El acahual, huamil o hubche, es la vegetación secundaria originada por la pérdida de la vegetación original de las selvas y está constituida por hierbas, arbustos y árboles.

El enriquecimiento de acahuales es una práctica de manejo agroforestal que favorece la recuperación de áreas perturbadas garantizando el desarrollo de una cubierta vegetal permanente que contribuya a reducir la erosión hídrica.

Esta práctica consiste en introducir especies forestales maderables, o no maderables, a fin de incrementar su valor y favorecer su protección, conservación y desarrollo.

Proceso de establecimiento

Primer paso. Eliminar la hierba en los sitios seleccionados, el espacio en forma circular de un metro de diámetro se chapea o limpia. Se forma un cajete de un metro de diámetro con una profundidad de 10 a 15 centímetros en su parte más baja para captar agua de lluvia y asegurar una mayor sobrevivencia.

Segundo paso. Realizar una cepa a una profundidad de 30 a 40 centímetros en forma de cilindro, colocando la tierra más superficial en un lado y la más profunda al otro lado de la cepa.

Tercer paso. Realizar la plantación en el centro de la cepa y tapar con el suelo removido de la cepa.

La plantación puede realizarse como se explica a continuación:

- a. Por plantación o siembra de especies deseadas.
- b. Por medio de aclareos y manejo para favorecer especies ya existentes en el predio.
- c. Por plantación de especies deseadas y aclareos para favorecer las especies nativas ya existentes.

Se elige la especie que además de tener varias funciones (árboles de usos múltiples), presente un rápido crecimiento, absorba y recicle eficientemente los nutrientes disponibles dentro del sistema y cuyo producto final se comercialice con facilidad en la zona o sea apreciado por la comunidad por el servicio que les brinda.

Recomendaciones

- Para realizar esta actividad, se prefieren las primeras etapas sucesionales del acahual, ya que su intervención resulta más económica y no implica alterar un sistema más desarrollado.
- Considerar las características del acahual en primeras etapas sucesionales:

Cuadro 12. Etapas sucesionales recomendadas en acahuales.

Características	Milpa recién abonada	Sucesión temprana
Edad del acahual	1 a 3 años	4 a 15 años
Altura	Entre 1 y 8 metros	Entre 8 y 20 metros
Número de especies maderables existentes	De 1 a 10	De 1 a 20
Número de estratos	Un piso muy tupido	2 pisos bien diferenciados.

- El envase de plástico o bolsa que contiene la especie a plantar se debe retirar, así como aquellas raíces que sobresalen de la bolsa.
- Colocar la planta en la parte alta del bordo, en el lado más bajo de la pendiente, para que en época de lluvias no se ahogue o se pudra por exceso de agua.

SISTEMAS AGROFORESTALES CON ESPECIES DE COBERTERA*



Foto 92. Sistemas agroforestales.

Los sistemas agroforestales con especies de cobertera son prácticas de manejo de plantas arbóreas y arbustivas, en asociación con herbáceas, que permiten disminuir la erosión, la pérdida de la fertilidad, y los escurrimientos superficiales, obteniéndose además productos adicionales para el autoconsumo de las familias y una estabilidad ecológica.

Las especies de cobertera son aquellas plantas que se siembran para cubrir y proteger el suelo; también pueden ser incorporadas como abonos verdes.

Proceso de establecimiento

Primer paso. Limpiar la vegetación herbácea.

Esta actividad se realiza mediante el chapeo, en caso de encontrar especies forestales de interés, estas se respetan y se les realiza la eliminación de la hierba en forma circular de un metro de diámetro alrededor de la planta.

Segundo paso. Realizar la lotificación y marcaje del terreno para la siembra.

Consiste en la colocación de varetas en los sitios donde se plantan las especies de cobertera en el terreno para promover su crecimiento vertical (foto 93).

Si el terreno es plano y ha sido cultivado previamente en el caso de las áreas de milpa, no necesita preparación, sólo se marcan las líneas de siembra.



Foto 93. Marcaje y lotificación del terreno.

Tercer paso. Establecer las especies de cobertera (*Mucuna sp*, *Phaseolus vulgaris*, *Phaseolus lunatus*, *Vigna unguiculata*, *Cucurbita sp.*) en los meses de mayo a julio, principalmente.



Foto 94. Establecimiento de especies de cobertera.

La siembra se realiza colocando dos semillas en cada cepa, a una distancia de un metro entre cepa y un metro entre las líneas de siembra. La densidad de plantación puede variar dependiendo de la especie; sin embargo, se sugieren algunas densidades en el cuadro 13:

Cuadro 13. Densidades de plantación de algunas especies de cobertera.

Familia	Especie	Nombre común	Requerimientos por ha	Distancia entre línea	Semilla por metro lineal
Leguminosas	<i>Mucuna sp.</i>	Frijol terciopelo	12 Kg (1,100 semillas por kilogramo)	1 metro	1-2
	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Frijol milpero	De 5 a 6 Kg (3,000 semillas por kilogramo)	1 metro	1-2
	<i>Phaseolus lunatus</i>	Frijol ib	De 5 a 6 Kg (de 3,000 a 3,500 semillas por kilogramo)	1 metro	1-2
	<i>Vigna unguiculata</i>	Frijol xpelón	De 5 a 6 Kg (3,000 semillas por kilogramo)	1 metro	1-2
Cucurbitaceas	<i>C. moschata</i>	calabaza	De 5 a 6 Kg	1 metro	1-2
	<i>C. pepo</i>		(de 2500 a 5,000 semillas por kilogramo)		
	<i>C. maxima</i>				

<http://www.kokopelli-seed-foundation.com>
(Fuente Restrepo, 1998 págs. 51-65)

Cuarto paso. Establecer la especie forestal, posterior al establecimiento de la especie de cobertera, en los meses de agosto a septiembre.

El establecimiento debe ser en un marco real de 4 x 4 metros, con una densidad de 625 plantas por hectárea (figura 50). La cepa debe tener preferentemente 30 x 30 centímetros de ancho y profundidad, respectivamente, con esto, se beneficia el desarrollo radicular.

En caso de que en algún momento, las especies de cobertera cubran la especie forestal, se debe realizar un corte circular de manera manual, para liberar la competencia entre ellas.

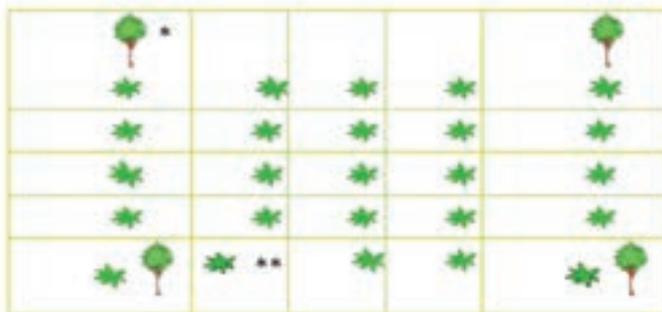


Figura 50. Arreglo del sistema agroforestal. *Especie forestal 4x4 metros. **Cultivo de cobertera 1x1 metros.

En predios con alta pedregosidad y/o vegetación de interés para el beneficiario, la densidad mínima de la especie forestal debe ser de 300 plantas por hectárea y se establecerá en los espacios donde se disponga de suelo.

Al momento de plantar, la cepa se rellena con tierra o sustrato fértil y se apisona para que no queden cámaras con aire. Si la planta está en bolsa de polietileno se debe retirar antes de plantar. Esta actividad se debe realizar en la época de lluvias, pues el suelo con humedad favorece el arraigo y vigorización de la planta y una población uniforme.

Quinto paso. Realizar un segundo corte, una vez que ha finalizado la cosecha del cultivo de cobertera y las plantas han empezado a tirar sus hojas. El corte se realiza de manera manual y se dejan los residuos en el predio para que se incorpore al suelo.

Recomendaciones

- El uso del suelo es un factor determinante para el éxito de un sistema agroforestal, por lo que se recomienda realizar los trabajos en:

- I. Acahuales de tres a cinco años.
 - II. Terrenos afectados por roza, tumba y quema.
 - III. Áreas incendiadas.
 - IV. Áreas agropecuarias abandonadas.
- Las especies de cobertera deben tener las siguientes características:
 - I. Las semillas deben ser baratas, fáciles de conseguir, almacenar y conservar en lo mínimo por un período de un año.
 - II. De rápido crecimiento y elevada capacidad de cubrir el suelo en un mínimo de tiempo.
 - III. Resistente y de fácil adaptación a las variaciones climáticas tropicales.
 - IV. Producir gran cantidad de biomasa y material seco.
 - V. Tener sistema radicular con capacidad de romper suelos compactos, recuperar suelos degradados física, químicamente y biológicamente.
 - VI. Fácil de sembrar y manejar asociado con otras especies.
 - Se estima que los cultivos de cobertera en los primeros cuatro meses de establecidos aportan al suelo aproximadamente 200 Kg de nitrógeno/hectárea y a partir de un año de establecidos aportan de tres a cinco toneladas de materia orgánica/ha/año en condiciones favorables.

*En colaboración con la Ing. Gilda Carballo Góngora.

PRÁCTICAS ALTERNATIVAS PARA LA MITIGACIÓN DE LA SEQUÍA.

Cuando las condiciones de las zonas áridas y semiáridas se han visto modificadas considerablemente, o los umbrales de desertificación han aumentado, y se pretende realizar una restauración del terreno, se recomiendan obras que han funcionado en condiciones extremas, comúnmente en condiciones que obedecen a baja precipitación y poca o nula cobertura vegetal.

Actualmente, en las zonas áridas y semiáridas del país se han realizado obras para la captación de escurrimientos o sedimentos; sin embargo, el presente capítulo ofrece alternativas adicionales, las cuales describen prácticas que han sido implementadas con éxito en terrenos dentro y fuera de México en zonas áridas y semiáridas.

Por sus dimensiones y diseño, estas prácticas alternativas están creadas principalmente para el direccionamiento y captura de los escasos flujos hídricos del terreno, permitiendo la captación de escurrimientos y por consiguiente la cosecha de agua de lluvias en zonas áridas y semiáridas, con ello se busca el aumentar la cobertura vegetal del lugar.

Dentro de los factores importantes a considerar en la construcción de este tipo de prácticas se encuentran:

- Pendiente no mayor al 5% debido a que a mayor pendiente existe una distribución desigual del escurrimiento y, por lo tanto, cantidades mayores de terraplenes requeridos que no resultan económicas.
- En caso de suelos salinos y sódicos, se recomienda elegir especies adaptadas a ellos.
- Tasa de infiltración menor a la intensidad de lluvia para que ocurra escurrimiento, si es más alta que la intensidad de lluvia no puede existir escurrimiento superficial.

Para determinar las dimensiones adecuadas de estos sistemas de captación, se toman en cuenta las necesidades de agua de la especie seleccionada, relacionadas con la resistencia a la sequía, por lo que resulta importante conocer el uso consuntivo de la planta, por lo anterior, a continuación se mencionan algunas prácticas alternativas para la mitigación de la sequía.

SISTEMA NEGARIM

La microcaptación tipo *Negarim* es un sistema tradicional de cosecha de agua en forma de diamante, cuya base está rodeada por bordos pequeños de tierra, con una cepa o excavación de infiltración en la esquina más baja de cada uno (figura 51).

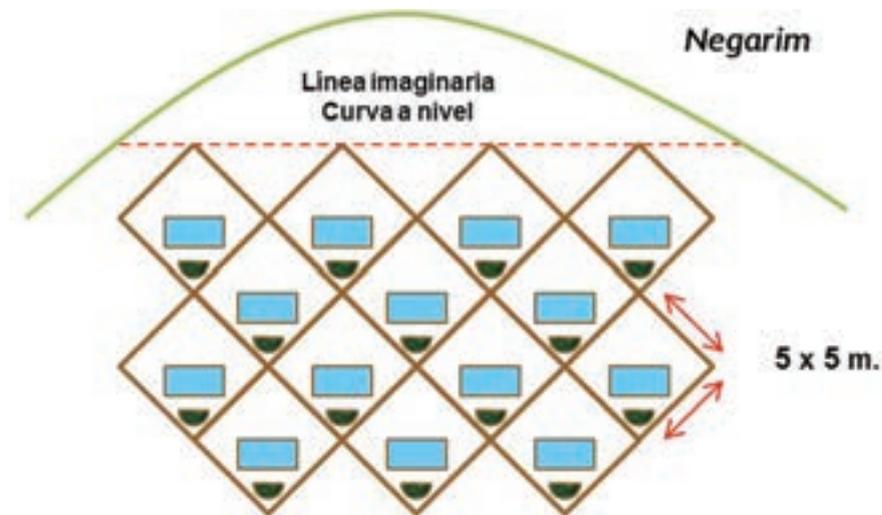


Figura 51. Esquema de las microcaptaciones en el sistema tipo Negarim.

El escurrimiento superficial se colecta desde el interior de la base y se almacena en el hoyo de infiltración.

La *microcaptación* se utiliza principalmente para plantaciones de árboles o arbustos en bajas densidades.

Este sistema es recomendable en zonas con precipitaciones de hasta 300 milímetros por año, en terrenos con pendientes no mayores al 5% y preferentemente suelos con profundidades de más de un metro, para un desarrollo radical adecuado y mejor almacenamiento de agua.

En esta obra se utiliza principalmente para captar escurrimientos que aseguren la sobrevivencia de la especie seleccionada, por lo que se debe realizar un cálculo o estimación del uso consuntivo de

la especie, considerando el área necesaria de captación para cada árbol o arbusto.

Para calcular los lados del rombo de las microcaptaciones, a partir de un área dada, se toma en cuenta:

$$Lado = \sqrt{\text{Área calculada}}$$

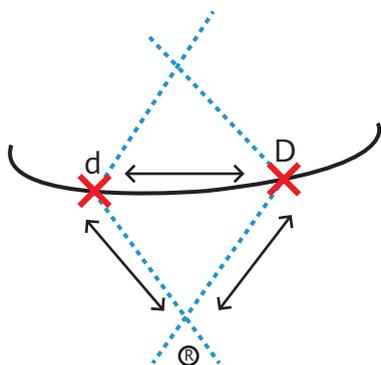
Por ejemplo:

$$\begin{aligned} Lado &= \sqrt{31.684} \\ Lado &= 5.6288 \text{ m} \end{aligned}$$

Proceso de construcción

Primer paso. Marcar dos puntos (d y D) que será la distancia de los dos extremos del bordo (figura 52 y cuadro 14), sobre la curva a nivel previamente marcada.

De cada punto, una persona toma un extremo de cuerda de longitud igual a un lado del rombo deseado, otra persona se coloca en el otro extremo con otro tramo de cuerda de la misma longitud, al extender las cuerdas, y donde las dos se encuentren aguas abajo, se marcará el punto de referencia (R), la misma acción se realiza aguas arriba para obtener los 4 puntos del rombo.



Para conocer las dimensiones adecuadas de la obra, deberá previamente haber revisado y calculado la superficie necesaria de captación por planta.

Segundo paso. Realizar manualmente la excavación y conformación del bordo, con los puntos marcados.

Figura 52. Marcado del rombo de microcaptación.

En línea recta de punto a punto

se excava y reúne el suelo hasta obtener la altura de al menos 25 centímetros en cada lado. Aguas abajo, cerca del hoyo de infiltración se aumentará la altura conforme lo calculado.

Cuadro 14. Altura (cm) de bordos en terrenos de mayor pendiente.

Tamaño de la Unidad de Microcaptación (m ²)	Pendiente del Terreno (%)			
	2	3	4	5
5 x 5	25	25	30	35
6 x 6	25	25	35	45
8 x 8	25	35	45	35
10 x 12	30	45	55	No recomendable
12 x 12	35	50	No recomendable	No recomendable
15 x 15	45	No recomendable	No recomendable	No recomendable

Nota. Estas alturas definen la altura máxima del bordo (debajo del hoyo). El volumen del bordo de excavación/total permanece constante para un tamaño dado de microcaptación (figura 53).

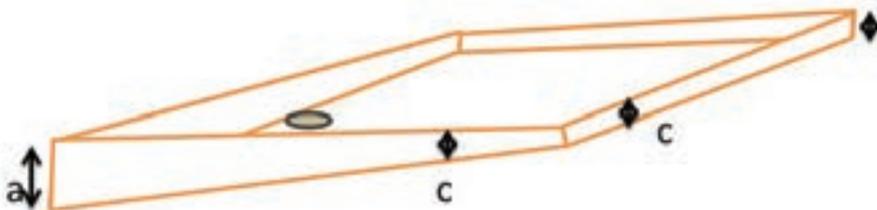


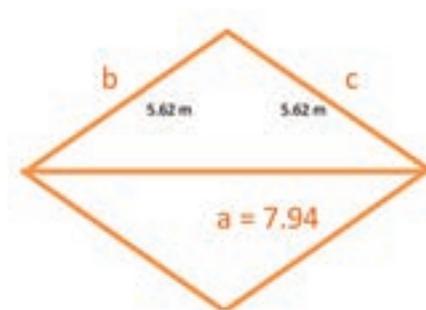
Figura 53. La altura de bordo se mantiene constante hasta el fondo del rombo, en donde para mayor retención de humedad o escurrimientos debe aumentarse la altura del mismo, ver cuadro 14.

Para determinar la distancia (sobre la línea) de los extremos del rombo:

$$a = \sqrt{b^2 + c^2}$$

$$a = \sqrt{5.62^2 + 5.62^2}$$

$$a = 7.94 \text{ m}$$



Tercer paso. En la parte inferior del rombo, se realiza una zanja o cepa que será el recipiente final de los escurrimientos para que sean captados en la superficie del *Negarim*.

La forma de la excavación será indistinta; sin embargo, como mínimo deberá tener 30 centímetros de ancho por 30 centímetros de profundidad. Estas dimensiones dependerán de la cantidad de lluvia máxima en 24 horas a captar.

La zanja o cepa de infiltración debe estar a una distancia mínima de 15 centímetros del borde del *Negarim*, puede escarbarse una sola zanja o dividirse en dos (figuras 54 y 55).



Figura 54. Zanja de infiltración.



Figura 55. Zanja de infiltración dividida.

El suelo producto de la excavación del hoyo de infiltración se incorpora al bordo para aumentar su tamaño en la parte baja del *Negarim*.

Cuarto paso. Plantar cerca del hoyo de infiltración la especie seleccionada.

Otra forma de plantación consiste en únicamente realizar la excavación de una zanja y dejar un escalón dentro de la misma para incorporar la planta, de esta manera se utiliza la misma obra (figura 56).

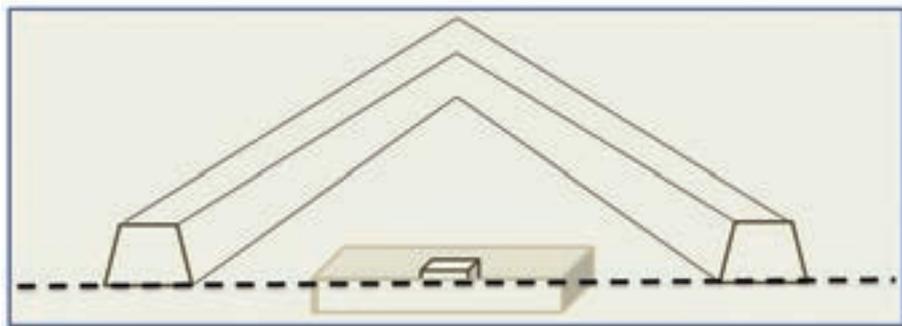


Figura 56. Colocación de la planta en el sistema *Negarim*.

Quinto paso. Continuar con la construcción de las siguientes *microcaptaciones*, tomando en cuenta que los ápices del borde “V” ya formados en la hilera aguas arriba, corresponden a los puntos d y D de la *microcaptación* aguas abajo.

Se repite el procedimiento de las cuerdas y se obtendrán las siguientes *microcaptaciones*. Como resultado se obtendrán los diamantes (vista aérea) o negarines cerrados.

Recomendaciones

- Si la construcción inicial de estos sistemas es realizado con maquinaria, después de la plantación, el mantenimiento se debe realizar en forma manual para no dañar la reforestación.
- Es recomendable recubrir los bordos con otros materiales como piedras, pastos o vegetación.
- El hoyo de infiltración o zanja, no debe ser mayor a los 40 centímetros de profundidad, esta medida no debe ser excedida para evitar pérdidas de agua a través de la percolación profunda y para reducir el movimiento de tierra al excavar.
- Debido a que estas obras se realizan en zonas con escasa precipitación, se sugiere agregar composta o materia orgánica que ayude a la retención de humedad.

BORDOS EN “V”

Esta práctica consiste en una variación al sistema *Negarim*, ya que la construcción de la estructura inicia y finaliza en forma de “V” o en forma semicircular.

En este caso el agua que se capta puede fluir dentro o fuera del sistema (*ex situ*), por lo tanto, la capacidad de almacenamiento es menor que en un sistema cerrado, como el *Negarim*.

Proceso de construcción

Primer paso. Marcar un punto de referencia sobre el que se iniciará un extremo del bordo, sobre la curva a nivel previamente marcada, considerando el distanciamiento sobre la línea, marcar el siguiente punto sobre la línea.

Con ayuda de dos cuerdas con longitud igual a las dimensiones elegidas, colocarse en cada punto marcado y donde confluyen los extremos marcar un punto simulando un compás. Se utilizan dos tramos de cuerda del largo de bordo deseado colocados en los puntos (a – b) se estira la cuerda hasta donde se encuentren ambas (ápice). Se marca este punto con una estaca. Este punto será donde termine el bordo o “V”. Esta será la referencia para construir el bordo.

Segundo paso. Realizar la conformación del bordo del punto a o b en línea recta hacia el ápice, de esta manera se construye la microcaptación, quedando un área abierta.

La altura de bordo debe ser mínimo 30 centímetros, evitando en lo posible crear un canal o zanja a ambos lados del bordo, buscando que la parte más baja tenga una mayor altura.

Tercer paso. Luego de haber construido los bordos, en la parte inferior de la “V” se construirá la zanja u hoyo de infiltración.

Cerca o dentro del mismo, podrá colocar la planta con ayuda de herramientas manuales.

Debido a que únicamente se construyen los bordos inferiores del rombo, se dejará el área superior de los rombos sin construir, para continuar con la construcción de las siguientes microcaptaciones, a diferencia de los negarines, tendrá que considerar una separación entre líneas, esto se llevara a cabo, tomando en cuenta el diseño “tres bolillo” (figura 57).

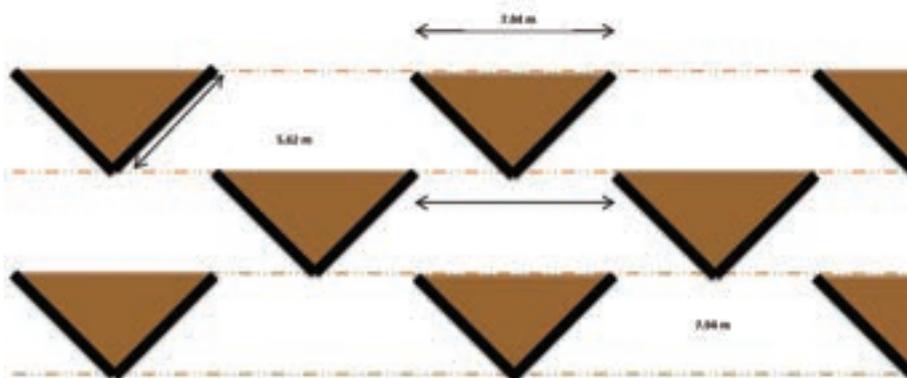


Figura 57. Acomodo de los bordos en “V”.

Recomendaciones

- Si existe riesgo de daño, deberá construirse una zanja interceptora de escorrentía aguas arriba de la zona de las *microcaptaciones*. Esta deberá construirse antes que las *microcaptaciones* o antes de la fecha estimada de lluvia.
- La planta se debe establecer fuera del hoyo de infiltración, podrá en su caso realizar un escalón dentro de la misma que sea el sitio para la plantación.
- El bordo debe ser debidamente compactado y preferentemente recubierto con otros materiales en su talud inferior externo.

Capítulo 8.
Obras para el control de la erosión
en cárcavas





CONTROL DE CÁRCAVAS

Los azolves producidos por la erosión del suelo disminuyen la capacidad de almacenamiento de cuerpos de agua, aumentan la turbidez de la misma y con ello reducen la cantidad de oxígeno disuelto en ella, lo que impide la proliferación de organismos vivos, entre ellos plantas y animales.

Las cárcavas representan la degradación extrema de un terreno, modifican el relieve y lo vuelven prácticamente improductivo para cualquier uso.

Los objetivos del control de cárcavas son los siguientes:

1. Control de los escurrimientos superficiales.
2. Corrección de la pendiente del cauce.
3. Disminuir la producción y arrastre de sedimentos.
4. Mejorar la calidad del agua escurrida.
5. Estabilización de taludes.
6. Propiciar el desarrollo de la vegetación natural.
7. Aumentar la infiltración y recarga de acuíferos.
8. Captación del agua.
9. Mejorar el acondicionamiento hidráulico de los ríos.

La estrategia para el control de cárcavas depende de algunos principios como los siguientes:

- *Delimitar el área con cárcavas para definir las zonas de trabajo.*
- Realizar un recorrido de campo a lo largo de la cárcava.
- Definir cuál es el origen de los escurrimientos.

La delimitación permite definir las zonas de ladera que generan escurrimientos superficiales, que son las zonas de crecimiento de las cárcavas.

Durante el recorrido se obtiene información como el perfil longitudinal, las pendientes medias de los diferentes tramos y las secciones transversales.

Conociendo el origen de la problemática la primera acción a realizar es eliminar la causa que la originó, por lo que se consideran trabajos en dos niveles: nivel de ladera o nivel de la cárcava.

Los trabajos a nivel de ladera tienen como objetivo evitar, reducir o controlar el escurrimiento superficial y aumentar la filtración de agua en el suelo.

Los trabajos a nivel de cárcava se realizan siempre y cuando las prácticas a nivel ladera no sean suficientes para controlar el escurrimiento. El objetivo de estas actividades es el de disminuir la velocidad del agua, favorecer la sedimentación de las partículas que lleva en suspensión y finalmente estabilizar la cárcava.

En el anexo 2, se pueden consultar desglosados los rendimientos para estimar el costo de obra.

Etapas para el control de cárcavas:

De acuerdo a los tipos de crecimiento de una cárcava, los trabajos para su control se dividen en:

- 1.** *Control de la longitud.*
- 2.** *Control de la amplitud.*
- 3.** *Control de la profundidad.*

1. CONTROL DE LA LONGITUD DE CÁRCAVAS

Es la etapa más importante, ya que al evitar el crecimiento en longitud se impide que la cárcava continúe creciendo evitando la entrada de la escorrentía al cauce, o bien se disminuye la velocidad de la misma.



Foto 95. Control de la longitud de cárcavas

El control de la longitud de cárcavas se realiza mediante distintos procedimientos, tales como el cabeceo de cárcavas, el cual tiene la finalidad de reducir la erosión por caída, así como la construcción de zanjas interceptoras de escorrentía, las cuales tienen el objetivo de conducir el escurrimiento del área de captación hacia otros desagües.

Este tipo de obras para el control de la longitud de cárcavas se complementa con la colocación de una presa de control de azolves situada al pie del cabeceo que se haya instalado.

Es importante permitir el establecimiento de la vegetación en el área de influencia de la cárcava, para lo cual se debe evitar el pastoreo, protegiendo mediante cercado en un área de por lo menos una distancia igual o cinco veces mayor a la profundidad de la cárcava, o bien, colocando barreras de plantas espinosas.

Finalidad del cabeceo de cárcavas:

1. Evitar el crecimiento en longitud de la cárcava.
2. Estabilizar y cubrir los taludes en la parte inicial de la cárcava.
3. Disminuir la pendiente de los taludes para evitar deslizamientos.
4. Cubrir el suelo descubierto evitando el impacto de las gotas de lluvia y las corrientes de agua.

CABECEO DE CÁRCAVAS CON PIEDRA



Foto 96. Cabeceo de cárcavas.

Consiste en el recubrimiento con material inerte como piedras (zampeado seco), o material vegetal muerto (morillos) que tienen la finalidad de disminuir la inclinación de la entrada de la escorrentía en la cárcava, además de proteger el suelo después del recubrimiento del talud para amortiguar la energía de caída de la corriente (foto 97).



Foto 97. Cabeceo de cárcavas con piedras.

El diseño del cabeceo de cárcavas se enfoca a disminuir la pendiente de entrada a la cárcava, que comúnmente es de 90 grados, a una pendiente que no cause erosión, la cual se ha estimado en ángulos de inclinación menores a 45 grados.

Proceso de construcción

Primer paso. Medir la profundidad de la cárcava.

Esta medición se realiza en la parte inicial para calcular el diseño del cabeceo (figura 58). Si la profundidad de la cárcava es igual o mayor a dos metros, no se recomienda hacer el cabeceo mediante el zampeado seco de piedra, por lo que se debe pensar en otro método, como zanjas interceptoras de escorrentía o colocación de especies naturales en los taludes.

La medición de la profundidad de la cárcava es de utilidad para definir la inclinación del talud para la construcción del zampeado.

Segundo paso. Definir la inclinación del talud.

El grado de inclinación a que se despalmará el talud es normalmente de 1:1 o 45°, pero pueden realizarse taludes de 1.5:1, 2:1 o 3:1, donde el número inicial indica el número de veces por la que se multiplica.

En cárcavas de uno a dos metros de profundidad se recomienda usar un talud 0.5:1, reforzando bien el zampeado para darle mayor estabilidad.

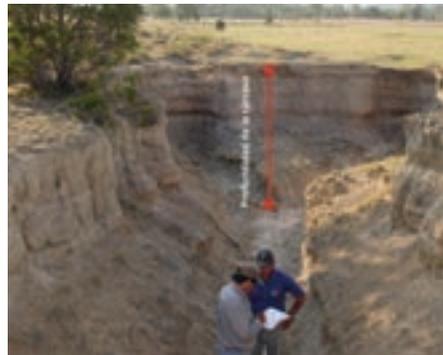


Figura 58. Medición de la profundidad de una cárcava para suavizar el talud.



Figura 59. Inclínación de taludes.

Ejemplo: se desea hacer un talud 1:1 ó 45° y la cárcava tiene un metro de profundidad, entonces se mide un metro de distancia aguas arriba del borde inicial de la cárcava, de tal manera que al desvanecer el suelo un metro de profundidad de manera diagonal, el talud de suelo firme tendrá un ángulo de inclinación de 45° .



Es importante conocer la textura del suelo para saber cuál es la inclinación más adecuada al talud, entre más gruesa sea la textura, menor debe ser el ángulo de inclinación del talud.

Figura 60. Zona de aplicación de cabeceo

Tercer paso. Despalmar la cabecera de la cárcava.

Esta actividad se lleva a cabo con pico, pala u otro instrumento manual. Cuando la cárcava es muy profunda se puede construir un escalón para facilitar los trabajos.



Figura 61. Despalmar de un talud con inclinación 1:1.

Cuarto paso. Colocar la piedra cubriendo todo el talud (foto 98).

La colocación del zampeado de piedra se hace de aguas abajo hacia aguas arriba, empotrando una pequeña barrera de piedras en el suelo a una profundidad mínima de 20 centímetros, a partir de esa barrera, se empieza a colocar el zampeado hasta llegar al borde inicial de la cárcava.



Foto 98. Colocación del zampeado de piedra.

Recomendaciones:

- Es conveniente prolongar el recubrimiento de piedra en el fondo de la cárcava, como mínimo un tercio de la longitud del talud para evitar el golpeteo directo de la corriente de agua sobre el suelo.
- Colocar la primera presa de control de azolves sobre el fondo de la cárcava, a uno o dos metros de distancia después del zampeado (foto 99).

Foto 99. Cabeceo de cárcava mediante el zampeado de piedra y presa de piedra acomodada.



Cabeceo de cárcavas mediante zanjas interceptoras de escorrentía.

Cuando las cárcavas son mayores a dos metros de profundidad, realizar el cabeceo mediante zampeado seco es poco conveniente ya que en la mayoría de las veces se requiere maquinaria lo que resulta costoso sobre todo considerando lo alejado que se encuentran las áreas forestales.

Como ejemplo de lo anterior, se tiene una cárcava de cinco metros de profundidad. Para hacer el cabeceo dejando un talud 1:1, requerirá un corte horizontal hasta cinco metros, lo que significa que formará un triángulo de cinco metros por cada lado, por lo cual el área resultante será de 12.5 metros cuadrados (m^2), lo que daría como resultado 12.5 metros cúbicos (m^3) de volumen por cada metro de sección que deben ser retirados del talud, por lo que al considerar toda la cabecera de la cárcava resulta un volumen muy grande que no es conveniente remover.

Para casos como éste, se prefiere controlar la longitud de la cárcava mediante zanjas interceptoras de escorrentía que impidan la entrada de agua a la cárcava y por lo tanto su crecimiento longitudinal.

Las zanjas interceptoras de escorrentía, o canales de desviación, deben encauzar toda el agua que se vierta en ella, es decir la máxima escorrentía que pueda ocurrir en el área de captación que drena hacia la cárcava; entonces la zanja debe estar diseñada para captar el 100% del escurrimiento del área.

Para realizar un diseño adecuado de esta obra, es necesario obtener información mediante diferentes cálculos, los cuales se detallan a continuación:

Cálculo del escurrimiento medio y coeficiente de escurrimiento

La primera parte del diseño de la zanja, consiste en calcular el escurrimiento medio que se produce en el área para lo cual se utiliza

el procedimiento establecido en el capítulo de escurrimientos para una lluvia máxima en 24 horas, considerando un periodo de retorno de cinco años. Se recomienda el cálculo mediante el método de las curvas numéricas.

Posterior al cálculo del escurrimiento medio, se determina el coeficiente de escurrimiento, el cual se obtiene de dividir el escurrimiento medio entre la lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 5 años.

Cuando no se cuente con datos para estimar el coeficiente de escurrimiento, éste se puede obtener a partir del siguiente cuadro:

Cuadro 15. Coeficiente de escurrimiento según el tipo de vegetación y textura del suelo.

Topografía y vegetación	Textura del suelo		
	Gruesa	Media	Fina
Bosque			
Plano (0-5% de pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6 a 10% de pendiente)	0.25	0.35	0.50
Escarpado (11 a 30% de pendiente)	0.30	0.50	0.60
Pastizales			
Plano (0-5% de pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6 a 10% de pendiente)	0.16	0.36	0.55
Escarpado (11 a 30% de pendiente)	0.22	0.42	0.60
Terrenos cultivados			
Plano (0-5% de pendiente)	0.30	0.50	0.60
Ondulado (6 a 10% de pendiente)	0.40	0.60	0.70
Escarpado (11 a 30% de pendiente)	0.52	0.72	0.82

Cálculo del escurrimiento máximo

Para el cálculo del escurrimiento se usa el método racional y puesto que, en la mayoría de las estaciones en México, no se dispone de la medida de intensidad de la lluvia, se usa entonces el método

racional modificado, el cual considera la lluvia máxima en 24 horas, dicho cálculo se realiza con la siguiente fórmula:

$$Q = 0.028 CLA$$

Dónde:

Q = escurrimiento máximo (m³/s).

0.028 = constante numérica resultante de las unidades en que se reflejan los parámetros.

C = coeficiente de escurrimiento, obtenido mediante las curvas numéricas o del cuadro 15.

L = lluvia máxima en 24 horas (cm).

A = área de escurrimiento que entra directamente a la cárcava (ha).

El área de escurrimiento se debe definir de forma adecuada, ya que a la zona de la cárcava sólo entra una porción del escurrimiento, por lo que se debe tomar en cuenta el área de aporte a la cárcava y no la cuenca. Considerar que la zanja interceptora de escorrentía se está usando como opción de cabeceo de cárcavas.

Obtención de la velocidad máxima permisible

Este dato se obtiene según el tipo de suelo de acuerdo con el siguiente cuadro:

Cuadro de velocidad máxima permisible (m/s):

Material	Suelo desnudo	Paso con cobertura media	Pasto con buena cobertura
Arena limosa	0.3	0.75	1.5
Arena fina	0.5	0.9	1.5
Arena gruesa	0.75	1.25	1.7
Arena	0.75	1.5	2
Migajón arcilloso	1	1.7	2.3
Arcilla	1.5	1.8	2.1
Grava gruesa	1.5	1.8	

Material	Suelo desnudo	Paso con cobertura media	Pasto con buena cobertura
Tepetate, material consolidado	1.8	2.1	
Material cementado	2.5		

Con los datos de gasto y velocidad se procede al cálculo del área de la sección transversal, mediante la fórmula de gasto, despejando el área:

$$A=Q/V$$

Dónde:

A = Área de la sección transversal (m²).

Q = Ecurrimiento máximo (m³/s).

V = Velocidad máxima del flujo en la zanja en funcionamiento (m/ s).

Posteriormente de acuerdo a la sección del canal, que normalmente es rectangular, se propone una altura del canal y se aplica la fórmula de su área **A = b d**, despejando la base, fórmula queda así **b=A/d**

Dónde:

b= base y **d** = altura del canal, ambos en metros.

Posteriormente se aplica la fórmula de Manning, para corroborar que el diseño del canal es el adecuado y no se está rebasando la velocidad permisible.

Ejemplo para el diseño de una zanja interceptora:

Se requiere diseñar una zanja interceptora de escorrentía en el ejido Monte Caldera, S.L.P., donde la lluvia máxima en 24 horas con un periodo de retorno de 5 años es de 114 milímetros y el área de captación de agua que llega finalmente a la cárcava es de 3 hectáreas, de las cuales 1.8 ha presentan cobertura forestal buena (50 al 75% del área) y 1.2 ha, presentan una cobertura con pastizal sobrepastoreado (figura 62). La longitud de la zanja será de 175 metros y el suelo donde se construirá cuenta con una textura arcillosa.



Figura 62. Vista aérea de una cárcava en Monte Caldera, S.L.P.

De acuerdo a las fórmulas señaladas, se obtuvo lo siguiente:

Escurrimiento en la zona de bosque: 18.72 mm

Escurrimiento en la zona de pastizal: 76 mm

Con los datos del escurrimiento medio, se procede a calcular el coeficiente de escurrimiento, que es la lámina que escurre, entre la lluvia máxima:

Coefficiente de escurrimiento en la zona de bosque: $18.72 \text{ mm} / 114 \text{ mm} = 0.16$

Coefficiente de escurrimiento en la zona de pastizal: $76 \text{ mm} / 114 \text{ mm} = 0.66$

Se recomienda utilizar este procedimiento para el cálculo del coeficiente de escurrimiento, a diferencia del cuadro 15, puesto que estamos calculando el coeficiente con los datos específicos.

Una vez calculado el coeficiente de escurrimiento por zona, se calcula el coeficiente de escurrimiento total a través de un promedio ponderado, dicho promedio ponderado es de 0.36.

Calculado el coeficiente de escurrimiento se procede a calcular el escurrimiento del área con la fórmula

$$Q = 0.028 \text{ CLA}$$

$$Q = 0.028 (0.36) (11.4) (3)$$

$$Q = 0.344 \text{ m}^3/\text{s}$$

De acuerdo al cuadro de velocidad máxima permisible, se selecciona 1.8 m/s.

Con los datos anteriores se calcula el área de la sección transversal por medio de la siguiente fórmula:

$$A = \frac{Q}{V}$$

Donde:

A = área de la sección transversal (m^2).

Q = escurrimiento máximo (m^3/s).

V = velocidad máxima del flujo (m/s).

Por lo que con los datos anteriores tenemos que:

$$A = \frac{0.344}{1.8} = 0.191 \text{ m}^2$$

La práctica más común en el diseño de zanjas interceptoras en zonas forestales, es la sección rectangular, por lo que el diseño de la zanja será de esta forma.

El área transversal de una zanja rectangular es:

$$A = b * d$$

Donde:

b= base (m).

d= altura de la zanja (m).

Se propone una altura de la zanja $d = 0.40$ metros, por fines prácticos, similar a la profundidad de las zanjas trinchera, zanja bordo o terrazas de formación sucesiva.

Por anterior tenemos que:

$$b = \frac{A}{d} = \frac{0.191 \text{ m}^2}{0.40 \text{ m}}$$

$$b = 0.48 \text{ m}$$

Por lo tanto la zanja propuesta será de base 0.48 y una altura de 0.40 metros.

Para verificar que la zanja de estas características se conduce a una velocidad no erosionable y no rebasa la velocidad máxima permisible se hace uso de la ecuación de Manning:

$$V = \frac{r^{(2/3)} * s^{(1/2)}}{n}$$

Donde:

V= velocidad estimada (m/s).

n= coeficiente de rugosidad.

r= radio hidráulico (m).

s= pendiente del canal (m)

El radio hidráulico se calcula con la fórmula:

$$r = \frac{A}{P}$$

De donde A es el área de la sección transversal (1.91 m²), P es el perímetro mojado, el cual se obtiene con la siguiente fórmula:

$$P=b+2d$$

Por lo que:

$$P=0.48 \text{ m}+2(0.40\text{m})$$
$$P=1.28\text{m}$$

Por lo que el radio hidráulico será de:

$$r = \frac{A}{P} = \frac{0.191 \text{ m}^2}{1.28 \text{ m}}$$

$$r = 0.149 \text{ m}$$

El coeficiente de rugosidad se selecciona del siguiente cuadro, a partir de las condiciones prevaletientes del terreno:

Cuadro de coeficientes de rugosidad:

A	Canales libres de vegetación	n
	Sección transversal uniforme, bien alineado, libre de piedras y vegetación, en suelos finos.	0.016
	Sección transversal uniforme, bien alineado, libre de piedras y vegetación, en suelos arcillosos o consolidados	0.018
	Sección transversal uniforme, bien alineado, con pocas piedras y escasa vegetación, en suelos arcillosos	0.02

A	Canales libres de vegetación	n
	Secciones transversales con poco a variación, regularmente alineados, con pocas piedras, con pasto en las orillas, en suelos arenosos y arcillosos, también en canales barbechados	0.0225
	Alineación irregular, con obstrucciones en el lecho, en suelos, gravosos o calizos, con vegetación escasa en los bancos.	0.025
	Sección irregular sin alineación, con rocas o grava suelta en el fondo, con hierbas en los bancos o materiales gravosos con diámetro mayor de 15 cm	0.03
	Canal erosionado en forma irregular, o canales en rocas.	0.03
B	Canales con vegetación	
	Pasto corto (50-150 mm)	0.030-0.060
	Pasto de porte mediano (150-250 mm)	0.030-0.0850
	Pasto largo (250-600 mm)	0.040-0.150
C	Canales naturales	
	Limpio y recto	0.025-0.030
	Canal sinuoso con pequeñas depresiones	0.033-0.040
	Canal con vegetación y sinuoso	0.075-0.150

Para este ejemplo, por las condiciones del terreno se considera un coeficiente de 0.0225.

La pendiente máxima permisible se obtiene según características del suelo y la longitud de la zanja, de acuerdo con el siguiente cuadro:

Cuadro de pendientes máximas permisibles:

Longitud (m)	Pendiente (%)	
	Suelo erosionable*	Suelo resistente**
Mayor de 150 m	0.35	0.5
60-150 m	0.5	0.65
30-60 m	1	1.5
Menor de 30 m	2	2.5

* Suelos arenosos a francos

** Suelos arcillosos

Dado que la zanja es mayor de 150 metros y se construirá en suelos arcillosos (resistente), la pendiente es de 0.5 % (0.005).

Sustituyendo tenemos:

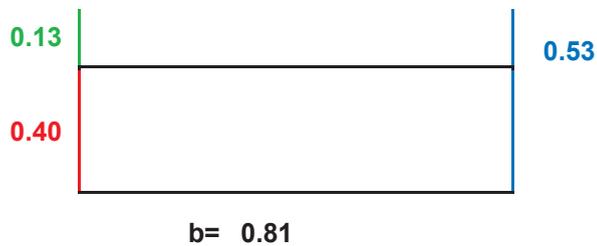
$$V = \frac{(0.149)^{2/3} (0.005)^{2/3}}{0.0225} = 0.88 \text{ m/s}$$

Aunque la velocidad estimada obtenida es mayor a la permisible (1.8 m/s), se debe volver a calcular las dimensiones del canal ya que al aplicar la ecuación de gasto ($Q=A*V$), $Q=0.169 \text{ m}^3/\text{s}$, este valor es menor al escurrimiento máximo instantáneo de $0.344 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo cual:

1. Se debe cambiar la altura del canal.
2. Si con lo anterior no se logra que la velocidad sea menor a la permitida, se deberá cambiar la velocidad (la que se obtuvo del cuadro correspondiente).
3. Si a pesar de los dos anteriores no se alcanza lo deseado, entonces se deberá cambiar la pendiente permisible (obtenida del cuadro correspondiente).

En los dos últimos casos, no se deben rebasar los valores permisibles.

Continuando con el procedimiento descrito anteriormente se obtiene que con 0.40 m de altura de la zanja y proponiendo una velocidad de 1.07 m/s, se obtiene una velocidad no erosionable de 1.08 m/s, menor a la permisible, con lo cual se obtiene una base de 0.805 metros, con esto el gasto obtenido es prácticamente igual al gasto máximo ($0.3470 \text{ m}^3/\text{s}$ contra $0.3447 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente). Al canal deberá dársele un bordo libre del 30% la altura obtenida, por lo cual el diseño final del canal es (unidades en metros):



Este cálculo del diseño es el que se considera más adecuado, ya que como se mencionó, normalmente las zanjas son de sección rectangular.

Proceso de construcción:

Primer paso. Identificar las características del terreno.

Se analiza la situación del terreno para identificar si es necesaria la obra, considerando algunas de las siguientes situaciones:

- Erosión laminar fuerte, presencia de pavimentos de erosión (afloramiento de tepetate).
- Erosión remontante en cárcavas de dimensiones mayores a 2 metros de profundidad.

Segundo paso. Construir la zanja interceptora.

Construir la zanja a una distancia mínima de 10 metros desde donde comienza la cárcava, siguiendo la pendiente permisible, en ningún caso la zanja deberá tener una pendiente mayor a 2.5% y continuar su construcción hasta que desfogue en un arroyo, río o cárcava estabilizada. Es importante considerar la construcción de tramos con drenaje entubado de al menos tres metros de largo, espaciados cada 50 m, para permitir el libre flujo de fauna (figura 63).

La zanja puede tener una vida útil de cinco a diez años, durante los cuales se deben realizar tareas de limpieza, para remover los desechos acumulados y malezas que se hayan desarrollado dentro de la zanja.

Recomendaciones

- El bordo se debe formar aguas abajo, con el producto del suelo extraído mínimo a 20 centímetros de distancia de la zanja.
- Es conveniente compactar el bordo formado para evitar que el agua arrastre el suelo. De ser posible, se recomienda coronarlo con vegetación para darle mayor estabilidad.
- Es recomendable establecer pastos en el camellón, lo que le dará mayor estabilidad a la zanja.

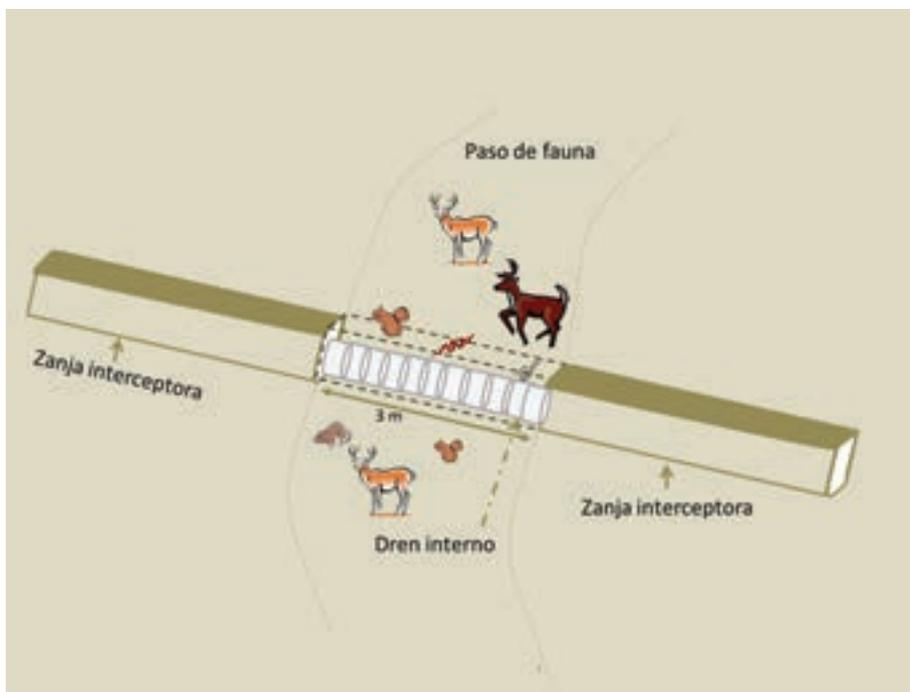


Figura 63. Drenaje entubado para paso de fauna.

2. CONTROL DE LA AMPLITUD DE CÁRCAVAS

Este apartado se enfoca a la protección de los taludes en cárcavas.

El control de la amplitud o ancho de las cárcavas se efectúa mediante acciones directamente para el control de taludes, lo cual evita que las presas se azolven rápidamente y que se destruyan con facilidad.

Un talud es la pared que se forma en el suelo cuando la cárcava ha crecido en profundidad o también cuando se realiza un corte en el terreno (principalmente para la construcción de caminos) modificando la pendiente original de la ladera, resultando normalmente un pendiente de mayor inclinación (foto 100).



Foto 100. Talud en cárcava.

ESTABILIZACIÓN DE TALUDES



Foto 101. Estabilización de taludes.

El objetivo del control de taludes es evitar el crecimiento lateral y se fundamenta en buscar el ángulo de reposo adecuado para el suelo y sedimentos, disminuyendo la inclinación de los taludes y recubriéndolos para evitar la erosión en los mismos y propiciar el crecimiento de la vegetación.

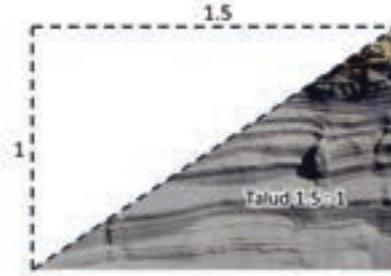
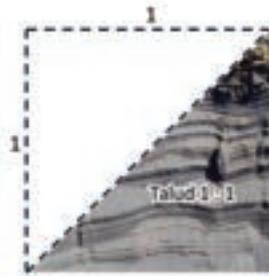
Proceso de construcción

Primer paso. Despálme del talud hasta el ángulo de reposo.

Para hacer el desvanecimiento del talud se mide la profundidad de la cárcava y la distancia horizontal requerida usando la proporción del talud. Por ejemplo, si la profundidad de la cárcava es de 2.5 metros, y se programa la realización de un talud 1.5:1, entonces se multiplica 2.5×1.5 y obteniendo la distancia horizontal a la que se debe desvanecer el talud, que en este caso es de 3.75 metros al hacer el desvanecimiento, el talud resultante será de 1.5:1.

Los taludes se clasifican de acuerdo a su proporción horizontal y vertical, correspondiendo la primera medida a la proporción horizontal y la segunda a la proporción vertical (altura del talud).

Los taludes recomendados para control de la amplitud de las cárcavas son:



Figuras 63 y 64. Talud con inclinación 1:1. (derecha) y Talud con inclinación 1.5:1 (izquierda)

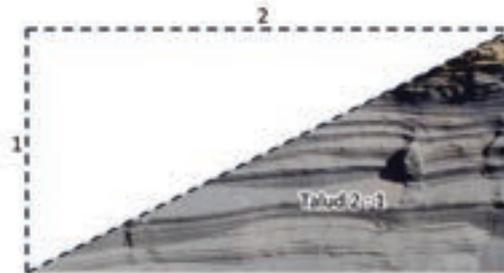


Figura 65. Talud con inclinación 2:1.



Figura 66. Talud con inclinación 3:1.

Segundo paso. Cubrir el talud.

El recubrimiento del talud se realiza a lo largo de la cárcava y regularmente se utiliza un material que lo proteja de la erosión del agua, para lo cual se pueden utilizar piedras.

El acomodo de la piedra se realiza iniciando del fondo de la cárcava hasta cubrir la totalidad del talud, debe cimentarse bien la piedra en el talud para evitar la socavación (foto 102).



Foto 102. Estabilización de taludes mediante zampeado seco de piedra.

Otra opción para la estabilización del talud es mediante vegetación con fajinas de paja cuando se requiere que se establezca de forma rápida para evitar deslizamientos. En estos casos se recomienda el uso de fajinas construidas con una red en forma de tubo lleno de paja o de fibra de coco, conocido comúnmente como “chorizo” (foto 103).



Foto 103. Fajinas o chorizos de paja.

La fajina se coloca transversal a la pendiente, fijándose con estacas que las atraviesan y se anclan en el talud para mayor estabilidad. Las estacas deben ir espaciadas como máximo un metro, mientras que las fajinas se separan aproximadamente cinco metros una de otra.

Aguas arriba de la fajina se colocan estacas de especies que enraícen fácilmente para que sea recubierto el talud por vegetación y se estabilice el suelo con las raíces de las plantas (foto 104).



Foto 104. Fajina de paja.

Otra opción para la estabilización del talud es el establecimiento de barreras vegetativas en la orilla de la cárcava, las cuales a su vez impiden el paso del ganado y con ello evitan que el pisoteo desestabilice el talud.

El establecimiento consiste en colocar al menos tres hileras de barreras vivas, espaciadas máximo a un metro entre hileras y las plantas deben colocarse de manera contigua, casi juntas una de otra para que generen una gran cantidad de raíces que estabilicen el suelo.

Las especies más efectivas para este tipo de trabajo pueden ser nopales y magueyes (foto 105).



Foto 105. Estabilización de taludes con barreras vivas de maguey y nopal.

Recomendaciones

- El uso de especies para la estabilización de taludes con fajinas depende del ecosistema, pueden ser especies como sauce, ahuejote, chaká o palo mulato, izote o yuca, cocuite, colorín, higuera, nopal, maguey y diversas especies de cactus, de igual manera también se puede usar especies arbustivas y pastos de porte alto o rastreros que tengan una gran capacidad de enraizamiento.

3. CONTROL DE LA PROFUNDIDAD DE CÁRCAVAS

Este tipo de control se realiza mediante la colocación de obstáculos o diques sobre el fondo de la cárcava, conocidos como presas.

Las presas comúnmente se hacen de materiales como mampostería, gaviones, piedras, morillos, ramas e incluso llantas, así como sus combinaciones entre ellas, dependiendo de las características de las cárcavas y del fin que se persiga.

En el diseño de presas se deben considerar las siguientes especificaciones técnicas (figura 67):

1. Espaciamiento entre presas;
2. Altura de la cortina;
3. Empotramiento; y
4. Vertedor.



Figura 67. Características de una presa.

1. Espaciamiento entre presas

El espaciamiento entre dos presas consecutivas depende principalmente de: a) la pendiente de la cárcava y b) la altura efectiva de la presa y, en menor medida, c) la finalidad del tratamiento de la cárcava y d) los sedimentos depositados o por depositar.

El criterio más efectivo es el de cabeza-pie, el cual consiste en que la altura del vertedor de la presa aguas abajo, debe coincidir con el pie de la presa de aguas arriba (figura 68 y 69).

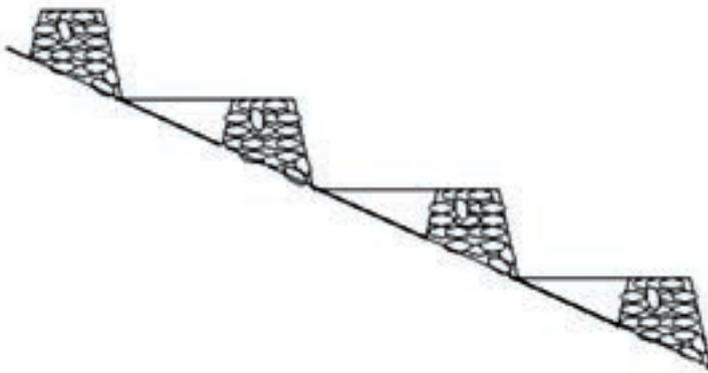


Figura 68. Presas con el criterio de separación cabeza-pie.



Figura 69. Presas de piedra acomodada construidas bajo el criterio cabeza-pie.

La construcción de las presas de control de azolves a lo largo de la cárcava para su estabilización, se debe iniciar de la cabecera de la cárcava al final de la misma, es decir, desde aguas arriba hacia aguas abajo.

La fórmula para el cálculo del espaciamiento, es la siguiente:

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

Donde:

E = espaciamiento entre presas (m).

H = altura efectiva de la presa (al vertedor) (m).

P = pendiente de la cárcava (%).

En la práctica, la ubicación de la presa es de acuerdo a las condiciones del relieve de la cárcava, a partir de donde se tenga una boquilla natural (lugar donde el cauce de la cárcava es más estrecho) (figura 70), se presenten las mejores condiciones para el empotramiento de la presa, menor volumen de construcción y mayor vaso de captación de azolves, por lo que independientemente de la distancia entre presas obtenida por la fórmula, se puede mover unos metros para encontrar estos sitios.

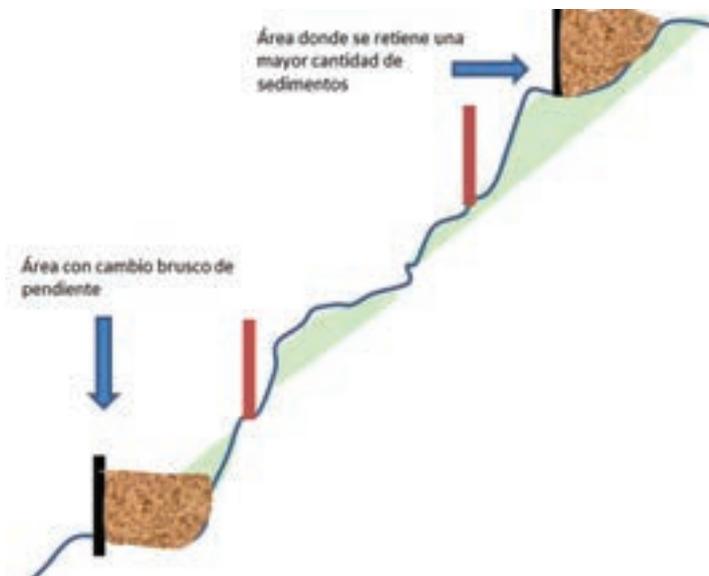


Figura 70. Ubicación de boquilla en una cárcava.

Se pueden diseñar las obras con el criterio de doble espaciamiento y, en el momento en que se azolven, se pueden construir las presas intermedias, quedando finalmente como cabeza pie. Para el calculo del espaciamiento doble cabeza-pie se considera la fórmula:

$$E=2(H/P)*100$$

Un tercer criterio consiste en ubicar las presas sólo en aquellos lugares donde existan cambios bruscos de pendiente o donde se pueda retener una mayor cantidad de sedimentos.



2. Altura de la cortina

Cuando se considera la altura de una presa se puede hacer referencia a tres tipos: la altura efectiva, altura a la corona y la altura de la estructura de la presa; la primera se refiere a la altura de la parte baja del vertedor al piso de la cárcava, la segunda desde la parte mas alta de la presa o corona al piso de la cárcava, y la última se refiere a la altura de la corona hasta la parte que está enterrada o cimentada (figura 71).

Para definir la altura a la corona de la presa se considera el material de construcción y su costo por lo que se puede sugerir que tratándose de presas de carácter temporal o semipermanente se utilicen alturas de dos metros como máximo, y sólo para las presas permanentes, como las de gaviones y mampostería, se usen cortinas de mayor altura que pueden llegar a ser iguales a la profundidad de la cárcava, aunque no se considera conveniente alturas mayores a cinco metros.

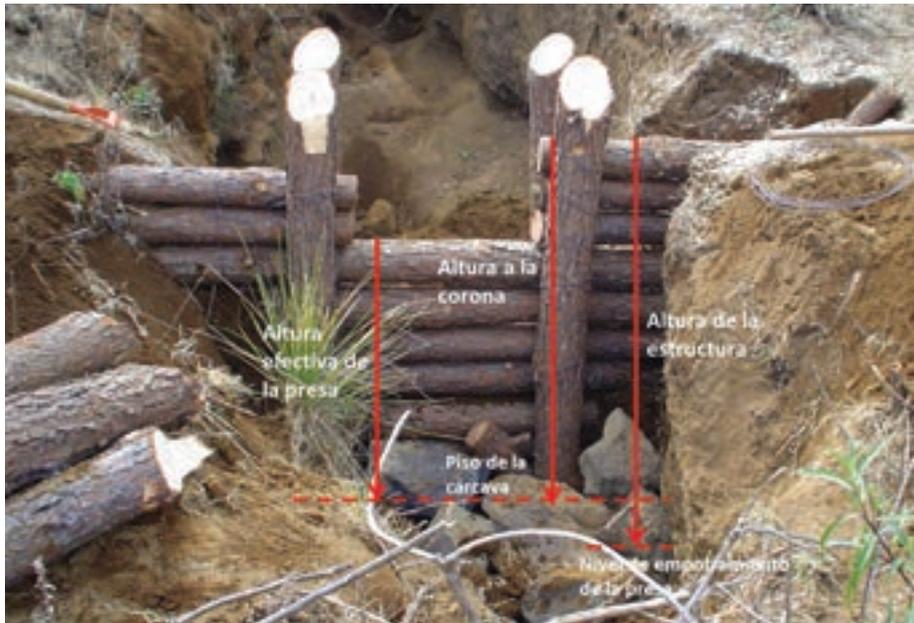


Figura 71. Altura de la cortina de una presa semipermanente.

La altura a la corona de la presa tiene influencia sobre el espaciamiento y la capacidad de retención de azolve, por lo que un criterio adicional entre construir una presa más alta o en su lugar construir dos, dependerá de los costos y de la dificultad de los procesos de construcción, para lo cual se podrán considerar las características del cuadro siguiente:

Cuadro 16. Características de presas de diferente material.

Tipo	Cárcava	Altura máxima (m)	Propósito	Costo	Otras características
Ramas	Pequeña	1	Detener azolve	Bajo si hay vegetación en la zona	Fácil de construir, poco durable.
Morillos	Pequeñas y angostas	3	Detener azolve	Bajo en áreas forestales	Apropiado para zonas forestales.
Malla de alambre	Pequeñas y angostas	1.5	Detener azolve	Relativamente bajo	Fácil de transportar y construir
Piedra acomodada	Pequeñas y angostas	2	Detener azolve	Moderado	Recomendable donde hay piedra
Gaviones	Cualquier tamaño	>2	Detener azolve	Alto	Alta durabilidad y eficiencia (requieren cálculo ingenieril)
Mampostería	Cualquier tamaño	>2	Detener azolve y captar agua	Muy alto	Alta durabilidad y eficiencia (requieren cálculo de ingenierías)

3. Empotramiento o cimentación

El empotramiento es determinante para la construcción de presas, depende de las características del fondo de la cárcava, pudiéndose empotrar de manera muy somera cuando el fondo sea rocoso o con tepetate y de manera profunda en caso de que sea arenoso.

Se recomienda un empotramiento, tanto en el fondo de la cárcava como en las paredes de la misma, para evitar que la escorrentía debilite a la presa (figura 72).



Figura 72. Empotramiento de una presa en el fondo y las paredes de una cárcava.

De acuerdo con la experiencia en la realización de esta actividad, se recomienda que la profundidad de la zanja de empotramiento (cimentación) deba ser de $\frac{1}{4}$ la altura a la corona.

Es importante considerar que el empotramiento en los taludes de la cárcava debe ser recto y en el fondo debe estar nivelado.

4. Vertedor

El vertedor es una estructura hidráulica construida normalmente en un canal abierto y su finalidad es medir el flujo de la corriente, conocido como gasto.

En el caso de las presas a las que hace referencia este manual, el vertedor se agrega con la finalidad de encauzar el agua para que pase por la parte más sólida de la estructura y evitar daños a la misma.

Se recomienda que el vertedor se ubique en la parte central de la estructura o en donde se concentre el mayor flujo de la corriente de agua, y se sugiere que tenga una longitud equivalente a un tercio del ancho de la presa y una altura aproximada de $1/5$ la altura de la estructura (figura 73).



Figura 73. Vertedor de una presa de morillos.

En algunas presas de piedra acomodada construir el vertedor de manera rectangular puede debilitar la estructura, por lo que es posible optar por dejar la corona de la presa en forma de U, de manera que la parte más baja de la U funcione como vertedor.

PRESAS PARA EL CONTROL DE AZOLVES

PRESA DE MALLA DE ALAMBRE ELECTROSOLDADA



Foto 106. Presa de malla electrosoldada, con cabeceo de piedra.

Las presas de malla electrosoldada se realizan con el tipo de malla de calibre 12 o 14, no se trata de la malla electrosoldada usada para construcción de pisos, banquetas o canchas, si no la utilizada para fabricar cancelas de jaulas para gallos.

Esta clase de presas es muy parecida a las presas de gaviones, sólo que en este caso la malla no es prefabricada, sino que se arma en el lugar, a partir de las características de las cárcavas.

Este tipo de presas resisten los embates de la escorrentía más que una presa de piedra, y es menos costosa que una presa de gaviones, por lo que se consideran estructuras intermedias.

Proceso de construcción

Primer paso. Realizar la zanja de empotramiento.

Las dimensiones de la zanja para el empotramiento dependen del tipo de presa y de la altura de la misma, su ancho se debe ajustar al grosor de la presa de que se trate, su profundidad está en función de la altura de la presa a la corona, se recomienda que sea de por lo menos $1/4$ de dicha altura, siempre y cuando no se haya alcanzado una capa endurecida o roca madre (figura 74).



Figura 74. Excavación para empotramiento de una presa.

Segundo paso. Armar los cajones.

Los cajones de malla electrosoldada se pueden construir de distintas dimensiones, el rollo de malla comercial es de 1.20 metros de altura por 20 metros de longitud y la abertura tradicional es de 5x5, 5x10 y 5x15 cm, y entre mayor es la amplitud de la malla, su costo es menor.



Foto 107. Armado de cajones con malla electrosoldada.

Las dimensiones de los cajones más usadas son de 30x30, 40x40 y 60x60 cm de alto y ancho, y la longitud de los mismos es de acuerdo a la longitud de la presa (ancho de la cárcava). Los cajones se construyen doblando la malla para formarlos.

Una vez doblada la malla, las partes se unen usando alambre galvanizado calibre 18 o alambre recocido (foto 108).



Foto 108. Unión de la malla con alambre galvanizado.

Tercer paso. Colocar y llenar los cajones.

Colocar los cajones en el fondo de la zanja realizada para el empotramiento, una vez colocada la primera hilera se procede al llenado de los mismos, se deberán buscar los lados más planos de la piedra lo más que se pueda y dejando la menor cantidad de espacios vacíos para que el cajón sea lo más pesado posible (foto 109).



Foto 109. Llenado de los cajones de malla.

Al momento del llenado es importante que se coloquen tensores, ya que de no hacerlo los cajones se deformarán por el efecto de la fuerza de la escorrentía y esto ocasionará que la presa se debilite y se derrumbe (figura 75).



Figura 75. Instalación de tensores para evitar la deformación de los cajones.

Una vez llenados los cajones se cierran y se procede a la colocación de los cajones necesarios hasta formar el vertedor (foto 110).



Foto 110. Vertedor de una presa de malla.

Cuarto paso. Construir el delantal.

Cuando las presas se construyen en forma piramidal, los escalones ejercen la función de delantal.

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



Foto 111. Cabeceo y presa de malla.

Recomendaciones

- Se recomienda su uso para el control de cárcavas menores a tres metros de altura y de igual manera se pueden usar con efectividad para el cabeceo de cárcavas de más de dos metros de profundidad.

PRESAS DE MORILLOS



Foto 112. Presa de morillos.

Los morillos son postes o troncos de diámetros mayores a 10 centímetros, producto de ramas o troncos que resultaron de afectaciones por incendios o plagas.

Este tipo de presa se construye en cárcavas pequeñas y angostas en las que es posible detener su crecimiento y estabilizarlas con prácticas sencillas y de bajo costo.

Proceso de construcción

Primer paso. Realizar la zanja de empotramiento de la presa.

Para el empotramiento se construye una zanja de $1/4$ la altura a la corona y para el ancho se sugiere se consulte la sección b del anexo 3 para presas de morillos, para lo cual se debe saber la altura a la corona de la presa (foto 113).

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



Foto 113. Empotramiento para una presa de morillos.

Segundo paso. Colocar los postes que darán soporte a la estructura.

Los postes deben tener una altura de 1.4 veces la altura de la corona, los cuales se colocan de manera vertical aguas abajo de la presa y deben estar espaciados entre 50 centímetros y máximo un metro de separación, deben estar enterrados en el suelo a una profundidad de 0.4 veces la altura a la corona.

Se recomienda colocar (dependiendo de la cantidad de hileras de morillos) la segunda hilera de postes aguas arriba de la presa, quedando así dos hileras de postes anclados en el suelo de forma vertical, entre las cuales se colocarán los morillos horizontalmente (foto 114).



Foto 114. Colocación de postes en una presa de morillos.

Tercer paso. Colocar los morillos transversalmente uno sobre otro, amarrándolos con alambre recocado a ambas hileras de postes de acuerdo al ancho de la excavación (foto 115).



Foto 115. Formación de hileras de morillos.

Cuarto paso. Formar el vertedor colocando morillos de menor longitud que cubrirán sólo un tercio de la longitud de la presa a ambos lados (foto 116).



Foto 116. Vertedor en una presa de morillos.

Los postes del anclado que pudieran haber quedado en el centro del vertedor, se pueden cortar a la altura de éste para darle una vista más estética a la presa.

Quinto paso. Construir el delantal.

El delantal puede ser un cajón construido de morillo y lleno de piedras colocado aguas abajo del vertedor, o bien morillos, piedras u otros materiales resistentes, que eviten la caída directa del agua sobre el suelo y provoquen la socavación de la estructura.

El delantal deberá estar bien cimentado en el suelo para evitar que la escorrentía lo arrastre, por lo que se recomienda que tenga una longitud de 1.5 veces la altura efectiva de la presa.



Foto 117. Delantal formado con morillos.

Recomendaciones

- El material para construir las presas (morillos, troncos o postes) debe proceder de residuos de incendios, podas o material vegetal muerto y no de la tala de árboles.
- Es recomendable compactar el suelo circundante a la presa de morillos y colocar el material obtenido de la zanja de empotramiento aguas arriba, para proporcionar mayor estabilidad a la estructura.

PRESA DE RAMAS



Foto 118. Presa de ramas entretrejidas.

Las presas de ramas son estructuras pequeñas construidas con ramas sin hojas y su función es disminuir la velocidad de la escorrentía y retener sedimentos.

Las ramas pueden ser de tres a seis centímetros de diámetro, entretrejidas o amarradas sobre los postes de anclaje en forma de barreras, que se coloca en sentido transversal a la pendiente.

A pesar de que las ramas se pudren fácilmente, la vida útil de este tipo de presas es de al menos tres años, son baratas y efectivas para el control de cárcavas pequeñas.

Se ha observado en las zonas del trópico seco (asociado con la selva baja caducifolia) que las presas de ramas son altamente efectivas y que de hecho con las ramas se han construido, desde la época precolombina, corrales para ganado, graneros y las paredes de las casas habitación (foto 119).



Foto 119. Cocina construida con ramas en el Municipio de La Paz, BCS.

Proceso de construcción

Primer paso. Realizar la zanja en el fondo y a los lados de la cárcava para empotrar la presa (figura 76).



Figura 76. Zanja para empotramiento de una presa de ramas.

Segundo paso. Anclar los postes sobre los cuales se entretrejarán las ramas (foto 120).



Foto 120. Colocación de postes para una presa de ramas.

Tercer paso. Tejer las ramas, hasta alcanzar la altura deseable para la presa (fotos 121 y 122).



Fotos 121 y 122. Tejido de las ramas.

Debido a que las ramas permiten que se filtre el agua por toda la estructura, este tipo de presas no requiere de un vertedor, aunque se aconseja dejar la parte central de la presa de menor altura.



Foto 123. Presa de ramas tejidas, nótese la resistencia del tejido al aguantar el peso de una persona.

Recomendaciones:

- En este tipo de presas se debe considerar siempre el espaciamiento cabeza-pie.
- Se recomienda que este tipo de presas se utilice en cárcavas de menos de 3 metros e ancho y su altura a la corona no debe ser mayor a un metro.

PRESA DE PIEDRA ACOMODADA



Foto 124. Presa de piedra acomodada.

Es una estructura construida con piedras acomodadas, que se coloca transversalmente a la dirección del flujo de la corriente y se utiliza para el control de la erosión en cárcavas.

Es una de las obras que principalmente se han usado para el control de cárcavas, ya que son relativamente fáciles de construir y tienen un bajo costo.

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

Al elegir este tipo de presas se debe considerar la disponibilidad de piedra en la zona.

Proceso de construcción

Primer paso. Identificar los sitios donde se ubicará cada presa, definir la altura de la presa, seleccionar las piedras y acarrearlas cerca de la cárcava a restaurar.

Se recomienda su construcción donde el tamaño de la cárcava sea más angosto, respetando el procedimiento para calcular el distanciamiento.

Cuando las piedras disponibles son tipo “laja” o planas sólo se acomodan unas sobre otras para formar una barrera con paredes rectas y estables (Foto 125).



Foto 125. Presa de piedra “laja”.

En cambio, si se cuenta con piedra “bola” o redondeada se recomienda manejarla de acuerdo con su forma, es decir, colocar la parte de mayor peso hacia abajo (como se encuentran de manera natural en el suelo) (foto 126).



Foto 126. Presa de piedra “bola”.

Segundo paso. Excavación de la zanja de empotramiento.

Dependiendo de la altura a la corona de la presa se establece la profundidad de la zanja. 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 que el empotramiento esté bien nivelado para evitar deslizamientos del material y empotrar bien la estructura durante el acomodo de piedras.

Tercer paso. Construcción del muro base.

El muro de la presa se construye de acuerdo a la altura determinada de la presa, y al ancho de la corona determinado en el paso anterior, el cual se extiende a lo ancho de la cárcava abarcando los taludes laterales excavados para el empotramiento (figura 77).



Figura 77. Muro base de una presa de piedra.

Durante la construcción del muro base, se debe formar el vertedor, el cual es una sección en forma de U (cóncava) sin piedras, en el centro del muro con una longitud de un tercio del largo de la presa (ancho de la cárcava) que sirve para encauzar el paso de los volúmenes de agua (foto 127).

En la práctica, se ha notado que el vertedor rectangular debilita la estructura, ya que al pasar la escorrentía puede derrumbar las piedras.



Foto 127. Vertedor en forma de “U”.

Quinto paso. Construcción de taludes.

En función al diseño elegido para la presa, que depende de la altura, tipo de piedra y erosividad de la escorrentía, se procede a construir 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, el talud constituye un contrafuerte que le da mayor estabilidad a la longitud de la base del talud, se obtendrá del anexo 3, sección a.

Existen diseños de presas de piedra acomodada con dos taludes; uno aguas arriba y otro 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 78).



Figura 78. Presa de piedra con un talud aguas abajo.

Sexto paso. 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 el cual tendrá una dimensión de 1.5 veces la altura efectiva de dicha presa cuando sea rectangular, y de 0.5 veces cuando sea trapezoidal (foto 128).



Foto 128. Delantal de una presa de piedra.

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.

Por ejemplo, en una cárcava que presenta 10% de pendiente, se necesitan construir presas de piedra acomodada de un metro de altura, por lo tanto, de acuerdo a la fórmula de espaciamiento entre presas (vista al inicio de la sección de control de profundidad de cárcavas) las presas deben tener una separación de 10 metros. (foto 129).



Foto 129. Separación de presas de piedra acomodada.

Para mejor calidad del agua de lluvia superficial en las microcuencas es necesaria la construcción de presas de piedra acomodada, ya que su diseño permite el paso del agua sin sedimentos. (foto 130).



Foto 130. Presa filtrante de piedra acomodada.

Recomendaciones

- Se recomienda el uso de esta obra en cárcavas con pendientes moderadas (máximo del 35%) donde la superficie del área de escurrimiento genere flujos de bajo volumen, ya que son estructuras pequeñas.
- En promedio estas presas deben medir entre 80 centímetros (cm) y 2.5 metros de altura, por lo que, en caso de presentarse cárcavas de mayor dimensión, sólo se construirán hasta esta altura.
- Siempre se deben colocar las piedras más grandes en el fondo de la cárcava y dejar la menor cantidad de huecos posibles.
- La piedra que se utilice debe proceder de bancos de piedra o que afloren en la superficie y no de lugares que presenten problemas de erosión que se acentúe por la extracción del material.
- 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, el arrastre de material y el mal funcionamiento de la obra.
- 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.
- Es conveniente plantar especies forestales o pastos en los terraplenes que se van formando con la acumulación de sedimentos, una vez que se hayan estabilizado.
- Se recomienda integrar otras prácticas de conservación de suelos, como reforestación, zanjas derivadoras de escorrentía, terrazas, entre otras, para que los resultados de la presa sean más efectivos.

PRESA DE LLANTAS



Foto 131. Presa de llantas.

Las presas de llantas se construyen para el control de azolves y escorrentías en cárcavas, se colocan de manera transversal al flujo de la corriente, usando neumáticos y constituyéndose en una opción de reciclaje de estos materiales.

Proceso de construcción

Primer paso. Seleccionar el material y excavar la zanja de empotramiento.

Es conveniente que las llantas sean de la misma medida para que queden bien ancladas en el suelo, de manera que la presa sea uniforme.

El empotramiento debe ser en forma de cuadrilátero y nivelado para que a partir de ahí se desplanten las hileras de llantas necesarias para la construcción de la presa.

Se sugiere que como parte del empotramiento, se coloque un poste en el centro de la llanta, que servirá para amarrar las filas de llantas necesarias (foto 132).



Foto 132. Empotramiento para la construcción de una presa de llantas.

Segundo paso. Formar el muro base y amarrar las llantas entre sí con alambre recocado.

Al colocar la primera fila de llantas es necesario que se llene con tierra y piedras, llenando lo más posible las “costillas” de las llantas para que tengan un mayor peso y le den mayor estabilidad a la obra.

La siguiente fila de llantas se coloca una directamente sobre otra para que la llanta de abajo no permita que se vacíe la llanta de arriba (foto 133).



Foto 133. Acomodo de las filas en la presa de llantas.

Es importante amarrar las llantas tanto entre hileras como en las mismas filas, para que la presa se constituya como un monolito y tenga un mayor soporte ante la presión de la escorrentía (figura 79).

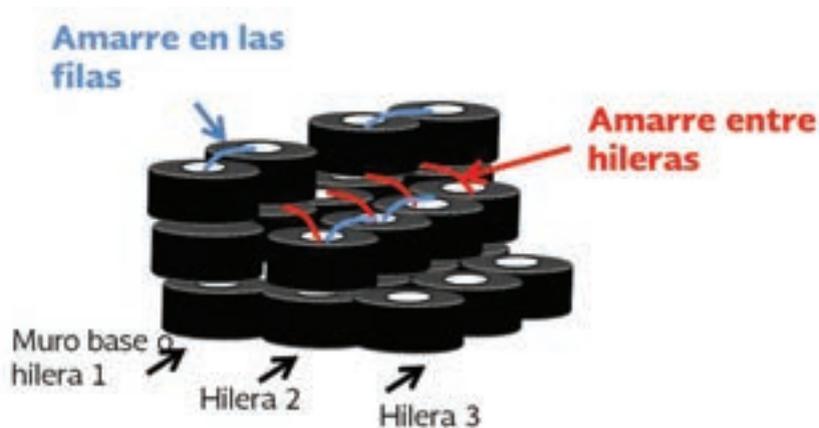


Figura 79. Amarre de llantas.

Se colocarán tantas hileras de llantas como sean necesarias para reforzar los puntos más débiles de la estructura, en caso de que la presa requiera mayor soporte (figuras 80 y 81).



Figura 80. Formación de la presa con tres hileras de llantas para su estabilidad.



Figura 81. Vista lateral de la formación de la presa con tres hileras de llantas para su estabilidad.

Tercer paso. Formar el vertedor.

El vertedor se forma disminuyendo una hilera de llantas en el centro (foto 134).



Foto 134. Formación del vertedor en una presa de llantas.

Es importante considerar que dado que las llantas sufren un proceso lento de degradación por el agua, las presas de llantas sólo se deben colocar en cárcavas o en dado caso en cauces de carácter intermitente.

Cuarto paso. Construir el delantal.

Esta estructura de protección se coloca 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 de la barrera. Si la presa se forma solo con una hilera, es necesario formar un delantal; en cambio, si la presa tiene más de una hilera, el resto de las hileras harán la función de un delantal.

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 (foto 135).



Foto 135. Delantal formado con llantas.

Recomendaciones

- No se deben colocar las llantas intercaladas, debido a que quedan espacios entre ellas, lo que provoca que se vacíen, pierdan el peso y no le den soporte a la presa, ocasionando que la escorrentía las arrastre.
- Para lograr el buen funcionamiento de la obra es conveniente que la altura efectiva de la presa no exceda los 1.5 metros.
- Se sugiere combinar esta obra con otras prácticas como afine de taludes, cabeceo de cárcavas, reforestación, presas de piedra acomodada, entre otras.

PRESAS DE MAMPOSTERÍA



Foto 136. Presa de mampostería.

Es una estructura de piedra, arena y cemento que se construye perpendicular a las cárcavas; su objetivo principal es la disminución de la escorrentía superficial y almacenamiento de agua, además de la retención de azolves.

Debido a su alto costo, no es recomendable su construcción si no se acompaña con una serie de presas filtrantes aguas arriba, las cuales eviten su rápido azolvamiento y la disminución de su vida útil.

Esta presa es considerada como presa de gravedad, la única fuerza que se opone a la escorrentía es el peso de la estructura, por lo cual el diseño se basa en el cálculo de la base de la presa que combinado con su sección trapezoidal, le dará el peso adecuado a la misma, para que sea resistente al embate de la escorrentía.

Para asegurar el éxito de la presa de mampostería los factores fundamentales a considerar son el **espaciamiento**, el **empotramiento** y el **tamaño de la base**, por lo que es más recomendable el diseño del espaciamiento con el criterio doble cabeza pie, mientras que la profundidad del empotramiento recomendable es de 60 centímetros en terrenos sueltos y de 20 a 60 centímetros en terrenos consolidados, aunque cabe mencionar que el empotramiento está involucrado en la fórmula de subpresión.

Durante el empotramiento, se recomienda anclar dos dentellones o zapatas a los extremos de la base, colocadas al inicio y al final de la misma. La profundidad del primero puede variar desde 60 centímetros hasta un metro, dependiendo del tamaño de la presa; la del segundo, debe ser la mitad de la profundidad del primero.

Proceso de construcción

Para diseñar una presa de mampostería, es necesario determinar el área de la cuenca que lo alimenta, estimar o cuantificar el escurrimiento máximo, así como caracterizar la cárcava tomando en cuenta lo siguiente:

1. *Localizar la boquilla para la ubicación de la presa.*
2. *Obtener la sección transversal del sitio donde se construirá la obra.*
3. *Empotrar adecuadamente la estructura en el fondo y a los lados de la cárcava.*

La sección normal y más rentable de diseño de una presa de mampostería, es la de un semitrapecio, con el lado recto (inclinado a 90°) aguas arriba de la estructura, este tipo de sección permite tener una mayor capacidad para retener agua y azolves, no obstante, se pueden usar secciones en trapezoidal o semicirculares.

Por lo anterior, se calcula el área y el peso de la estructura para evaluar si el peso y su diseño son capaces de soportar la fuerza de empuje a la que se va a someter la obra (figura 82).



Figura 82. Factores a considerar en el diseño de una presa de mampostería.

Donde:

- F = fuerza de empuje.
- H = altura de la presa.
- B = base de la presa.
- C = ancho de la corona.
- S = subpresión.
- X = centroide.
- W = peso.
- Rn = resultante normal.
- e = excentricidad.
- Z = brazo de palanca.

Con base en la figura 82, se divide la presa en dos secciones, un cuadrado y un triángulo, que en conjunto forman el semitrapecio, a partir de esas figuras se realiza el cálculo del centro de gravedad de la estructura, para proceder con las operaciones (cuadro 17).

Cuadro 17. Centros de gravedad y cálculo del área de la sección.

Figura	Centro de gravedad (X)	Área (A)	XA
	$\frac{C}{2}$	$C.H$	$\frac{C^2H}{2}$
	$\frac{(B - C)}{3} + C$	$(B - C)\frac{H}{2}$	$\frac{[H(B - C)(B + 2C)]}{6}$
	ΣX	ΣA	ΣXA

A partir de este cuadro, se obtiene el centro de gravedad utilizando la siguiente fórmula:

$$X = \frac{\Sigma XA}{\Sigma A}$$

Donde:

X = centro de gravedad.

ΣXA = sumatoria del centro de gravedad por el área.

ΣA = sumatoria del área.

Con estos datos se calcula el peso de la presa (W) con la siguiente fórmula:

$$W = \gamma_m \Sigma A$$

Donde:

γ_m = densidad de la mampostería.

ΣA = sumatoria del área.

La densidad de la mampostería depende en gran medida del tipo de roca con la que se construya la presa, por lo que es necesario saber la densidad de la roca.

El rango de variación va de 2,300 a 2,900 kilogramos por metro cúbico (basaltos vesiculares o tobas, a granito o basalto); el valor preciso se puede determinar de tablas de densidad de rocas, disminuyendo dicho valor, ya que el mortero es menos denso que la roca.

Luego se calcula la fuerza de empuje (F) del agua, más los sedimentos:

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

Donde:

γ_{az} = densidad de los sedimentos (se considera que la densidad de los sedimentos puede variar desde 1,100 a 1,400 kilogramos por metro cúbico).

H = altura de la presa (m).

Una vez calculada la fuerza de empuje, se procede a calcular la otra fuerza del agua, denominada subpresión (S), que se calcula con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{k\gamma_w HB}{2}$$

Dónde:

k = coeficiente de subpresión determinado por el material sobre el que se va a asentar la presa (K = 0 para roca; K = 1/3, K = 1/2 para suelos arcillosos y francos, respectivamente y K = 2/3 para arena).

γ_w = peso específico del agua (1,000 kg/m³)

B = tamaño de la base (m).

H = altura de la cortina de la presa.

A partir de estos resultados se obtiene la resultante normal (R_n), con la siguiente fórmula:

$$R_n = W - S$$

Donde:

W= peso.

S= subpresión.

Y el espaciamiento (Z) se calcula con la fórmula:

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

Donde:

X = centroide de la presa.

W = peso.

B = tamaño de la base.

F = fuerza de empuje.

H = altura de la presa.

S = subpresión.

R_n = resultante normal.

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

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

Donde:

B = tamaño de la base.

Z = espaciamiento.

Finalmente se calcula R a través de la siguiente fórmula:

$$R = 600 \frac{e}{B}$$

Donde:

B = tamaño de la base.

e = excentricidad de la presa.

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 a 90%.

Si la R es mayor a 90%, es necesario aumentar el tamaño de la base y desarrollar nuevamente los cálculos anteriores; si la R es menor de 90%, hay que reducir el tamaño de la base, así sucesivamente hasta que se obtenga el valor más cercano a 90%.

Para facilitar el cálculo, se ha observado de manera empírica que la base debe ser aproximadamente igual de ancha, al 70% de la altura de la cortina, por lo que se recomienda iniciar el tanteo con una base de ese tamaño.

Cálculo del vertedor

Posterior a la determinación de la altura de la presa y el tamaño de la base, se calculan las dimensiones del vertedor en función del escurrimiento máximo por evento estimado, para un periodo de retorno de diez años y utilizando la siguiente fórmula:

$$Q = 1.45 * L * H^2$$

Donde:

Q = gasto máximo de descarga del vertedor ($m^3 \cdot \text{seg}^{-1}$).

1.45 = coeficiente del vertedor, que es aplicable a un vertedor rectangular con dos contracciones laterales y de pared ancha.

L = longitud efectiva del vertedor (m).

H = carga sobre la cresta del vertedor (m).

La longitud efectiva del vertedor se considera que es de un tercio del ancho de la cárcava y al conocer el gasto máximo del cauce para un periodo determinado, lo que se requiere es encontrar la altura del vertedor, misma que se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$H = \left(\frac{Q}{1.45 * L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Al resultado obtenido de la altura del vertedor, se le suma el libre bordo, para obtener la altura total del mismo.

Diseño del colchón hidráulico

De acuerdo con Martínez, Fernández y Medina (2010), el colchón hidráulico es una estructura disipadora que sirve para cambiar el régimen de escurrimiento, pasándolo de supercrítico a subcrítico, en una longitud determinada, produciéndose en ella el salto hidráulico.

El diseño del colchón hidráulico consiste en encontrar su longitud y profundidad, de tal modo que en su interior se produzca un salto hidráulico que disipe la energía que obtiene el agua al caer desde el vertedor al fondo de la cárcava. Con la construcción de este colchón se evita la socavación aguas debajo de la estructura (figura 83).

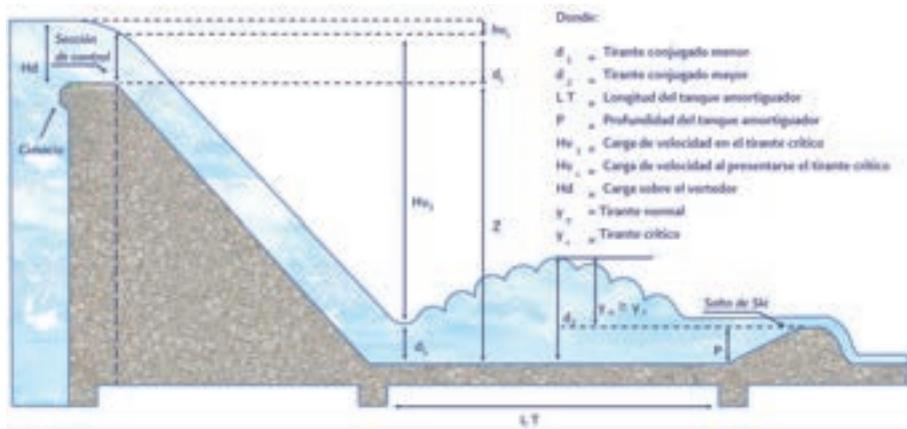


Figura 83. Factores que intervienen en el diseño del colchón hidráulico de una presa de mampostería.

La forma del salto hidráulico y su estabilidad, dependen del valor que se obtenga del número de Froude, correspondiente al conjugado menor, el cual está dado por la siguiente fórmula:

$$Fr = \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}}$$

Donde:

Fr= número de Froude, adimensional

V₁= velocidad del agua en la sección donde se presenta el tirante conjugado menor al pie del cimacio, en m/s.

g= aceleración de la gravedad = 9.81m/s

d₁= tirante conjugado menor, en m.

El valor del número de Froude debe ser entre 4.5 y 9.0, lo que significa que se tendrá un salto claro y estable. Cuando el valor del número de Froude sea inferior a 4.5 se debe profundizar el tanque del colchón.

Para obtener las dimensiones del tanque del colchón se aplica el siguiente procedimiento:

1. Gasto unitario (q). Con los valores del gasto de la avenida de diseño (Q) y la longitud de la cresta (L), se obtiene el gasto unitario por metro de longitud de cresta con la relación siguiente:

$$q = \frac{Q}{L}$$

2. Tirante conjugado menor. Se propone un valor para el tirante conjugado menor (d₁), mismo que se verifica dentro de los cálculos.

3. Altura total de caída (Z). Se propone la elevación del piso del canal de descarga y la profundidad se define con la altura del cimacio desde su cresta, hasta el piso del tanque amortiguador, y se calcula:

$$Z = H v_1 + a - d_1$$

Donde:

Z= altura total de la caída.

$H v_1$ = carga de velocidad sobre el vertedor

a= altura del cimacio desde su cresta hasta el piso del tanque amortiguador (m).

d_1 = tirante conjugado menor propuesto (m).

4. Velocidad al pie del cimacio. Se calcula la velocidad V1 del agua de la sección del tirante conjugado menor (d_1), como se muestra:

$$V1 = \sqrt{2gZ}$$

El tirante conjugado menor (d_1) se obtiene de la siguiente ecuación:

$$d_1 = \frac{q}{V1}$$

5. Comprobación. El valor obtenido para d_1 , debe ser aproximadamente igual al puesto en el paso 2; de no ser así, se propone otro nuevo tirante d_1 y se vuelve a calcular hasta obtener la igualdad indicada.

6. Cálculo del número de Froude. El tirante se revisa calculando nuevamente el número de Froude con la ecuación indicada inmediatamente antes del paso 1, y el resultado debe dar un número entre 4.5 y 9.0, como se indicó anteriormente, de no ser así, se propone otra profundidad del tanque amortiguador o sea se incrementa el valor de (a) y se repite el proceso hasta obtener un valor del número de Froude dentro del rango.

7. Tirante conjugado mayor (d_2). Con el valor del d_1 aceptado, se calcula el valor del tirante conjugado mayor (d_2) a través de la siguiente ecuación:

$$d_2 = \frac{2d_1V1^2}{g} + \frac{d_1^2}{4} - \frac{d_1}{2}$$

8. Longitud del tanque amortiguador. La longitud (LT) del tanque amortiguador se obtiene aplicando la relación:

$$LT = 7(d_2 - d_1)$$

9. Profundidad del tanque amortiguador con régimen uniforme en el canal de descarga. La profundidad (p) del tanque amortiguador se obtiene de la expresión siguiente:

$$p = 1.15(d_2 - Y_0)$$

Donde:

Y_0 = tirante normal del escurrimiento en el canal de descarga (m) (dentro de la cárcava o río).

Si no se sabe el Y_0 , se usa el tirante crítico del río, que se calcula con la siguiente ecuación:

$$Y_c = \sqrt{\frac{Q^2}{L^2g}}$$

De manera práctica la longitud del colchón hidráulico deberá ser de aproximadamente el doble de la altura efectiva de la presa (Colegio de Posgraduados, 1991).



Foto 137. Detalle del colchón hidráulico de una presa de mampostería.

Para iniciar la construcción de la presa se deben tomar todas las consideraciones señaladas para el empotramiento, vertedor y colchón hidráulico.

Después de haber cumplido con los requerimientos mínimos anteriores, se puede construir la presa siguiendo los siguientes pasos:

Primer paso. Realizar el trazo del empotramiento.

El empotramiento consiste en excavar una zanja perpendicular al flujo de la cárcava y extenderla hasta los taludes de la misma, con la finalidad de asentar la obra más allá del nivel original de la cárcava y con esto evitar posibles franqueamientos.

Segundo paso. Transportar los materiales (piedra, arena o cemento).

Tercer paso. Formar la base.

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.

Cuarto paso. Construir las paredes y el vertedor. Para las paredes se debe seguir con la misma forma con que se construyó la base. Al final se le da forma al vertedor.

Es necesario tener marcados los niveles, forma e inclinación del talud de la presa, por lo que se recomienda poner caballetes con hilos (foto 138) que permitirán guiar el proceso de construcción de acuerdo a las especificaciones técnicas, resultantes del diseño.



Foto 138. Presa de mampostería en construcción.

Recomendaciones

- 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.
- Las presas de mampostería se construyen al final del control de los escurrimientos y azolves, cuando se haya construido el cabeceo de la cárcava y una serie de presas de diferentes materiales a lo largo de la misma, es importante que para su ubicación se considere el vaso de captación más amplio.



Figura 84. Presa de mampostería (Nótese la huella de almacenamiento del agua, lo que refleja el perfecto funcionamiento del vertedor).

PRESAS DE GAVIONES



Foto 139. Presa de gaviones.

Es una estructura permanente, permeable y ligeramente flexible, formada a base de paralelepípedos de forma rectangular (cajones) denominados gaviones, contruidos por una malla de alambre de triple torsión, llenos de piedra acomodada (figura 85). Este tipo de presa representa un costo considerable por lo que requiere de un diseño de ingeniería.

Las presas de gaviones pueden sufrir deformaciones sin perder eficiencia; permiten el flujo normal del agua, reteniendo azolves, y debido a que los cajones de gaviones forman una sola estructura, tienen mayor resistencia al volteo y al deslizamiento.

Proceso de construcción

El diseño de las presas busca estabilizar y evitar el crecimiento de las cárcavas, aunado a una retención e infiltración de agua.

Las presas de gaviones, por lo general, se utilizan en cárcavas con dimensiones mayores a los dos metros de ancho y 1.5 metros de profundidad. Estas presas no se recomiendan en cárcavas con dimensiones menores, por su alto costo.

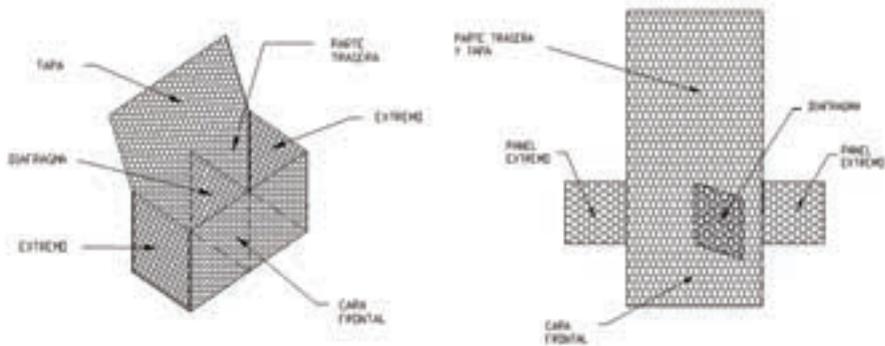


Figura 85. Módulos de una presa de gaviones.

El criterio de espaciamiento de las presas de gaviones es doble cabeza-pie, el empotramiento es hasta que se tenga un piso firme o enterrar al menos 50 centímetros (cm) a 1 metro de profundidad, de igual manera se debe empotrar hacia los lados a una longitud mayor de 50 cm, para evitar que el agua franquee la presa y se debilite, así mismo se construye un delantal que evita que se socave la estructura.

Los gaviones presentan medidas estándares, por lo que el diseño de la obra se debe hacer de acuerdo a esas medidas, de acuerdo a la NOM-B-085-CANACERO-2005, las medidas de los gaviones son las siguientes (cuadro 18):

Cuadro 18. Medidas de gaviones.

Longitud (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Número de celdas por pieza	Volumen (m ³)
1.50	1.00	1.00	----	1.50
2.00	1.00	1.00	2	2.00
3.00	1.00	1.00	3	3.00
4.00	1.00	1.00	4	4.00
1.50	1.00	0.50	----	0.75
2.00	1.00	0.50	2	1.00
3.00	1.00	0.50	3	1.50
4.00	1.00	0.50	4	2.00
1.50	1.00	0.30	----	0.45
2.00	1.00	0.30	2	0.60
3.00	1.00	0.30	3	0.90
4.00	1.00	0.30	4	1.20

La malla de los gaviones debe ser de triple torsión y puede ser de distintos calibres, los estándares de calidad son los que se señalan en el cuadro 19 y las características del gavión en el cuadro 20:

Cuadro 19. Estándares de calidad.

Concepto	Gavión				Colchones para revestimiento			
	Recubrimiento		Recubrimiento		Recubrimiento		Recubrimiento	
	Metálico	PVC	Metálico	PVC	Metálico	PVC	Metálico	PVC
Tipo de malla	10 por 12		8 por 10		6 por 8		5 por 7	
Abertura de la malla	114 X 124 (4,5 X 4,8)	114 X 124 (4,5 X 4,8)	83 X 114 (3,25 X 4,5)	83 X 114 (3,25 X 4,5)	64 X 83 (2,5 X 3,25)	64 X 83 (2,5 X 3,25)	53 X 74 (2,1 X 2,91)	53 X 74 (2,1 X 2,91)
Alambre de la malla	2,7 (0,106)	2,7 (0,106)	2,7 (0,106)	2,7 (0,106)	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)
Alambre para aristas ref.	3,4 (0,134)	3,4 (0,134)	3,4 (0,134)	3,4 (0,134)	2,7 (0,106)	2,7 (0,106)	2,7 (0,106)	2,7 (0,106)

Concepto	Gavión				Colchones para revestimiento			
	Recubrimiento		Recubrimiento		Recubrimiento		Recubrimiento	
Características	Metálico	PVC	Metálico	PVC	Metálico	PVC	Metálico	PVC
Tipo de malla	10 por 12		8 por 10		6 por 8		5 por 7	
Alambre para amarre	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)
Sujetadores para traslape	3,0 (0,118)	3,0 (0,118)	3,0 (0,118)	3,0 (0,118)	3,0 (0,118)	3,0 (0,118)	3,0 (0,118)	3,0 (0,118)
Atiesadores: Usando alambre para amarre	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)	2,2 (0,087)
Espesor del revestimiento en PVC: Nóminal Mínimo	No aplica No aplica	0,50 (0,02) 0,38 (0,015)	No aplica No aplica	0,50 (0,02) 0,38 (0,015)	No aplica No aplica	0,50 (0,02) 0,38 (0,015)	No aplica No aplica	0,50 (0,02) 0,38 (0,015)

Cuadro 20. Características de la malla de los gaviones.

Tipo de Malla	Dimensión Nominal para valores de "D"
5 por 7	53 mm (2,09 pulgadas)
6 por 8	64 mm (2,50 pulgadas)
8 por 10	83 mm (3,25 pulgadas)
10 por 12	114 mm (4,5 pulgadas)

Esquemmatización de la malla triple torsión (figura 86):

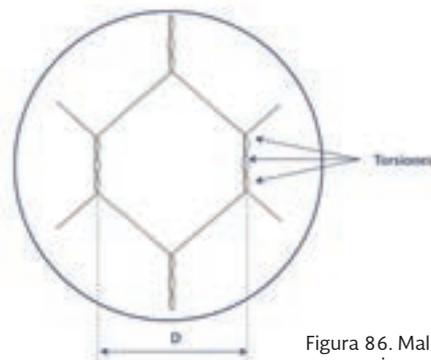


Figura 86. Malla triple torsión usada para gaviones.

Cálculo del ancho y forma de la cortina

Las presas de gaviones también son presas de gravedad, por lo que su elemento estabilizador es el peso de la estructura; su diseño consiste en encontrar el peso adecuado que resista el embate de las fuerzas; sin embargo, hay que recordar que al ser presas filtrantes no hay subpresión. Asimismo puesto que no hay tensión en la presa, el criterio de diseño para el tamaño de la base, es cuando R se aproxime al 100%.

Las fuerzas y demás componentes interactúan de acuerdo a la figura 87:

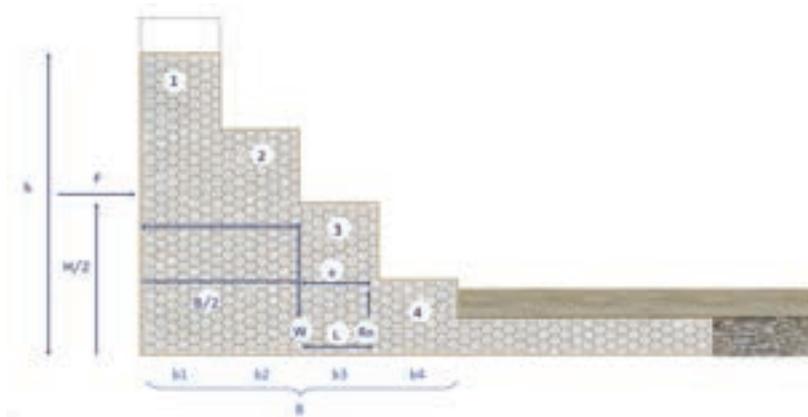


Figura 87. Factores a considerar para el diseño de una presa de gaviones.

Las fórmulas para su cálculo, se describen a continuación.

Centro de gravedad de la presa:

$$\bar{x} = \frac{XA}{A}$$

Donde:

XA= centro de gravedad por el área de la presa.

A= área de la presa.

Peso de la presa:

$$W = \gamma_g A$$

Donde:

W = peso de la presa (kg)

γ_g = densidad del gavión (kg/m³)

A = área de la presa (m²)

Fuerza de empuje:

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

Donde:

F = fuerza de empuje (kg/m)

γ_{az} = densidad del azolve (kg/m³)

h = altura efectiva de la cortina (m)

Distancia donde cae el peso de la presa, respecto de la resultante normal (L):

$$L = \frac{Fh}{3W}$$

Excentricidad de la presa (e):

$$e = \bar{x} + L - \frac{B}{2}$$

Criterio de decisión (R):

$$R = 600 \frac{e}{B}$$

El proceso de cálculo más detallado en las presas de gaviones, es el cálculo de la base, misma que se va componiendo de una serie de hileras de gaviones que le dan su peso.

A diferencia de la presa de mampostería, en las presas de gaviones el diseño de la base siempre es rectangular y dado que cada sección tiene una altura distinta, se debe calcular el área para cada una de ellas, de acuerdo al cuadro 21:

Cuadro 21. Centro de gravedad, área y centro de gravedad por el área.

Sección	X	A	XA
1	$B1/2$		
2	$B1+B2/2$		
3	$B1+B2+B3/2$		
4	$B1+B2+B3+B4/2$		
n	$B1+B2+B3+...+Bn/2$		

Ejemplo de cálculo:

Presa de gaviones de cinco metros de altura efectiva.

$$\gamma_g = 1700 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{az} = 1300 \text{ kg/m}^3$$

Dado que la presa es de cinco metros de altura, se considera una base inicial de cuatro metros, con todos los gaviones de un metro de ancho.

Sección	X	A	XA
1	0.5	5	2.5
2	1.5	4	6
3	2.5	3	
4	3.5	2	
Sumatoria		14	23

$$\bar{x} = \frac{23}{14} = 1.64$$

$$W = \gamma_g A$$

$$W = 1700 * 14 = 22,400$$

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

$$F = 1300 \frac{5^2}{2} = 16,250$$

$$L = \frac{Fh}{3W}$$

$$L = \frac{16250(5)}{3(22400)} = 1.21$$

$$e = \bar{x} + L - \frac{B}{2}$$

$$e = \overline{1.64} + 1.21 - \frac{5}{2} = 0.35$$

$$R = 600 \frac{e}{B}$$

$$R = 600 \frac{0.35}{5} = 42\%$$

Lo anterior significa que la base es muy grande, por lo que es necesario reducir el tamaño:

Ahora se mantiene la base de cuatro metros, pero con variaciones en el alto de las hileras de gaviones.

	Base	4 m		
Sección	X	Alto de la fila de gaviones.	A	XA
1	0.5	5	5	2.5
2	1.5	4.5	4.5	6.75
3	2.5	2	2	5
4	3.5	0.5	0.5	1.75
Sumatoria			12	16

Al hacer las operaciones con las fórmulas antes señaladas se tiene un valor de $R = 99 \%$, lo que indica que el diseño de la presa es el adecuado. Nótese que existe una diferencia de área de dos metros, entre ambos diseños, que dependiendo del ancho de la cárcava (largo de la presa) constituyen un volumen considerable de gaviones que no es necesario construir y que representan un ahorro importante.

Vertedor

El vertedor se realiza con la misma fórmula usada para las presas de mampostería, sólo es necesario aclarar que la presa de gaviones es filtrante por lo que sólo funciona y cumple con su cometido en avenidas máximas.

La longitud del vertedor es igual a una tercera parte del ancho de la presa (ancho de la cárcava) y dado que las medidas de alto de los gaviones son de 50 centímetros y 1 metro (rara vez 30 cm), entonces el alto del vertedor será el alto del gavión.

En algunos casos se recomienda revestir los gaviones del vertedor, con concreto para hacerlos más resistentes al paso del agua.

Delantal

Al construir las presas de forma piramidal, se disipa la energía del agua, por lo que para darle mayor estabilidad a la presa sólo se agrega un delantal, construido con una colchoneta o cubrimiento

de material inerte. Se recomienda que la colchoneta tenga una longitud igual a la altura de la cortina (cuadro 22):

Cuadro 22. Medidas estándares de la colchoneta de malla triple torsión.

Longitud (m).	Ancho (m)	Altura (m)	Números de celdas por pieza	Volumen (m ³)
4.00	2.00	0.17	4	1.36
5.00	2.00	0.17	5	1.70
6.00	2.00	0.17	6	2.04
4.00	2.00	0.23	4	1.84
5.00	2.00	0.23	5	2.30
6.00	2.00	0.23	6	2.76
4.00	2.00	0.30	4	2.40
5.00	2.00	0.30	5	3.00
6.00	2.00	0.30	6	3.60

Primer paso. Desempacar y armar los gaviones.

Se deben desempacar los gaviones en el lugar más plano posible y se procede a su armado. El armado consiste en levantar las paredes laterales del gavión, coser las esquinas con alambre galvanizado (suministrado con los gaviones) y luego coser las paredes intermedias que tenga el gavión. El número de paredes intermedias depende de la longitud del gavión. Para el armado del gavión se requieren pinzas de electricista, pinza de corte y cizalla pequeña.



Foto 140. Desempacado y armado de gaviones.

Segundo paso. Colocar y llenar los gaviones.

Colocar los gaviones en el fondo de la zanja de empotramiento, cuidando que queden perfectamente horizontales, el empotramiento debe ser perfectamente rectangular para que los gaviones se asienten bien sin descuadrarse, una vez colocada la primera hilera se procede al llenado de los mismos, “careando” o buscando los lados más planos de la piedra y dejando la menor cantidad de espacios vacíos para que el gavión sea lo más pesado posible (foto 141).

Durante el llenado de los gaviones se deben colocar tensores para que el gavión conserve su forma rectangular. Los tensores se deben colocar a $1/3$ y $2/3$ de la altura del gavión y un tensor a lo largo del gavión (foto 142).



Foto 141. Llenado de gaviones.

Tercer paso. Cerrar los gaviones.

Coser la tapa en forma de zurcido para que cierre perfectamente, tratando de que conserve su forma rectangular. Después de haber cerrado todos los gaviones de la primera hilera se coloca la siguiente hilera, y así sucesivamente hasta que se alcancen las dimensiones establecidas en el diseño.



Foto 142. Colocación de tensores y cerrado de gaviones.

Recomendaciones

- El peso de los gaviones depende de la densidad de la piedra, por lo que se recomienda elegir piedra de mayor firmeza y peso, además de dejar los menores espacios vacíos posibles.
- Tomar en cuenta todas las medidas de seguridad del personal responsable de la construcción (cascos, guantes, zapatos antiderrapantes), así como utilizar las herramientas adecuadas.



Foto 143. Presa de gaviones

PRESAS DE GEOCOSTALES



Foto 144. Presa de geocostales

Es una estructura de geocostales (geotextiles o sacos rellenos con suelo) que se coloca en forma de barrera o trinchera distribuida de manera perpendicular a la dirección del flujo de la corriente, para el control de la erosión en cárcavas (Foto 144).

Este tipo de presas se utilizan principalmente para controlar la erosión hídrica, reducir la velocidad de escurrimientos superficiales, estabilizar el fondo de cárcavas, favorecer la acumulación de sedimentos, filtrar agua y disminuir el azolve de cuerpos de agua (lagunas, lagos, presas, jagüeyes que se encuentren aguas abajo).

El diseño de presas con geocostales debe partir de la localización y medición de cárcavas, construir la zanja para el empotramiento, formar la barrera de geocostales y calcular el espaciamiento entre presas.

Las presas de geocostales se utilizan para el control de la erosión en cárcavas, la altura máxima recomendada para su construcción

es de 2.5 metros a la corona (aproximadamente 2.1 metros de altura efectiva), en pendientes promedio de cárcavas de 35 %, pero siempre buscando lugares de colocación menor a 15 %, para lograr mayores cantidades de retención de azolve y eficientizar el material utilizado; por lo que la altura de la presa no necesariamente debe alcanzar la profundidad total de la cárcava, por ello, es conveniente determinar la profundidad y el ancho de la presa para estimar la cantidad de geocostales que se requerirán en la construcción.

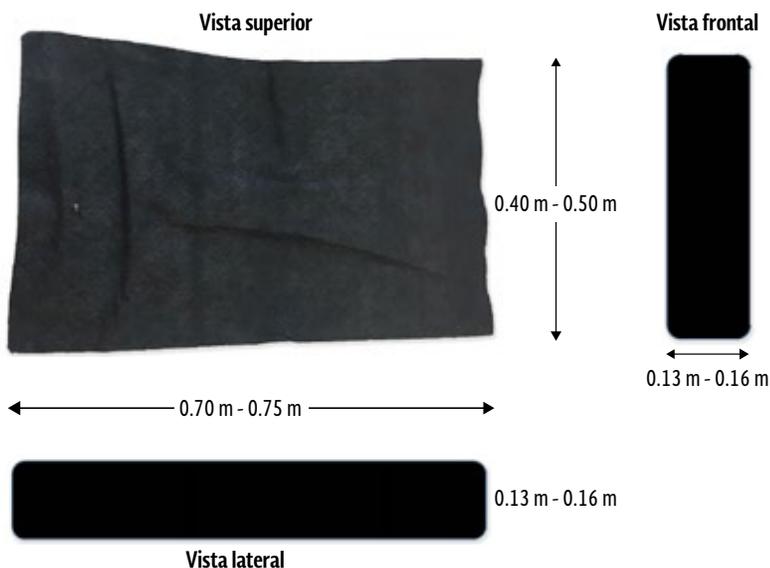


Figura 88. Dimensiones del geocostal utilizados para la construcción de presas.

Los geocostales se pueden adquirir con empresas comercializadoras de productos agrícolas o directamente con fabricantes de geotextiles. Son materiales permeables, resistentes a la acción de los rayos ultravioleta y a la intemperie. La apertura de la malla (0.212 milímetros = malla núm. 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.



Foto 145. Cárcava estabilizada con presas y con vegetación.



Foto 146. Llenado de geocostales con suelo producto de la excavación para el empotramiento.

DISEÑO DE LAS PRESAS.

Las dimensiones de las presas están definidas por características de la cárcava tales como: altura y ancho de la sección, pero también por el gasto que circula en la misma, separación entre presas o cantidad a realizar y por el volumen de sedimentos a almacenar.

Previo a la construcción de las mismas se requiere conocer la altura de la presa tanto efectiva como a la corona, largo, ancho de la base, alto y ancho del vertedor, así como tener claro el arreglo o forma de los costales. Para determinar estos parámetros, es necesario realizar cálculos de resistencia de la presa y gastos máximos.

La altura efectiva y la base de las presas son dos puntos esenciales para el diseño, a continuación se presentan datos que definen estos parámetros considerando escalones de 0.3 m:

ALTURA EFECTIVA DE LA PRESA (M)	ANCHO DE BASE DE LA ESTRUCTURA (M)
0.3	1.2
0.6	1.5
0.9	1.8
1.2	2.1
1.5	2.4
1.8	2.7
2.1	3-4

Cuadro 23. Altura efectiva y ancho de la base.

Los geocostales se pueden acomodar de diferentes maneras para conformar la barrera, en la parte aguas arriba tienen una sección vertical y aguas abajo se utilizan escalones de 0.3 m o 0.4 m en promedio de altura, cada escalón se formará con 2 o 3 capas de geocostales según se establezca, la dimensión del primer escalón está dado por el ancho de la base de la estructura (mencionada en la segunda columna del cuadro 23), ancho de la cárcava y la altura del escalón, el siguiente escalón en la parte superior iniciará a 0.3

m o 0.4 m del escalón inferior y hasta el límite vertical aguas arriba, procediendo de igual manera hasta alcanzar la altura efectiva de diseño.

Por ejemplo si tenemos una cárcava de 6.5 m de ancho y 1.8 de altura, de acuerdo al cuadro 23, se establece una altura efectiva de 1.2 m, y consideramos alturas promedio para cada capa de geocostal de 0.15 m (estando llenos), entonces se realizarán 2 capas de geocostales que sumarán 0.3 m de altura (que están enterrados como cimiento, que conformarán el primer escalón), del ancho de la base de 2.1 m (Figuras 89 y 90), todos los escalones serán de 0.3 m de altura. El siguiente escalón, el cual está encima del anterior, iniciará a 0.30 m del inferior, es decir, medirá 1.8 m (figura 89), igualmente de 0.3 m de altura (2 capas de gecostales), así se continúa hasta alcanzar la altura efectiva, de manera que hasta antes del vertedor se habrán colocado 5 escalones (figura 90).

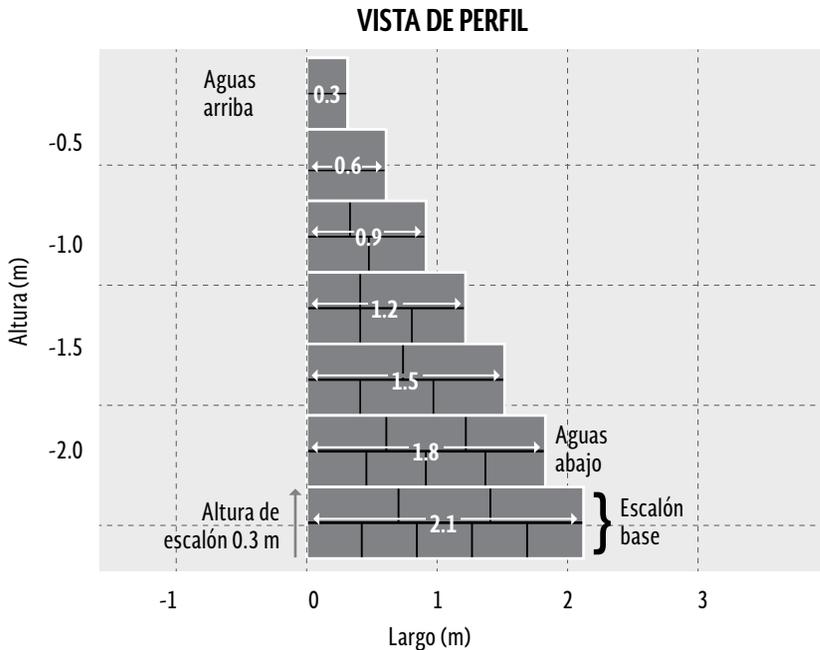


Figura 89. Presa vista de perfil

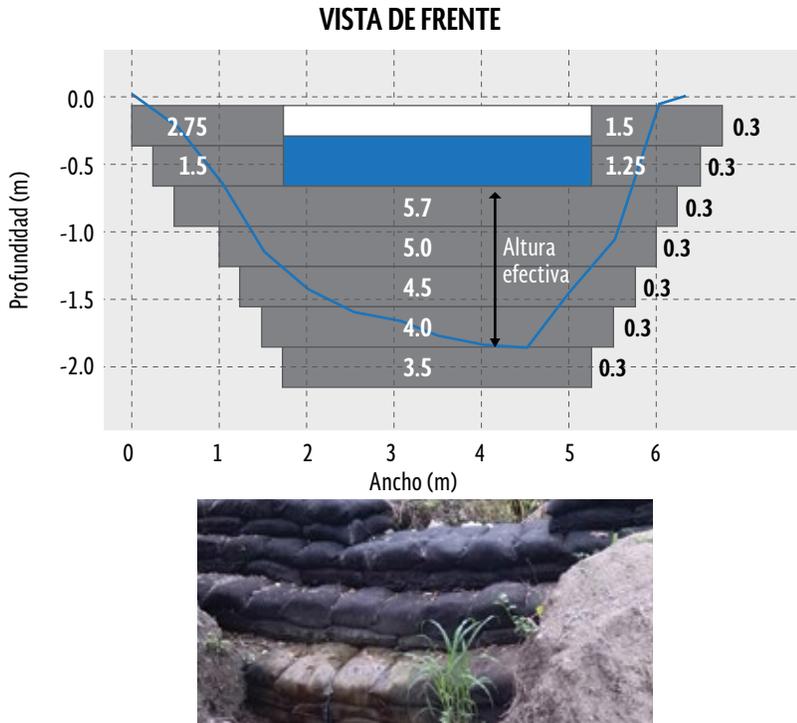


Figura 90. Presa vista de frente, mostrando acomodo de geocostales con dos capas.

El vertedor se calcula de acuerdo al escurrimiento máximo, normalmente son de 0.3 m a 0.6 m de altura y de un rango de un 1/3 a 1/2 el ancho de la cárcava, por ejemplo para el caso anterior, el largo del vertedor será de 3.5 m y la altura de 0.6, normalmente en el centro de la estructura (figura 90).

La posición de los geocostales debe ser de la siguiente manera:

- De preferencia si son dos capas del escalón, la primer capa debe ser colocada de tal manera que la parte más larga de los geocostales quede perpendicular al flujo de la escorrentía, la siguiente, colocando la parte más larga de los geocostales, de manera paralela al flujo de la escorrentía.

- En caso de utilizar tres capas en cada escalón, la parte más larga del geocostal en la parte inferior deberá ser paralela, la intermedia es perpendicular y la superior paralela al flujo de la escorrentía.

De manera general, en la capa superior del escalón siempre deben colocarse geocostales de manera que la parte más larga sea paralela con respecto al flujo de la escorrentía y en todos los casos los geocostales salientes de cada escalón deben colocarse en la parte donde no se amarren. Finalmente se pueden alternar escalones de dos o tres capas en una presa para ajustarse a las dimensiones establecidas.

PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

Primer paso. Definir el criterio para separación entre las presas e identificar los sitios donde se realizarán, medir ancho de la cárcava y establecer la altura, ancho y en general las características de las presas. Para el empotramiento de la presa es necesario construir una zanja del ancho de la base de la barrera diseñada y de 0.3 metros a 0.5 metros de profundidad (aproximadamente 1 a 4 niveles de los costales sobrepuestos que deben quedar abajo del nivel original de la cárcava), en forma transversal al flujo de la escorrentía. Con el suelo producto de la excavación del empotramiento se debe comenzar a realizar el llenado de los geocostales y posteriormente buscar una fuente de abastecimiento de suelo cercano, cuidando que no vaya a causar erosión, para el llenado posterior de los geocostales y acomodo en forma de barrera o trinchera transversal a la cárcava. El largo de la presa queda definido por el ancho de la cárcava y en parte por la altura de la presa, siendo este máximo de 8 metros y en ocasiones excepcionales de hasta 12 metros.

Segundo paso. Colocar los costales llenos de suelo en forma intercalada para lograr mayor estabilidad en la estructura (Figura 91). Para lograr mayor eficiencia en la obra, es conveniente que la altura efectiva de las presas de geocostales no exceda de 2.1 metros.

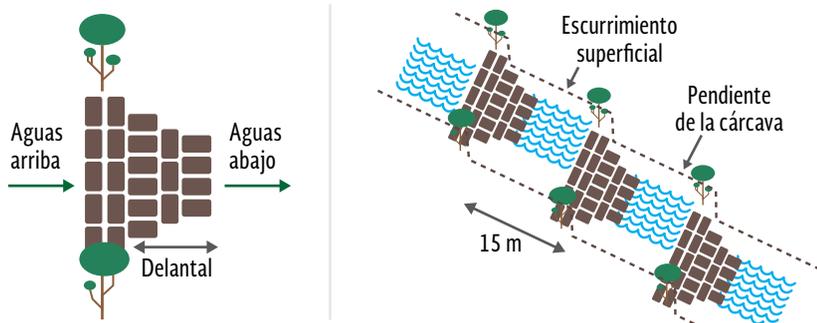


Figura 91. Diseño de una presa de geocostales con delantal.

Tercer paso. Construir un vertedor en el centro de la barrera o por donde se concentre la escorrentía, el vertedor se diseña con los mismos geocostales durante la formación de la barrera (Foto 147).



Foto 147. Presa de geocostales con vertedor.

Cuarto paso. Considerar la construcción de un delantal o estructura de protección en el fondo de la cárcava y 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, que en muchos casos puede ser el escalón inferior.

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 por la aplicación de otras prácticas de protección, conservación y restauración de suelos que se integren en el área donde se ubique la obra (Foto 148).



Foto 148. Distribución espacial de las presas de geocostales.

Quinto paso. 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.

RECOMENDACIONES

- La construcción de presas de geocostales se recomienda para el control de la erosión en cárcavas y con pendientes entre el 5% a 35%.
- Además de esta obra, se sugiere -integrar otras prácticas de conservación de suelos, como el afine de taludes, cabeceo de cárcavas, reforestación con especies forestales o pastos, con la finalidad de lograr la estabilización de la cárcava.

GLOSARIO

Aguas abajo. Es la ubicación de un punto después de una sección u otro punto de referencia, avanzando en el sentido de la corriente de agua, en un cauce o terreno.

Aguas arriba. Es la ubicación de un punto antes de una sección u otro punto de referencia, avanzando en el sentido de la corriente de agua, en un cauce o terreno.

Áreas forestales perturbadas. Son áreas que han perdido su cobertura vegetal original, de manera temporal o definitiva, con fines diversos como: agricultura, ganadería, infraestructura y centros de población; en algunos casos se pueden restaurar a su condición original.

Cambio de uso de suelo en terrenos forestales. Es la remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos forestales para destinarlos a actividades no forestales.

Carga hidráulica. Distancia vertical del fluido desde la superficie libre al nivel de referencia (suelo); también considerado como tirante.

Cimacio. Tipo o forma de vertedor normalmente en forma de “s” horizontal.

Coefficiente de descarga. Es un valor de ajuste que compensa la distribución de velocidad y las pérdidas de cargas menores que no fueron tomadas en cuenta al obtener la ecuación del gasto. Su valor se determina para cada dispositivo y depende de cómo se coloquen las tomas de presión. El valor que se utiliza es 1.45.

Coefficiente de rugosidad. Valor que depende del material y estado de conservación de las paredes del cauce, es adimensional.

Colchón hidráulico. Capa de agua que se forma con la cresta del delantal de una presa, que amortigua el impacto del flujo hídrico e impide que la fuerza del agua origine socavaciones.

Conservación y restauración de suelos. Conjunto de obras y prácticas para controlar los procesos de degradación y sus diferentes niveles, rehabilitar los suelos y mantener su productividad potencial. Dichas obras y prácticas se implementan a corto, mediano y largo plazos.

Degradación del suelo. Disminución antropogénica o natural de la capacidad presente o futura del suelo para sustentar vida vegetal, animal y humana. A su vez, la degradación del suelo se divide de acuerdo con su intensidad en ligera, moderada, severa y extrema, e incluye la erosión vertical con pérdida de fertilidad del suelo. Se calcula como porcentaje sobre unidad de área.

Dentellones o zapatas. En las presas de mampostería y de gaviones, son extremidades de al menos 50 centímetros por lado y una profundidad de otros 50 centímetros, para anclar la presa, sobre los dentellones se construye la plantilla para desplantar la presa.

Despalme. Actividad que consiste en reducir la pendiente de los taludes en una cárcava, de tal manera que disminuya el arrastre de partículas por el movimiento de la esorrentía.

Ecosistema forestal. La unidad funcional básica de interacción de los recursos forestales entre sí y de éstos con el ambiente en un espacio y tiempo determinados.

Escurrimiento superficial. Es la porción de la precipitación que fluye hacia los arroyos, canales, lagos u océanos como corriente superficial.

Gasto máximo. Volumen de agua que pasa por una sección de control con la lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno dado; se calcula en función del área de drenaje, tiempo de duración de la lluvia y tiempo de concentración.

Infiltración. Proceso mediante el cual el agua penetra al suelo desde la superficie, conduciéndose gradualmente a capas más profundas a través de los mantos rocosos subterráneos.

Intemperización o intemperismo. Acción combinada de procesos ambientales a los que está expuesta la roca madre en la superficie terrestre y es descompuesta o desintegrada.

Microcuenca. Es una cuenca pequeña, generalmente menor a 6,000 hectáreas. Se debe delimitar a partir de la Cartografía Hidrológica de Aguas Superficiales del INEGI, escala 1:250,000, referenciar con base en la nomenclatura de Región Hidrológica, Cuenca y Subcuenca y denominar de acuerdo con el nombre de la corriente principal que la drena.

Permeabilidad. Facilidad con que el agua y el aire penetran o pasan a través de medios porosos del suelo. Depende de la proporción de poros gruesos que hay en la superficie.

Recursos forestales. Vegetación de los ecosistemas forestales, sus servicios, productos y residuos, así como los suelos de los terrenos forestales y preferentemente forestales.

Reforestación. Establecimiento inducido de vegetación forestal en terrenos preferentemente forestales o terrenos forestales degradados.

Restauración forestal. Es el conjunto de actividades tendientes a la rehabilitación de un ecosistema forestal degradado para recuperar parcial o totalmente las funciones originales del mismo y mantener las condiciones que propicien su persistencia y evolución.

Socavación. Excavación por debajo del nivel del suelo que lo debilita físicamente provocando el crecimiento de una cárcava.

Subpresión. Presión debida al agua de filtración que actúa en la cimentación de la presa con sentido de abajo hacia arriba y por lo tanto desfavorable a la estabilidad de la cortina.

Suelo. Cuerpo natural que se encuentra sobre la superficie de la corteza terrestre, formado de material mineral y orgánico, líquidos y gases, que presenta horizontes o capas y que es capaz de soportar plantas.

Terraplén. Terreno nivelado por la acumulación de tierra o sedimentos.

Terreno forestal. El que está cubierto por vegetación forestal.

Terreno preferentemente forestal. Aquel que habiendo estado cubierto por vegetación forestal, en la actualidad no lo está, pero por sus condiciones de clima, suelo y topografía resulta más apto para el uso forestal que para otros usos alternativos, excluyendo aquellos ya urbanizados.

Vegetación forestal. El conjunto de plantas y hongos que crecen y se desarrollan en forma natural, formando bosques, selvas, zonas áridas y semi áridas y otros ecosistemas, dando lugar al desarrollo y convivencia equilibrada de otros recursos y procesos naturales.

BIBLIOGRAFÍA

- Arteaga T.E. (1993). Hidráulica Elemental, Edit. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.
- Becerra Moreno, A. (1999). Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Edit., Universidad Autónoma Chapingo.
- Ben Salem, B. (s.f.). FAO. Recuperado el 2012, de <http://www.fao.org/docrep/u1510s/u1510s07.htm>
- Bonifacio Ortiz Villanueva, Carlos Alberto Ortiz Solorio (1990). Edafología Universidad Autónoma Chapingo.
- Aguilera C. M., Martínez E. R. (1996). Relaciones Agua, Suelo, Planta Atmosfera. Universidad Autónoma Chapingo.
- Colegio de Postgraduados. (1991). Manual de Conservación del Suelo y del Agua (Tercera edición ed.). Chapingo, México
- García C. J.S., Rodríguez E. F.A. (2010), Manual de Costos de Obras y Prácticas de Restauración de Suelos y Reforestación, Comisión Nacional Forestal, CONAFOR Gerencia de Suelos Forestales-CONAFOR, México. (Documento interno).
- Corporación Nacional Forestal, CONAF / Agencia de Cooperación Internacional de Japón, Jica (1998). Manual de control de la erosión, conaf / jica, Santiago de Chile.
- Dirección General de Carreteras Federales (2004). “Camino forestales” (borrador), Secretaría de Comunicaciones y Transportes / CONAFOR, México.
- Eduardo Narro Farías (1994). Física de Suelos, con enfoque agrícola. Editorial Trillas. Primera edición.
- FAO. Carbon sequestration in dryland soils. World Soils Resources Reports. No. 102. Disponible en: www.fao.org/docrep/007/

y5738e/y5738e00.htm Fecha de consulta: 27/07/2012.

Foster, Albert (1990). Métodos aprobados en conservación de suelos, Trillas, México.

Gayoso Jorge y Diego Alarcón (1999). Guía de conservación de suelos forestales, Universidad Austral de Chile / Instituto Forestal, Valdivia.

Hopkins, E.S. et al. (1937). Soil drift control. Canadian Department of Agricultural Publications.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP (1993). Terrazas de muro vivo para sustentar la productividad en terrenos agrícolas de ladera, INIFAP, México.

López y Oropeza (2009). Presas de mampostería, Subsecretaría de Desarrollo Rural, SAGARPA. En Fichas COUSSA, tomado de <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Publicaciones/Paginas/FichasCOUSSA.aspx>

Martínez, Fernández y Medina (2010). Metodología técnica para el aprovechamiento de agua en proyectos COUSSA, SAGARPA – Colegio de Posgraduados, México, D.F.

Navarro, Guillermo V; Mauricio V. Lemus y Rodrigo Vázquez (2001). Manual para el desarrollo de obras de conservación de suelo, Corporación Nacional Forestal San Fernando / Gobierno de Chile, Santiago de Chile.

Normal Hudson (1982). Conservación del suelo. Editorial Reverté. España.

Pérez Nieto, Samuel y Francisco Hernández Saucedo (1996). Topografía, 2ª ed., México.

- Pizarro, Roberto T. y César C. Bravo (2003). Manual de conservación de aguas y suelos, Instructivo número 3 Canales de evacuación de aguas de lluvia, Facultad de Ciencias Forestales-Universidad de Talca, Santiago de Chile.
- R.P.C. Morgan. (1997). Erosión y conservación del suelo. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Ramachandran Nair, P.K. (1997). Agroforestería, editado y revisado por L. Krishnamurthy et al. del Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Román Miranda, L. (2003). “Curso de sistemas agroforestales”, Universidad de Guadalajara, Guadalajara.
- Ruiz Figueroa, F. (ed.) (1993). Manejo y conservación del suelo y agua, Memoria de la Primera Reunión Nacional del 12 al 15 de agosto, Colegio de Postgraduados, Montecillo.
- Sánchez Ledesma, Gabriel et al. (2001). Manual de conservación de suelo y agua, Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable-Semarnat, México.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, SEMARNAP (2000). Manual para la conservación de suelos, SEMARNAP, México.
- Secretaria de Recursos Hidráulicos (1991). Manual de predicciones de pérdidas de suelo por erosión. Colegio de Postgraduados.
- SEMARNAT (2011). El ambiente en números. Selección de estadísticas ambientales para consulta rápida. México..
- SEMARNAT (2008). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Edición 2008. Compendio de Estadísticas Ambientales. México.

TRAGSA, T. (1998). Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Mundi Prensa.

Universidad Autónoma Chapingo (2002). Memorias del Diplomado en planeación de cuencas hidrográficas del 3 de agosto de 2001 al 26 de enero de 2002, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.

Ureña C.F., Apuntes del Curso de Hidráulica, Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo.

Wischmeier W.H. and Smith D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. Agricultural Handbook no. 537. United States of Agriculture.

Wischmeier, W.H. (1976). Use and misuse of the universal soil loss equation. Journal of soils and water conservation.

ANEXO 1

EJEMPLOS Y CÁLCULOS PARA LA CAPTACIÓN DE SEDIMENTOS Y ESPACIAMIENTO ENTRE OBRAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN LAMINAR

El cálculo del espaciamiento entre obras se puede realizar mediante la estimación de lo siguiente:

- a. Erosión actual del terreno.
- b. Intervalo Vertical (IV) e Intervalo Horizontal (IH).
- c. Cálculo del escurrimiento.

a. Erosión actual del terreno.

Esta estimación es la más recomendada para calcular el espaciamiento entre líneas de las obras, ya que el planteamiento de diseño se basa en establecer una reducción en la erosión actual del suelo. Consiste en utilizar el dato de erosión actual del terreno, el cual se puede obtener a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) mencionada en el capítulo dos.

Con dicho valor, se calcula el distanciamiento proyectado a cinco años, que es el tiempo mínimo de vida útil para estas obras y durante el cual se puede restablecer la vegetación.

Ejemplo para calcular el espaciamiento de barreras de piedra acomodada:

En un terreno se ha estimado una pérdida promedio de suelo de 30 toneladas/hectárea/año y una pendiente promedio de 15%. ¿Qué espaciamiento se recomienda para el establecimiento de barreras de piedra en curvas a nivel?

Las dimensiones para dicha obra son: 30 centímetros de altura por 30 cm de ancho (o bien, 0.3 metros x 0.3 metros), tal y como se aprecia en la figura 88:



Figura 92. Dimensiones y área de captación de una barrera de piedra acomodada.

Con el dato de pérdida promedio de suelo, inicialmente se tiene que proyectar la erosión en cinco años, para calcular el volumen de sedimentos a retener. Si la erosión es de 30 toneladas/año, en cinco años se perderían 150 toneladas.

Posteriormente, es necesario calcular el volumen de retención de cada metro de barrera de piedra, lo cual se obtiene calculando el valor de “b” de la figura 89, de la siguiente manera:

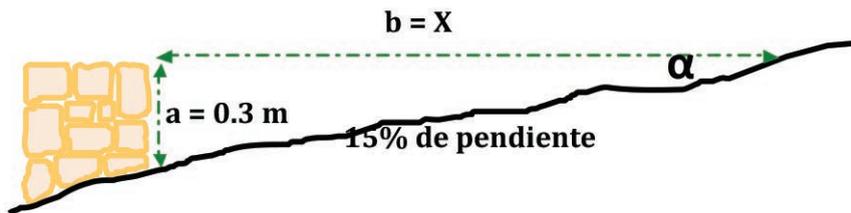


Figura 93. Cálculo del volumen de retención de una barrera de piedra acomodada.

A partir de la fórmula:

$$\tan (\alpha) = \frac{a}{b}$$

Sustituyendo el valor de la pendiente en la ecuación y el valor de “a”:

$$0.15 = \frac{0.3\text{m}}{b}$$

Y despejando la fórmula para obtener el valor de “b”:

$$b = \frac{0.3 \text{ m}}{0.15} = 2\text{m}$$

Entonces, el área de dicha figura sería igual a:

$$\text{Área} = \frac{b \times a}{2} = \frac{2\text{m} \times 0.3\text{m}}{2} = \frac{0.6}{2} = 0.3 \text{ m}^2$$

Por lo que el volumen de retención en un metro de barrera de piedra, sería igual a:

$$\text{Volumen} = \text{Área} \times 1 \text{ m} = 0.3 \text{ m}^3$$

Posteriormente se transforma el volumen de suelo en peso. Para esto se debe consultar el cuadro 1 de la densidad aparente del suelo, visto en el capítulo uno de este manual.

Al aplicar la fórmula de densidad aparente, donde se relaciona el peso y el volumen, se tiene que:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

Por lo que al despejar el peso:

$$\text{Peso} = \text{Densidad aparente} \times \text{volumen}$$

Y sustituyendo los valores, para un suelo franco:

$$\text{Peso} = 1.4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \times 0.3 \text{ m}^3 = 0.42 \text{ ton}$$

A partir de estos cálculos se sabe que un metro de barrera de piedra acomodada, puede retener hasta 0.42 toneladas, por lo que con la siguiente estimación se obtiene:

$$\text{Metros de obra} = \frac{\text{Erosión en 5 años (ton)}}{\text{peso retenido } \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}}\right)} = \frac{150 \text{ ton}}{0.42 \frac{\text{ton}}{\text{m}}} = 357.1 \frac{\text{ton} \times \text{m}}{\text{ton}} = 357.1 \text{ m}$$

Por lo tanto, se requieren 357.1 metros de barrera de piedra acomodada para retener las 150 toneladas, es decir, 3.57 hileras de 100 metros.

La separación entre obras, resulta de dividir el ancho de una hectárea de 100 m x 100 m, entre el número de hileras por hectárea: $100/3.57 = 28$ metros.

b. Intervalo Vertical (IV) e Intervalo Horizontal (IH). (Pendiente e intensidad de lluvias)

Estas fórmulas se utilizan en caso de no contar con datos de erosión del suelo.

IH (pendiente e intensidad de lluvias)

IH para bordos en curvas a nivel (pendiente, intensidad de lluvia y característica de suelo)

Para calcular el espaciamiento, según las fórmulas de intervalos, es necesario conocer previamente la pendiente del terreno y la cantidad de lluvia anual que se presenta en el lugar. Con estos datos se determina el espacio entre hileras.

El primer paso, es calcular el intervalo vertical, mediante la siguiente fórmula:

$$IV = \left(2 + \frac{P}{304} \right) \times 0.305$$

Dónde:

IV= intervalo vertical (m).

P= pendiente del terreno (%).

3= factor que se utiliza donde la precipitación anual es menor a 1,200 milímetros (mm).

4= factor que se utiliza donde la precipitación anual es mayor a 1,200 milímetros (mm).

0.305= factor de conversión de pies a metros.

Posteriormente se calcula el intervalo horizontal, con la fórmula:

$$IH = \frac{IV}{P} \times 100$$

Dónde:

IH = intervalo horizontal (m).

IV = intervalo vertical (m).

P= pendiente del terreno (%).

Ejemplo del cálculo de intervalo horizontal:

Existe un terreno degradado con profundidad del suelo menor a 15 centímetros (cm) y textura de suelo franco. La precipitación anual en la zona es de 400 mm y existe una pendiente promedio de 15%. ¿Cuál sería el espaciamiento recomendado para obras para el control de erosión laminar?

Al sustituir los datos en la fórmula, se tiene que:

$$IV = \left(2 + \frac{15}{3}\right) \times 0.305$$

$$IV = 2.13$$

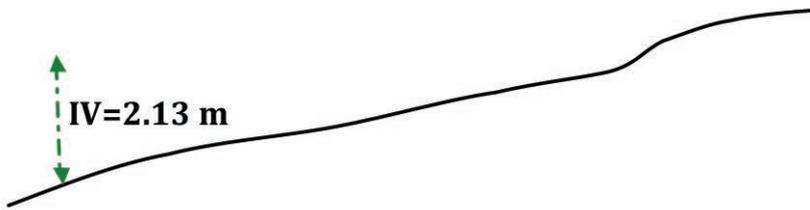


Figura 94. Visualización de IV.

Lo anterior indica que el desnivel promedio entre barreras es de 2.13 metros.

Con este dato se calcula el intervalo horizontal (IH):

$$IH = \frac{2.13}{15} \times 100$$

$$IH = 14.23$$

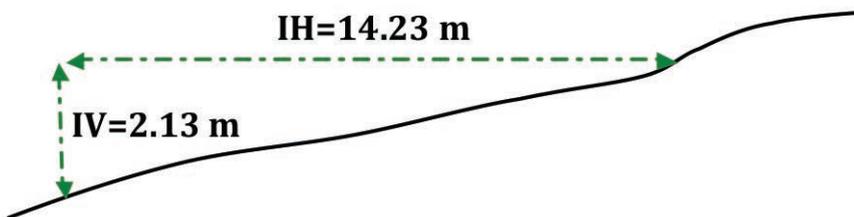


Figura 95. Visualización IH.

Con los cálculos anteriores, se interpreta que el espaciamiento entre líneas de trabajo en distancia horizontal, será de 14.23 metros. Dicha distancia puede redondearse al número entero menor más cercano, que para el caso, serían 14 m.

Es necesario considerar el factor de ajuste de distancias horizontales por factor de corrección, visto en el capítulo cinco de este manual, para determinar el distanciamiento correcto entre líneas.

IH para bordos en curvas a nivel (pendiente, intensidad de lluvia y característica de suelo)

Para la construcción de bordos en curvas a nivel se recomienda la modificación a la fórmula del IH, tomando en cuenta además de la pendiente y la intensidad de lluvia; las características del suelo, esto se toma en cuenta en lugar del cálculo del IV.

$$IH = \left(\frac{ap + b}{p} \right) \times 100$$

Dónde:

IH = intervalo horizontal (m).

P = pendiente (%).

a = depende de la intensidad de la lluvia, varía entre 0.09 y 0.18, adimensional. Los valores altos corresponden a regiones de baja intensidad y los valores bajos corresponden a intensidades altas.

b = valor que depende de las características del suelo (cuadro 23).

Cuadro 24. Valores de b en fórmula de IH.

Valor de b	Drenaje interno del suelo	Cubierta vegetal en el período de lluvias intensas
0.30	Lento	Escasa
0.45	Rápido	Escasa
	Lento	Abundante
0.60	Rápido	Abundante

c. Cálculo de Ecurrimiento

Esta estimación requiere del conocimiento de datos como la precipitación anual del sitio, lluvia máxima en 24 horas, escurrimientos superficiales en un periodo de retorno de cinco años y volumen esperado de captación de la obra (ver el capítulo cuatro donde se revisaron a detalle los cálculos para conocer el escurrimiento superficial).

Por lo anterior, en función de la obra a implementar, el espaciamiento entre líneas se calcula de la siguiente manera:

a) Calculo del volumen necesario, para captar el 50% del escurrimiento, para un período de retorno de 5 años:

Los datos requeridos para el diseño de las obras son: lluvia máxima en 24 horas de un período al menos de 15 años y los escurrimientos superficiales que se calculan a partir de estos datos.

1. Debido al propósito que se ha establecido para este tipo de obras, se determinó que captando el 50% de los escurrimientos, se logran los objetivos planteados. Por lo tanto la lámina de agua a captar estará dada por la mitad del escurrimiento:

$$\text{Lámina de captación} = \frac{\text{Ecurrimiento superficial}}{2}$$

2. Es necesario conocer el volumen de excavación por metro lineal de obra, que estará dado por:

$$\text{Volumen de excavación} = (\text{ancho de la obra})\text{m} \times (\text{profundidad de la obra})\text{m} \times 1 \text{ m}$$

3. El área de captación se calculará mediante la siguiente relación:

$$\text{Área de captación} = \frac{\text{Volumen de excavación (m}^3\text{)}}{\text{Lámina de captación (m)}} = \text{m}^2$$

4. Para calcular el distanciamiento, se puede utilizar la fórmula del área de un rectángulo:

$$\text{Área} = \text{base (ancho)} \times \text{altura (largo)}$$

5. Fijando el ancho a un metro y despejando la fórmula, se tiene que:

$$\text{Largo} = \frac{\text{Área (m}^2\text{)}}{1(\text{m})} = \text{m}$$

6. Este distanciamiento aplica si la obra a construir es continua como la zanja bordo. En caso de tratarse de una obra discontinúa, como zanja trinchera, el espaciamiento será la mitad de lo obtenido en la fórmula previa.

Ejemplo del cálculo de espaciamiento para zanjas bordo:

En un predio se estimó un escurrimiento medio de 45.8 mm para una lluvia máxima de 24 horas en un período de retorno de cinco años. Bajo los supuestos descritos, ¿cuál sería el espaciamiento recomendado para construir zanjas bordo de 40 cm de ancho por 40 cm de profundidad?

Aplicando el procedimiento anterior, la lámina de captación sería igual a:

$$\text{Lámina de captación} = \frac{45.8 \text{ mm}}{2} = 22.9 \text{ mm} = 0.0229 \text{ m}$$

El volumen de excavación en un metro de obra, resultaría de:

$$\text{Volumen de excavación} = 0.4 \text{ m} \times 0.4 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 0.16 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el área de captación, se obtendría aplicando:

$$\text{Área de captación} = \frac{0.16 \text{ (m}^3\text{)}}{0.0229 \text{ (m)}} = 6.98 \text{ m}^2$$

Derivado del cálculo anterior se considera un área de captación y un distanciamiento adecuado entre zanjas (7 m puede extenderse a 10 m de distancia), sin embargo, es muy importante que para el diseño de esta obra se considere:

1. El distanciamiento resultado del cálculo de erosión y pérdida de suelo. Ponderar el distanciamiento más adecuado de acuerdo a los dos resultados.
2. Que la zanja bordo, se establezca en pendientes no mayores al 20%, donde la remoción y la infiltración de agua en tal cantidad de suelo no afecte fuertemente el sitio. Es decir, hay que observar el potencial de lugar para la infiltración de agua y que el distanciamiento sea el adecuado para no generar deslizamientos o deslaves.

b) Utilizar la fórmula de intervalo horizontal que considera la pendiente del terreno e intensidad de la lluvia.

1. La fórmula, mediante la cual se determina el intervalo horizontal, es:

$$IH = \left(\frac{(a \times p) + b}{p} \right) \times 100$$

Donde:

IH = intervalo horizontal (m).

p = pendiente (%).

a = depende de la intensidad de lluvia, varía entre 0.09 y 0.24.

Es adimensional; los valores bajos corresponden a regiones de intensidades altas y los valores altos corresponden a baja intensidad (figura 92).

b = Valor que depende de la susceptibilidad del suelo a erosionarse.



Figura 96. Coeficiente de "a" para calcular el espaciamiento.

Cuadro 25. Valores del coeficiente “b” para calcular el espaciamiento.

Valor de b	Drenaje interno del suelo	Cubierta vegetal en el período de lluvias intensas
0.30	Lento	Escasa
0.45	Rápido	Escasa
	Lento	Abundante
0.60	Rápido	Abundante

Ejemplo de cálculo de espaciamiento entre bordos en curvas a nivel mediante el intervalo horizontal:

En un predio que tiene una pendiente promedio de 15%, se van a construir bordos en curvas a nivel. Si el coeficiente para la intensidad de la lluvia “a” de la zona es 0.18 y el de “b” es de 0.45, ¿cuál es el espaciamiento recomendado entre bordo y bordo?

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$IH = \left(\frac{(0.18 \times 15) + 0.45}{15} \right) \times 100$$

Por lo que el espaciamiento, para bordos en curvas a nivel, es de:

IH=21 metros

Para el caso de las zanjas trinchera, es necesario hacer una determinación más en la separación entre líneas:

Distanciamiento de 21 m dividido entre 2 = 10.5 m

Debido a que las zanjas trinchera no son líneas continuas, sino

zanjas de dos metros de largo construidas intermitentemente, se debe considerar que el área de captación debe ser fraccionada (figura 93).

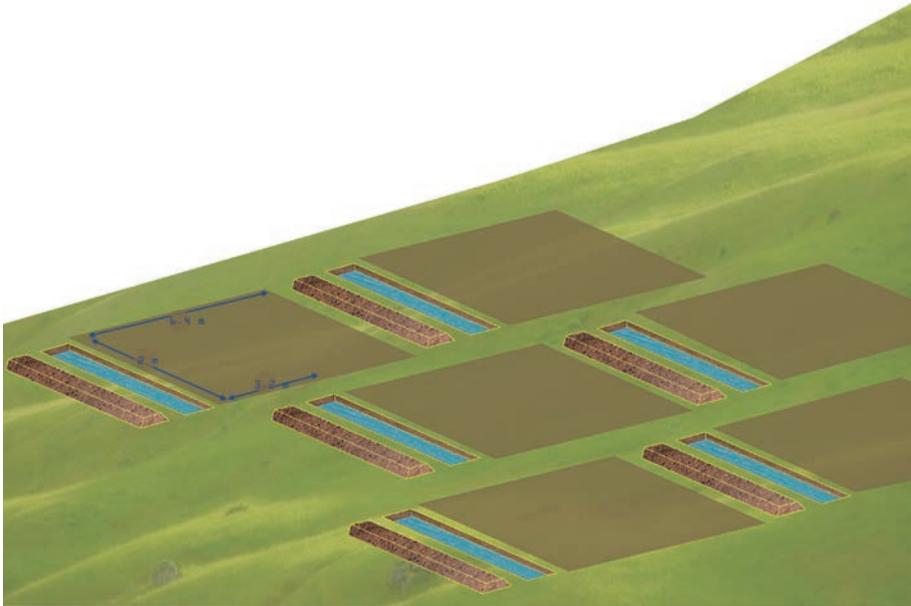


Figura 97. Ejemplo de distanciamiento entre zanjales trinchera. Nótese el diseño a tresbolillo y su área de captación.

Las líneas discontinuas tendrán una intermitencia de construcción cada dos metros y, entre líneas de zanjales, debe construirse otra línea discontinua de zanjales en un diseño tresbolillo.

ANEXO 2

RENDIMIENTOS POR ACTIVIDAD PARA CALCULAR COSTOS DE OBRAS (no incluyen asesoría técnica)

Los rendimientos por actividad están calculados con base en una persona que trabaja 8 horas, es decir, un jornal. El costo al que se pagará el jornal no se establece en este manual dado que es variable de acuerdo a la región del país.

PRESAS		
Actividad y unidad de medida	Mano de obra o maquinaria requerida	Rendimiento en udm por jornada
Medición de la pendiente de la cárcava, cálculo del espaciamiento y ubicación de la presa (presa)	Brigada 3 jornaleros o peones	50
Trazo y limpieza del área de la presa (m ³)	Jornalero o peón	50
Excavación para cimentación y empotramiento (m ³)	Jornalero o peón	4.8
Pepena de piedra (m ³)	Jornalero o peón	1
Acarreo de piedra en carretilla a 50 m (m ³)	Jornalero o peón	4
Acomodo de piedra para conformación de presa y delantal (presa de piedra acomodada) (m ³)	Brigada de Albañil y jornalero o peón.	3
Construcción de la mampostería (m ³)	Brigada de Albañil y jornalero o peón.	1
Armado y colocación de gaviones (m ³)	Jornalero o peón	32
Llenado de gaviones, colocación de tensores y cosido de gaviones (m ³)	Brigada de Albañil y jornalero o peón.	2
Armado de multimalla electrosoldada (m ³)	Jornalero o peón	32
Llenado con piedra de multimalla, colocación de tensores y cosido de multimalla (m ³)	Brigada de Albañil y jornalero o peón.	2
Recolección de morillos (m ³)	Jornalero o peón	3
Acarreo de morillos (m ³)	Jornalero o peón	5
Anclaje de postes para presa de morillos (m ³)	Jornalero o peón	8
Colocación de morillos para conformación de la presa de morillos (m ³)	Jornalero o peón	4
Construcción de delantal (zampeado seco) para presas de morillos (m ³)	Jornalero o peón	3

Recolección de ramas (m ²)	Jornalero o peón	8
Acarreo de ramas (m ²)	Jornalero o peón	5
Anclaje de postes para presa de ramas (m ²)	Jornalero o peón	8
Colocación de las ramas para conformación de la presa, tejidas o trenzadas (m ²)	Jornalero o peón	8
CABECEO DE CÁRVACAS Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES		
Acarreo de piedra en carretilla a 50 m por m ² (m ²)	Jornalero o peón	20
Construcción del cabeceo (zampeado seco) (m ²)	Brigada de Albañil y jornalero o peón.	8
Trazo y limpieza del área (m ²)	Jornalero o peón	267
Conformación del talud (m ²)	Jornalero o peón	15
Pepena de piedra para la protección del talud (m ²)	Jornalero o peón	7
Excavación para cimentación (m ²)	Jornalero o peón	15
OBRAS PARA CONTROL DE LA EROSIÓN LAMINAR		
Trazo de curvas a nivel (m)	Brigada 3 jornaleros o peones	3000
Trazo de la curva con borde de discos (ha)	Bulldozer	20
Paso de ripper para aflojar el suelo (ha)	Bulldozer	10
2 pasos del bordero para conformación del bordo (ha)	Bulldozer	6.67
Paso de ripper aguas arriba del bordo para incrementar la infiltración del agua (ha)	Bulldozer	10
Subsoleo con el cincel modificado (ha)	Bulldozer	2
Subsoleo con el cincel subsoleador pequeño (ha)	Tractor agrícola	4
Conformación de la terraza (dos pasos de la motocorfomadora) (ha)	Motocorfomadora	2.67
OBRAS PARA CONTROL DE LA EROSIÓN LAMINAR Y CAPTACION DE AGUA.		
ZANJA TRINCHERA		
Trazo de curvas a nivel (m)	Brigada 3 jornaleros o peones	3000
Limpia del terreno y marcaje de la zanja (m)	Jornalero o peón	2000
Excavación de la zanja (m ³)	Jornalero o peón	4.8
Limpieza de la zanja y conformación del bordo (piezas)	Jornalero o peón	100
ZANJA BORDO		
Trazo de curvas a nivel (m)	Brigada 3 jornaleros o peones	3000
Limpia del terreno y marcaje de la zanja (m)	Jornalero o peón	2000

Excavación de la zanja (m ³)	Jornalero o peón	5
Limpieza de la zanja y conformación del bordo (m)	Jornalero o peón	200
TERRAZA DE FORMACIÓN SUCESIVA		
Trazo de curvas a nivel (m)	Brigada 3 jornaleros o peones	3000
Limpia del terreno y marcaje de la zanja (m)	Jornalero o peón	2000
Excavación de la zanja (m ³)	Jornalero o peón	5
Limpieza de la zanja y conformación del bordo (m)	Jornalero o peón	200
BARRERAS DE PIEDRA EN CURVAS A NIVEL		
Trazo de curvas a nivel (m)	Brigada 3 jornaleros o peones	3000
Pepena de piedra (m)	Jornalero o peón	80
Acarreo de piedra (m)	Jornalero o peón	80
Conformación de barrera (m)	Jornalero o peón	60

ANEXO 3

DIMENSIONES MÍNIMAS RECOMENDADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS FILTRANTES

Sección A. Presas de piedra acomodada

A continuación se presentan dos tablas generales donde se muestran las dimensiones recomendadas para la construcción de presas de piedra acomodada con forma trapezoidal y rectangular. Para el uso de estas tablas únicamente es necesario saber la altura a la corona a la que se necesita construir la presa.

Para presas con forma trapezoidal:

Espesor de Corona e	Altura de la Presa (a la corona) H	Base de la Presa B	Área de sección m ²	Forma de Sección
0.26	0.40	0.59	0.17	Trapezoidal
0.33	0.50	0.73	0.27	Trapezoidal
0.40	0.60	0.88	0.38	Trapezoidal
0.46	0.70	1.03	0.52	Trapezoidal
0.53	0.80	1.17	0.68	Trapezoidal
0.59	0.90	1.32	0.86	Trapezoidal
0.66	1.00	1.47	1.06	Trapezoidal
0.73	1.10	1.61	1.29	Trapezoidal
0.79	1.20	1.76	1.53	Trapezoidal
0.86	1.30	1.91	1.80	Trapezoidal

0.92	1.40	2.05	2.09	Trapezoidal
0.99	1.50	2.20	2.39	Trapezoidal
1.06	1.60	2.35	2.72	Trapezoidal
1.12	1.70	2.50	3.07	Trapezoidal
1.19	1.80	2.64	3.45	Trapezoidal
1.25	1.90	2.79	3.84	Trapezoidal
1.32	2.00	2.94	4.26	Trapezoidal
1.39	2.10	3.08	4.69	Trapezoidal
1.45	2.20	3.23	5.15	Trapezoidal
1.52	2.30	3.38	5.63	Trapezoidal
1.58	2.40	3.52	6.13	Trapezoidal
1.65	2.50	3.67	6.65	Trapezoidal

Para presas con forma rectangular:

Espesor de Corona e	Altura de la Presa (a la corona) H	Base de la Presa B	Área de sección m ²	Forma de Sección
0.31	0.40	0.31	0.13	Rectangular
0.39	0.50	0.39	0.20	Rectangular
0.47	0.60	0.47	0.28	Rectangular
0.55	0.70	0.55	0.39	Rectangular
0.63	0.80	0.63	0.50	Rectangular
0.71	0.90	0.71	0.64	Rectangula

Sección B. Presas de morillos

Para presas de morillos, el ancho de la presa puede ser definido por la altura como lo muestra el cuadro siguiente:

H	BC
0.4	0.28899799
0.5	0.36124749
0.6	0.43349699
0.7	0.50574649
0.8	0.57799598
0.9	0.65024548
1	0.72249498
1.1	0.79474448
1.2	0.86699398
1.3	0.93924347
1.4	1.01149297
1.5	1.08374247
1.6	1.15599197
1.7	1.22824147
1.8	1.30049096
1.9	1.37274046
2	1.44498996
2.1	1.51723946
2.2	1.58948896
2.3	1.66173845
2.4	1.73398795
2.5	1.80623745

Esta edición estuvo a cargo de Equilátero
(Desarrollos Impresos de México, S.A. de C.V.)
Félix Rougier 3856, Col. Loma Bonita, C.P. 45087
Zapopan Jalisco, México. y se terminó de imprimir en
octubre de 2014. El tiraje fue de 5,000 ejemplares.



SEMARNAT

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES

EJEMPLAR GRATUITO PROHIBIDA SU VENTA www.gob.mx/conafor 01800 73 70 000

 Comisión Nacional Forestal

 @CONAFOR

 conaforgob

 conafor