





OBRAS PARA EL CONTROL DE EROSIÓN LAMINAR





TERRAZAS

Terrazas de muro vivo



FIGURA 131. TERRAZAS DE MURO VIVO

Son terraplenes que se forman gradualmente, a partir del movimiento de suelo que se da durante las labores de cultivo en terrenos de ladera y es retenido por setos de diversas especies de árboles o arbustos que se establecen siguiendo curvas a nivel (Figura 131).



¿Para qué sirven?

- Reducir la erosión hídrica en terrenos preferentemente forestales.
- Controlar el escurrimiento superficial a velocidades no erosivas y dirigirlo hacia una salida estable.
- Propiciar la formación de terrazas.

Beneficios

- Disminuyen el grado y longitud de la pendiente.
- Impiden la formación de cárcavas.
- Reducen el contenido de sedimentos en el agua de escorrentía.
- Disminuyen la velocidad del escurrimiento y favorecen una mayor infiltración.
- Aportan materia orgánica al suelo.
- Mejoran el paisaje.
- Mejoran los sistemas de producción en laderas.
- Generan productos adicionales, como leña o forraje.

a) Elementos de diseño

Para diseñar las terrazas de muro vivo se debe 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.

b) Espaciamiento

La fórmula considera la pendiente y la precipitación anual para determinar el espacio entre terrazas:

$$IV = \left(2 + \frac{P}{3 \text{ ó } 4} \right) \times 0.305$$



Donde:

IV= intervalo vertical (m).

P= pendiente del terreno (%).

3= factor que se utiliza donde la precipitación anual es menor a 1,200 mm.

4= factor que se utiliza donde la precipitación anual es mayor a 1,200 mm.

0.305= factor de conversión de pies a metros.

El intervalo horizontal se estima de la siguiente manera:

$$IH = \frac{IV}{P} \times 100$$

Donde:

IH = intervalo horizontal (m).

IV = intervalo vertical (m).

P= pendiente del terreno (%).

En el cuadro se presentan algunos valores como datos de referencia para obtener el desnivel (intervalo vertical) y distancias entre hileras (intervalo horizontal) que se recomiendan en función de la pendiente del terreno y la cantidad de lluvia presente en el lugar donde se efectuará la obra.

Cuadro 19

Valores referentes al intervalo vertical o desnivel e intervalo horizontal espacio entre hileras recomendables				
PENDIENTE	INTERVALO VERTICAL (IV)		INTERVALO HORIZONTAL (IH)	
	Menor a 1,200 mm*	Mayor a 1,200 mm*	Menor a 1,200 mm*	Mayor a 1,200 mm*
2	0.81	0.76	40.5	38.0
5	1.11	0.99	22.2	19.8
10	1.62	1.37	16.2	13.7
15	2.13	1.75	14.2	11.6
30	3.66	2.90	12.2	9.7
40	4.67	3.66	11.7	9.2
50	5.69	4.42	11.4	8.8

*Cantidad de lluvia promedio anual para cada lugar

c) Trazo para la construcción del seto

El trazo de las curvas de nivel se puede efectuar mediante el uso del aparato “A”, nivel de manguera u otro como se indica en el Capítulo 2 de este Manual.

Cuando se tiene que trabajar en terrenos donde la pendiente es uniforme, se establece la línea de máxima pendiente, dependiendo del grado de inclinación, se determina la separación entre cada línea, marcando con una estaca a lo largo de la línea divisora o de máxima pendiente y luego se procede, en cada una de ellas, al trazo de curvas a nivel marcando el terreno con estacas o piedras para que, con base en estas marcas, se construya un pequeño surco.

En el caso de terrenos que presentan variabilidad en la pendiente es necesario ubicar zonas con pendientes iguales y en cada una de ellas se efectúan los trazos mencionados anteriormente (Figura 132).



FIGURA 132. TERRENO DONDE SE OBSERVAN LAS CURVAS A NIVEL



d) Establecimiento de seto o cerco vivo

Las especies forestales más utilizadas para la formación de terrazas de muro vivo en zonas tropicales son el “cocuile” o “palo de sol” (*Gliricidia sepium*) y “palo mulato” (*Bursera* spp). Las plantas que constituyan el muro vivo se pueden establecer por estacas, siembra directa o por una combinación de ambas:

- Plantación por estaca. Se lleva a cabo a partir de estacas que se recolectan de árboles de “cocuile” (*Gliricidia sepium*) “palo mulato” o “chaká” (*Bursera* spp) y ciruela mexicana (*Spondia* spp), que se prefieren por su rápido crecimiento. A las estacas se les debe dar forma de punta en el extremo inferior para que se anclen fácilmente al suelo y deberán tener una longitud promedio de 30 a 40 centímetros. Se recomienda que se coloquen a distancias de 25 centímetros entre estaca y estaca, en forma lineal, sobre las curvas de nivel.
- Siembra directa. Se recomienda utilizar el método de plantación a doble hilera con separación de 20 centímetros entre ellas y siembra a “chorrillo” (Figura 133).



FIGURA 133. MÉTODO DE SIEMBRA A DOBLE HILERA DE COCUITE (*Gliricidia sepium*)

- Plantación combinada. Consiste en plantar estacas desde 30 centímetros hasta 1.5 metros de altura, a distancias de entre 50 centímetros y 2 metros en forma lineal. 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 centímetros entre hileras (Figura 134).



FIGURA 134. FORMACIÓN DE SETO CON ESTACAS DE PALO MULATO (*Busera spp*) COMBINADAS CON SIEMBRA DIRECTA DE COCUITE (*Gliricidia sepium*)

e) Manejo del cerco o muro vivo

Algunas actividades que se recomienda realizar durante la formación del seto son las siguientes:

- Deshierbe. Es conveniente efectuar el control de malezas por el método manual, usando machete, para no afectar los cultivos establecidos entre las franjas. Esto deberá realizarse 30, 60 y 120 días después de la siembra, durante el primer año de establecimiento del cerco o muro vivo (Figura 135).



FIGURA 135. DESHIERBE DE UN SETO



Al hacer los deshierbes se deben acumular los residuos en la parte de aguas arriba de la barrera para propiciar la formación de terrazas.



FIGURA 136. FERTILIZACIÓN Y APORQUE EN TERRAZAS DE MURO VIVO

- Fertilización. Después de 30 días de la siembra, se recomienda aplicar 40 gramos de superfosfato de calcio triple en forma de banda por cada metro lineal (Figura 136).



FIGURA 137. ESTABLECIMIENTO DE SETOS CON ZANJAS

- Aporque o atierre. Consiste en acercar tierra y rastrojo del cultivo anterior en la base y aguas arriba del muro vivo para proporcionar mayor estabilidad al cerco, formar los bancales y conducir los excesos de agua en forma controlada (Figura 137).

- Poda. Es una de las actividades más importantes ya que las ramas y hojas aportan materia orgánica que se incorpora al suelo. Un año después del establecimiento del cerco se recomiendan dos podas al año para evitar que el crecimiento excesivo de ramas invada el terreno arable; también se debe controlar el excesivo amacollamiento.

f) Recomendaciones

Para que un sistema de terrazas sea efectivo, se recomienda dar mantenimiento al seto a través de una combinación de prácticas como: surcado al contorno, cultivos en faja, rotación de cultivos y un manejo del suelo ajustado a su capacidad de uso. Para ello se deberán utilizar especies nativas o introducidas que cumplan con los siguientes requisitos:

- De rápido crecimiento.
- Que no compitan por luz con los cultivos.
- Que no sean hospederos de plagas.
- De fuerte desarrollo radical.
- Que puedan utilizarse como abono verde, forraje, leña, entre otros.

Las semillas o estacas que se utilicen deben estar libres de plagas y enfermedades, además de presentar alto vigor.

Se recomienda efectuar la siembra o trasplante de especies vegetales para terraza de muro vivo en época de lluvia, con el fin de promover mejores resultados en la germinación de semillas y enraizamiento de estacas.

Como complemento a la formación de terrazas es conveniente plantar especies forestales maderables que se adapten a la zona, o bien especies frutales de las cuales se pueda obtener un ingreso adicional.



g) Costos

En los cuadros 20 y 21 se reportan los costos para establecer y mantener terrazas de muro vivo a través de estacas y usando semilla.

Se considera una franja de 100 metros lineales a una distancia de 25 centímetros entre estaca y estaca. No se considera la compra de éstas sino los jornales que se requieren para la corta, donde se incluye “sacarle punta a la estaca” y el traslado.

Cuadro 20

Costos promedio para el establecimiento de terrazas de muro vivo (a través de estacas) en 100 metros lineales				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO DE LA ACTIVIDAD \$
Corta de material*	Jornal	45	2	90
Acondicionamiento y acarreo de estacas	Jornal	45	3	135
Trazo de curvas a nivel y construcción de bordo	Jornal	45	1	45
Estacado	Jornal	45	1	45
				TOTAL \$ 315

*Estacas de palo mulato.



Cuadro 21

Costos promedio para la instalación de terrazas de muro vivo (usando semilla) en una hectárea				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO DE LA ACTIVIDAD \$
Recolección de semilla*	Jornal	45	6	270
Trazo	Jornal	45	3	135
Surcado y siembra	Jornal	45	3	135
Fertilizante	Saco / 50 kilogramos	170	1	170
Aplicación de fertilizante	Jornal	45	1	45
Control de malezas	Jornal	45	9	405
				TOTAL \$ 1,160

Costos de mantenimiento				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO DE LA ACTIVIDAD \$
Aporque	Jornal	45	3	135
Podas	Jornal	45	2	90
				TOTAL \$ 225

*Semilla de cocuite (*Gliricidia sepium*), usada en zonas tropicales.

Por ejemplo, si se establecen cuatro terrazas de muro vivo de 100 metros lineales, distribuidas en una hectárea, a cada 25 metros, usando semilla, el costo es de \$1,160.00 por hectárea.



TERRAZAS

Terrazas de formación sucesiva



FIGURA 138. TERRAZA DE FORMACIÓN SUCESIVA O PAULATINA

Son terraplenes que se forman por el movimiento del suelo entre los bordos de tierra. Éstos detienen el suelo que proviene del área entre terrazas, construyendo un canal de desagüe aguas abajo del bordo (Figura 138).

¿Para qué sirven?

- Controlar la erosión laminar.
- Interceptar los escurrimientos superficiales.
- Propiciar la formación de terrazas.
- Auxiliar a la reforestación en el incremento de la supervivencia de especies vegetales.

Beneficios

- Retienen suelo.
- Favorecen una mayor retención de humedad.
- Favorecen el desarrollo de especies forestales y vegetación natural.
- Disminuyen la longitud de la pendiente y por tanto la erosión del suelo.

a) Elementos de diseño

El proceso de construcción de terrazas de formación sucesiva consta de las siguientes actividades:

- Medir la pendiente del terreno.
- Determinar el intervalo vertical y horizontal.
- Construir las terrazas de formación sucesiva.
- Compactar el bordo.
- Plantar especies forestales sobre el bordo.

b) Cálculo de pendiente y trazo

Para estimar la pendiente en un terreno se puede utilizar el aparato “A” o nivel de mano. Posteriormente se traza una curva a nivel y se coloca una línea guía de estacas en la parte alta del terreno.



c) Espaciamiento

Para determinar la distancia entre terrazas, se debe considerar la pendiente del terreno como un elemento importante, la cantidad de lluvia que se presenta en la región, la dimensión de las áreas donde se aplicará la práctica y los implementos agrícolas disponibles.

El espaciamiento entre terrazas se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$IV = \left(2 + \frac{P}{3 \text{ ó } 4}\right) \times 0.305$$

Donde:

IV = intervalo vertical (m).

P = pendiente del terreno (%).

3 = si la precipitación es menor de 1,200 mm de lluvia al año.

4 = si la precipitación es mayor de 1,200 mm de lluvia anuales.

0.305 = factor de corrección de unidades.

El intervalo horizontal se estima de la siguiente manera:

$$IH = \frac{IV}{P} \times 100$$

Donde:

IH = intervalo horizontal (m).

P = pendiente del terreno (%).

100 = factor de conversión.

IV = intervalo vertical (m).

Dado que las terrazas de formación sucesiva se recomiendan para áreas forestales, se pueden construir de forma alterna, esto es, que cuando las pendientes sean mayores de 25% el movimiento de tierra debe ser bastante alto, para lo cual se pueden construir al doble del espaciamiento calculado.

Hay que recordar que en áreas forestales no se deben realizar otras actividades que propicien la formación de bancales y las terrazas sólo se deben usar para controlar la erosión e incrementar el tiempo de la humedad en el suelo que propiciará un incremento en la supervivencia de la reforestación.

d) Proceso de construcción

Primer paso. La formación de la terraza inicia con la construcción de un bordo a través del uso de maquinaria, equipo de tracción animal en forma manual (con pico y pala) o de manera combinada, de acuerdo con las condiciones de cada lugar y los recursos disponibles.

Segundo paso. La profundidad y el ancho de corte dependerán de la profundidad del suelo y de la pendiente del terreno (Figura 139).



FIGURA 139. CONSTRUCCIÓN DEL BORDO PARA TERRAZAS SUCESIVAS

Tercer paso. La formación del bancal se logra con el arrastre de suelo comprendido entre bordos y zanjas y sobreelevando constantemente el bordo de contención; en el caso de terrenos forestales se formarán el bordo y el canal de desagüe, pudiéndose reforestar tanto en el bordo como en el área comprendida entre ellos (Figura 140).



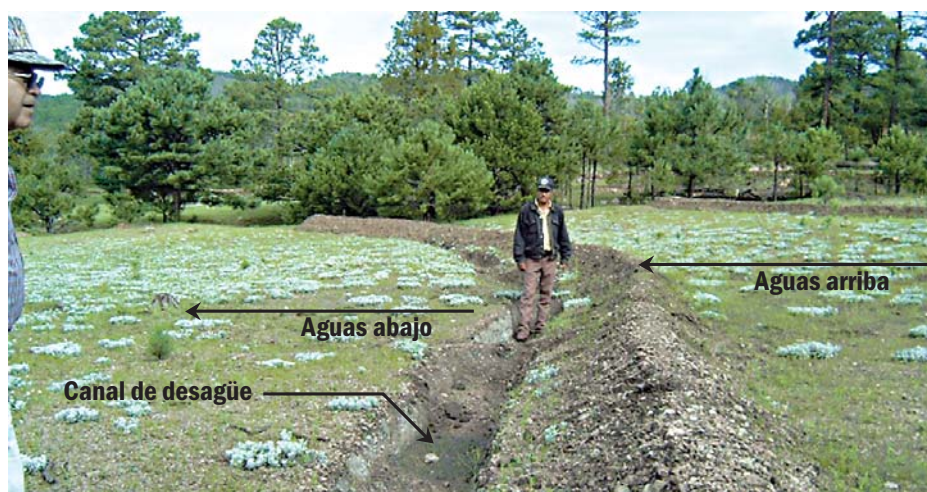


FIGURA 140. CANAL DE DESAGÜE FORMADO DE LA EXTRACCIÓN DE TIERRA AGUAS ABAJO

Cuarto paso. Cuando las terrazas de formación sucesiva se construyen en terrenos de uso agrícola o pecuario, es conveniente plantar maguey, nopal y otras especies forestales o frutales que permitan estabilizar el bordo y propiciar la reconversión del uso del suelo (Figuras 141 y 142).



FIGURA 141. REFORESTACIÓN ENTRE TERRAZAS



FIGURA 142. PLANTACIÓN DE MAGUEY SOBRE BORDOS

e) Distribución

La distribución de bordos para terrazas de formación sucesiva en una hectárea con pendiente de 8% debe ser, en promedio, de 20 metros entre bordos (Figura 143).



FIGURA 143. DISTRIBUCIÓN DE BORDOS EN ÁREAS FORESTALES

f) Recomendaciones

- Se recomienda aplicar esta obra en terrenos de más de 5% de pendiente y hasta 35% (pendientes mayores requieren un espaciamiento muy corto, hay mucho movimiento de tierra, tienen mayor costo y ya no son tan recomendables).
- La construcción de terrazas de formación sucesiva es factible bajo cualquier régimen pluviométrico debido a que el bordo se puede construir a nivel o considerando una pendiente de desagüe.
- Es conveniente combinar la obra con otras prácticas de protección, conservación y restauración de suelos como: reforestación, acomodo de material vegetal en curvas de nivel, presas para control de azolve, terrazas individuales, zanjales trinchera, entre otros.



g) Costos

Cuadro 22

Costos promedio para la aplicación de terrazas de formación sucesiva				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO DE LA ACTIVIDAD \$
Trazo de curvas a nivel	Jornal	45	0.25	11
Excavación para formación de zanja	Jornal	45	7.60	342
Conformación del bordo	Jornal	45	2.00	90
TOTAL				\$ 443

Se consideran 100 metros de zanja con una dimensión de 0.40 metros de profundidad y 0.60 metros de ancho, y bordos con una altura de 0.40 metros y 0.80 metros de base.

Si en una hectárea se separan cada 20 metros, el costo de 5 líneas deberá ser de \$2,215.00



TERRAZAS

Terrazas individuales



FIGURA 144. TERRAZA INDIVIDUAL

Son terraplenes de forma circular, trazados en curvas a nivel de un metro de diámetro en promedio. En la parte central de ellas se establece una especie forestal (Figura 144).



¿Para qué sirven?

- Evitar la erosión de laderas.
- Retener el suelo de las escorrentías.
- Captar agua de lluvia.
- Mantener mayor humedad para el desarrollo de especies forestales.

Beneficios

- Permiten el control de la erosión.
- Retienen y conservan la humedad en áreas localizadas.
- Favorecen el aprovechamiento de fertilizantes.
- Incrementan la supervivencia de árboles en la reforestación.
- Aceleran el desarrollo de especies vegetales.

a) Elementos de diseño

Las terrazas individuales se deben construir en suelos con profundidades mayores a 30 centímetros. Se deben alinear en curvas a nivel y separarse de acuerdo con la pendiente y densidad de plantas que requiere cada especie forestal (Figura 145).

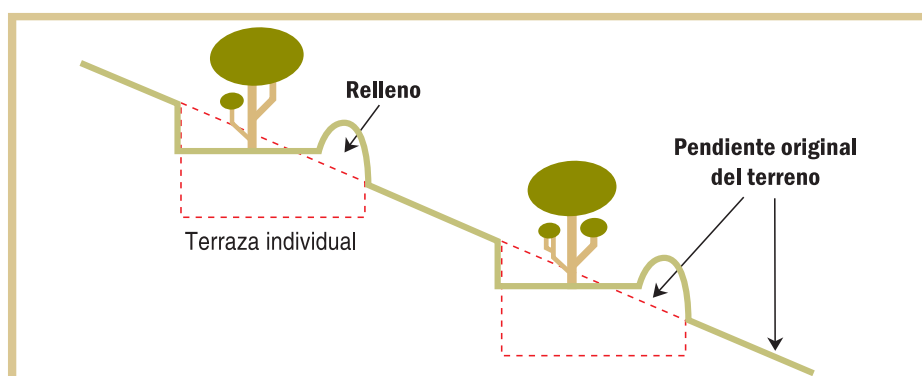


FIGURA 145. SECCIÓN TRANSVERSAL DE TERRAZAS INDIVIDUALES



La dimensión promedio de las terrazas individuales es de un metro de diámetro en donde se forma un “círculo” de captación de agua y de suelo (Figura 146).



FIGURA 146. PLANTACIÓN DE *PINUS GREGGII* DE TRES AÑOS DE EDAD EN TERRAZAS INDIVIDUALES

b) Proceso de construcción

Primer paso. Para su construcción, se utiliza una estaca y una cuerda de 0.5 metros de largo; se debe trazar un círculo de un metro de diámetro.

Segundo paso. Después, se procede a excavar en la parte superior del círculo, depositando y conformando un bordo circular con el suelo excavado, que permita almacenar agua de lluvia y proporcionar humedad a las especies forestales ahí plantadas. Dicho bordo puede reforzarse con piedras u otro material.

Tercer paso. Dependiendo de las condiciones topográficas del terreno, se les puede dar a las terrazas una inclinación en contra pendiente dentro de la terraza.

Cuarto paso. La capacidad de almacenamiento de agua dependerá del tipo de suelo. En zonas con alta incidencia de lluvias se recomienda plantar cada arbolito cerca del bordo construido en el área de relleno y no en el centro de la terraza. Con esto se trata de evitar pudriciones o ahogamiento por exceso de agua.

Quinto paso. Las terrazas individuales deben tener como medidas promedio: un metro de diámetro y 10 centímetros de profundidad de corte, con taludes estabilizados con piedra o pastos. Estas medidas pueden variar de acuerdo con la pendiente y a la profundidad del suelo (Figura 147).

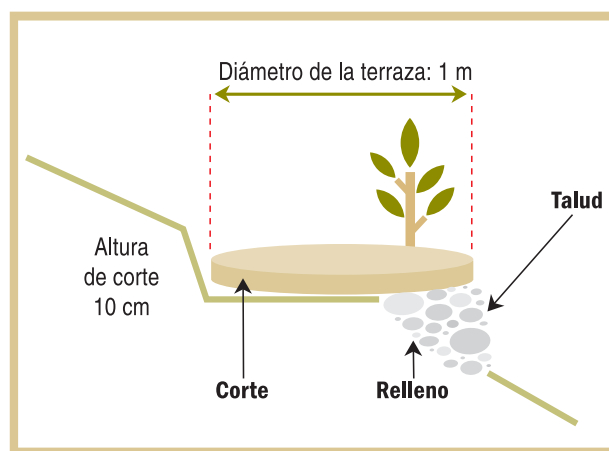


FIGURA 147. SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA TERRAZA INDIVIDUAL

Sexto paso. Para este tipo de obra de conservación de suelos, se recomiendan especies forestales u otras, como el maguey, nopal o frutales (Figura 148).



FIGURA 148. TERRAZA INDIVIDUAL CAPTANDO AGUA DE LLUVIA



Séptimo paso. Un ejemplo de distanciamiento recomendado en el diseño de terrazas individuales es de 3 metros entre cajete y cajete, en método de “tres bolillo” (Figura 149). A distancias de 3 x 3 metros, se alcanzan densidades de 1,111 terrazas individuales por hectárea.

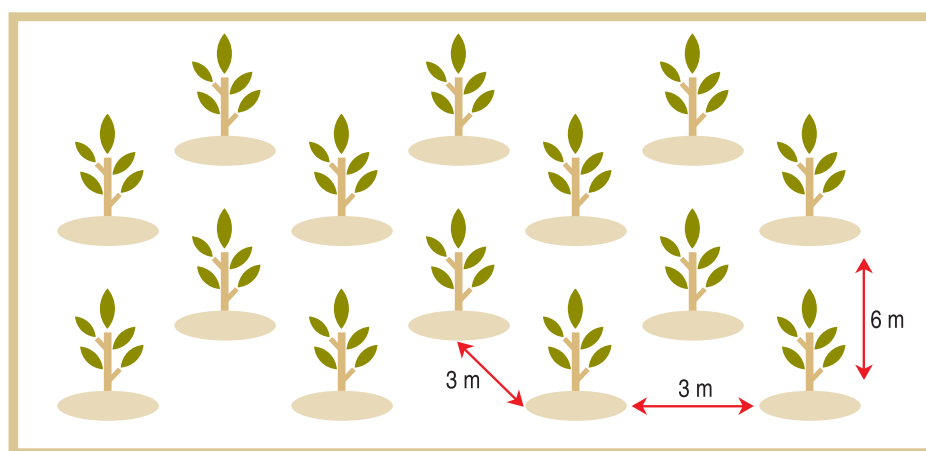


FIGURA 149. DISTRIBUCIÓN DE TERRAZAS INDIVIDUALES CON ESPECIES FORESTALES EN “TRES BOLILLO”

c) Recomendaciones

Para alcanzar mayores beneficios en la aplicación de terrazas individuales se ofrecen las siguientes recomendaciones:

- En regiones áridas y semiáridas, se debe reducir la cantidad de terrazas y árboles para evitar la competencia por humedad. También se deben construir bordos sobre las curvas a nivel para retener escurrimientos y captar mayor cantidad de agua. De ser posible, se debe encauzar dichos escurrimientos hacia la terraza.
- En regiones tropicales, se recomienda combinar las terrazas individuales con canales de desagüe que intercepten y desalojen los excesos de agua en forma controlada.
- Una actividad importante en la aplicación de esta práctica es la estabilización de taludes en la zona de corte y relleno mediante la colocación

de piedras o cultivos de cobertera para evitar la destrucción de la obra y el mal funcionamiento.

- En cuanto al manejo de las especies forestales establecidas en las terrazas se recomienda tener presente los siguientes aspectos:
 - Se deben plantar especies resistentes a la sequía en zonas áridas o tolerantes a los excesos de humedad en zonas tropicales.
 - Los arbolitos se deben mantener libres de hierbas, arbustos y árboles no deseables.
 - Hay que eliminar árboles enfermos y controlar plagas y enfermedades.
 - Es preferible reducir el número de árboles y dejar sólo los que presenten mayor vigor y sanidad, para regular la distribución del espacio y mejorar su desarrollo.
 - Se deben construir brechas cortafuego para proteger las plantaciones.

d) Costos

Cuadro 23

Costos promedio para la aplicación de terrazas individuales				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO DE LA ACTIVIDAD \$
Trazo de curvas a nivel	Jornal	45	0.25	11
Limpia del terreno	Jornal	45	0.75	34
Excavación	Jornal	45	2.00	90
Conformación del bordo	Jornal	45	1.00	45
TOTAL				\$ 180

Se considera una densidad de 1,111 plantas para una hectárea. El costo total así sería de \$2,000.00.



TERRAZAS

Barreras de piedra en curvas a nivel



FIGURA 150. BARRERA DE PIEDRA EN CURVA A NIVEL

Son un conjunto de rocas colocadas de manera lineal en curvas a nivel y de manera perpendicular a la pendiente para retener suelo en zonas con presencia de erosión hídrica laminar. Normalmente se utiliza una sección cuadrangular de 30 centímetros x 30 centímetros (Figura 150).

¿Para qué sirven?

- Disminuir la velocidad de escurrimientos en terrenos de ladera.
- Coadyuvar al establecimiento de la vegetación forestal.
- Retener suelo en zonas con erosión laminar.
- Propiciar la infiltración de agua.

Beneficios

- Aumentan la cantidad de agua infiltrada.
- Disminuyen la erosión hídrica laminar.
- Favorecen la disponibilidad de agua para vegetación forestal.
- Mejoran la calidad del agua.

a) Elementos de diseño

Las barreras de piedra en curvas a nivel se deben implementar en terrenos con presencia de erosión hídrica laminar, es decir, donde exista evidencia de arrastre de partículas de suelo en forma de capas en la superficie, debido a la escasa cubierta vegetal y a la inclinación del terreno.

Además deben existir, en la zona adyacente, suficientes rocas que garanticen el volumen requerido y que se encuentren aflorando sobre la superficie sin necesidad de excavar para poderlas obtener.

Dependiendo de la variabilidad de la pendiente del terreno, se procede a fraccionar la superficie en áreas homogéneas, obteniendo en cada una de ellas la pendiente media, la separación entre líneas, para luego el trazo de las curvas a nivel, que se marcan en el terreno con estacas o con las mismas rocas, según se mencionó en el capítulo correspon-



diente. Se deben ubicar los lugares en donde se presenten cárcavas o se concentren escurrimientos y ahí construir un sistema de presas.

b) Cálculo de espaciamiento de acuerdo con la pérdida de suelo

Otra manera de obtener el espaciamiento entre líneas es utilizando datos de erosión actual del terreno en cuestión, los cuales se pueden obtener a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo y, dependiendo de este valor, es calculado el distanciamiento proyectado a cinco años, que es el tiempo mínimo de vida útil de este tipo de obra y durante el cual se restablecerá la vegetación.

Ejemplo:

En una superficie erosionada del ejido San Antonio, municipio de Jesús María, Jalisco, se determinó una pérdida promedio de suelo de 33 toneladas / hectárea / año. La pendiente promedio es de 15%. Para evitar la erosión se realizarán barreras de piedra de 30 centímetros de alto.

Se determina la separación de las barreras, a partir de la erosión en cinco años: $5 \times 33 = 165$ toneladas. La capacidad de retención por metro lineal de la barrera será de 0.42 toneladas (este dato se obtiene a partir del sexto y séptimo pasos del proceso de construcción que se indica en seguida).

Por lo tanto se necesitan 392.8 metros de barrera para retener las 165 toneladas o, lo que es lo mismo, 3.92 hileras de 100 metros. Con ello, se obtiene la separación: $100 / 3.92 = 25.5$ metros.

c) Proceso de construcción

Primer paso. Se inician los trabajos en la parte más alta de la zona, para lo cual se debe recoger, acarrear y distribuir la piedra a lo largo de las curvas a nivel previamente trazadas.

Segundo paso. Se abre una zanja de 10 centímetros de profundidad para cimentar y dar estabilidad a la barrera.

Tercer paso. Luego, se procede a colocar las rocas de tal manera que se forme una barrera cuadrangular de 30 centímetros de alto por 30 centímetros de grosor.

Cuarto paso. El suelo producto de la excavación de la zanja se arrima a la barrera de piedras para rellenar los intersticios (pequeños huecos) que quedan al realizar el acomodo. Los residuos de materiales vegetales también pueden incorporarse a la barrera.

Quinto paso. Las rocas se deben colocar de tal modo que las caras más planas queden hacia afuera, principalmente las que van a estar en contacto con los sedimentos. En algunos casos, es necesario partir las rocas con marro para lograr que las caras sean planas. Para tener una mejor conformación de la barrera se pueden colocar algunos hilos siguiendo las curvas a nivel (Figura 151).



FIGURA 151. ACOMODO DE PIEDRA



Sexto paso. Para estimar la cantidad total de sedimentos se procede a determinar la pendiente del terreno, la cual, junto con la altura de la barrera y aplicando la fórmula de pendiente, sirve para establecer la distancia horizontal a la cual llegarán los azolves cuando la barrera alcance su máxima capacidad de retención para lo cual fue diseñada.

Séptimo paso. Se forma un triángulo rectángulo, al que se le debe calcular el área. Esta cantidad se multiplica por la densidad aparente (que se determina de acuerdo con la textura del suelo, según se indica en el Cuadro 24), y se obtiene así el peso del suelo retenido por cada metro lineal de barrera (Figura 152).

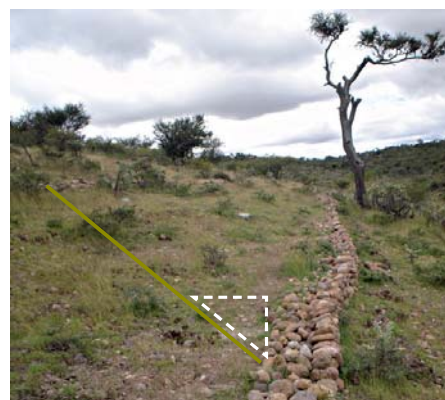
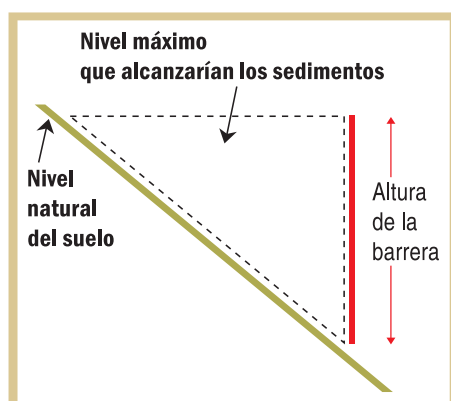


FIGURA 152. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE AZOLVES

Cuadro 24

Textura del suelo y densidad aparente	
TEXTURA DEL SUELO	DENSIDAD APARENTE (GRAMOS / MILILITRO)
Arena	1.6
Franco arenoso	1.5
Franco	1.4
Franco limoso	1.3
Franco arcilloso	1.2
Arcilla	1.1

d) Costos

Cuadro 25

Barreras de piedra en curvas a nivel, 100 metros (30 centímetros de alto x 30 centímetros de grosor)				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO DE LA ACTIVIDAD \$
Trazo de curvas a nivel	Jornal	45	0.25	11.25
Pepena	Jornal	45	2.0	90
Acarreo	Jornal	45	1.50	67.50
Acomodo de piedra	Jornal	45	4.50	202.50
TOTAL				\$ 371.25

Considerando 500 metros de barreras, distribuidas en una hectárea, los costos corresponden a \$1,856.25.



ZANJAS

Zanjas trincheras (tinas ciegas)



FIGURA 153. ZANJA TRINCHERA (TINA CIEGA)

Son excavaciones en curvas a nivel de 0.4 metros de ancho x 0.4 metros de profundidad y 2 metros de longitud, en promedio, trazadas a “tres bolillo” y separadas con tabique divisor de 2 metros de largo. También se les denomina zanjas ciegas (Figura 153).

¿Para qué sirven?

- Reducir la erosión hídrica.
- Interceptar los escurrimientos superficiales.
- Incrementar la infiltración del agua de lluvia.
- Auxiliar a la reforestación en la sobrevivencia de especies vegetales.

Beneficios

- Retienen azolves.
- Favorecen una mayor infiltración de agua.
- Retienen y conservan humedad en áreas localizadas.
- Favorecen el desarrollo de especies forestales y de vegetación natural.

a) Elementos de diseño

En el diseño de esta obra, se debe considerar al recurso agua como el elemento más importante de administrar, ya que es posible controlar el volumen y la velocidad de los escurrimientos superficiales mediante el uso de zanjas trincheras. Estas zanjas benefician directamente al suelo al evitar erosión y promover mayor supervivencia del área de escurrimiento, esto es, la superficie de aguas arriba de la zanja, por donde escurre el agua precipitada que llega directamente a la zanja.

b) Distribución

La distancia entre hileras está determinada por el escurrimiento superficial que se pretende captar. Éste se ve afectado por la vegetación, la pendiente, el tipo y uso del suelo y la cantidad de precipitación expresada en milímetros.



Para satisfacer los objetivos propuestos con estas obras, se ha determinado que se debe captar 50% de los escurrimientos para un periodo de retorno de cinco años.

Para determinar el distanciamiento entre líneas de zanjas se debe realizar el siguiente procedimiento:

Primer paso. Se debe estimar el escurrimiento considerando una lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de cinco años (expresado en milímetros).

Segundo paso. Hay que multiplicar el dato anterior x 0.5 (porque se captará 50% del total escurrido).

Tercer paso. Con estos datos se obtiene el área de escurrimiento, para lo cual se divide el volumen de excavación o capacidad de almacenamiento de cada zanja entre el escurrimiento a captar, expresado en metros.

Cuarto paso. Como cada zanja es de 2 metros, el resultado del tercer paso se divide entre dos.

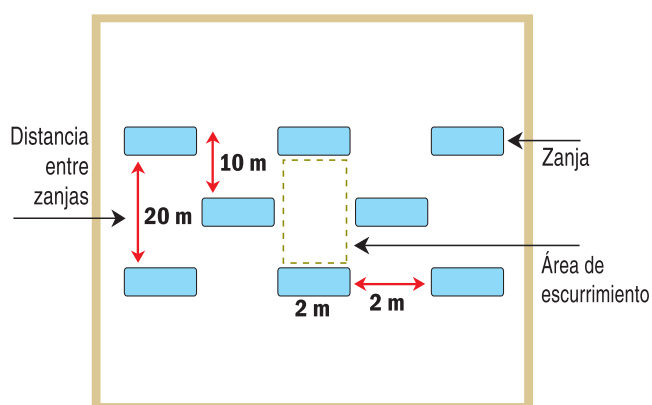


FIGURA 154. DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE ZANJAS TRINCHERA EN "TRES BOLILLO"

Quinto paso. Para obtener la distancia entre líneas consecutivas, el resultado del cuarto paso se divide nuevamente entre dos, ya que el tabique divisor es también de 2 metros (Figura 154).

Ejemplo:

Considerando las dimensiones de 0.4 x 0.4 x 2 metros (0.32 metros) para zanjas trincheras, para calcular el espaciamiento entre líneas consecutivas en un terreno en donde se estimó un escurrimiento medio de 13.5 milímetros para una lluvia máxima de 24 horas en un periodo de retorno de cinco años se realiza el siguiente procedimiento:

Primer paso. Se estima que el escurrimiento es de 13.5 milímetros para una lluvia máxima de 24 horas en un periodo de retorno de cinco años.

Segundo paso. Se multiplica el escurrimiento por 0.5 ($13.5 \times 0.5 = 6.75$ milímetros).

Tercer paso. Se calcula el área de escurrimiento: $0.32 \text{ metros} / 0.00675 \text{ metros lineales} = 47.40 \text{ metros cuadrados}$.

Cuarto paso. Se divide entre dos: $47.40 / 2 = 23.70 \text{ metros}$

Quinto paso. De nuevo se divide entre dos ya que las zanjas no son continuas: $23.70 / 2 = 11.85 \text{ metros}$.

Sexto paso. En este caso, para facilitar el trazo, se reduce a 10 metros, por lo que la separación entre líneas consecutivas será de 10 metros.

Ya que los datos de lluvias son un promedio nacional, esta separación puede utilizarse como base para determinar costos a nivel nacional.

c) Proceso de construcción

Primer paso. Las zanjas trinchera se construyen siguiendo una curva a nivel previamente trazada con apoyo del aparato "A" o nivel de manguera, formando una línea guía con estacas o cal en polvo.



Segundo paso. Se coloca una marca cada 2 metros, en promedio, que corresponde a la distancia calculada y que se ajusta de acuerdo con las condiciones topográficas de cada terreno.



FIGURA 155. EXCAVACIÓN DE ZANJA TRINCHERA

Tercer paso. Se procede a la excavación con pala y pico. Es recomendable depositar el suelo, producto de la excavación, aguas abajo, formando un bordo de una longitud igual a la de la zanja, y se debe compactar para evitar que la corriente arrastre el suelo (Figura 155).

Cuarto paso. Es conveniente considerar las medidas recomendables en zanjas trincheras, ya que la pendiente del terreno puede afectar sus dimensiones al momento de su construcción. Por ello, en terrenos inclinados, se debe medir los 40 centímetros de profundidad a la mitad del ancho de la zanja, es decir, a 20 centímetros (Figura 156).

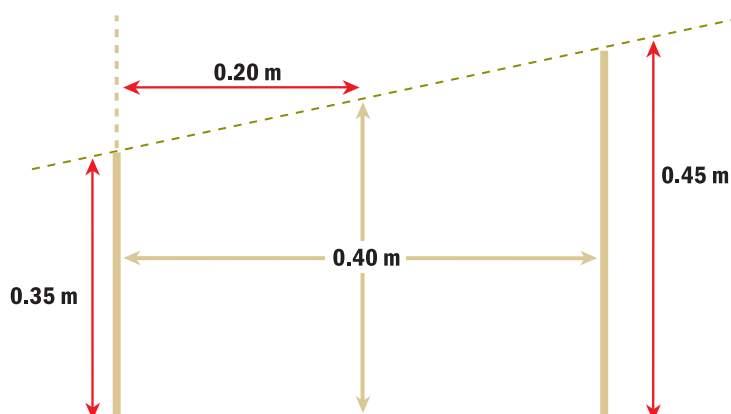


FIGURA 156. SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA ZANJA TRINCHERA EN TERRENO CON PENDIENTE



Quinto paso. Las medidas promedio que se recomiendan para la construcción de las zanjas son: 2.0 metros de largo, 0.4 metros de profundidad y 0.4 metros de ancho (Figura 157).

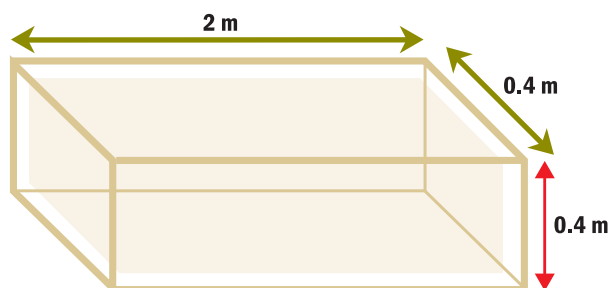


FIGURA 157. DIMENSIONES DE UNA ZANJA TRINCHERA

La capacidad de almacenamiento de agua dependerá de las condiciones de la vegetación, el tipo de suelo y la cantidad de lluvia que se presente en cada zona (Figura 158).

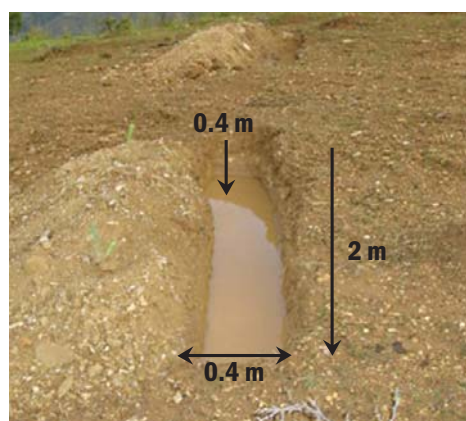


FIGURA 158. ZANJA TRINCHERA EN FUNCIONAMIENTO

Sexto paso. El adecuado funcionamiento de las zanjas trincheras depende del mantenimiento de la obra, ya que los procesos de sedimentación disminuyen la capacidad de captación de agua de lluvia, así como también reducen el tiempo de vida útil para el que fueron construidas. Por ello, es conveniente que se desalojen los sedimentos acumulados durante el tiempo que requieren las plantaciones para asegurar un desarrollo adecuado (cinco años en promedio), dependiendo de cada especie, condiciones climáticas y edáficas (del suelo) para cada lugar.

La construcción de zanjas trincheras permite incrementar las densidades de árboles debido a que se pueden plantar sobre los bordos de las zanjas y en los tramos intermedios de ellas. Las zanjas dosifican el agua en el tiempo y propician un flujo lateral a los árboles intermedios.



El espacio que se deja entre hileras de zanjas representa el área de escurrimiento superficial aguas arriba de las zanjas (Figura 159).



FIGURA 159. DISEÑO EN CAMPO DE DISTRIBUCIÓN DE ZANJAS TRINCHERA

Séptimo paso. Si se considera una separación de 2 metros entre zanja y zanja en una misma curva a nivel, y cada una mide 2 metros de largo, entonces en 100 metros lineales se pueden construir 25 zanjas con dimensiones de 2.0 x 0.4 x 0.4 metros. La distancia entre ellas es de 20 metros y entre hileras alternas es de 10 metros; por lo tanto, se construyen en promedio 250 zanjas por hectárea, que equivalen a 500 metros lineales, distribuidos cada 10 metros (Figura 160).

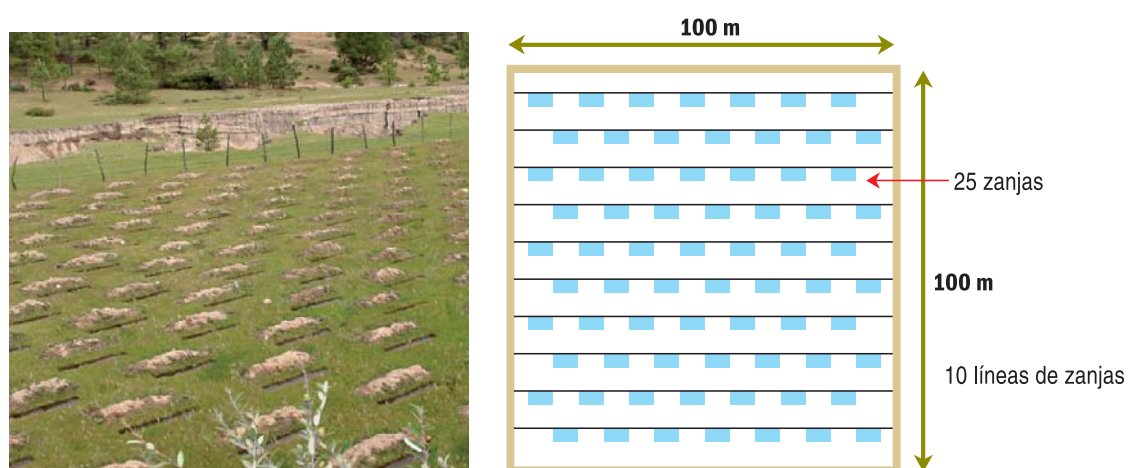


FIGURA 160. DISTRIBUCIÓN DE ZANJAS TRINCHERA EN UNA HECTÁREA

d) Recomendaciones

- Cuando se busca retener humedad se recomienda compactar la base de la tina ciega para reducir la infiltración de agua de lluvia.
- Para lograr el mayor aprovechamiento en la captación de agua de lluvia, se recomienda modificar la pendiente de tal manera que el agua se conduzca hacia las zanjas trincheras. También, se deben eliminar los obstáculos que desvíen los escurrimientos del sitio de interés.
- Se deben seleccionar especies forestales que se adapten en cada región y se establezcan en época de lluvia. Además, es necesario proporcionar cuidados suficientes para lograr mayor éxito en los beneficios de la obra.
- Este tipo de obra se recomienda para zonas semiáridas y templadas con pendientes no mayores a 40%, ya que el movimiento de tierra que se hace en la zanja aguas arriba propicia que se deposite en la zanja de aguas abajo por el escurrimiento superficial.
- Cuando las zanjas trinchera se usen para interceptar la escorrentía de una cárcava, el diseño debe ser calculado para captar el 100% del escurrimiento.

e) Costos

Para el presupuesto que se describe a continuación, se consideraron 100 zanjas con dimensiones de 2 metros de largo x 0.40 metros de ancho x 0.40 metros de profundidad y un tabique divisor de 2 metros, con un periodo de retorno de cinco años y captura de 35% a 50% de escurrimiento generado por precipitación pluvial.



Cuadro 26

Costos para la construcción de 100 zanjás trinchera				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO DE LA ACTIVIDAD \$
Trazo de curvas a nivel	Jornal	45	0.50	23
Limpia del terreno	Jornal	45	0.75	34
Excavación	Jornal	45	12.00	540
Conformación del bordo	Jornal	45	4.00	180
TOTAL				\$ 777

El costo de cada zanja es de \$7.77 y el costo por hectárea (250 zanjás) es de \$1,943.00, en promedio.



ZANJAS

Sistema de zanja bordo



FIGURA 161. SISTEMA DE ZANJA BORDO

Son un conjunto de zanjias y bordos continuos que se construyen siguiendo curvas a nivel, en donde el volumen de excavaci3n se coloca aguas abajo para formar el bordo. Las zanjias y los bordos disponen de diques divisores para controlar la velocidad del flujo de agua (Figura 161).

¿Para qué sirve?

- Disminuir la erosión hídrica.
- Controlar la velocidad de escurrimiento.
- Propiciar la infiltración de agua de lluvia.
- Retener humedad.

Beneficios

- Disminuye la velocidad de escurrimiento.
- Favorecen mayor infiltración de agua.
- Retienen humedad.
- Favorecen el desarrollo de especies forestales.

a) Elementos de diseño

Las zanjas se construyen siguiendo una curva de nivel a partir de una línea guía o línea madre. Este trazo se puede realizar con el aparato “A” o se puede utilizar el clisímetro, el nivel de manguera, el nivel de mano o el nivel montado con el tránsito (Figura 162).



FIGURA 162. TRAZO DE ZANJAS BORDO A PARTIR DE UNA LÍNEA GUÍA



b) Espaciamiento

Igual que en el caso de zanjas trinchera, se calcula el escurrimiento medio de una lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de cinco años, asumiendo que dicho escurrimiento es de 13.5 milímetros.

Para estimar el espacio entre zanjas se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

Primer paso. Se calcula el volumen del escurrimiento a captar para cada metro de zanja construida. Para ello, se deben considerar las siguientes dimensiones promedio para la zanja: 0.4 metros de profundidad x 0.4 metros de ancho x 1.0 metro de largo = 0.16 metros cúbicos.

Segundo paso. Para el diseño se utiliza una capacidad de almacenamiento de 50%, por lo que se estima captar 13.5 milímetros x 0.50 = 6.75 milímetros. Si las zanjas son de 0.16 metros cúbicos, el área de captación será: $0.16 / 0.00675$ metros = 23.70 metros cuadrados. Así, cuando la zanja es continua, se debe considerar una separación de 23.7 metros entre zanjas, aunque se puede ajustar a 20 metros, lo cual dará cinco zanjas por hectárea (considerando 100 x 100 metros). Esto permitirá captar un poco más del 50% del escurrimiento calculado.



FIGURA 163. DISTANCIA ENTRE ZANJAS BORDO

Tercer paso. A partir de las distancias recomendadas para zanjas bordo de 20 metros, se pueden ajustar de acuerdo con la topografía de cada terreno y de las condiciones ambientales de cada lugar (Figura 163).

Si se construyen cinco bordos de 100 metros cada uno, distribuidos cada 20 metros, se tendrá un promedio de 500 metros por hectárea de obra (Figura 164).



FIGURA 164. DISTRIBUCIÓN DE CINCO ZANJAS BORDO EN UNA HECTÁREA

c) Proceso de construcción

Primer paso. El bordo se debe formar con el producto del suelo extraído de la zanja y colocado aguas abajo de la misma. Las dimensiones promedio de cada zanja son de 0.4 metros de ancho x 0.4 metros de profundidad. Se recomienda que el fondo esté a nivel para que el agua no se estanque en una determinada zona (Figura 165).



FIGURA 165. FORMACIÓN DE UNA ZANJA BORDO COLOCANDO EL SUELO EXCAVADO AGUAS ABAJO

Segundo paso. Para controlar la velocidad de escurrimiento y evitar que en la zanja bordo se forme una cárcava, se recomienda dejar un dique de 30 o 40 centímetros aproximadamente, cada 4 o 5 metros. La altura del dique puede alcanzar la superficie del terreno o dejarlo a 10 centímetros de la superficie, para permitir el paso del agua de un tramo de la zanja a otro (Figura 166).





FIGURA 166. ZANJA BORDO CON DIQUES CADA 4 METROS



FIGURA 167. PARTICIPACIÓN DE LA MUJER EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS ZANJAS BORDO

Tercer paso. En la construcción de la zanja bordo se puede utilizar maquinaria agrícola, para lo cual se diseña o se adapta un implemento que forme el bordo. Cuando se usa este método, se reducen de manera considerable los costos. Sin embargo, por las dimensiones de excavación que requiere la obra, es posible que se incorpore mano de obra familiar, en la que participen hombres y mujeres (Figura 167).

d) Recomendaciones

- La aplicación de zanjas bordo se recomiendan en terrenos que presenten rangos de pendiente de 8% a 45%, como máximo.
- La distancia entre los diques de las zanjas bordo debe ser más corta en la medida que la pendiente sea más pronunciada.
- Se deben evitar los excesos de azolve en las zanjas bordo para promover su mejor funcionamiento.

- Se recomienda combinar zanjas bordo con zanjas trinchera en prácticas de reforestación.
- Se deben usar especies forestales que se adapten a cada región; establecer plantaciones en épocas de lluvia y proporcionar los cuidados necesarios para lograr un mayor éxito en los beneficios de la obra.

e) Costos

Cuadro 27

Costos para la construcción de 100 metros de zanja bordo				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO DE LA ACTIVIDAD \$
Trazo de curvas a nivel	Jornal	45	0.25	11
Limpia del terreno	Jornal	45	0.38	17
Excavación	Jornal	45	6.00	270
Conformación del bordo	Jornal	45	2.00	90
TOTAL				\$ 388

Si se construyen cinco bordos de 100 metros cada uno, distribuidos cada 20 metros, se tendrá un promedio de 500 metros / hectárea de obra. El costo promedio de un metro de zanja es de \$3.88, por lo que el costo promedio por hectárea es de \$1,940.00.

Con maquinaria, los costos son aproximadamente de \$900.00 por hectárea, incluyendo el trazo del bordo.



ZANJAS

Zanjas derivadoras de escorrentía



FIGURA 168. ZANJA DERIVADORA DE ESCORRENTÍA

Desde el punto de vista de la conservación de suelos, las zanjas derivadoras se construyen con una sección lo suficientemente amplia para controlar y desalojar el agua de escorrentías de los caminos, las parcelas o las cárcavas.

Las zanjas funcionan interceptando el agua y la conducen hacia lugares donde no provoquen daños como lagos, arroyos o cárcavas estabilizadas. Este tipo de obras es muy importante para la protección de caminos (Figura 168).

Son de gran utilidad para aquellas zonas donde las lluvias son muy intensas, donde se presentan suelos poco permeables o donde después de cada lluvia se produce un gran escurrimiento superficial.

¿Para qué sirven?

- Interceptar el agua de la escorrentía y conducirla a velocidades no erosivas.
- Disminuir la velocidad del agua de escurrimiento.
- Proteger los caminos forestales y zonas de cárcavas activas.

Beneficios

- Disminuyen la velocidad del escurrimiento.
- Reducen el crecimiento de la cárcava.
- Disminuyen la erosión hídrica.
- Desvían el escurrimiento a un cuerpo de agua favorece su recarga.

a) Elementos de diseño

Para llevar a cabo el diseño de las zanjas derivadoras de escorrentía, es necesario considerar los tipos de vegetación, el suelo y la pendiente media del área de drenaje que se presentan en el lugar donde se establecerá la obra.

También, es necesario realizar un análisis que permita estimar las magnitudes e intensidades de precipitaciones y escorrentías de la zona donde sea necesaria la construcción de dichas obras.



Se debe considerar que la zanja derivadora de escorrentía debe encauzar todas las aguas que vayan a verterse en ella. Para ello se debe construir una zanja que sea capaz de trasladar esta escorrentía con una pendiente controlada de menos de 1%. Todo esto contribuirá a desviar el escurrimiento y reducir la erosión hídrica. Complementariamente será necesario considerar lo siguiente:

- Análisis de las precipitaciones: intensidad y magnitud.
- Análisis de frecuencias (lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de cinco años).
- Características de las vertientes (pendiente, cubierta vegetal, suelo, entre otros).
- Escurrimiento máximo.
- Superficie de la zona de aporte de escorrentía a la obra de conservación.

Después de conocer estos parámetros, se dimensiona el canal de manera que sea capaz de transportar un volumen máximo en condiciones seguras.

b) Pasos para determinar las dimensiones del canal

Se calcula el volumen de escurrimiento que conducirá el canal, utilizando la siguiente fórmula

$$Q = 0.028 CLA$$

Donde:

Q= escurrimiento máximo (m³ / seg).

C= coeficiente de escurrimiento.

L =lluvias máximas en 24 horas para un periodo de retorno de cinco años (cm).

Estos datos se deberán obtener de una estación meteorológica cercana.

A=área de drenaje (ha).

Luego hay que seleccionar la velocidad y pendientes máximas permisibles, según el tipo de suelo. El cálculo del área de la sección transversal se realiza por medio de la siguiente fórmula:

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

Donde:

A = área de la sección transversal (m²).

Q = escurrimiento máximo (m³ / seg).

V = velocidad máxima del agua en el canal en funcionamiento (m / seg).

Se determinan las dimensiones de las secciones, así como el área, el perímetro mojado y el radio hidráulico, considerando el tipo de sección de canal escogido, por medio de las fórmulas que aparecen en la Figura 169.

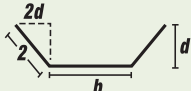
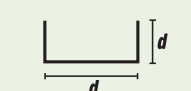
SECCIÓN	ÁREA	PERÍMETRO MOJADO	RADIO HIDRÁULICO	ANCHO SUPERFICIAL	M
Trapezoidal	$bd + zd^2$	$b + 2d \sqrt{z^2 + 1}$	$\frac{bd + zd^2}{b + 2d \sqrt{z^2 + 1}}$	$b + 2zd$	
Rectangular	bd	$b + 2d$	$\frac{bd}{b + 2d}$	b	

FIGURA 169. SECCIÓN DE LOS CANALES

Posteriormente se obtiene el valor del coeficiente de rugosidad.

Con esta información se determina la velocidad no erosionable, la cual se estima con la fórmula de Manning:

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



Donde:

V = velocidad máxima (m/seg).

$r^{2/3}$ = radio hidráulico.

$s^{1/2}$ = pendiente (decimales).

n = coeficiente de rugosidad.

Con los valores de las literales de la fórmula de Manning se procede a resolverla, encontrando que si la velocidad (V) obtenida en la fórmula correspondiente es igual a la velocidad máxima permisible, querrá decir que encontramos los valores correctos. Si por lo contrario, el valor calculado de la velocidad (V) es mayor que el permisible, será necesario seleccionar un canal más amplio (disminuir el valor r) y con menor profundidad. Si el valor de dicha velocidad es menor que el permisible, se debe seleccionar un canal más angosto con una profundidad mayor.

c) Proceso de construcción

Primer paso. Se analiza la situación del terreno para identificar si es necesaria la obra, observando si se presentan algunas de las siguientes situaciones:



FIGURA 170. EROSIÓN EN CÁRCAVAS

- Erosión laminar fuerte.
- Erosión remontante.
- Crecimiento de cárcavas (Figura 170).

Segundo paso. Si en el terreno se presentan algunas de estas condiciones, es necesario construir un canal cuya forma puede ser muy variada.

Tercer paso. Se debe considerar la construcción de la zanja de escorrentía a una distancia mínima de 3 metros desde donde comienza la cárcava.

Cuarto paso. Se procede a realizar la zanja (Figura 171).



FIGURA 171. CONSTRUCCIÓN DE LA ZANJA DERIVADORA DE ESCORRENTÍA

Quinto paso. Es necesario saber la extensión que deberá tener el canal (Figura 172).

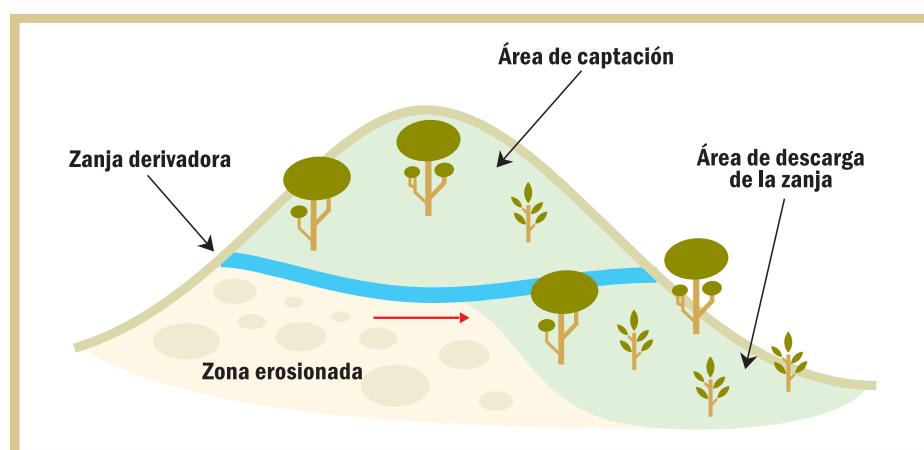


FIGURA 172. EXTENSIÓN DE LA ZANJA DERIVADORA DE ESCORRENTÍA



Sexto paso. El canal 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 (Figura 173).



FIGURA 173. VISTA FINAL DE LA ZANJA DE DESVIACIÓN DE ESCORRENTÍA

d) Recomendaciones

- La zanja se debe construir aguas arriba de la zona que se desea conservar. El bordo se debe formar aguas abajo, con el producto del suelo extraído mínimo a 10 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.
- Se pueden llevar a cabo algunas tareas para mejorar la duración y la calidad de la zanja. Para ello pueden establecerse plantaciones de pastos en el camellón, lo que le dará mayor estabilidad a la zanja.

e) Costos

Para una hectárea se considera una zanja rectangular con dimensiones de 100 metros de largo x 0.92 metros de ancho x 0.40 metros de profundidad y un desnivel de 1%. El costo de una zanja derivadora por hectárea será de \$422.00, en promedio.

Cuadro 28

Costos promedio para una zanja derivadora de 100 metros de largo				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO DE LA ACTIVIDAD \$
Trazo de la zanja con desnivel de 1%	Jornal	45	1.00	45
Limpia del terreno	Jornal	45	0.38	17
Excavación	Jornal	45	6.00	270
Conformación del bordo	Jornal	45	2.00	90
				TOTAL \$ 422



ZANJAS

Bordos en curvas a nivel



FIGURA 174. SISTEMA DE BORDOS EN CURVAS A NIVEL

Es un sistema de bordos que se conforma con el producto de la excavación de suelo o subsuelo, de forma perpendicular a la pendiente del terreno, siguiendo curvas a nivel con maquinaria o aperos de labranza, en combinación con instrumentos manuales (Figura 174). Sirve para propiciar la interceptación de azolves y escurrimientos, así como aumentar la infiltración y retención de humedad para el establecimiento de reforestaciones y vegetación nativa.



¿Para qué sirve?

- Aumentar la humedad aprovechable para el establecimiento de la vegetación nativa y especies plantadas (Figura 175).
- Mejorar las condiciones de suelo para la germinación y el desarrollo radicular.
- Evitar el arrastre de partículas de suelo de las partes altas.
- Disminuir los escurrimientos superficiales.



FIGURA 175. BORDO ALMACENANDO AGUA PLUVIAL

a) Condiciones para su establecimiento

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. Se debe implementar en suelos profundos o medianamente profundos, que tengan como mínimo 0.6 metros de profundidad, ya que en suelos delgados se puede acumular demasiada agua, lo que puede dañar el sistema radicular de las especies plantadas, además de no contar con la suficiente cantidad de material para levantar el bordo.

Los terrenos aptos para realizar esta práctica deben tener una pendiente uniforme máxima de 20%, ya que cuando se presentan cárcavas o canales continuos, la obra no cumple su función de manera eficiente.



En cuanto a la textura de suelos, se puede implementar en casi cualquier tipo, pero hay que evitar los fuertemente arcillosos o los demasiados arenosos. Se recomienda que al momento de trabajar el suelo, éste contenga la humedad suficiente para facilitar su manejo.

La práctica se puede realizar con maquinaria o aperos de labranza en combinación con otros instrumentos manuales, como palas, azadones, etc. El uso de maquinaria se recomienda en terrenos uniformes y de superficies grandes, a fin de eficientizar su rendimiento de trabajo y justificar su transportación.

b) Pasos en la realización del sistema de bordos

Previo a la realización del trazado de las curvas a nivel, es conveniente realizar una revisión del material documental existente sobre la zona en la que se realizarán las obras, tales como cartas, imágenes o estudios. También, hay que verificar la profundidad del suelo y los horizontes presentes, mediante una excavación (pozo pedológico) o barrenación.



FIGURA 176. ESTADALERO INDICANDO EL PUNTO DONDE DEBE PASAR LA CURVA A NIVEL

En seguida, se inicia el trazo de las curvas a nivel (Figura 176) mediante el marcaje, según se indica en el apartado correspondiente de este manual, utilizando el equipo apropiado según la extensión, visibilidad y características del terreno.

Para el obtener el distanciamiento entre bordos se utilizará la fórmula siguiente:

$$IH = \left(\frac{ap + b}{p} \right) \times 100$$

Donde:

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:

VALOR DE b	DRENAJE INTERNO DEL SUELO	CUBIERTA VEGETAL EN EL PERIODO DE LLUVIAS INTENSAS
0.30	Lento	Escasa
0.45	Rápido	Escasa
0.60	Lento	Abundante
0.60	Rápido	Abundante

c) Uso de maquinaria especializada

Cuando se utiliza maquinaria como el Bulldozer o el tractor agrícola, se le puede integrar el *ripper* para ranurar o roturar el suelo (Figura 177). Por lo general, con tres cinceles es suficiente, a una profundidad de corte de al menos 0.30 metros, lo que permite romper, en caso de existir, alguna capa endurecida del suelo, así como extraer y aflojar el suelo que servirá para conformar el bordo (Figura 178). Este paso se realiza siguiendo la respectiva curva a nivel previamente marcada. En



promedio, el ancho de esta actividad es de 2 metros o del ancho del implemento (Figura 179).



FIGURA 177. BULLDOZER CON *RIPPER* INTEGRADO



FIGURA 178. PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DE LOS CINCELES DEL *RIPPER*

Luego se procede a la conformación del bordo. Para ello, se puede hacer uso del implemento comúnmente conocido como “bordero”, que se mantiene lo más abierto posible, con cuatro discos por lado (cada uno de 36 a 32 pulgadas), para poder levantar la mayor cantidad de suelo. Se hace pasar el bordero dos veces para conformar el bordo con la altura especificada de 0.65 metros (Figura 180).



FIGURA 179. TERRENO DESPUÉS DEL PRIMER PASO DE *RIPPER*



FIGURA 180. USO DEL BORDERO PARA LEVANTAR EL BORDO

Por último, se procede al paso del *ripper* aguas arriba inmediatamente después del bordo, lo que favorece la infiltración del agua de lluvia que se va almacenar (Figura 181) y la siembra o plantación de la especie más apropiada (Figura 182).



FIGURA 181. DESPUÉS DEL SEGUNDO PASO DEL *RIPPER*



FIGURA 182. SIEMBRA DIRECTA EN BORDO

d) Ejemplo de cálculo de separación de bordos

Para proceder al cálculo de la separación de bordos, se toma en cuenta una condición promedio con los siguientes datos:

$$\begin{aligned} p &= 15\% \\ a &= 0.135 \\ b &= 0.45 \end{aligned}$$

Aplicar la fórmula, se obtiene la separación en metros:

$$IH = \left(\frac{0.135 \times 15 + 0.45}{15} \right) \times 100 = 16.5 \text{ metros}$$

Por lo tanto, en bordos con estas dimensiones y considerando una hectárea (100 metros x 100 metros), se realizarán 6 bordos separados cada 16.5 metros.



e) Uso de otros implementos

En caso de utilizar otros implementos, aperos de labranza o de manera manual, se debe realizar el ancho de corte de la superficie de al menos un metro y la profundidad debe ser como mínimo de 0.20 metros. Para ello, es necesario pasar varias veces el arado para levantar el bordo (Figura 183) a una altura de 0.40 metros. La construcción del bordo se debe complementar con mano de obra y herramientas manuales (palas y azadones) para levantar el bordo.



FIGURA 183. CONFORMACIÓN DE BORDO CON APEROS DE LABRANZA



FIGURA 184. BORDOS REALIZADOS CON ARADO DE DISCOS

En la construcción del sistema de bordos se puede hacer uso del tractor con un arado de al menos dos discos (Figura 184), el cual ha dado buenos resultados al complementarlo con mano de obra y herramientas manuales (palas y azadones) para levantar el bordo a una altura de 0.40 metros.

En caso de no cumplir con las especificaciones de altura y ancho del bordo que se indican usando el *ripper* y el bordero, es necesario acortar la distancia entre los bordos a 10 metros o a la densidad de la plantación recomendada.

f) Costos

Para el cálculo del costo se considera el uso de maquinaria en una hectárea, 600 metros de bordos de 0.65 metros de altura, separados cada 16.6 metros, con al menos 0.30 metros de profundidad.

Cuadro 29

Costos promedio para la realización de bordos en curvas a nivel en una hectárea				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO DE LA ACTIVIDAD \$
Trazo de curvas a nivel	Jornal	45	2	90
Renta de maquinaria (incluye dos pasos de <i>ripper</i> (\$500), bordeado (\$350) y contrabordeo (\$350)	Hora	600	2	1200
TOTAL				\$ 1,290.00



ZANJAS

Roturación



FIGURA 185. ROTURACIÓN DE UN TERRENO CON ROCA CALIZA

Es el proceso de rompimiento y fragmentación en franjas de ancho variable de capas compactadas, endurecidas (denominadas comúnmente tepetate o caliche) o material parental intemperizado, que se encuentra en la parte superficial o subsuperficial del suelo, con maquinaria, aperos de labranza e instrumentos manuales, con lo cual se permite el establecimiento de plantaciones forestales o el desarrollo de la vegetación natural (Figura 185).



¿Para qué sirve?

- Disminuir los escurrimientos superficiales y aumentar la infiltración del agua de lluvia.
- Facilitar el proceso de plantación y establecimiento de la vegetación natural.
- Aumentar la humedad disponible y permitir el desarrollo de raíces de las especies plantadas.

a) Condición de aplicación

Las áreas degradadas son resultado de la erosión laminar prolongada que sufre la parte superficial y subsuperficial de los suelos, que al estar expuestas al impacto continuo de las gotas de lluvia provocan el afloramiento de capas endurecidas de diversos materiales.

Esta práctica se deberá realizar sobre suelos secos, ya que si se realiza en suelos húmedos el efecto se puede nulificar. Se recomienda realizarla antes del periodo de lluvias, en terrenos con suelos delgados o con capas superficiales endurecidas con pendientes menores al 30%, en áreas desprovistas de vegetación, utilizando maquinaria especializada como puede ser el Bulldozer con ripper integrado, aperos de labranza, rodillo o inclusive tractores con los accesorios adecuados (Figura 186).



FIGURA 186. ROTURACIÓN EN SUELOS CALCÁREOS COMPACTADOS

La roturación aquí descrita está orientada principalmente para facilitar la plantación y recuperación de la vegetación, por que no es necesario trabajar el total de la superficie sino solo franjas sobre las cuales se realizará la plantación, separadas según la densidad deseada. En los casos en que exista material parental consolidado en todo el perfil no conviene realizar la práctica.

b) Realización de la práctica

El proceso inicia con el trazo de las curvas a nivel (Figura 187), señalizándolas para que sean visibles para el operador de la maquinaria, las cuales se separarán a una distancia según la densidad de siembra recomendada.



FIGURA 187. VISTA DE UN TERRENO CALCÁREO ROTURADO

Posteriormente se evalúa la dureza y profundidad de la capa compactada o endurecida, para que en base a la especie a plantar se determine la profundidad del corte, el cual puede ser de 0.40 metros y un metro; el ancho de corte puede variar según el tipo de implemento utilizado; cada franja tendrá una longitud de 50 a 60 metros separadas por un tabique divisor de al menos 0.50 metros procurando que estos se realicen de manera alterna (Figura 188). La profundidad de penetración deberá mantenerse uniforme.

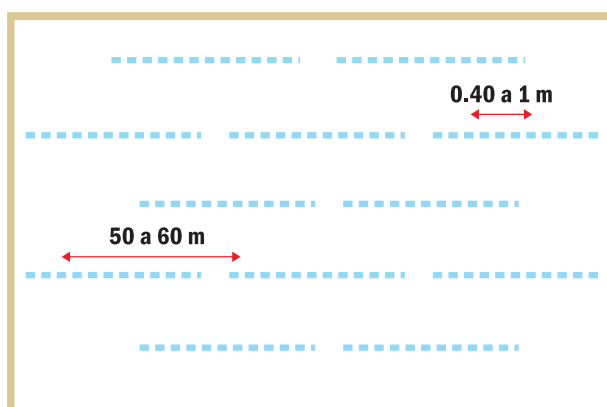


FIGURA 188. DISEÑO DE ROTURACIÓN DE UN TERRENO

Se debe verificar que con el paso de maquinaria (Figura 189) se genere una capa de partículas de grosor que al ser disgregadas con algún instrumento manual permitan la plantación sin que las raíces queden parcialmente expuestas a la acción del viento. Si en el área existen materiales muy duros, árboles o un conjunto de vegetación homogénea esta se puede dejar y continuar con la franja una vez que se halla librado el obstáculo.



FIGURA 189. MAQUINARIA UTILIZADA EN LA ROTURACIÓN

Roturado el suelo o subsuelo, se procede al acondicionamiento para la plantación con instrumentos manuales, lo cual se logra mediante rompimiento de los agregados mayores, si es posible, y la nivelación en forma circular en la zona específica de plantación (Figura 190).



FIGURA 190. SUELO ROTURADO ACONDICIONADO CON PLANTACIÓN DE PINOS

Un terreno recién roturado es poco fértil, por lo que la incorporación de abonos verdes, estiércoles, compostas o fertilizantes químicos favorecerá el desarrollo de la plantación.

Es importante que no se permita el acceso a ningún tipo de ganado al área roturada ya que el efecto de esta práctica es superficial por lo que si se empieza a compactar, su eficiencia se nulifica.

Esta práctica se puede realizar de manera combinada con la construcción de cualquier sistema zanja bordo.

c) Costos

Para el cálculo de costos se consideran una profundidad de corte de 60 centímetros, franjas separadas cada 4 metros, realizada con maquinaria especializada como *Bulldozer*, en una hectárea (en caso de utilizar aperos de labranza, tractores agrícolas o de manera manual se deben considerar otros costos y conceptos), los costos pueden variar de acuerdo con la condición de cada terreno.

Cuadro 30

Costos promedio para la roturación con maquinaria				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO DE LA ACTIVIDAD \$
Trazo de curvas a nivel	Jornal	45	3	135
Renta de maquinaria	Hora	600	1.25	750
Acondicionamiento de suelo	Jornal	45	2	90
				TOTAL \$ 975



PRÁCTICAS VEGETATIVAS

Cortinas rompevientos



FIGURA 191. CORTINAS ROMPEVIENTOS

Son plantaciones alineadas 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 (Figura 191).

¿Para qué sirven?

- Reducir la velocidad del viento.
- Detener el material acarreado por el viento.
- Proteger al suelo de la acción erosiva del viento.

Beneficios

- Disminuyen la pérdida de suelo ocasionada por el viento.
- Detienen el suelo acarreado por el viento.
- Protegen el suelo de la acción erosiva del viento.
- Protegen los cultivos anuales del acame.
- Conservan la humedad del suelo y del ambiente.

a) Elementos de diseño

El diseño de una cortina rompevientos debe estar en función de la velocidad máxima que alcanzan los vientos. Las cortinas se ubicarán y orientarán en sentido perpendicular a las corrientes de aire y deben tener una forma preferentemente trapezoidal.

Para ello se deben utilizar especies arbóreas en la parte central y arbustos de menor talla en los extremos. Se debe procurar que la cortina se conforme de cuatro a diez hileras, combinando árboles y arbustos (Figura 192).



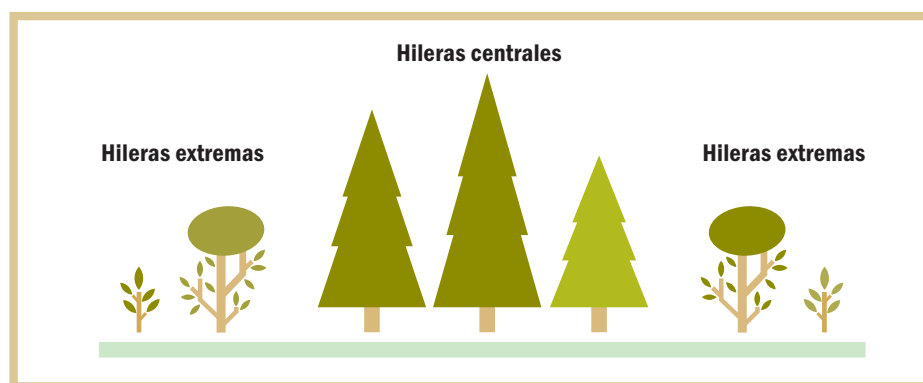


FIGURA 192. FORMACIÓN TRANSVERSAL DE UNA CORTINA ROMPEVIENTOS

El ancho de la cortina puede variar entre 6 y 16 metros, dependiendo si el número de hileras es de cuatro o diez y si el espaciamiento entre arbustos y árboles es de 1.5 a 2.0 metros. Pero si el espaciamiento es de 2 a 3 metros, el ancho de la cortina será de entre 9 y 23 metros, respectivamente.

Las especies arbóreas seleccionadas deben ser las que alcancen mayor talla, ya que en función de su altura protegerán una mayor o menor

superficie. Además, es el parámetro que, junto con la velocidad del viento, se debe considerar para determinar el espaciamiento entre una cortina y otra (Figura 193).



FIGURA 193 . ALTURA DE ÁRBOLES EN LAS CORTINAS ROMPEVIENTOS

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 la filtración del viento.

La experiencia práctica ha demostrado que el espaciamiento entre árboles no debe ser mayor a 3 metros; mientras que en una misma hilera de arbustos no debe ser mayor a 2 metros. La variación para menores espaciamientos está en función del hábito de desarrollo vegetativo de las especies utilizadas.

El diseño de la plantación dentro de la franja de terreno que conformará la cortina rompevientos deberá ser en “tres bolillo”. Este arreglo tiene la ventaja, en relación con el de “marco real”, ya que no permite que haya claros entre hileras de árboles en el sentido del viento (Figura 194).

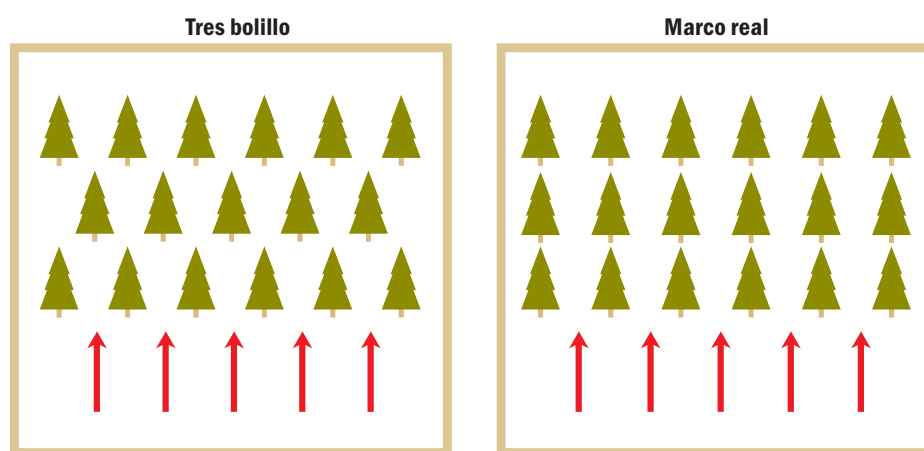


FIGURA 194. DISEÑO DE PLANTACIÓN EN “TRES BOLILLO” Y MARCO REAL

b) Selección de las especies para cortinas rompevientos

En la selección de especies para cortinas rompevientos, es pertinente considerar una serie de requisitos y características para que se cumpla el objetivo. Los principales son:

- Que sean especies adaptadas a las condiciones edáficas y climáticas de la zona.
- Con gran resistencia a la sequía y un sistema radical vigoroso con desarrollo vertical y horizontal, de manera que puedan aprovechar al máximo la humedad del suelo y que estén bien ancladas.
- Deben ser de crecimiento rápido y morfológicamente uniforme (troncos rectos, vigorosos y longevos).
- Deben tener una gran densidad de copa (muchas ramas y hojas).

Para el caso de las especies arbustivas que se utilizan en las alineaciones exteriores de la cortina, éstas no deben ser apetecibles para el ganado sino preferentemente espinosas, para que restrinjan el ramoneo.

En el cuadro se presentan ejemplos de especies que se han utilizado en cortinas rompevientos.

Cuadro 31

Especies utilizadas en 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 lindeyi</i>	Cedro blanco	<i>Cassuarina equisetifolia</i>	Casuarina
<i>Cupressus sempervirens</i>	Cedro	<i>Eucalyptus spp.</i>	Eucalipto
<i>Cupressus macrocarpa</i>	Ciprés	<i>Fraxinus uhdei</i>	Fresno
<i>Tamarix articulata</i>	Tamarix	<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite
<i>Schinus molle</i>	Pirú o Pirúl	<i>Grevilea robusta</i>	Grevilea
<i>Pinus halepensis</i>	Pino alepo	<i>Jacaranda mimosaeifolia</i>	Jacaranda
<i>Pinus spp.</i>	Pinos	<i>Delonix regia</i>	Framboyán
<i>Acacia spp.</i>	Acacia	<i>Azadirachta indica</i>	Nim
<i>Leucaena spp.</i>	Guaje	<i>Agave spp.</i>	

c) Construcción de cortinas

Las cortinas rompevientos se construyen para evitar la erosión eólica del suelo o para proteger los cultivos susceptibles a los vientos. Se debe tomar en cuenta la velocidad máxima del viento y la altura que pueden alcanzar las especies seleccionadas para la cortina.

Es conveniente que se utilicen especies vegetales que no pierdan completamente su follaje durante el año, con la finalidad de que la cortina cumpla con la función de barrera (Figura 195).





FIGURA 195. PINÁCEAS UTILIZADAS EN CORTINAS ROMPEVIENTOS

En la Figura 196 se ejemplifica el comportamiento del viento ante una cortina vegetal. Se

tiene una cortina de 10.5 metros de altura y una velocidad inicial del viento de 48 kilómetros / hora (barlovento). Como se observa, en la zona de protección de la cortina la velocidad del viento puede disminuir significativamente hasta 10 kilómetros / hora, aproximadamente, a una distancia de 42 metros (cuatro veces la altura de la cortina).

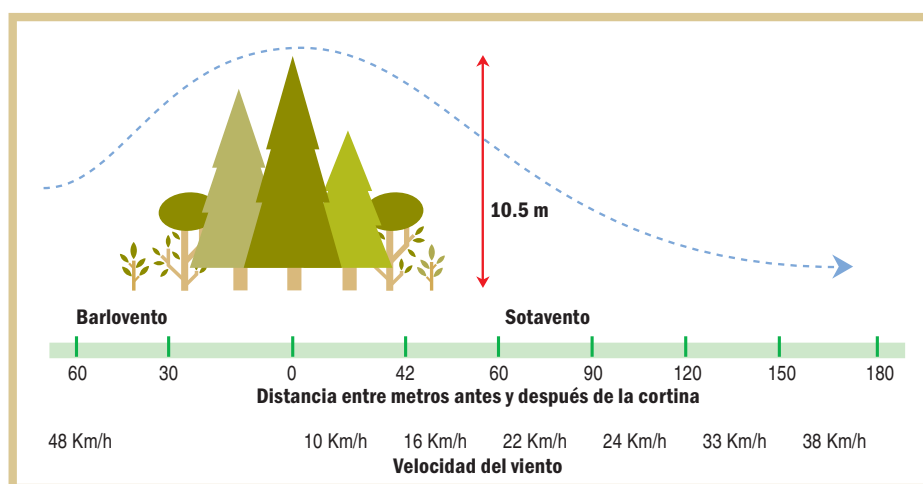


FIGURA 196. COMPORTAMIENTO DEL VIENTO EN UNA CORTINA VEGETAL

Si se toma en cuenta que la velocidad del viento que provoca el desprendimiento y arrastre del suelo (erosión eólica del suelo) se presenta entre 19 y 24 kilómetros / hora, la separación entre una cortina y otra deberá ser, en este caso, a una distancia de 60 metros (velocidad del viento a 16 kilómetros / hora) (Figura 197).

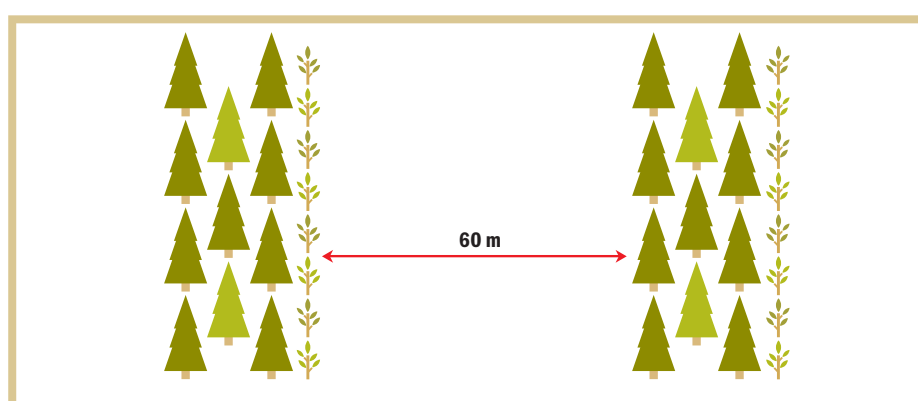


FIGURA 197. DISTRIBUCIÓN DE LAS CORTINAS ROMPEVIENTOS

Para conocer las velocidades promedio que alcanza el viento para cada zona, se pueden consultar los registros disponibles en las estaciones meteorológicas más cercanas.

La separación entre una y otra cortina estará en función de su altura y la velocidad inicial del viento en barlovento. El caso se puede generalizar si se considera que una cortina con una altura “x” puede disminuir hasta 80% la velocidad del viento en la zona de sotavento, en una franja con un ancho hasta cuatro veces “x”. Si a esa distancia la velocidad del viento resulta ser mayor a 19 kilómetros / hora, será necesario acortar el distanciamiento entre cortinas o seleccionar especies con mayor talla. Es una práctica generalizada el que los espaciamientos entre cortinas sean entre 15 y 20 veces la altura de la cortina. Una desventaja en esta práctica es que conlleva a destinar una buena parte de la superficie cultivada, ya que muchas veces el productor no está de acuerdo en disponer para ello.



d) Recomendaciones

- Es recomendable combinar especies de rápido crecimiento con otras de lento crecimiento a fin de alcanzar lo más pronto posible el objetivo deseado.
- Además, esta diversificación de especies es muy conveniente para que con el tiempo se puedan obtener diversos productos como madera, frutos, miel, forraje, fibra, etcétera.
- El riego de la plantación se debe prever sobre todo en sus primeras fases, así como en caso de desagües.

e) Costos

Si se considera una franja de protección promedio de 60 metros por cortina rompevientos, se tiene que para una hectárea será necesaria una cortina de 167 metros o bien fracciones de cortina, de tal manera que se completen los 167 metros lineales.

Se considera un precio promedio de \$1.50 por planta y \$0.50 para el transporte a la zona de trabajo. Este costo puede disminuir hasta en 75% si se consigue la planta gratuita del Programa Nacional de Reforestación (PRONARE).

Asimismo, se considera que con un jornal es posible plantar 40 arbolitos, lo cual puede parecer alto; sin embargo, si los terrenos son de tipo agrícola se puede prever que los suelos no sean muy duros y se puedan realizar las mismas actividades del barbecho para la plantación.

Cuadro 32

Costos promedio en la aplicación de cortinas rompevientos				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO DE LA ACTIVIDAD \$
Limpia del terreno	Jornal	45	2	90
Trazado de 167 metros de cortinas	Jornal	45	1	45
Adquisición y transporte de árboles y arbustos	Árboles	2.0 / árbol	474	948
Plantación de árboles	Jornal	45	12	540
TOTAL \$ 1,623				



PRÁCTICAS VEGETATIVAS

Enriquecimiento de acahuales



FIGURA 198. ACAHUAL

La vegetación secundaria originada por la destrucción de la vegetación original de las selvas está constituida por hierbas, arbustos y árboles, que en México se llaman de diversas formas, como acahuales, huamiles o hubches (Figura 198).

El enriquecimiento de acahuales es una práctica de manejo agroforestal que consiste en introducir especies forestales maderables o no maderables a fin de incrementar su valor.

¿Para qué sirve?

- Incrementar el valor de uso de los acahuales para favorecer su protección, conservación y desarrollo a través del establecimiento de especies forestales maderables y no maderables.
- Favorecer la recuperación de las áreas perturbadas garantizando el desarrollo de una cubierta vegetal permanente que contribuya a reducir la erosión hídrica.

Beneficios

- El enriquecimiento de acahuales permite a los productores rurales aprovechar las áreas ociosas.

a) Métodos

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.

Las características de estas primeras etapas sucesionales donde se recomienda trabajar son las que se presentan en el siguiente cuadro.



Cuadro 33

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 enriquecimiento se puede realizar básicamente de tres formas:

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

La especie ideal para el enriquecimiento es aquella 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 venda con facilidad en la zona o sea apreciado por la familia o la comunidad por el servicio que les brinda.

b) Plantación de especies maderables

Primer paso. Se deben alterar lo menos posible las condiciones existentes y ocupar poca mano de obra, por lo que se recomienda plantar como máximo 600 árboles por hectárea, lo cual de cualquier forma podría variar de acuerdo con la condición del acahual.

Segundo paso. Para la preparación del terreno, sólo se retira la vegetación herbácea en el sitio donde se va a plantar el árbol. Se debe cuidar que los sitios seleccionados se encuentren a un espacio de 3 metros de algún otro árbol plantado. La eliminación de la hierba se realiza en un espacio de forma circular de un metro de diámetro (Figura 199).



FIGURA 199. PLANTACIÓN DE ÁRBOLES

Tercer paso. Para efectuar la plantación, se debe hacer una cepa “común”, ya que por lo general la planta viene en bolsas o charolas. La cepa consiste en hacer una excavación de 30 centímetros a 40 centímetros, dependiendo del tamaño de la bolsa en la que se encuentre la planta; se debe tener cuidado que la tierra más superficial se coloque de un lado y la más profunda por otro lado.

Cuarto paso. Posteriormente, se coloca la planta en el centro de la cepa y se tapa arrojando en primer lugar la tierra más superficial y después la que se sacó de la parte más profunda de la cepa. Es importante recordar que el envase de plástico o bolsa se debe retirar, así como aquellas raíces que sobresalen de la bolsa. De preferencia se debe hacer un corte de unos 2 centímetros hacia arriba en la base de la bolsa, con una navaja o con una charrasca.

Quinto paso. Se recomienda hacer un cajete de un metro de diámetro y una profundidad de 10 a 15 centímetros en su parte más baja para captar agua de lluvia y asegurar una mayor supervivencia.



Sexto paso. En terrenos con pendientes pronunciadas de 30% a 50%, el cajete debe tener una mayor altura hacia el lado más bajo de la pendiente y se debe cuidar que el árbol se plante en su parte alta, ya que durante la época de lluvias se puede fomentar que se almacene agua y ocasione pudrición de las raíces o muerte de la planta por ahogamiento.

c) Recomendaciones para las plantaciones de especies maderables

- Para garantizar mayor éxito en el acahual, es importante que se elijan aquellas plantas que presenten mayor vigor y sanidad antes de llevar a cabo la plantación.
- La mejor época para realizar la plantación es la temporada de lluvias. De preferencia se recomienda dejar pasar las primeras, aunque por lo prolongado de la temporada en algunas zonas del trópico los márgenes se pueden ampliar.
- En el caso de algunas especies que se propagan por estacas, puede variar la época para establecerlas tomando en cuenta que en general se recomienda la época de secas. Ejemplos de éstas podría ser el “mata ratón” o “cocoquite” (*Gliricidia sepium*), que en zonas del trópico húmedo se establecen en los meses de diciembre y enero.
- La distribución de la planta se lleva a cabo de acuerdo con la densidad y el grado de madurez del acahual. Se debe cuidar de nunca plantar árboles para madera a menos de 3 metros entre uno y otro.
- También se puede realizar una plantación en fajas o líneas en curvas de nivel con una separación de 2 a 3 metros, sembrando de dos a tres semillas o colocando planta cada uno o 2 metros si es producción de leña, y cada 3 metros, si es para madera.

Entre las especies forestales maderables que se han utilizado en el enriquecimiento de acahuales destacan las siguientes:

Cuadro 34

Especies forestales maderables usadas en acahuales	
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Cedro rojo	<i>Cederela odorata</i>
Ceiba o pochote	<i>Ceiba pentandra</i>
Siricote, cópite o cupape	<i>Cordia dodecandra</i>
Bojón u hormiguillo	<i>Cordia alliodora</i>
Melina	<i>Gmelina arborea</i>
Teca	<i>Tectona grandis</i>
Maculis o palo de rosa	<i>Tabebuia rosea</i>
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>

Para la producción de leña se recomiendan algunas especies que se presentan a continuación:

Cuadro 35

Especies forestales recomendadas para producción de leña	
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Uña de gato	<i>Acacia wrightii</i> *
Guaje o leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i> **
Tepehuaje	<i>Lysiloma watsoni</i> **
Jobo o ciruelo	<i>Spondias mombin</i> ***
Almendro	<i>Terminalia catappa</i>

* También son forrajeras.

** También es de consumo humano.

*** También es maderable y frutal.



d) Uso de especies forestales no maderables

Las especies forestales no maderables que se pueden introducir o manejar dentro de un acahual son innumerables y el manejo va a depender de la especie y de la intensidad con la que se quiera trabajar.

Las especies pueden ser desde plantaciones intensivas de palma camedador con densidades de 30,000 a 43,000 plantas por hectárea o bien realizar explotaciones menos intensivas pero más diversificadas en cuanto a sus especies y beneficios, así como más acordes con la disponibilidad de mano de obra y de recursos para su establecimiento.

Entre los productos forestales no maderables se tienen, por enumerarlos de forma general:

- Hongos diversos.
- Mieles silvestres, raíces y tubérculos.
- Numerosas semillas y frutillas.
- Especies utilizadas en la medicina tradicional de los pueblos campesinos.
- Cortezas y resinas aromáticas como el copal, musgo y heno, usados en los arreglos navideños.
- Esencias, colorantes y taninos empleados en la fabricación de perfumes, jabones y alimentos.
- Especies con principios activos para la industria farmacéutica y fabricación de productos de belleza.
- Raíces, tallos, bejucos y carrizos.
- Hojas, frutos y semillas de numerosas especies que son materia prima para elaborar productos artísticos y artesanales utilitarios.
- Orquídeas y flores que se comercializan vivas o secas.
- Plantas para venta en maceta o de uso decorativo.

Para el aprovechamiento de estos productos es necesario estar conscientes de las restricciones que marca la ley, en especial en lo que se

señala en la Norma Oficial Mexicana NOM-059 ECOL-2001, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 6 de marzo del 2001, donde, con la finalidad de evitar su desaparición, se limita el aprovechamiento de alrededor de 350 especies silvestres.

Asimismo, se debe considerar la necesidad de elaborar un programa de manejo simplificado de acuerdo con lo que en la materia establece la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, en su Título Cuarto, Capítulo II, Sección 3.

Otros factores importantes a considerar en la selección de especies forestales no maderables a introducir, es la disponibilidad de germoplasma, ya sea que se compre, recolecte, reproduzca o se propague en viveros para su transplante. Además, se debe contemplar la forma de comercialización posterior. Por ejemplo, las palmas, como la camedor o la fibra de la pita, requieren de la existencia local o identificación previa de canales de comercialización o, incluso, como en el caso de la pita, se necesita de capacitación para trabajar la fibra y darle un mayor valor agregado (Figura 200).



FIGURA 200. ENRIQUECIMIENTO DE ACAHUALES CON PALMA CAMEDOR (*Chamaedorea spp*)



Es necesaria la capacitación para el manejo que conllevan algunas especies como el caso de la vainilla, la cual es de manejo complejo en cuanto a sus enfermedades y requiere muchas labores para obtener buenos resultados. Sin embargo, al igual que las anteriores, bien manejada representa una importante fuente de ingreso para los productores.

Por el contrario, existen muchos productos forestales no maderables que son aprovechados cotidianamente dentro de las mismas comunidades o por las propias familias campesinas, pero ante su saqueo se van perdiendo y cada vez es más difícil encontrarlos. Entre los productos forestales no maderables se tiene una gran variedad de frutos para complementar la dieta de las familias, de uso condimenticio (como es el caso del achiote, canela, pimienta, clavo y vainilla), de uso medicinal (como el barbasco), para la elaboración de utensilios y artesanías a partir de plantas (como la palma, ixtle o pita) o para la construcción de viviendas tradicionales (como el bambú y la palma guano).

Por lo anterior, es importante detectar previamente los conocimientos locales sobre el uso, manejo y disponibilidad de productos forestales no maderables que existen en la región y reducir de esta forma los fracasos por la imposición de alguna especie o por los elevados costos de establecimiento de algunas.

A continuación se mencionan las principales especies que se utilizan como forestales no maderables, aparte de todos los frutales, que son ampliamente conocidos.

Cuadro 36

Especies forestales no maderables	
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Ixtle o pita	<i>Aechmea magdalenae</i>
Bambú	<i>Bambusa spp.</i>
Palma sombrero	<i>Brahea spp</i>
Achiote	<i>Bixa orellana</i>
Palma camedor	<i>Chamaedorea elegans</i>
Palma tepejilote	<i>Chamaedorea tepejilote</i>
Canelo	<i>Cinnamomun zeylanicum</i>
Barbasco	<i>Dioscorea spp.</i>
Eucalipto dolar	<i>Eucalyptus cinerea</i>
Palma palapa	<i>Orbignya guacoyule</i>
Pimienta	<i>Pimenta dioica</i>
Clavo	<i>Pittosporum tobira</i>
Palma sabal o palma escoba	<i>Sabal mexicana</i>
Palma guano	<i>Sabal yapa</i>
Vainilla	<i>Vanilla planifolia</i>

e) Manejo del acahual

Para que un acahual permanezca e incremente su valor con el paso del tiempo, requiere de un manejo adecuado en el que se respeten siempre sus características de acuerdo con su madurez o estado sucesional.

A continuación se mencionan algunos conceptos generales que se deberán tomar en cuenta para el manejo de un acahual:

- Reducir la competencia entre árboles. Se debe reducir la competencia entre árboles eliminando los que no sean útiles y tomando en cuenta el papel ecológico que desarrollan o bien considerando si su crecimiento



es muy lento. Esto se debe hacer cuidando siempre de no abrir mucho el dosel, lo que garantiza una sombra adecuada para las herbáceas naturales o introducidas.

- Realizar aclareos. Los árboles de los estratos medios y bajos se pueden cortar siempre y cuando tengan un diámetro a la altura del pecho (1.30 metros) menor a 10 centímetros. Estos se pueden usar como material de construcción o leña o bien se deben picar e incorporar al suelo. Con el aclareo se busca facilitar el establecimiento de las especies plantadas así como mejorar su crecimiento. Se recomienda hacer el aclareo en la época de secas: el primero durante los dos primeros años y el siguiente al cuarto o quinto año. Se deben respetar los árboles maduros que sirvan como padres para la regeneración natural, así como los de otras especies que resulten útiles para el acahual o para los productores.
- Eliminar arbustos y trepadoras. Los arbustos y trepadoras que no tengan una utilidad se deben eliminar cada tres o seis meses dependiendo de su grado de desarrollo.
- Respetar las características de la etapa de madurez del acahual. En acahuales jóvenes, se recomienda utilizar plantas cultivadas que produzcan varios años y arbustos y árboles de porte pequeño que inicien el proceso. Luego, se recomienda introducir árboles que requieran sombra en sus primeras etapas o forestales no maderables que crezcan bajo el dosel de árboles mayores.
- Favorecer la biodiversidad. Se deben plantar o favorecer el crecimiento de plantas con diferentes características y utilidad. Por ejemplo, especies de rápido crecimiento con algunas de lento crecimiento, plantas de sol y de sombra, especies con diferentes ciclos de vida. Ya que el enriquecimiento de acahuales se trabaja con productores de bajos ingresos y con el fin de garantizar un aprovechamiento constante del acahual, para evitar su desaparición se recomienda usar varias especies de maderables con diferentes turnos de corta.
- Protección del acahual. Dependiendo de la ubicación del acahual es necesario construir brechas corta fuego en su perímetro y de ser necesario, de acuerdo con su tamaño, en el interior del mismo.

La brecha corta fuego consiste en la remoción de la vegetación hasta dejar descubierto el suelo a lo largo del perímetro y con un ancho que puede ir de 2 a 4 metros, dependiendo de la altura de la vegetación adyacente a ambos lados de la brecha.

Cuando la brecha vaya en sentido de la pendiente, es necesario construir barreras perpendiculares a la pendiente para evitar el arrastre del suelo cuando se presenten precipitaciones pluviales. Las barreras se pueden construir con piedras, madera muerta o incluso cavando pequeñas zanjas.

El éxito para lograr el enriquecimiento y permanencia de un acahual varía de acuerdo con las especies que se utilicen, la distancia entre el terreno y los viveros de donde se va a surtir la planta o de donde se va a conseguir el material vegetativo.

Si es el caso, sería importante considerar la accesibilidad de los caminos y la madurez del acahual, ya que no es lo mismo realizar la limpieza y plantación en un acahual de dos o tres años que en uno de siete o nueve.

f) Costos

A manera de ejemplo a continuación se muestran los costos para realizar el enriquecimiento de un acahual en la superficie de una hectárea utilizando sólo especies maderables. También se muestran los costos al enriquecer con un producto forestal no maderable, como lo es el ixtle.

Es importante señalar que para los siguientes ejemplos de costos, se ha considerado que la planta es donada. En el primer cuadro, correspondiente al ejemplo con especies maderables, se ha tomado en cuenta una densidad de 600 árboles por hectárea. Para el segundo, correspondiente al enriquecimiento con especies no maderables, la densidad considerada es de 100 árboles por hectárea.



Cuadro 37

Costos para el enriquecimiento de un acahual con especies maderables (densidad de plantación de 600 árboles / ha)				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO DE LA ACTIVIDAD \$
Limpia selectiva del área de plantación	Jornal	45	3	135
Carga y descarga de planta	Jornal	45	2	90
Transporte de planta de vivero a terreno	Flete	250	1	250
Plantación y cajeteo	Jornal	45	12	900
				TOTAL \$ 1,375

* Se considera que la planta es donada.

Cuadro 38

Costos para el enriquecimiento de un acahual con especies maderables y no maderables como el ixtle (densidad de plantación de 100 árboles / ha)				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO DE LA ACTIVIDAD \$
Adquisición de plántula de ixtle	Plántula	4.5	1,000	4,500
Carga y descarga de árboles	Jornal	45	4	180
Transporte de árboles de vivero a terreno	Flete	250	1	250
Limpia selectiva del área de plantación	Jornal	45	5	225
Plantación y cajeteo	Jornal	45	8	360
Siembra de pita	Jornal	45	10	450
TOTAL				\$ 5,965



PRÁCTICAS VEGETATIVAS

Sistemas agroforestales



FIGURA 201. SISTEMA AGROFORESTAL: CEDRO-MAIZ-LIMÓN

La agroforestería es el nombre con que se asigna a los sistemas y tecnologías de uso de la tierra, donde las especies leñosas (árboles, arbustos, palmas, bambúes, etc.) son usadas deliberadamente dentro de las mismas unidades de manejo de la tierra, junto con cultivos agrícolas y animales, con algún arreglo espacial o secuencia temporal, de tal manera que hay interacción ecológica y económica entre los diferentes componentes (Lundgren y Raintree, 1982, citado por Ramachandran Nair, 1993).

La mezcla de árboles, cultivos y animales pueden tomar diversos modelos y formas, muchos de los cuales se tratan de manera específica en este manual, como por ejemplo las terrazas de muro vivo, las cortinas rompevientos y el enriquecimiento de acahuales.

Además, existen otras prácticas muy comunes en el trópico que se consideran como sistemas agroforestales, como las milpas, los cercos vivos, los huertos familiares o de traspatio, el pastoreo de animales bajo los árboles o ramoneando de las hojas de éstos; esta última también muy usada en las zonas áridas y semiáridas del país.

Otros sistemas más especializados son la acuacultura en áreas de manglar, la apicultura de árboles, árboles en barbechos, la explotación de productos forestales no maderables. Entre los sistemas agroforestales más extendidos y con un mayor impacto económico tenemos los dedicados a la producción de café, vainilla y cacao.

Como se puede observar, en la agroforestería se encuentra una serie de prácticas que se usan comúnmente por los productores del campo; sin embargo, es algo más que la mezcla de tres elementos: árboles, animales y cultivos.

Se trata del uso de una serie de técnicas que combinan la agronomía, la silvicultura y la zootecnia para lograr un adecuado manejo del conjunto y las interdependencias entre cada uno de sus elementos (Figura 201).



¿Para qué sirven?

- Incrementar las masas forestales a través del impulso de la conversión productiva de sistemas agropecuarios a sistemas agroforestales
- Garantizar la presencia de una cobertura vegetal permanente que contribuya a:
 - Reducir la erosión hídrica, interceptar los escurrimientos superficiales.
 - Incrementar la infiltración del agua de lluvia.
 - Diversificar la producción de alimentos e incrementar los ingresos de los productores a través del aprovechamiento integral y sustentable de sus recursos.
 - Mejorar la calidad del suelo por aporte de materia orgánica.

Beneficios

Además de propiciar una mayor seguridad alimentaria y nutricional a lo largo del año al impulsar el uso de frutales y diversos cultivos agrícolas, la agroforestería ofrece la oportunidad de aprovechar una gran diversidad de recursos asociados a las masas forestales, entre los que se encuentran materiales de construcción, leña, plantas medicinales y productos forestales no maderables entre otros.

Aunado a lo anterior, actualmente se ha reconocido el potencial de la agroforestería para el mejoramiento y conservación del suelo, ya que es un sistema capaz de conservar y rehabilitar los ecosistemas especialmente en condiciones de producción marginales con bajo uso de insumos en tierras degradadas o en terrenos con fuertes pendientes.

Entre los beneficios directos que se tienen por el incremento en la cobertura arbórea se encuentran:

- La creación de microclima.
- Fijación de nitrógeno atmosférico.
- Reducción significativa de la evapotranspiración.
- Incremento de la materia orgánica del suelo.
- Incremento de la infiltración del agua y reducción de la escorrentía.
- Incremento de diversidad faunística, especialmente insectos y aves que atacan a las plagas de los cultivos.
- Reducción de la erosión, favoreciendo la conservación y protección del suelo.
- Incremento en general de la fertilidad del suelo.

Como parte del potencial que ofrece la agroforestería en términos de conservación del ambiente, en los últimos años se ha impulsado su uso como una herramienta para detener la deforestación y la expansión de la frontera agrícola.

Incluso, gracias al componente leñoso que se incorpora, se considera que puede brindar servicios similares a los ofrecidos por los sistemas naturales (por ejemplo, secuestro de carbono, infiltración y calidad del agua, conservación de biodiversidad, etc.), los cuales pueden ser pagados de igual forma que los naturales.

Asimismo, se está revalorando su contribución en la reducción de riesgos debido a los desastres naturales, a la prevención de incendios forestales y como una forma de producción comercial para la obtención de productos orgánicos.



a) Clasificación de los sistemas agroforestales

Existen varios criterios para la clasificación de los sistemas agroforestales de acuerdo con el arreglo temporal y espacial de sus componentes, la importancia y rol de estos componentes, los objetivos de la producción del sistema y el escenario económico social.

Sin embargo, se presenta una clasificación que puede ser más entendible y práctica en campo, basada en los aspectos estructurales y funcionales para agruparlos en cuatro categorías:

- Sistemas agrosilvopastoriles (árboles con cultivos y ganadería).
- Sistemas silvopastoriles (árboles asociados con ganadería).
- Sistemas agropastoriles (cultivos combinados con ganadería).
- Sistemas agroforestales o agrosilvoculturales (árboles combinados con cultivos).

Estos sistemas, a su vez, se pueden dividir de acuerdo con criterios de arreglo espacial, es decir, según cómo se encuentran colocados los árboles, los pastizales y los cultivos dentro del terreno que puede ser:

- Espacial horizontal:
 - Fajas, alternadas entre cultivos, árboles y pastizales, que pueden tener un ancho variable.
 - Surcos alternos de cultivo y árboles.
 - Dispersos, donde los árboles se distribuyen sin un orden definido, como en algunos huertos familiares, sombras en potreros o en el enriquecimiento de acahuals.
 - En bloques, como en los bancos de proteínas en potreros o en bancos de leña.

- Espacial vertical:

- Monoestrato, como en las terrazas de muro vivo y en los cercos vivos, donde por lo general se usa una sola especie de edad uniforme.
- Multiestrato, donde se intercalan dos o más especies de árboles, como en el enriquecimiento de acahuales y en las cortinas rompevientos.

También se puede clasificar al sistema agroforestal de acuerdo con la manera en que se van intercalando sus elementos en el tiempo. Así, se les puede usar de forma:

- Simultánea, cuando todos sus componentes se encuentran presentes al mismo tiempo, que es el más fácil de identificar.
- Secuencial, cuando los árboles y los cultivos o pastizales se establecen en el mismo sitio, después que uno de sus elementos ha sido eliminado, es decir, se van rotando, tal como se hace en los barbechos mejorados o en el sistema de roza, tumba y quema.

La forma en las que se puede clasificar y nombrar es diverso, pero todos son sistemas agroforestales que deben tener presente cuando menos las siguientes características:

- Dos o mas especies vegetales o una especie vegetal y una especie animal, y por lo menos una de ellas debe ser perenne leñosa (un árbol).
- Se deben obtener cuando menos dos productos.
- El ciclo debe durar mas de un año.



b) Diseño y construcción

Los diseños son muy variados de acuerdo con su estructura, función y escala base ecológica, pero para diseñar y manejar un sistema agroforestal resulta muy útil y práctico observar los ecosistemas naturales para duplicar su funcionamiento.

En las zonas tropicales húmedas, los modelos de sucesión pueden ser particularmente apropiados para diseñar sistemas agroforestales “reemplazando” en el modelo algunas especies silvestres por especies cultivadas o bien favoreciendo el crecimiento de alguna especie nativa de interés.

Las especies que se incorporen deben ser estructural y ecológicamente similares a las naturales. Bajo este principio se puede, por ejemplo, sustituir especies del ecosistema natural tales como Heliconia, curcubitáceas, especies de Ipomoea, leguminosas, arbustos y árboles pequeños, por plátanos, ñames, camotes, cultivos de frijoles locales, maíz / sorgo / arroz, papaya y marañón.

Alrededor del segundo y tercer año los cultivos arbóreos de rápido crecimiento pueden formar un estrato adicional y mantener así una cubierta continua del cultivo, evitando la degradación del terreno y la lixiviación de nutrientes y proporcionando rendimientos durante el año.

El espaciamiento de los árboles puede variar considerablemente, pero en general en las regiones más secas este espacio será en superficies mucho más amplias que en zonas más húmedas.

Se pueden limpiar franjas de un metro y 1.5 metros de ancho en áreas con vegetación secundaria, de unos cuatro años cuando mucho, a intervalos convenientes y sembrar especies agrícolas perennes que toleren la sombra, como el cacao o café.

Luego, cuando las especies sembradas crezcan, la vegetación forestal se entresacará según convenga y dentro de cinco años se contará con un dosel de dos o tres capas que estarán compuestas por las especies agrícolas perennes y las forestales elegidas.

Se deben usar prácticas de manejo como el raleo y la poda con el fin de que penetre más luz en la superficie del terreno y así sembrar especies agrícolas seleccionadas entre las hileras de los árboles. El grado de raleo o de poda dependerá de la densidad arbórea de la estructura del dosel y otros. Junto con éstas se deben manejar podas de formación en los árboles que nos interesen para producción de madera, a fin de producir madera limpia de mayor calidad reduciendo el número de nudos sueltos en el tronco.

Es importante tener claro desde un inicio qué producto se quiere obtener, para con este criterio realizar la eliminación de árboles, arbustos o hierbas no deseadas y que a su vez se favorezcan las especies deseadas y con las características más apropiadas.

En áreas de ladera, las especies arbóreas seleccionadas pueden sembrarse en líneas perpendiculares a la pendiente siguiendo curvas a nivel, para lo cual se pueden trazar como se indica en otros capítulos de este manual. Se pueden usar diferentes disposiciones de siembra (hileras únicas, dobles, alternadas, fajas, en “tres bolillo”, etc.) con diversas distancias entre las hileras.

Los cultivos agrícolas y los pastos para forraje y para fijar suelo se pueden establecer entre los árboles a lo largo del contorno.



c) Sistemas agroforestales para el control de la erosión

Se pueden usar los árboles de diversas formas para reducir la erosión del suelo, ya sea por el solo efecto de incrementar la cubierta vegetal y garantizar su permanencia a lo largo del año o bien a través del arreglo espacial en forma de barreras vivas, en fajas o en curvas a nivel, cortinas rompevientos, etcétera.

Como práctica general, se recomienda utilizar árboles para reforzar y estabilizar diferentes estructuras para la retención de suelo, desde condiciones del trópico húmedo hasta zonas áridas.

Aquí se debe utilizar la capacidad de los sistemas agroforestales para usar una parte del terreno para producir madera a largo tiempo y permitiendo a su vez la producción de alimentos, ya sea para autoconsumo o para comercialización de los excedentes. En este último caso, se puede hablar de plantaciones de maderas preciosas tropicales intercaladas en fajas o surcos con maíz, chile y leguminosas en zonas con pendientes suaves a moderadas, donde el árbol se beneficia con los fertilizantes, abonos y riegos que se le den al cultivo.

En estos sistemas se debe tener cuidado en la distancia entre líneas de árboles para que cuando crezcan siga permitiendo el uso agrícola del terreno o bien, si es decisión del dueño de la parcela, incrementar la densidad para que en un determinado tiempo sólo se dedique a la producción forestal. La permanencia de los árboles a lo largo del tiempo garantiza la protección y conservación del suelo, además de que se incrementa la superficie bajo una cubierta forestal.

Otro ejemplo es el uso de especies para producción de leña que en varias comunidades rurales del país ya se presenta como un factor crítico por su accesibilidad y el deterioro que se está causando al ambiente por la sobreexplotación de la vegetación arbustiva y arbórea.

Se deben usar especies de rápido crecimiento que además sirvan para enriquecer el suelo (fijadoras de nitrógeno) los cuales se utilizan durante uno o dos años para posteriormente ocupar el espacio con un cultivo agrícola, intercalado en fajas o formando bancos especiales. Una de las especies que más se han utilizado es la *Leucaena leucocephala*.

d) Sistemas agroforestales en áreas de roza, tumba y quema o de agricultura migratoria

Si bien el sistema de roza, tumba y quema es un tipo de modelo agroforestal, actualmente el crecimiento poblacional y la reducción de las áreas requeridas para el descanso y recuperación del suelo lo han vuelto inviable. Esto se refleja en periodos de ocupación más reducidos y baja en los rendimientos por superficie.

Sin embargo, se han desarrollado varios modelos agroforestales alternativos a dicho sistema de roza, tumba y quema, que además ofrecen la ventaja de reducir el uso del fuego en las actividades agrícolas, lo que se implica un menor número de incendios forestales.

Entre los modelos que se están desarrollando está el uso de cultivos en fajas a través del establecimiento de obras de conservación de suelo —como las zanjas o terrazas trazadas en curva a nivel y las barreras vivas con especies fijadoras de nitrógeno y para leña— y el desarrollo de esquemas de fertilización que combinan el uso de agroquímicos y abonos verdes, que se desarrollan con éxito en la región de la Chinantla en Oaxaca y en algunas comunidades de Veracruz.

Los arreglos y especies que se pueden utilizar son muy variados de acuerdo con cada región y con las necesidades específicas de cada co-



unidad y productor, pero un factor fundamental es atender la producción de maíz que, en estas zonas, se dedica al autoconsumo, por lo que en estos modelos los abonos verdes juegan un papel muy importante.

e) Sistemas agroforestales en áreas ganaderas

En áreas ganaderas es de gran utilidad el establecimiento de bancos de proteína, tanto de corte como de pastoreo o ramoneo directo. Los bancos de forraje pueden mejorar su calidad y disponibilidad, sobre todo a fines de la estación seca o a comienzos de la estación húmeda. Además, estos bancos restablecen y mejoran el contenido de materia orgánica y los nutrientes del suelo.

Pueden estar en los cerros (principalmente especies de vainas), en tierras elevadas a lo largo de los cursos de agua, lo cual permite un mejor uso del terreno.

Otras prácticas que se pueden aplicar son la combinación de cercos vivos, árboles para sombra distribuidos en los potreros, cuidando su distribución con los aguajes, bebederos y saladeros para favorecer el uso óptimo del potrero.

f) Sistemas agroforestales en zonas templadas

En zonas templadas, la agroforestería no se encuentra tan desarrollada como en zonas tropicales debido sobre todo a las limitaciones que ofrecen estos ecosistemas en cuanto a su diversidad y condiciones climáticas, y además porque tradicionalmente se han concentrado en este clima los sistemas agropecuarios intensivos, dejando en el olvido prácticas tradicionales.

El sistema más común en zonas templadas son las barreras vivas para la retención de suelo y agua en zonas con pendiente. El pastoreo de ganado menor en los bosques de coníferas de los estados del centro del país es muy común, lo que ocasiona incendios forestales, pérdida del renuevo de árboles y reforestación.

A estos productores se les pueden brindar sistemas silvopastoriles que combinen el establecimiento de pastos con producción durante todo el año, como las *festucas* o el *ray grass* en áreas restringidas para pastoreo y corte, o bien intercaladas en el bosque en áreas predeterminadas, así como forrajes de producción estacional, como la veza de invierno o la avena forrajera. Otro modelo que está cobrando mucha popularidad es la producción de árboles de navidad con pastos para la engorda de ganado durante algunas fases de desarrollo de los árboles.

g) Sistemas agroforestales en zonas áridas y semiáridas

En estas zonas es preponderante la utilización de árboles multipropósito mezclados con cultivos o como parte de sistemas pastoriles. Las especies como *Acacia spp* y *Prosopis spp.* no son valoradas sólo por sus productos madereros y de forraje sino también por la capacidad de enriquecimiento del suelo y la presencia de una cubierta vegetal, en especial durante los periodos de sequía y durante las primeras lluvias cuando el suelo se encuentra más expuesto a la acción de los agentes erosivos.

Como ejemplo concreto se tiene el uso de mezquites (*Prosopis spp*) y costilla de vaca (*Atriplex canescens*) en combinación con pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*), que se usa en el altiplano potosino.



Otra práctica que se debe promover en estas zonas son las cortinas rompevientos, uso de arbustivas forrajeras y forestales no maderables, como nopal tunero, agaves, oregano, ixtle, etcétera.

Algunos ejemplos de arreglos agroforestales se muestran en las figuras 202–205.



FIGURA 202. SISTEMA PASTORIL (PALMERAS Y GANADO)



FIGURA 203. SISTEMA AGROSILVÍCOLA



FIGURA 204. SISTEMA PASTORIL (LEÑOSAS Y GANADO)



FIGURA 205. SISTEMA AGROSILVÍCOLA (LEÑOSAS Y HERBÁCEAS)

h) Selección de árboles a utilizar

Para la selección o recomendación de especies a utilizar hay que tomar en cuenta las necesidades y expectativas del productor, la zona donde se establecerán y poner especial énfasis en las que son apropiadas para la producción de leña, forraje, postes y abono verde, de tal manera que satisfagan las necesidades de la familia.

En general se deben considerar especies con algunas de las siguientes características:

- Fijadoras de nitrógeno atmosférico.
- Buena capacidad de rebrote.
- Rápido crecimiento.
- Resistentes a la sequía.
- Disponibilidad de semillas o material vegetativo para su propagación.
- Resistentes al viento.
- Tolerantes a las plagas y los roedores (de lo contrario, considerar el control de estos factores en la plantación).

La agroforestería es una alternativa a considerarse en zonas marginadas ubicadas en zonas de frontera forestal donde además de la producción de alimentos para el autoconsumo, la producción de madera y otros subproductos forestales puede ser una alternativa para obtener ingresos extras e iniciar la reconversión hacia sistemas forestales de mayor rentabilidad pero de largo plazo.



i) Costos

Por la gama tan diversa de prácticas agroforestales y la magnitud de sus componentes en la parcela es difícil establecer un costo por hectárea. Por tal motivo se presenta un estimado de lo que representaría el establecimiento de una plantación (leñosas) que finalmente es el componente de mayor aportación al proteger y conservar los suelos dentro del sistema agroforestal.

Cuadro 39

Costos promedio por hectárea para prácticas agroforestales				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO DE LA ACTIVIDAD \$
Limpia del terreno	Jornal	45	2	90
Trazado del arreglo de la plantación	Jornal	45	1	45
Adquisición y transporte de árboles y arbustos	Árboles	2.0 / árbol	200	400
Plantación de árboles	Jornal	45	5	225
Cajeteo o sistema de captación de agua	Jornal	45	3	135
				TOTAL \$ 895

PRÁCTICAS VEGETATIVAS

Acomodo de material vegetal muerto



FIGURA 206. ACOMODO DE MATERIAL VEGETAL MUERTO

Consiste en formar cordones a nivel de material vegetal muerto resultante del aprovechamiento forestal, podas, preaclareos, aclareos y material incendiado. El acomodo de estos materiales proporciona protección del suelo, evita la erosión hídrica, disminuye el escurrimiento superficial e incrementa el contenido de humedad en el suelo, lo que favorece la regeneración natural (Figura 206).



¿Para qué sirve?

- Reducir la erosión hídrica.
- Disminuir la velocidad de los escurrimientos superficiales.
- Incrementar la infiltración del agua de lluvia.
- Evitar la propagación acelerada de los incendios forestales.

Beneficios

- Retiene azolves.
- Favorece la infiltración de agua.
- Favorece la regeneración natural.

a) Elementos de diseño

Se deben formar cordones o fajinas de material siguiendo las curvas a nivel en el terreno, esto es, se colocan barreras de material muerto perpendiculares a la pendiente del terreno para que propicien la disminución de la velocidad y la cantidad de escurrimiento superficial, a la vez que interceptan los posibles materiales y azolves que se erosionan ladera arriba (Figura 207).



FIGURA 207. ACOMODO DE MATERIAL VEGETAL MUERTO EN LADERAS



Por otra parte, también hay que considerar la distancia de arrime del material al cordón. En la práctica, se observa que un espaciamiento de 10 metros entre cordones consecutivos es muy adecuado, ya que el material para su construcción sólo se arrastra 5 metros de arriba y abajo del cordón y eso facilita su construcción (Figura 208), pero pueden espaciarse a mayor distancia.



FIGURA 208. MATERIAL VEGETAL MUERTO ACORDONADO

b) Proceso de acordonamiento

Primer paso. El espaciamiento entre cordones de material acomodado (fajinas) se puede realizar utilizando el criterio de terrazas o eligiendo un espaciamiento a criterio del técnico, dependiendo de la pendiente, el escurrimiento, la erosión, la cantidad de material para acomodar, entre otros.

Segundo paso. Se traza la curva de nivel guía que servirá de base para acordonar el material.

Tercer paso. Se acordona el material procurando que las líneas estén a nivel.

Cuarto paso. Se asienta el material al suelo, podando las ramas y seccionando los troncos más grandes, de tal suerte que el cordón no quede más alto de un metro (Figura 209).



FIGURA 209. SECCIONANDO MATERIAL EN EL ACORDONAMIENTO

Quinto paso. Se acordona el material restante en franjas paralelas a la curva de nivel guía, de acuerdo con la distancia previamente establecida.

Sexto paso. La longitud máxima de los cordones es de 50 metros y a esta distancia se debe seccionar de 3 a 4 metros (es decir, dejar sin material acordonado 3 o 4 metros) y después continuar la otra sección.

Séptimo paso. Cuando el acordonamiento cruce una cárcava o un arroyo, es conveniente colocar una presa de morillos o colocar los troncos más gruesos en la cárcava o arroyo (Figura 210).



FIGURA 210. ACOMODO DE VEGETAL MUERTO



c) Recomendaciones

- Las fajinas o los cordones de material deben ser paralelos a la curva a nivel.
- El ancho de la faja debe ser menor a 40 centímetros.
- El alto de la faja debe ser menor a 40 centímetros.
- La separación entre cordones de material debe ser a 20 metros o menor.
- Los cordones deben ser discontinuos o fraccionados cada 50 metros para evitar riesgos de propagación de incendios
- La distancia entre dos fracciones de una misma faja debe ser cuando menos 2 metros.
- En la medida de lo posible, se deben acordonar los desechos más gruesos y dejar sobre el tramo entre cordones los desechos más delgados, para proteger el suelo.

d) Costos

Cuadro 40

Costos promedio para el acomodo de materiales (ramas, troncos) en curvas a nivel (100 metros)				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO DE LA ACTIVIDAD \$
Recolecta de material	Jornal	45	2.00	90
Acomodo	Jornal	45	0.50	23
Estacado	Jornal	45	1.00	45
Trazo de curva a nivel	Jornal	45	0.25	11
TOTAL				\$ 169

El precio del material acomodado para 100 metros lineales es de \$169.00, producto de aprovechamientos, incendios y podas. Dichos materiales serán colocados de manera continua en curvas a nivel. Así, el costo por hectárea se calcula en \$845.00.



Glosario

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.

Basalto. Roca ígnea extrusiva de grano fino que se forma de escurrimientos de lava o intrusiones menores, compuesta por plagioclasa, augita y magnetita; puede contener oliviana.

Cantera. Roca de tipo volcánico; ignimbrita riolítica, constituida principalmente por material piroclástico entre los que se encuentran la piedra pómez, vidrio volcánico y la cantera rosa.

Carga hidráulica. Distancia vertical del fluido desde la superficie libre al nivel de referencia (suelo); también considerado como tirante.

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.

Conservación de suelos. Conjunto de prácticas y obras para controlar los procesos de degradación y mantener la productividad potencial de los suelos.

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.

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.

Degradación extrema. Presenta pérdidas superiores a 75% de la capa de suelo superficial, con cárcavas profundas; es prácticamente imposible recuperarlo en el mediano plazo.

Degradación ligera. Degradación del suelo apenas perceptible y donde se ha perdido hasta 25% de la capa superficial, pero en 10% a 20% de la superficie total del área presenta problemas de canalillos y cárcavas pequeñas.

Degradación moderada. Degradación del suelo que presenta erosión en canalillos, canales y cárcavas pequeñas; se ha perdido de 26% a 50% de la capa superficial. Puede presentar niveles de degradación ligera o extrema en 10% de la superficie total del predio.

Degradación severa. Se presentan pérdidas de entre 51% y 75% de la capa superficial; ocurre en manchones de material consolidado, tipo tepetate o afloramientos rocosos, así como cárcavas de todos tamaños; presenta niveles con degradación ligera o moderada en 25% del área total.

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 escorrentía.

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.



Erosión. Desprendimiento, arrastre y deposición de las partículas del suelo por acción del agua y el viento.

Escurrimiento superficial. Es la porción de la precipitación que fluye hacia los arroyos, canales, lagos u océanos como corriente superficial.

Forestación. Es el establecimiento y desarrollo de vegetación forestal en terrenos preferentemente forestales con propósitos de conservación, restauración o producción comercial.

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 concentración.

Gavión. Caja rectangular, prefabricada, construida con malla de alambre hexagonal, de triple torsión, unida con alambre de acero suave galvanizado y reforzado, de medidas acordes con las necesidades que requiere el tamaño de cada presa a construir.

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.

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.

Por ciento de supervivencia. Árboles o plantas vivas que por hectárea presenta una plantación, expresado como porcentaje del número total de los establecidos originalmente de acuerdo con los registros de los padrones de reforestación para cada predio.

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 de suelos. Conjunto de obras y prácticas para la rehabilitación de los suelos que presentan diferentes niveles de degradación, las cuales se implementan a corto, mediano y largo plazos.

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.

Sistema agroforestal. Método de producción forestal que comprende el establecimiento de una plantación forestal con fines de producción de materias primas forestales y un cultivo agrícola en forma asociada en el mismo terreno.

Socavación. Excavación por debajo del nivel del suelo que lo debilita físicamente provocando el crecimiento de la cárcava.

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.

Supresión. 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.

Tensores. Alambres galvanizados que se utilizan para estirar o tensar entre sí las paredes de los gaviones.

Terraza. Terraplén formado entre dos bordos de tierra o la combinación de bordos y canales construidos en sentido perpendicular a la pendiente.

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.

Triple torsión. Arreglo en el que se encuentran los alambres galvanizados que forman la malla del gavión.

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

- Colegio de Postgraduados (1991). *Manual de conservación del suelo y el agua*, Colegio de Postgraduados, México.
- Comisión Nacional Forestal, CONAFOR (2003). “Costos de obras de conservación”, Gerencia de Suelos Forestales-CONAFOR, México.
- 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). “Caminos forestales” (borrador), Secretaría de Comunicaciones y Transportes / CONAFOR, México.
- Foster, Albert (1990). *Métodos aprobados en conservación de suelos*, Trillas, México.
- Gayoso Jorge y Diego Alarcón (1999). *Guía de conservación de suelos forestales*, Universal Austral de Chile / Instituto Forestal, Valdivia.
- 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.
- 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.
- 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 núm.3 Canales de evacuación de aguas de lluvia, Facultad de Ciencias Forestales-Universidad de Talca, Santiago de Chile.
- 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.

- 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.
- Sánchez Vélez, A. (1987). *Conceptos elementales de hidrología forestal. Agua, cuenca y vegetación*, vol.1, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Semarnap (2000). *Manual para la conservación de suelos*, Semarnap, México.
- 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.

Páginas electrónicas consultadas

- <http://www.prodigyweb.net.mx/jcgamez/jcgo/suelos8.htm>
- <http://www.gcollado.com.mx/gaviones.asp>
- http://www.cna.gob.mx/publica/estaticas/subdirecciones/sgaa/gim/manuales/Unidades%20Tecnodid%C3%A1cticas/Placa_orificio.pdf
- <http://www.cdmb.gov.co/proyectos/csu/capitulo1h.php>



Acerca de los autores

Ramón Cardoza Vázquez

Ingeniero Agrónomo con especialidad en Bosques, egresado de la Escuela Nacional de Agricultura, hoy Universidad Autónoma Chapingo. Actualmente se desempeña como Gerente de Suelos Forestales (email: rcardoza@conafor.gob.mx).

Leticia Cuevas Flores

Ingeniero Agrónomo con especialidad en Fitotecnia, egresada de la Universidad Autónoma Chapingo.

Jacinto Samuel García Carreón

Ingeniero Agrónomo con especialidad en Suelos, egresado de la Universidad Autónoma Chapingo. Actualmente se desempeña como Subgerente de Protección Manejo y Mejoramiento de Suelos (email: jgarcia@conafor.gob.mx).

Jesús Alejandro Guerrero Herrera

Ingeniero en Manejo y Conservación de Recursos Naturales, egresado de la Universidad Autónoma Chapingo. Actualmente se desempeña Como Jefe de Departamento de Inventario de Suelos (email: jherrera@conafor.gob.mx).

Juan Carlos González Olarte

Geógrafo, egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente se desempeña como Jefe de Departamento de Evaluación y Monitoreo de Suelos (email: jgonzalez@conafor.gob.mx).

Honorio Hernández Méndez

Ingeniero Agrónomo con especialidad en Bosques, egresado de la Universidad Autónoma Chapingo. Actualmente se desempeña como Subdirector de Conservación de Cuencas en la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (email: honorio.hernandez@semarnat.gob.mx).

María de Lourdes Lira Quintero

Ingeniero Agrónomo con especialidad en Suelos, egresada de la Universidad Autónoma Chapingo. Actualmente se desempeña como Jefe de Departamento de Protección de Suelos (email: mlira@conafor.gob.mx).

Jorge Luis Nieves Frausto

Ingeniero Agrónomo con especialidad en Suelos, egresado de la Universidad Autónoma Chapingo. Con postgrado en el Colegio de Postgraduados. Actualmente se desempeña como Subgerente de Conservación y Restauración de Suelos (email: jnieves@conafor.gob.mx).

David Tejeda Sartorius

Ingeniero Agrónomo con especialidad en Suelos, egresado de la Universidad Autónoma Chapingo. Actualmente se desempeña como Jefe de Departamento de Sistemas Agroforestales (email: dtejeda@conafor.gob.mx).

Carlos Manuel Vázquez Martínez

Ingeniero Agrónomo con especialidad en Zootecnia, egresado de la Universidad Autónoma Chapingo. Actualmente se desempeña como Subdirector de Centro Regional No.2 de la Comisión de Recursos Naturales del Distrito Federal.



DIRECTORIO
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

José Cibrián Tovar
Director General

Carlos Rodríguez Combeller
Director General Adjunto

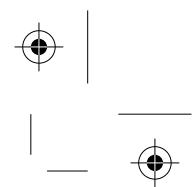
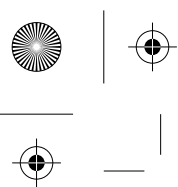
Salvador Musalem Santiago
Jefe de Unidad de Comunicación Social

Mauricio Mendoza Briseño
Coordinador General de Operación Regional

Vicente Arriaga Martínez
Coordinador General de Conservación y Restauración

Ramón Cardoza Vázquez
Gerente de Suelos





Esta edición estuvo a cargo de Tres60 Editores y se terminó de imprimir en Noviembre de 2008. El tiraje fue de 4,000 ejemplares.

