

Técnicas para controlar el sedimento en caminos forestales secundarios



Técnicas para controlar el sedimento en caminos forestales secundarios

Esta obra contó con el apoyo para su edición del Proyecto 00071603 “Transformar el manejo de bosques de producción comunitarios, ricos en biodiversidad mediante la creación de capacidades nacionales para el uso de instrumentos basados en el mercado” el cual es ejecutado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), co-financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés) y con el apoyo técnico de Rainforest Alliance Inc. A.C. (RA).

Las opiniones, análisis y recomendaciones contenidas en este documento no reflejan necesariamente las opiniones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, de su Junta Ejecutiva o de sus Estados Miembros, ni de las Instituciones participantes en el proyecto.

Título original:

Guidelines for controlling sediment from secondary logging roads.
(1964 - 42p.)

Autores:

Paul E. Packer
Investigador Forestal. División de Investigación en Manejo de Cuencas Estación Experimental Intermontañosa sobre Bosques y Pastos.
Ogden, Utah, E. U. A.

George F. Christensen
Jefe de la Rama de Manejo de Cuencas de la División de Manejo de Cuencas y Uso Múltiple de la Región Norte.
Missoula, Montana, E. U. A.

Intermountain Forest and Range Experiment Station Ogden, Utah; 84401
Northern Region Missoula, Montana
Forest Service U. S. Department of Agriculture

Traductor:

José Ciro Hernández Díaz, Investigador Forestal
Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, de la Universidad Juárez del Estado de Durango. (ISIMA-UJED)
Durango, Durango, México.

© 2005 de la traducción.

© Primera edición en español, versión digital: 2014
México, 2014.

Diseño Editorial:

Edgar Javier González Castillo

Derechos reservados ©.

Del traductor y coeditores:
Comisión Nacional Forestal. Periférico Poniente 5360. Col. San Juan de Ocotán, C.P. 45019, Zapopan, Jalisco, México.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Montes Urales 440, Col. Lomas de Chapultepec Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11000, México, D.F.

Ni esta publicación ni partes de ella pueden ser reproducidas o almacenadas mediante cualquier sistema o transmitidas, en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, de fotocopiado, de grabado o de otro tipo, sin el permiso previo de los autores y de la Comisión Nacional Forestal y del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Prólogo

Los caminos secundarios y las brechas que comunican los pueblos con las áreas rurales son indispensables para extraer la producción que proviene de aprovechar los recursos naturales y con ello, promover el desarrollo de las comunidades que habitan en esas áreas. Sin embargo, los caminos pueden ser también el origen de fuertes impactos ambientales en el suelo, el agua, la vegetación residual y la fauna, lo cual puede afectar la biodiversidad y la productividad actual y futura de esas áreas rurales.

El principal agente que provoca esos impactos es la escorrentía, que se genera en los caminos a consecuencia de la precipitación pluvial. Debido a este fenómeno el material superficial (sedimentos), que se encuentra en los caminos de terracería y con cierto grado de inclinación (pendiente), está sujeto a fuerzas que tienden a cambiarlo de lugar, formando arroyuelos o zanjas que dificultan y encarecen el tránsito de los vehículos. Además, los sedimentos son arrastrados hacia las corrientes y cuerpos de agua vecinos, y con frecuencia llegan hasta los arroyos, ríos, lagos y las presas que se encuentran aguas abajo, incluso a grandes distancias de las áreas donde se localizan dichos caminos, causando desequilibrio ambiental tanto en las partes altas como en las localidades bajas de las cuencas.

Los caminos forestales son generalmente caminos secundarios y brechas, que se consideran indispensables para extraer la madera y otros productos de las áreas forestales, sin embargo, donde se abren caminos se elimina la vegetación, se remueve y desprotege el suelo, se propicia la escorrentía, se contamina el agua de las corrientes, se incrementa el riesgo de erosión, se fragmenta el ecosistema y en general, se altera el hábitat de la flora y la fauna silvestre y además, se facilita el incremento de diversas actividades antropogénicas que tarde o temprano conllevan otros impactos ambientales negativos.

Por otra parte, abrir un camino es costoso, particularmente en topografía escarpada y con presencia de roca como sucede en muchas áreas forestales de México. Esto significa que las empresas que deciden invertir en la apertura de caminos, lo hacen solamente cuando consideran que realmente se justifica. Sin embargo, en diversas ocasiones esa justificación se basa solamente en aspectos financieros o inclusive, en algunos casos, buscando el interés social a corto plazo (comunicar comunidades, promover el comercio, facilitar el aprovechamiento de recursos, etc.).

Es muy importante promover que en los proyectos de apertura y conservación de los caminos forestales se tomen en cuenta también los impactos ambientales, ya que en el mediano y largo plazo, el peso y la repercusión de estos impactos puede inclusive revertir la balanza con respecto a los beneficios financieros y sociales que inicialmente se hayan perseguido.

En esta "Guía sobre técnicas para controlar el sedimento en caminos forestales secundarios" se aportan elementos que permiten comprender diversos factores que influyen en la erosión de los caminos secundarios por concepto de la escorrentía y se proponen técnicas, muchas de ellas sencillas y económicas, que si se aplican con oportunidad pueden alargar la vida útil de los caminos forestales, sin necesidad de hacer inversiones costosas y sobre todo, pueden coadyuvar a que el impacto de la escorrentía en este tipo de caminos sea mínimo, favoreciendo así la conservación de la biodiversidad y la productividad de los ecosistemas.

Se invita a los responsables de la planeación, construcción y mantenimiento y a los usuarios de estas importantes rutas de acceso, a que conozcan y tomen en cuenta las medidas que se proponen en este documento, procurando cada uno en lo que esté a su alcance, maximizar el beneficio que se puede derivar de los caminos forestales y al mismo tiempo, darle prioridad al objetivo de reducir los impactos negativos de los mismos.

José Ciro Hernández Díaz

Traductor del documento original

Contenido

1. Introducción	6
2. Factores que afectan la erosión de superficies de caminos y el flujo de sedimentos	7
2.1. Cinco factores que afectan la erosión de la superficie en caminos forestales	9
2.2. Siete factores que afectan el movimiento de sedimentos abajo del borde de caminos forestales	12
3. Guías para el espaciamiento del drenaje transversal y para determinar la anchura de franjas protectoras	18
3.1. Guía para el espaciamiento de drenaje transversal	18
3.2. Guía para determinar la anchura de las franjas protectoras	20
3.3. Guías suplementarias para estimar los factores de la cuenca que no pueden medirse directamente	22
4. Cómo aplicar estas guías para controlar la erosión y la sedimentación	27
4.1. Localización de caminos de extracción	27
5. Medidas para fortalecer el control de sedimentos	29
6. Control de sedimentos en caminos existentes	32
7. Estructuras para controlar la erosión y el flujo de sedimentos	35
7.1. Medidas para desviar el agua de la superficie del camino	35
7.2. Protección de terraplenes y pendientes naturales inestables	38
8. Quince reglas clave para reducir la erosión en caminos forestales	41
8.1. Localización y diseño	41
8.2. Construcción y mantenimiento	41

1. Introducción

El agua producida en los bosques se usa para diversos propósitos y se reutiliza muchas veces antes de que llegue al océano. Se necesita agua pura y clara para uso doméstico, agrícola y para muchos procesos industriales. Importantes y valiosos lugares de crianza de peces, tanto comerciales como deportivos, dependen de que exista agua limpia.

El sedimento en las corrientes se escurre de algunos canales y rellena otros, causando inundaciones en las ciudades, granjas, sistemas de transporte y vías de comunicación. Destruye la comida de los peces y sus camas de reproducción, daña turbinas de generación de energía, y azolva represas, canales y diques de irrigación. Debe evitarse que el sedimento llegue a las corrientes o a los canales.

Las mediciones y observaciones indican que hasta un 90% del sedimento producido por la erosión en áreas de extracción forestal se debe a los caminos. La investigación y la experiencia muestran que el daño al suelo y al agua puede evitarse en gran medida con la aplicación consciente de guías específicas para el diseño, trazo, construcción y mantenimiento de caminos forestales.

Este manual contiene las guías para ayudarlo a trazar y diseñar caminos forestales secundarios e instalar estructuras para el control de agua, de tal manera que se reducirá la erosión y se evitará la sedimentación de corrientes.

La aplicación de estas guías es muy valiosa para el trazo y diseño del sistema de caminos forestales durante la planeación de una nueva área de extracción de trocería. Otra aplicación valiosa de estas guías, está en el desarrollo de medidas para el control de erosión y evitar la sedimentación en caminos forestales secundarios ya existentes.

2. Factores que afectan la erosión de superficies de caminos y el flujo de sedimentos

Investigaciones realizadas por la Estación Experimental Intermontañosa para Bosques y Pastizales en Ogden, Utah, E. U. A., indican que las superficies de caminos forestales secundarios se deterioran rápidamente cuando a los arroyuelos se les permite erodar profundidades mayores a 2.5 cm (Figura 1).

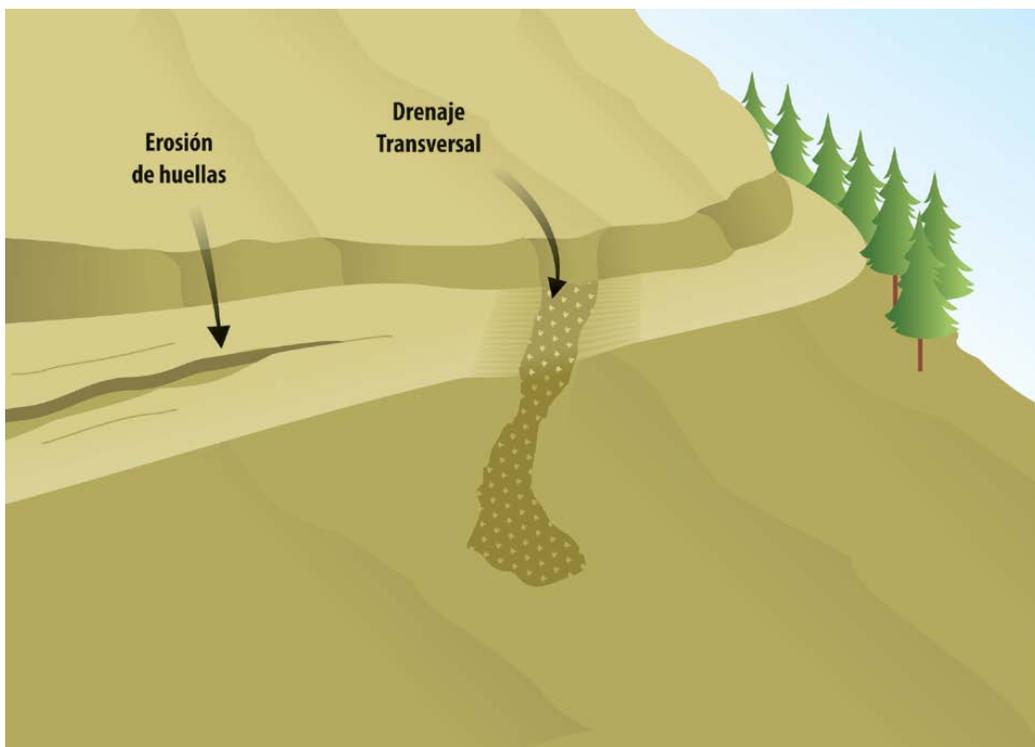


Figura 1. Erosión de arroyuelos en la superficie del camino, más abajo de un drenaje transversal.

La distancia que el agua recorre sobre la superficie del camino antes de erodar arroyuelos de hasta 2.5 cm de profundidad, determina el espaciamiento requerido entre drenajes transversales en la superficie del camino para evitar dicha erosión.

La distancia que se mueve el sedimento a partir del desagüe del drenaje transversal, determina la anchura de las franjas protectoras requeridas abajo del camino para controlar los sedimentos (Figura 2).

La mayoría de los factores que afectan la erosión superficial de los caminos y el movimiento de sedimentos pueden controlarse.

Consecuentemente, la severidad de la erosión en la superficie del camino y la distancia que se mueve cuesta abajo el sedimento también pueden controlarse aplicando ciertas medidas preventivas durante y después de la construcción del camino y de la extracción.

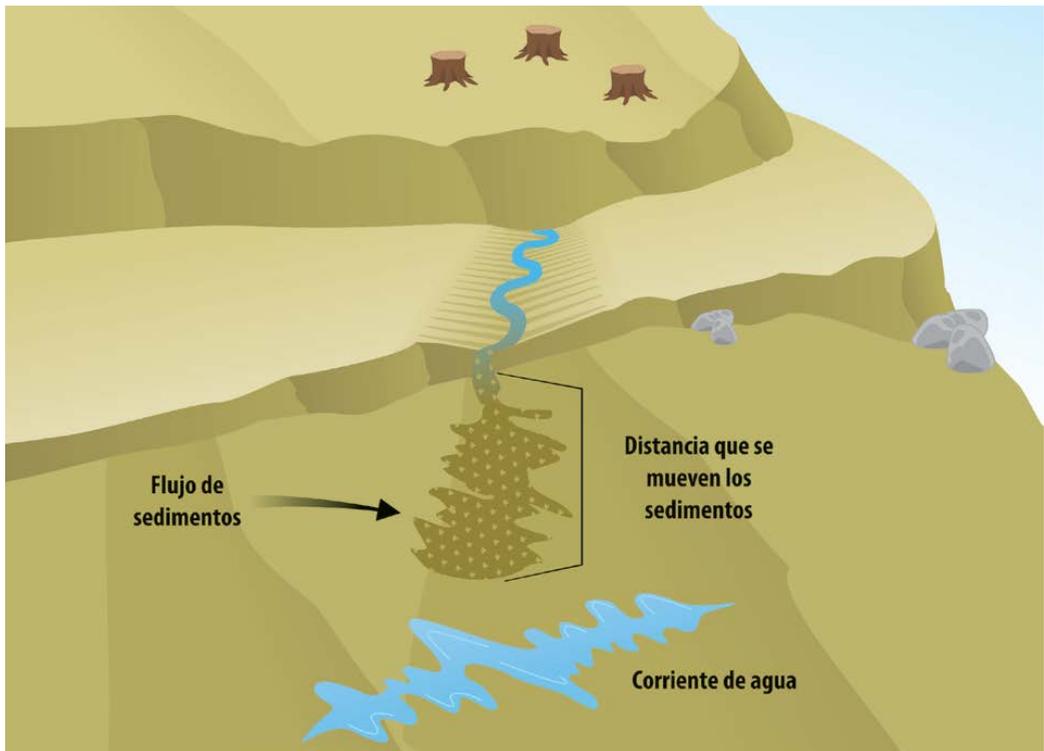


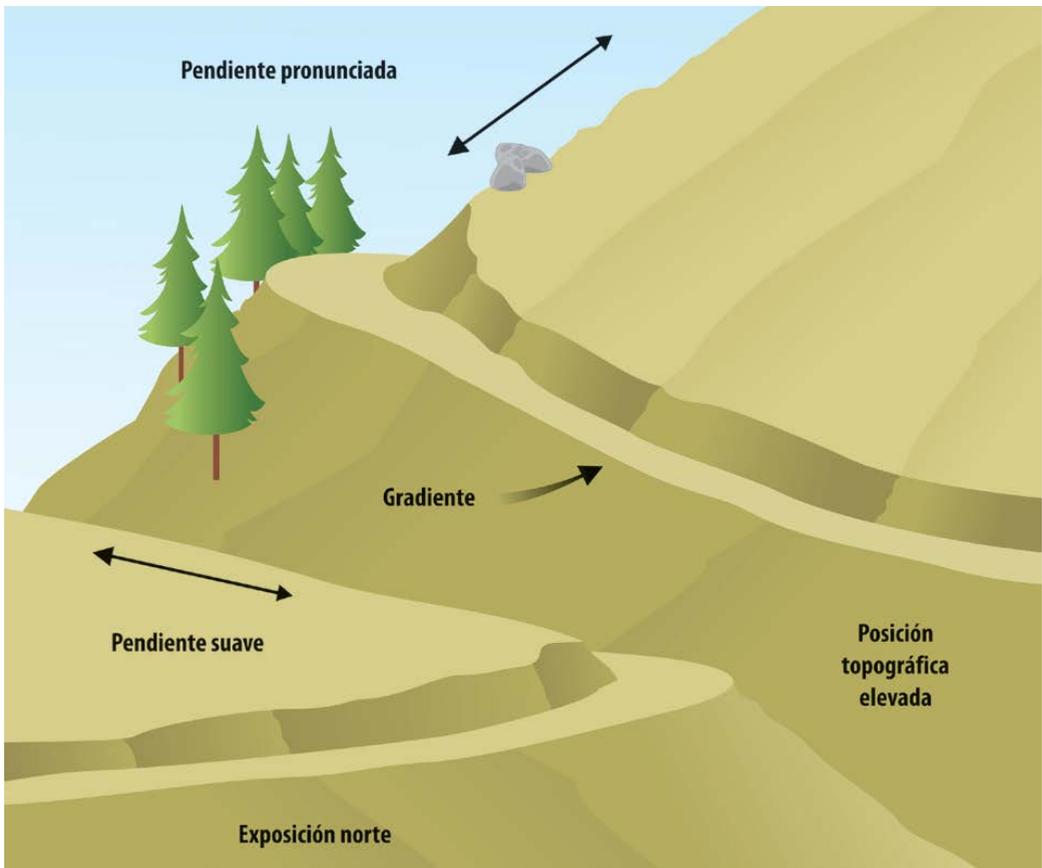
Figura 2. Movimiento de sedimentos pendiente abajo a partir de un drenaje transversal.

2.1. Cinco factores que afectan la erosión de la superficie en caminos forestales

Los siguientes factores son los que más influyen en la erosión de los caminos forestales; algunos de ellos se ilustran en la Figura 3.

Tamaño de las partículas del suelo

Entre mayor es la proporción de material áspero (partículas con diámetro mayor a 0.25 cm) en la superficie del suelo, menos probable es la erosión por deshielos o lluvias intensas. Por lo tanto, los drenajes transversales pueden instalarse más separados en una superficie en la que predominan partículas grandes, que en una compuesta por partículas finas.



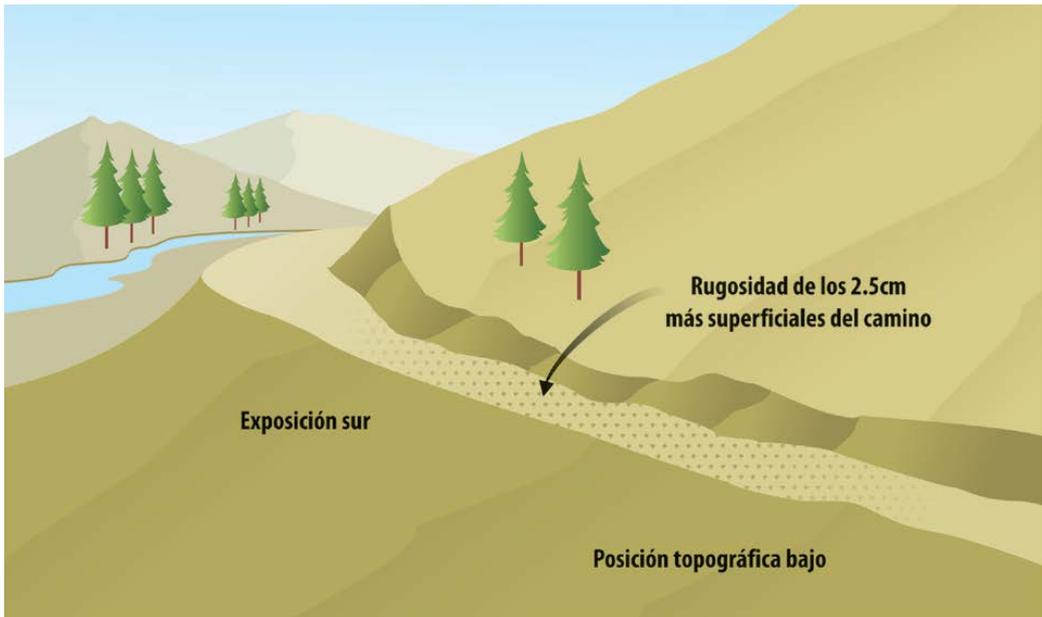


Figura 3. Factores que afectan la erosión de la superficie del camino.

Los suelos forestales más importantes en la Región Norte, Missoula, Montana, se clasificaron en seis grupos, basados en la proporción de partículas ásperas y conglomerados estables al contacto con el agua y mayores a 0.25 cm de diámetro, en las superficies de los caminos (Tabla 1).

Tabla 1. Grupos de suelos forestales en orden de: (1) Rugosidad decreciente y disgregabilidad creciente del suelo sobre la superficie del camino y, (2) material base principal en cada grupo.

Rugosidad decreciente y disgregabilidad creciente del material					
Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
Sedimentos duros	Basalto	Granito	Sal glacial	Andesita	Limo
Esquisto (duro)	Basalto pórfito	Arenisca	Esquisto (blando)	Andesita pórfito	
Pizarra		Gneis			
Argilita	Cuarcita	Esquisto		Caliza (blanda)	
Riolita	Grava conglomerada	Arena			
Riolita porfirila	Grava conglomerada				
Caliza (dura)	Grava conglomerada				

Los materiales base, de los cuales se derivan las principales clases de suelo en cada grupo también se enlistan en la Tabla 1, lo cual sirve como guía para la selección del grupo apropiado de suelo, que se usará posteriormente en la determinación del espaciamiento del drenaje transversal y de la anchura de las franjas protectoras.

Pendiente del camino

Dado que la erosión por arroyuelos no ocurre en caminos verdaderamente planos (nive-lados), estos caminos no requieren drenaje transversal. Pero a medida que la pendiente del camino es más inclinada, aumenta la erosión y se deben instalar drenajes transver-sales más juntos. El diseño de caminos con pendiente suave reduce el número de drenajes transversales necesarios.

Posición topográfica

Entre más cercano esté un camino a la cima de una colina, será menor la superficie que se desliza durante un deshielo o debido a una lluvia intensa. Pero si el camino está cercano a la base de la colina, los drenajes transversales tendrán que estar más cercanos.

Exposición topográfica

Los caminos expuestos hacia el Norte es probable que se erosionen menos que los expuestos hacia el Sur. Ellos generalmente requieren menos drenajes.

Inclinación de la ladera

Entre más escarpada sea la ladera a través de la cual se construye el camino, más espaciados pueden estar los drenajes transversales.

2.2. Siete factores que afectan el movimiento de sedimentos abajo del borde de caminos forestales

La distancia que se desplazan los sedimentos por la ladera inferior al camino, depende de diversos factores (Figura 4), entre los cuales sobresalen los siguientes:

Espaciamiento de los drenajes transversales

El sedimento de los drenajes transversales fluye mayor distancia a partir del borde extremo del camino cuando los drenajes transversales están más separados.

Espaciamiento de los obstáculos

El sedimento fluye más lejos sobre los terraplenes y laderas inferiores, cuando los obstáculos que tocan el suelo (trozas, rocas, maleza, etc.) están más espaciados. Entre más cercanas están las obstrucciones, más angostas pueden ser las franjas protectoras entre los caminos y las corrientes de agua.

Clase de obstáculos

Diversas clases de obstáculos en los terraplenes y pendientes inferiores a los terraplenes reducen el flujo de los sedimentos en diferentes medidas. Los obstáculos que retardan el flujo de los sedimentos, en orden decreciente de efectividad son:

- a. Depresiones hechas por árboles derribados por el viento u otras causas, o por una superficie ondulada.
- b. Trozas de más de 10 cm de diámetro.
- c. Rocas de más de 10 cm sobre la superficie del suelo.
- d. Árboles y tocones.
- e. Desperdicios de ramas y arbustos.
- f. Pasto, malezas y matorrales.

Esta lista comparativa es importante porque muestra que puede reducirse la anchura de las franjas protectoras en los caminos, instalando obstáculos tan efectivos como los troncos y rocas espaciándolos razonablemente cerca.

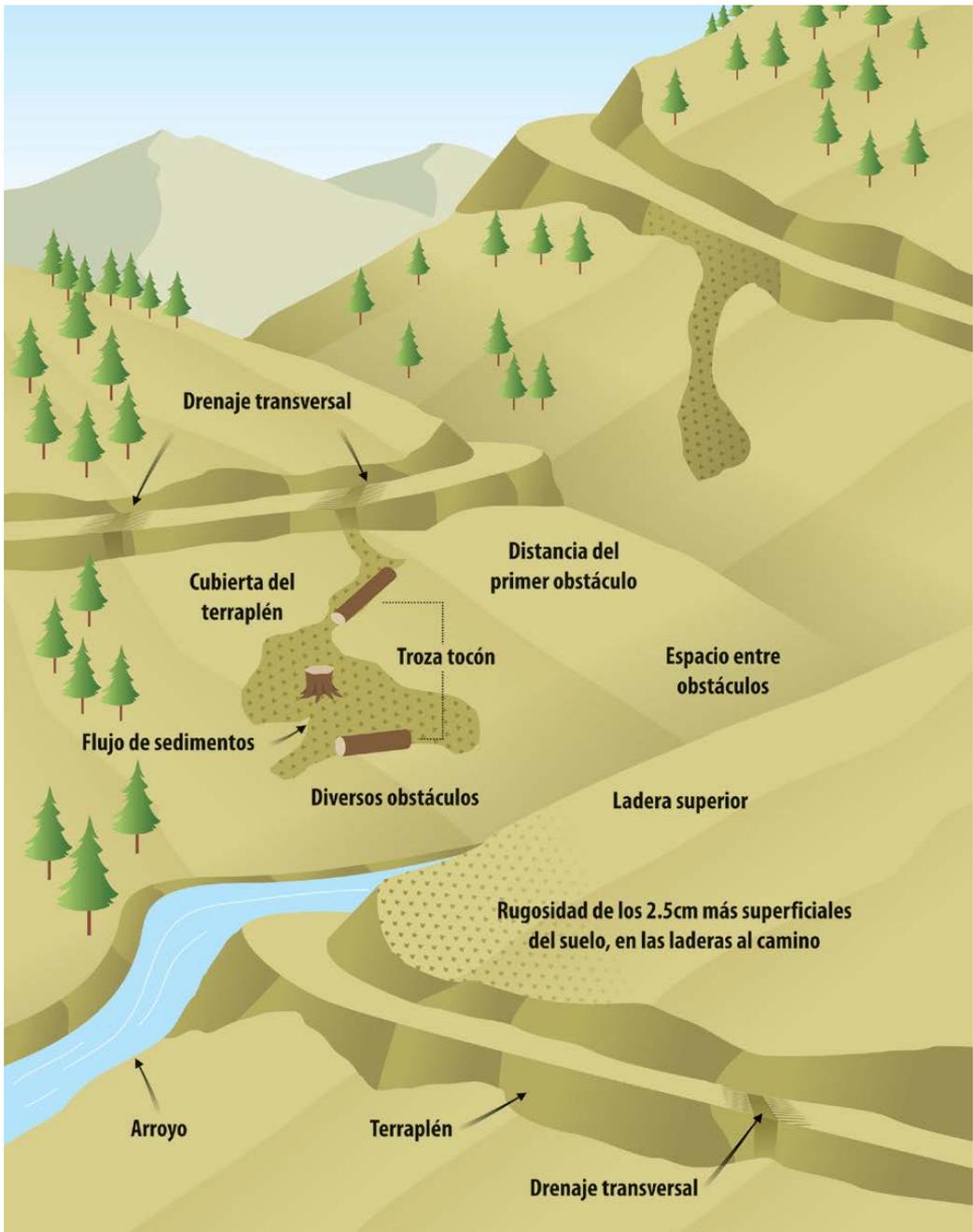


Figura 4. Factores que afectan la distancia que recorre el sedimento ladera abajo.

Distancia al primer obstáculo

Entre más cercano se instale un obstáculo con respecto al desagüe de un drenaje transversal, más corta será la distancia que fluya el sedimento. Si el primer obstáculo se instala en la salida de un drenaje transversal, la franja protectora puede ser comparativamente estrecha.

Densidad de la cubierta en la pendiente del terraplén

El sedimento es transportado más lejos pendiente abajo cuando la densidad de la cubierta disminuye. Por lo tanto, la cubierta protectora en el terraplén deberá establecerse tan pronto como sea posible.

Tamaño de las partículas del suelo

El tamaño del material que existe en los 2.5 cm superficiales del suelo mineral en las laderas adyacentes a los caminos forestales es importante. Entre más pequeñas sean las partículas más lejos se moverá el sedimento.

En los seis grupos (Tabla 1), la proporción de partículas de suelo ásperas y agregados mayores a 0.25 cm de diámetro en laderas naturales adyacentes a los caminos, es más pequeña que la proporción que se presenta en la superficie del camino. Eso se debe a que la escorrentía y el deshielo deslavan la mayoría de las partículas más finas. El orden de aspereza del suelo en esos grupos, cuando se encuentran en las laderas adyacentes a los caminos, es inversamente proporcional a la distancia que el sedimento fluye ladera abajo.

Grupos 2 y 5	Ásperos
Grupo 4	Moderadamente ásperos
Grupos 1 y 3	Moderadamente finos
Grupo 6	Finos.

La diferencia entre este orden de aspereza decreciente y el orden en que estos grupos de suelo aparecen en la superficie de los caminos, probablemente se debe a las características físicas de las partículas y agregados, tales como su forma y angularidad, las cuales afectan la facilidad de su movimiento en la superficie del camino.

Edad de los caminos

Según aumenta la edad de los caminos de 1 a 3 años, aumenta ligeramente la distancia que se mueve el sedimento pendiente abajo. Cuando la edad alcanza los 4 y 5 años, el sedimento se mueve mucho más lejos del camino. El aumento súbito en la distancia que se mueve el sedimento en el cuarto y quinto año, se debe a que se llena la capacidad de almacenamiento de los obstáculos (Figura 5).

Esta relación indica, que cuando la anchura de la franja protectora es crítica para evitar el daño por sedimentación de la corriente de agua, la franja puede ser más angosta si el agua de los drenajes transversales es desviada a otros obstáculos existentes o si se instalan obstáculos nuevos cuando la edad del camino es de 3 años.

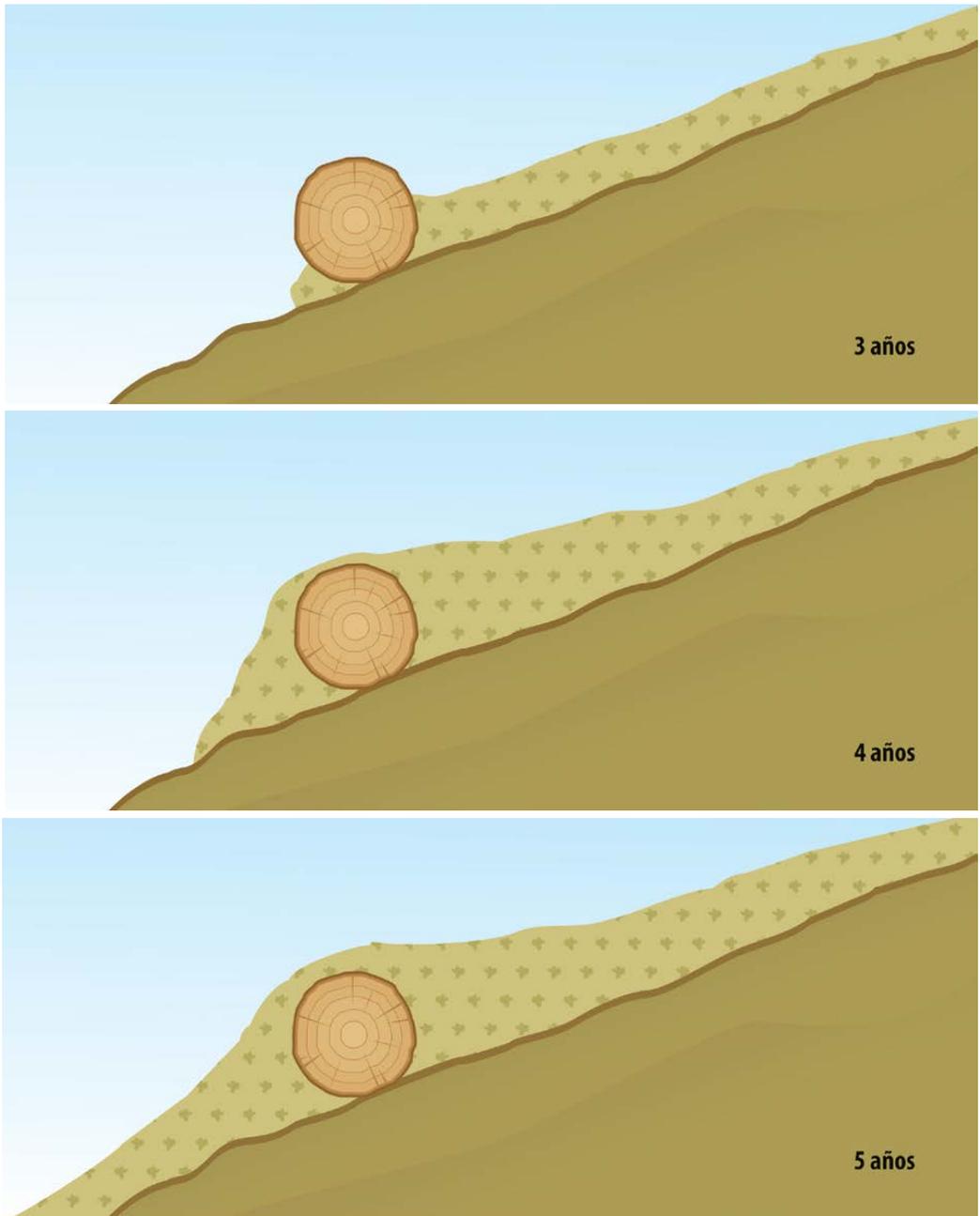


Figura 5. Influencia de la edad del camino en la efectividad de los obstáculos para atrapar sedimentos.

3. Guías para el espaciamiento del drenaje transversal y para determinar la anchura de franjas protectoras

Las dos Tablas siguientes pueden ayudar a determinar el espaciamiento del drenaje transversal y la anchura de las franjas protectoras necesarias para controlar el sedimento, asumiendo que se tiene algún conocimiento sobre los factores de la cuenca y las características del diseño del camino.

3.1. Guía para el espaciamiento de drenaje transversal

El espaciamiento necesario entre los drenajes transversales para evitar que el 83% de los arroyuelos que se forman en la superficie del camino alcancen una profundidad mayor a 2.5 cm, varía con el tipo de suelo y con la inclinación de la pendiente del camino (Tabla 2). Las instrucciones después de la Tabla 2 permiten hacer ajustes al espaciamiento del drenaje de acuerdo a las diferencias en exposición, posición topográfica e inclinación de la pendiente en la ladera superior al camino.

Si los caminos se han de construir en cuencas donde se debe garantizar una elevada calidad del agua, la seguridad de que los arroyuelos y cárcavas no profundicen más de 2.5 cm puede aumentarse del 83 a casi el 97%, reduciendo en 14.0 m el espaciamiento mostrado en la Tabla 2. Donde la combinación de tipo de suelo y las características topográficas requieren que el espaciamiento del drenaje sea inferior a unos 9.0 m, no se deben construir caminos para extracción de madera, a menos que se vayan a recubrir con grava o roca triturada.

Tabla 2. Espaciamiento del drenaje transversal requerido para evitar erosión de arroyuelos o cárcavas más profundos que 2.5 cm en caminos forestales secundarios.

Pendiente del camino %	Grupo de suelo en donde está el camino					
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
	Espaciamiento del drenaje transversal (m)					
2	51	47	42	41	32	29
4	46	42	37	36	27	24
6	44	40	35	34	25	22
8	42	38	33	32	23	20
10	39	35	30	29	20	17
12	36	32	27	26	17	15
14	33	29	24	23	14	11

1 La Tabla se basa en caminos ubicados en el tercio superior de una ladera con exposición norte, con una pendiente del 80 %.

Instrucciones:

Para determinar el espaciamiento entre drenajes transversales para otras ubicaciones, exposiciones y pendientes menores al 80%, aplique las instrucciones siguientes:

1. Si el camino está en el tercio medio de la ladera, reducir el espaciamiento en 5.5 m con respecto al de la Tabla 2; si está en el tercio inferior, reducirlo en 12.0 m.
2. Si la exposición del camino es al Este u Oeste, reducir el espaciamiento en 2.5 m; en exposición Sur, reducir en 5.0 m.
3. Por cada 10% de decremento en la pendiente lateral con respecto a la de 80% reducir el espaciamiento en 1.5 m con respecto al de la Tabla 2.

3.2. Guía para determinar la anchura de las franjas protectoras

Lo ideal es que un camino de extracción forestal se ubique suficientemente lejos de una corriente o de otro sitio que requiere protección, de tal forma que los sedimentos del camino no lo alcancen. Para lograr esa protección, los trazadores de caminos dejan una franja entre el borde del terraplén y el sitio a proteger.

Tabla 3. Anchura de franjas protectoras¹ requeridas desde el centro del camino, a fin de evitar que el sedimento llegue a los sitios que requieren protección.

Espaciamiento de obstáculos (m)	Obstrucción					
	Depresión	Troza	Rocas	Árboles y tocones	Matorral y desperd.	Vegetación herbácea
	Espaciamiento del drenaje transversal (m)					
0.31	16	17	17	18	18	19
0.60	17	18	19	20	20	21
0.91	17	19	20	21	23	24
1.20	18	20	21	23	25	27
1.50	18	20	23	25	27	29
1.80		21	23	26	29	32
2.10		21	24	28	31	34
2.40		22	25	29	33	36
2.70		22	26	30	34	38
3.00				31	36	41
3.30				32	37	42
3.60						44

¹ Las cifras en esta Tabla asumen suelos de los grupos 2 y 5, espaciamiento de 9 m entre drenajes, distancia cero del desagüe al primer obstáculo, densidad cero de la cubierta en el terraplén y ausencia de planes para reponer la capacidad captadora de sedimento en los obstáculos.

La anchura mínima necesaria para lograr dicha protección varía según las clases de obstrucciones presentes, espaciamiento entre obstrucciones, estabilidad relativa de los suelos, distancia entre drenajes transversales, distancia entre el desagüe del drenaje y la primera obstrucción, densidad de la cubierta en el terraplén y la renovación periódica de la capacidad de las obstrucciones para almacenar sedimentos (Tabla 3).

Instrucciones:

Para determinar el ancho de la franja protectora en suelos diferentes a los grupos 2 y 5, para espaciamientos mayores a 9.0 m, para distancias al primer obstáculo mayores a cero, y para densidad de la cubierta del terraplén mayor a cero, deben aplicarse las siguientes instrucciones:

1. Si el suelo se deriva del grupo 4, aumente la anchura de la franja protectora de la Tabla en 1.5 m. Si el suelo es de los grupos 1 ó 3, aumente 3.0 m. Si es del grupo 6, aumente 7.3 m.
2. Por cada 3.0 m de incremento en el espaciamiento de los drenajes transversales, después de los 9.0 m (ver la Tabla 2) aumente la anchura de la franja protectora en 30 cm.
3. Por cada 1.5 m de incremento en la distancia al primer obstáculo, aumente el ancho de la franja en 1.2 m.
4. Por cada 10% de incremento en la densidad de la cubierta del terraplén arriba de la densidad cero, disminuya la anchura de la franja protectora en 30 cm.

La anchura mínima para detener el 83% del flujo de sedimento, en sitios con suelos relativamente estables (derivados de los materiales básicos enlistados en los grupos 2 y 5 de la Tabla 1), se muestra en la Tabla 3. Esas anchuras indican el ancho total de la franja protectora hacia abajo de la línea central del camino.

Donde se proponga construir un camino forestal cercano a una corriente de agua, la seguridad de que el sedimento no llegará al canal se puede incrementar hasta un 97%, aumentando 9.0 m a la anchura de la franja protectora determinada con la Tabla 3.

Las instrucciones anexas a la Tabla 3, muestran las cantidades en las que deberán alterarse esas anchuras para considerar el tipo de suelo, espaciamiento del drenaje transversal, distancia al primer obstáculo y densidad de la cubierta en el terraplén.

3.3. Guías suplementarias para estimar los factores de la cuenca que no pueden medirse directamente

Algunos de los factores de la cuenca que afectan el lugar donde se vayan a ubicar los caminos forestales y la anchura requerida de las franjas protectoras cambiarán debido a la construcción subsecuente de caminos y/o a las operaciones de extracción de trocería. Los valores probables que esos factores obtendrán después de la construcción y/o extracción de madera tendrán que estimarse. Las siguientes guías se han diseñado como apoyo para esas estimaciones.

Densidades de cobertura en el terraplén

La cantidad de vegetación y basura que cubrirá el terraplén no se puede medir durante el trazo del camino. Por lo tanto debe estimarse la densidad de la cubierta que se espera después de que se construya el camino. La investigación ha mostrado que la cubierta en el terraplén permanece escasa durante varios años en la mayoría de los caminos forestales en la Región Norte, en Montana, E.U.A. Una estimación de densidad cero para cubierta de terraplén parece segura porque de ese modo se prescribirán anchuras adecuadas de las franjas protectoras. Si el terraplén se siembra y acolcha el mismo año que se construye el camino, se puede justificar usar cubiertas mayores a cero en la instrucción 4 de la Tabla 3.

Distancia a los primeros obstáculos

Normalmente existen pocos obstáculos al flujo de sedimento en el terraplén. Donde ese terraplén es básicamente tierra suelta, la distancia al obstáculo más cercano depende de la inclinación de la pendiente hacia arriba y abajo del camino y de la anchura del mismo. Las mayores distancias al primer obstáculo que se pueden esperar en el 97% de los casos, son las que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Distancias mayores¹ desde el borde exterior del camino hasta el primer obstáculo, para caminos de 3.5, 4.0 y 5.0 m de ancho según la pendiente en las laderas superior e inferior.

Pendiente en ladera inferior %	Pendiente en ladera superior (%)											
	Ancho del camino (m)											
	1-20			21-40			41-60			61-80		
(%)	3.5	4.0	5.0	3.5	4.0	5.0	3.5	4.0	5.0	3.5	4.0	5.0
10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
20	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	6	6
30	5	5	5	5	6	6	6	6	7	6	6	7
40	5	5	6	5	6	7	6	7	8	7	7	8
50	5	6	7	6	7	8	7	8	9	7	8	9
60	5	6	7	6	7	8	7	8	9	8	9	10
70	5	6	8	7	8	9	8	9	10	9	10	11
80	5	7	8	7	9	10	9	10	11	9	11	12

¹ Que se puede esperar en el 97% de los casos.

Espacio entre obstáculos

Los diversos tratamientos que pueden hacerse en las laderas inferiores al camino después de su trazo, pueden alterar mucho el espacio entre obstrucciones. Si estas laderas se someterán a extracción de madera, el espacio esperado entre obstáculos no puede medirse antes del arrime. Los desechos de la extracción pueden dejarse intactos o bien controlarse por diversos métodos, incluyendo apile y quema. El grado de apile y quema suele variar entre empresas, condiciones climáticas y otros factores. Consecuentemente, los mayores espaciamentos promedio encontrados en 97% de los casos para los seis tipos de obstáculos más frecuentes en los sitios de estudio se seleccionaron como espaciamentos seguros, dado que rara vez se ven excedidos. Estos espaciamentos son:

Obstáculos:	Espaciamiento (m)
Depresiones y montículos	1.5
Trozas	2.7
Rocas	2.7
Árboles y tocones	3.3
Basura y matorrales	3.3
Vegetación herbácea	3.6

Clases de obstáculos.

Las clases de obstáculos que existen en las laderas abajo de los caminos dependen de las características del relieve, condición inicial de la cubierta y clases de tratamientos de limpieza aplicados durante y después de la extracción. Las pendientes suaves (hasta más o menos el 25%), por ejemplo, se caracterizan generalmente por topografías ondulantes con depresiones que atrapan mucho sedimento. Pendientes más inclinadas tienen menos ondulaciones y las depresiones en este caso tienen una capacidad mucho menor para detener y almacenar sedimento.

En laderas arboladas, los árboles son obstáculos fuertes para el movimiento del sedimento. Al aprovechar esos árboles, los principales obstáculos son las trozas que se quedan, los tocones y las ramas: La quema extensiva de los desperdicios del aprovechamiento elimina la mayoría de las ramas y hojas dejando solo trozas y tocones. El chaponeo, apile y quema elimina la mayoría de las ramas y trozas y deja solamente tocones como obstrucciones mayores al flujo de sedimento.

La Tabla 5 describe los tipos de obstáculos que se suelen presentar en las pendientes inferiores que se sujetan a diversos tratamientos durante y después de la extracción de trocería.

Tabla 5. Obstáculos usualmente encontrados en laderas inferiores a caminos forestales, por tipo de cubierta, pendiente, tratamiento de corta y método de limpia postcosecha.

Cubierta de la pendiente inferior	% pend. ladera inferior	Tratamiento	Limpia Post-cosecha	Obstáculos ¹ en la ladera inferior ²
Arbolada arbustiva	<25	ninguno	ninguno	D-T-B
	<25	cosechado	ninguno	D-L-S-SL-B
	<25	cosechado	quema dispersa	D-L-S-H
	<25	cosechado	chaponéo, apile y quema	D-S-B-H
Arbolada arbustiva	>25	ninguno	ninguno	T-B
	>25	cosechado	ninguno	L-S-SL-B
	>25	cosechado	quema dispersa	L-S-H
	>25	cosechado	chaponéo, apile y quema	S-B-H
Arbolada arbustiva	<25	ninguno	ninguno	D-R-T
	<25	cosechado	ninguno	D-L-R-S-SL
	<25	cosechado	quema dispersa	D-L-R-S-H
	<25	cosechado	chaponéo, apile y quema	D-R-S-H
Arbolada rocosa	>25	ninguno	ninguno	R-T
	>25	cosechado	ninguno	L-R-S-SL
	>25	cosechado	quema dispersa	L-R-S
	>25	cosechado	chaponéo, apile y quema	R-S-H
Arbolada sin rocas ni arbustos	<25	ninguno	ninguno	D-T
	<25	cosechado	ninguno	D-L-S-SL
	<25	cosechado	quema dispersa	D-L-S-H
	<25	cosechado	chaponéo, apile y quema	D-S-I-I

Tabla 5. Continuación...

Cubierta de la pendiente inferior	% pend. ladera inferior	Tratamiento	Limpia Post-cosecha	Obstáculos¹ en la ladera inferior²
Arbolada sin rocas ni arbustos	>25	ninguno	ninguno	T
	>25	cosechado	ninguno	L-S-SL
	> 25	cosechado	quema dispersa L-S-H	D-L-S-H
	>25	cosechado	chaponéo, apile y quema	S-H
No arbolada arbustiva	<25	ninguno	ninguno	D-B-H
	>25	ninguno	ninguno	B-H
No arbolada rocosa	<25	ninguno	ninguno	D-R-H
	>25	ninguno	ninguno	R-H
No arbolada herbácea	<25	ninguno	ninguno	D-H
	>25	ninguno	ninguno	H

¹D=depresión; L=troza; T=árbol; S=tocón; R=roca; SL=ramas;

B=matorral; H=vegetación herbácea.

²En orden decreciente de efectividad para frenar los sedimentos.

4. Cómo aplicar estas guías para controlar la erosión y la sedimentación

Las guías establecidas en la sección anterior no pueden sustituir el buen juicio y la experiencia en el diseño y trazo de caminos de extracción. Las guías son solamente herramientas de trabajo para ayudar a tomar las decisiones necesarias. Se asume que cualquiera que utilice estas guías, está de antemano familiarizado con las múltiples circunstancias relativas a la construcción de caminos que pueden causar problemas serios de erosión; por lo tanto, estará alerta para evitar la mayoría de esos problemas ejerciendo el buen juicio. Estas guías pueden ser útiles para localizar caminos, fortalecer las medidas de control de sedimento en caminos nuevos y controlar el flujo de sedimento en caminos existentes.

4.1. Localización de caminos de extracción

Cuando se usan estas guías para el trazo de rutas, proveen una referencia para determinar si alguna parte del camino que se encuentra demasiado próxima a alguna depresión requiere protección contra el sedimento. El ejemplo siguiente ilustra cómo estas guías pueden aplicarse a un conjunto determinado de condiciones. También ilustra la flexibilidad posible de su aplicación.

Determinación del espaciamiento entre drenajes transversales

Asuma que se propone construir un camino con 4% de pendiente localizado entre dos puntos en una ladera con exposición sur caracterizada por tener suelos derivados de esquisto duro. Asuma también que dicha ubicación atraviesa el tercio inferior de la ladera y que tiene una pendiente del 40% en el lado superior al camino. Los suelos que se derivan de esquisto duro se clasifican en el grupo 1 (Tabla 1). En el 83% de los casos, en este grupo de suelos se requiere un espaciamiento del drenaje transversal de 24.0 m, para evitar la erosión de arroyuelos con profundidad mayor a 2.5 cm sobre la superficie del camino (Tabla 2).

Esto no significa que deben instalarse los drenajes cada 24.0 m sin tomar en cuenta otras condiciones. Obviamente, si el camino expone un manantial perenne, si un carril de arrime desemboca en ese lugar, o si el drenaje transversal cae en una sección con terraplén muy alto, el buen juicio dictará que hay que alterar el espaciamiento.

Determinación de la anchura de las franjas protectoras

Además de los supuestos anteriores, asuma también que el camino va a tener 4.2 m de ancho, en una pendiente de 30% hacia abajo de la línea central, y que se extiende a través de un rodal de arbolado marcado para cortar a mataraza seguida de una quema extensiva del ramaje residual. La determinación de la anchura de las franjas protectoras requiere varios pasos preliminares, como sigue:

Paso 1. Lo primero es definir qué clase de obstáculos al flujo de sedimentos se pueden esperar en ese sitio. La Tabla 5 muestra que las trozas son el tipo dominante de obstáculos en esas condiciones.

Paso 2. El mayor espaciamiento promedio que puede esperarse entre estas trozas es de 2.7 m (ver la lista de obstáculos y espaciamentos).

Paso 3. Bajo estas condiciones, la franja protectora debería ser de 22 m de ancho (Tabla 3).

Paso 4. Sin embargo, debe ajustarse por el tipo de suelo en esa localidad, que es del grupo 1. La instrucción 1 de la Tabla 3 muestra que deben agregarse 3.0 m a la anchura que muestra la Tabla; esto aumenta la franja a 25.0 m.

Paso 5. Debe hacerse un ajuste adicional debido al espaciamiento de 24.0 m entre drenajes transversales. La instrucción 2 de la Tabla 3 indica que se agregan 1.5 m más para una nueva anchura de 26.5 m.

Paso 6. La mayor distancia del borde exterior del camino al primer obstáculo, en un camino de 4.0 m de ancho que tiene 40% de pendiente en la ladera superior y 30% en la ladera inferior, es de 6.0 m (Tabla 4); esto requiere añadir 5.0 m a la anchura de la franja protectora (instrucción 3, de la Tabla 3), lo que aumenta la anchura total a 31.0 m. Esta anchura de la franja protectora a partir del centro del camino deberá contener el movimiento de sedimentos pendiente abajo, a partir de los desagües del drenaje transversal en esta sección del camino.

5. Medidas para fortalecer el control de sedimentos

Frecuentemente deben trazarse caminos junto a las corrientes. Suele suceder que ciertos tramos del camino, cuando se completan, están más cercanos a la corriente que la anchura requerida en la franja protectora para detener el movimiento del sedimento. Bajo estas circunstancias, puede recomendarse el uso de cualquiera o de varias medidas intensivas para detener el sedimento asegurando que se quede dentro de las franjas protectoras más angostas.

Continuando con el ejemplo anterior de ubicación de un camino, en el cual la anchura requerida estimada de la franja protectora abajo de la línea central del camino es de 31.0 m, asuma que la distancia del centro del camino al arroyo es de sólo 15.0 m. El movimiento predecible del sedimento puede controlarse dentro de esa franja protectora de 15.0 m usando las siguientes medidas intensivas de control:

Paso 1. Puede reducirse la distancia al primer obstáculo de 6.0 m a cero, cavando depresiones o instalando trozas a la salida del drenaje, para hacer más lento el movimiento de todo el sedimento y atrapar una parte del mismo. Esto reducirá en 5.0 m la anchura requerida en la franja protectora, hasta una anchura de 27.0 m con respecto al centro del camino (Tabla 3, instrucción 3).

Paso 2. Recuerde que la anchura de las franjas (Tabla 3), es para caminos en los que no se planea darle mantenimiento a la capacidad de almacenamiento de los obstáculos al menos cada 3 años. Por lo tanto, la anchura de la franja protectora en este ejemplo puede disminuir otros 7.0 m es decir hasta 19.0 m instalando nuevos obstáculos o renovando la capacidad de almacenamiento de los obstáculos existentes, cuando el camino tenga 3 años o menos.

Paso 3. El espaciamiento entre obstáculos puede reducirse instalando trozas adicionales entre aquellas ya existentes en el terreno. La reducción del espacio entre obstrucciones de 3.0 a 0.6 m, reducirá en 4 m más la anchura requerida en la franja protectora (Tabla 3); es decir, hasta 15 m del centro del camino.

Se puede calcular el número de obstáculos requeridos para un espaciamiento promedio conocido, utilizando la siguiente fórmula:

$$N = 1 + \frac{(P - R/2) - I}{OS}$$

Donde:

N = número de obstáculos requeridos,

P = ancho de la franja protectora hasta el centro del camino,

R = anchura del camino.

I = distancia del hombro del camino al primer obstáculo,

OS = espaciamiento promedio entre obstrucciones.

El número total de trozas (N) requerido para un efecto de espaciamiento de 60 cm en este ejemplo, después de que la distancia al obstáculo inicial se redujo a cero, es:

$$= 1 + ((15 - 4.2/2) - 0.0) / 0.6 = 22.5 \text{ trozas}$$

El número exacto de trozas adicionales necesarias puede determinarse después de que se construye el camino y cuando se ubican los drenajes transversales; luego, se puede contar el número de trozas en el suelo. Bajo estas condiciones, la localización de la línea central del camino propuesto tan cerca como a 15.0 m de la corriente será segura si se aplican todas las medidas de control prescritas.

Si es necesario, la anchura de la franja protectora abajo de la línea central en este ejemplo puede reducirse más aplicando estas medidas adicionales para el control de sedimentos.

Paso 4. Reducir el espaciamiento de los drenajes transversales de 24.0 a 9.0 m. Esto disminuirá la anchura de la franja en otros 1.5 m, es decir, hasta 13.4 m (Tabla 3, instrucción 2).

Paso 5. Distribuir la hojarasca y establecer una cubierta de plantas en el terraplén tan pronto como sea posible. Una densidad de cubierta de 70%, por ejemplo, reducirá la anchura requerida de la franja en otros 2.1 m, es decir, a 11.3 m (Tabla 3, instrucción 4).

Paso 6. Reduzca la anchura del camino de 4.2 a 3.6 m. esto reduce la anchura requerida de la franja en otros 30 cm a 11.0 m.

Si el centro del camino está a menos de 11.0 m del arroyo, poco puede hacerse para evitar que el sedimento llegue a la corriente. La solución más deseable en estas circunstancias sería reubicar el centro del camino a una distancia mayor de 11.0 m con respecto a la corriente.

Si esto no es posible, entonces use las medidas descritas para disminuir la anchura de la franja protectora requerida de 31.0 a 11.0 m; por lo menos esto reducirá en mucho la cantidad de sedimentos que llegue a la corriente de agua.

6. Control de sedimentos en caminos existentes

Donde ya se trazaron y construyeron caminos de extracción de trocería sin el beneficio de guías para localización y construcción, las guías desarrolladas en este estudio pueden aplicarse para determinar si el sedimento de los drenajes transversales puede ser controlado adecuadamente por las franjas de protección que existan abajo del camino. Se puede determinar esto calculando la anchura de la franja requerida bajo las condiciones que presentan la cuenca y el camino y luego compararla con la anchura de la franja actual. El ejemplo siguiente ilustra la aplicación de estos principios.

Suponga que se ha construido un camino forestal de 5.0 m de ancho y con un 2% de pendiente en suelo limoso, atravesando una pendiente con exposición norte, 30.0 m arriba de una pequeña corriente de agua. Suponga además que los gradientes de la pendiente lateral superior e inferior al camino son del 60 y 50% respectivamente, y que la pendiente inferior última está cubierta por un rodal de arbolado denso, no programado para corta.

Paso 1. Observe que el limo está en el grupo de suelos 6 (Tabla 1).

Paso 2. Encuentre en la Tabla 2 para un 2% de pendiente del camino, el grupo 6 de suelos, exposición norte, tercio inferior de la falda, y 60% de pendiente en la ladera superior. Para esta combinación, se requiere un espaciamiento del drenaje transversal no superior a 15.0 m.

Paso 3. Señale con estacas la ubicación propuesta de los drenajes transversales, usando el buen juicio para asegurar, lo más posible, que los drenajes desagüen en secciones estables del terraplén, en las cuales o más abajo de las cuales existan árboles en pie como obstáculos. Considere y establezca la posición de cada drenaje transversal en forma individual.

Paso 4. Determine la distancia al primer obstáculo en una de dos maneras. Una es estimar esta distancia (a partir de la Tabla 4), la cual es de 9.0 m para las condiciones del camino y pendiente supuestas en este ejemplo. La otra manera es medir o estimar la distancia a lo largo de un transecto de 60 cm de ancho, orientado directamente pendiente abajo a partir del señalamiento del desagüe de drenaje, hasta el primer obstáculo importante. Suponga, para este ejemplo, que la distancia medida al primer obstáculo es de 4.0 m.

Paso 5. Determine el espaciamiento entre obstáculos en cualquiera de dos maneras. Una es seleccionar el espaciamiento máximo aproximado (de la tabulación presentada antes); en este ejemplo serían 3.3 m, dado que se trata de árboles. La otra es extender el transecto de 60 cm de ancho a través de la franja protectora existente hasta el borde de la corriente, registrando el número de árboles que se encuentren a lo largo del transecto. Luego se calcula el espaciamiento promedio entre árboles, usando la ecuación:

$$OS = (T-I) / (N-1)$$

Donde:

OS = Espaciamiento entre obstáculos.

T = Longitud total del transecto del hombro del camino hacia abajo.

I = Distancia del hombro del camino al primer obstáculo.

N = Número de obstáculos en el transecto.

Suponiendo que se escogió la segunda alternativa y que se contaron 12 árboles en todo el transecto, el espaciamiento promedio (OS) se calcula que es:

$$(30 - 4) / (12 - 1) = 2.4$$

Paso 6. Donde el tipo de obstáculo dominante son árboles espaciados 2.4 m en promedio, la franja protectora deberá ser de 29.0 m de ancho (Tabla 3).

Paso 7. A esto agréguele 7.0 m porque el suelo está en el grupo 6 (Tabla 3, instrucción 1).

Paso 8. El espaciamiento de 15.0 m entre drenajes transversales (paso 2) requiere agregar 60 cm a la anchura de la franja protectora en la Tabla 3 (instrucción 2).

Paso 9. Si la distancia al primer obstáculo es de 4.0 m (paso 4), se deben agregar 3.0 m a la anchura de la Tabla 3 (instrucción 3).

Paso 10. Ahora estime la densidad de la cubierta en el terraplén en dirección a la ubicación señalada para el desagüe de los drenajes. Suponga que para un desagüe en particular esa densidad de cubierta es de 50%. Esta cantidad de cubierta permite reducir en 1.5 m la distancia estándar de la Tabla 3 (instrucción 4).

Paso 11. Hay que notar que las adiciones señaladas en los pasos anteriores del 6 al 10, dan como resultado una franja de 38.0 m de ancho desde el centro del camino en ese desagüe en particular.

Dado que la anchura de la franja real es 8.0 m más estrecha que la anchura requerida, probablemente no evitará que el sedimento llegue a la corriente. Por lo tanto, en esa localidad se requieren medidas intensivas de control similares a las descritas antes para reducir la distancia del movimiento probable de los sedimentos hasta menos de los 30.0 m que tiene la franja actual.

7. Estructuras para controlar la erosión y el flujo de sedimentos

Para reducir la erosión en la superficie y terraplenes de caminos forestales se necesitan medidas mecánicas o procedimientos de construcción. Algunas de esas medidas evitan que se acumulen grandes cantidades de agua en la superficie del camino desviándola a intervalos específicos. Otras evitan la erosión de los terraplenes y de pendientes naturales inestables abajo de los caminos evitando que el agua llegue a esas pendientes o desviándola hacia terreno estable o hacia canales. Las especificaciones generales para instalar dichas medidas son las siguientes:

7.1. Medidas para desviar el agua de la superficie del camino

Ondulación de la pendiente del camino

El método preferido para instalar el drenaje en la superficie del camino es construir depresiones suaves en la cama del camino al tiempo de construirlo (Figura 6A). Esto se llama “ondular la pendiente”. Al construir la pendiente ondulada es esencial que las depresiones verdaderamente lo sean y tengan una pendiente adversa en el lado hacia donde desciende el camino. Las bases de drenaje de las depresiones deberán inclinarse ligeramente hacia abajo desde el pie del corte del camino hacia el hombro del terraplén.

Drenajes transversales

Otro método efectivo para desviar el agua de la superficie del camino es construir drenajes transversales en la cama del camino inmediatamente después de la extracción y antes de las primeras lluvias, o antes del invierno. En los caminos abiertos al tráfico de pasajeros en automóvil, los drenajes deberán diseñarse de modo que permitan el paso de autos modernos a velocidades de unos 15 a 20 km por hora. Este requerimiento se llena con drenajes transversales que tengan las especificaciones siguientes (Figura 6B):

A) Ondulación de pendiente



B) Drenaje transversal construido

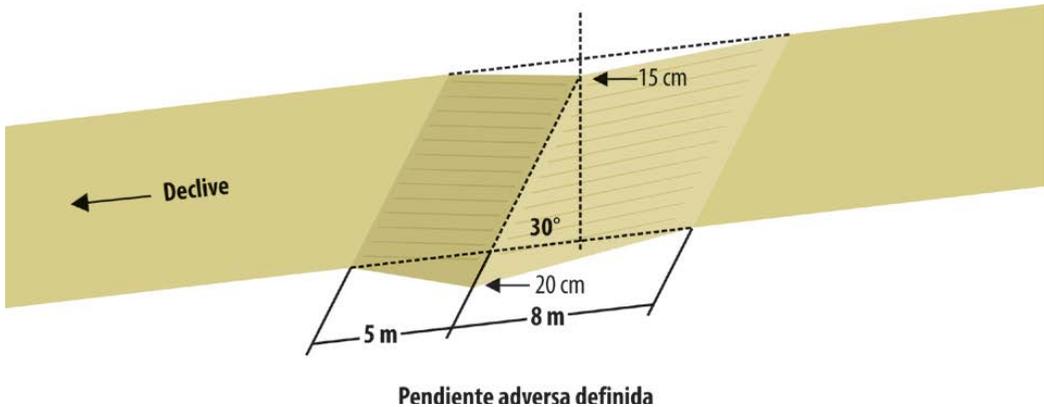


Figura 6. Desviaciones de agua: A) ondulación de pendiente y B) drenaje transversal construido.

1. Excavados en la cama del camino a una profundidad mínima de 15 cm junto al corte y 20 cm junto al hombro, con una pendiente adversa definida en el lado descendente del drenaje transversal.
2. El material excavado se dispersa en la cama del camino abajo del drenaje, con una profundidad de no más de 8 cm.
3. Atravesar todo lo ancho el camino de modo que el agua drene desde el pie del corte hasta el hombro del camino.

4. Estar conectado al banco del corte del camino en el extremo superior del drenaje.
5. El eje del drenaje debe formar un ángulo de no menos de 30° con respecto a una línea perpendicular a la del centro del camino.

Alcantarillas de cielo abierto

Una alcantarilla de cielo abierto es esencialmente un drenaje transversal construido de madera o de lámina metálica (Figura 7). Debe instalarse de acuerdo con las mismas especificaciones generales usadas para los drenajes transversales normales. Las alcantarillas de cielo abierto son apropiadas para uso en caminos administrativo secundarios pero no para caminos donde se transporta trocería.

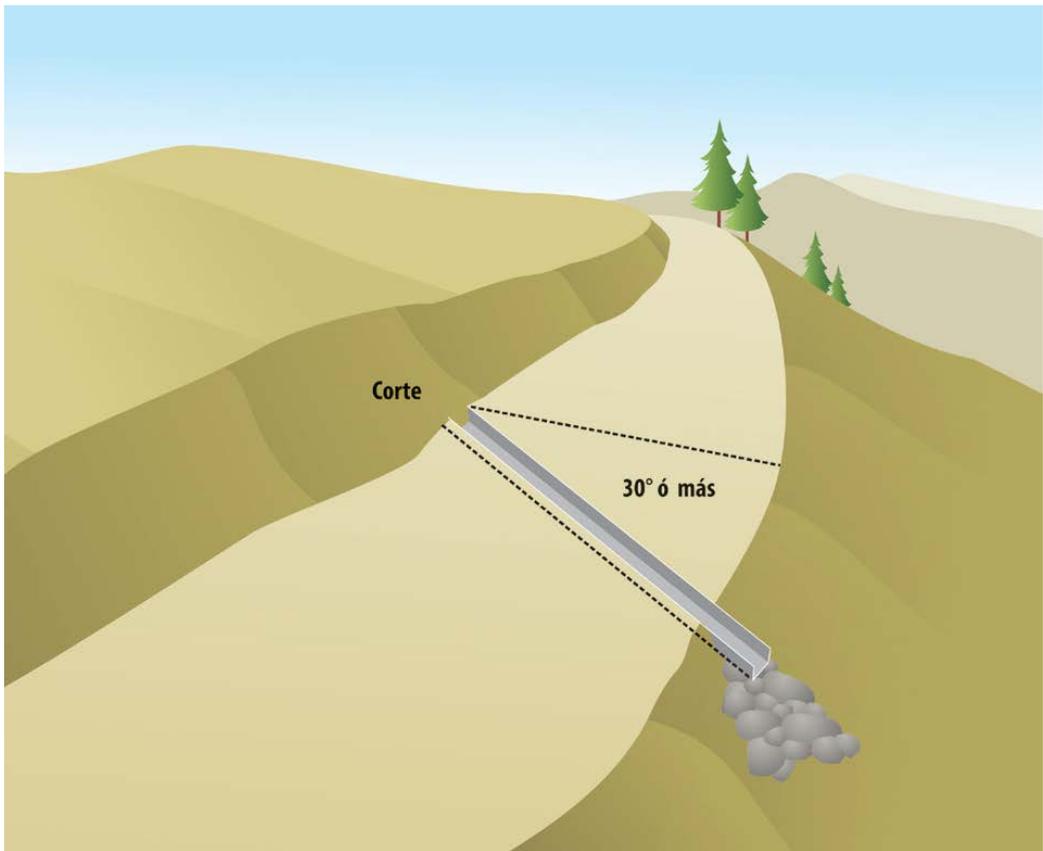


Figura 7. Instalación de una alcantarilla de cielo abierto.

Bombeo saliente

El bombeo saliente es simplemente dar a la superficie del camino una pendiente lateral uniformemente descendente del corte hasta el hombro (Figura 8). Todos los caminos con bombeo saliente deben tener desviaciones en las secciones bajas, para evitar la acumulación de agua durante el tiempo de lluvias. El bombeo saliente sólo se recomienda en caminos sin terraplén.

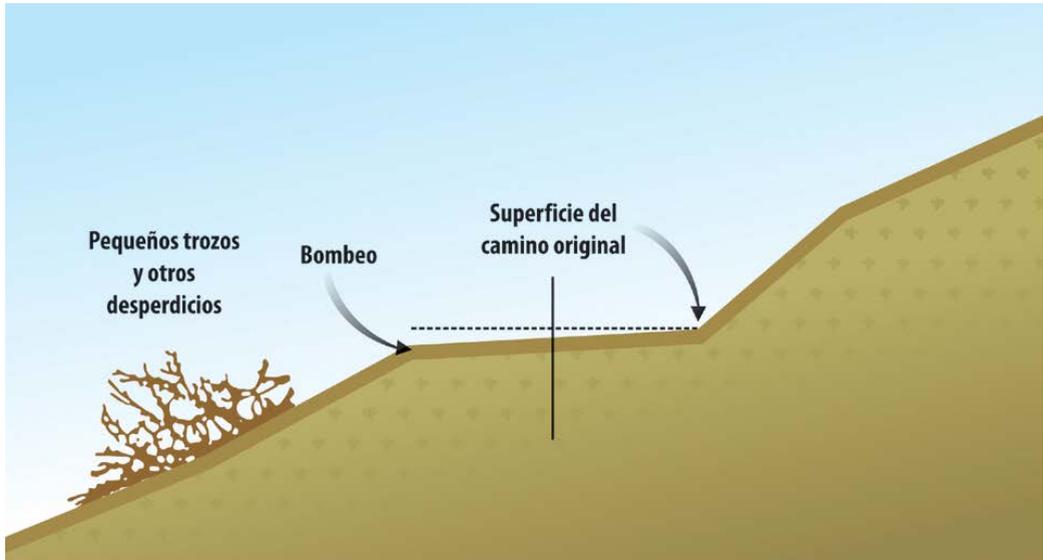


Figura 8. Bombeo saliente en caminos sin terraplén.

7.2. Protección de terraplenes y pendientes naturales inestables

Bordos

Los bordos son diques de tierra o cemento construidos a lo largo del borde del camino para evitar que el agua de la superficie drene sobre terraplenes o pendientes naturales inestables. No deben quitarse o dañarse durante las labores de mantenimiento del camino o cuando se limpian de nieve. Los bordos deben tener al menos 75 cm de ancho en la base, 20 cm de alto y 15 cm de ancho en la cúspide (Figura 9).

Caños descendentes

Los caños descendentes son conductos, abiertos o cerrados, que llevan el agua de la salida de una estructura de drenaje de la superficie del camino hacia abajo a través del terraplén u otras superficies inestables hasta un canal (Figura 10). Su propósito es evitar que el agua que escurre de la superficie erosione laderas inestables abajo de los caminos. Se pueden construir con lámina acanalada, roca, ladrillo, cemento o madera tratada. Es importante instalar un delantal de concreto o de roca en el extremo inferior de un caño, para disminuir la velocidad del agua y evitar la excavación del canal de desagüe.

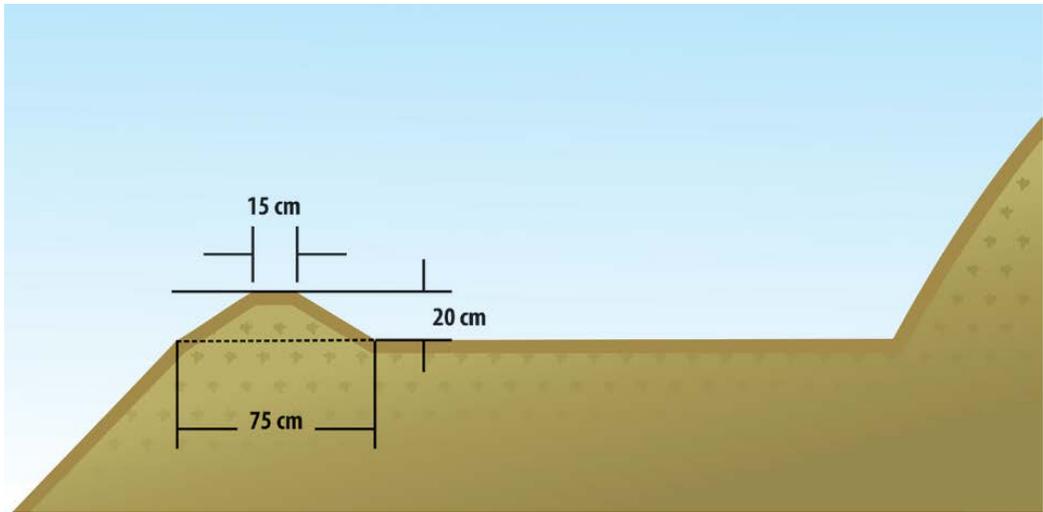


Figura 9. Especificaciones de bordos.

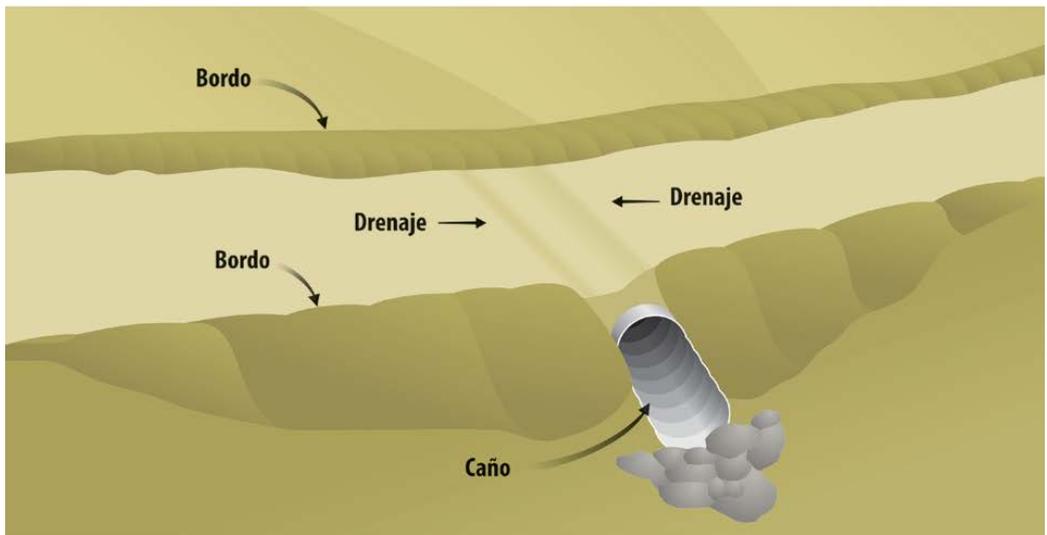
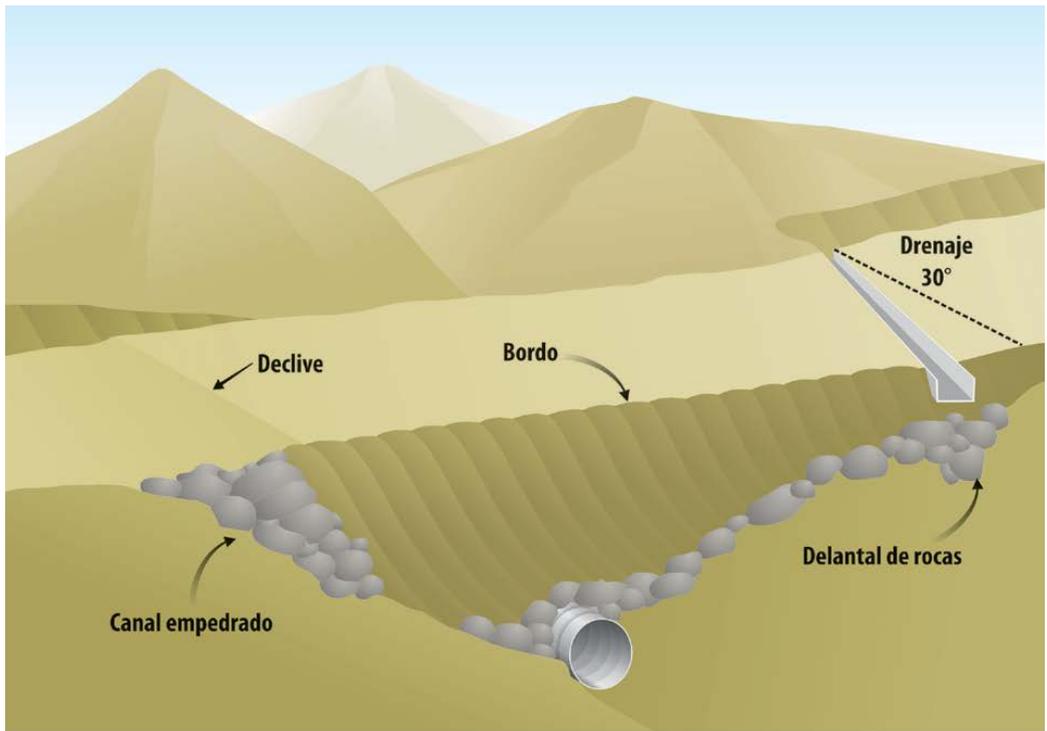


Figura 10. Bordos y caños para proteger terraplenes.

8. Quince reglas clave para reducir la erosión en caminos forestales

8.1. Localización y diseño

1. Siendo constantes los otros factores, los caminos ubicados en laderas con exposición Sur y Oeste, requieren medidas más intensivas para evitar la erosión, que los caminos ubicados en laderas con exposición Norte y Este.
2. Mantenga los caminos lejos de las corrientes de agua.
3. Sujétese a caminos con pendientes suaves.
4. Construya el camino más angosto, suficiente para realizar el trabajo sin sacrificar seguridad.
5. Construya estructuras de drenaje como parte de la construcción del camino.

8.2. Construcción y mantenimiento

1. Termine de dar la pendiente y drenaje adecuados a todas las secciones del camino recién construido, antes de que empiecen las lluvias.
2. Recubra todos los caminos construidos en suelos muy erodables.
3. Evite que los puntos bajos donde cambia la pendiente ocurran en terraplenes profundos.
4. Deje bordos en todos los terraplenes profundos.
5. Construya bordos en caminos ascendentes, excepto en las salidas del drenaje.
6. Construya caños descendentes en terraplenes inestables y en pendientes naturales inestables.
7. Durante el mantenimiento de caminos, deje intactos la base del corte y los bordos.
8. Donde sea necesario, altere el espaciamiento de las estructuras de drenaje superficial lo suficiente para verter el agua en áreas estables.
9. Instale estructuras para encauzar el agua en caminos con bombeo saliente.
10. Distribuya las trozas no comerciales y las ramas que se desperdicien por la apertura del camino, a lo largo de la base de los terraplenes.

Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera,
de la Universidad Juárez del Estado de Durango
Blvd. Guadiana No. 501, Fracc. Ciudad Universitaria
Durango, Dgo., México.

Teléfonos y Fax: (618) 825-1886, 828-0378

www.ued.mx

E-mail: jciroh@ujed.mx

Proyecto

"Transformar el manejo de bosques de producción comunitarios ricos en biodiversidad mediante la creación de capacidades nacionales para el uso de instrumentos basados en el mercado"