

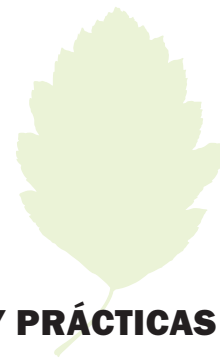
Protección, restauración y conservación de suelos forestales



MANUAL DE OBRAS Y PRÁCTICAS



Protección, restauración y conservación de suelos forestales



MANUAL DE OBRAS Y PRÁCTICAS



Autores (en orden alfabético)

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

Agradecimientos

Al Dr. Carlos Ortiz Solorio y a la Dra. Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena, edafólogos del Instituto de Recursos Naturales el Colegio de Postgraduados, Montecillos, México, por la revisión técnica del manual original. A la Lic. Dalia de la Peña Wing y a la L.D.G. Edith Rosario Morales Reyna, por su trabajo en la corrección y revisión editorial de la versión original.

Fotografía: Gerencia de Suelos Forestales

2a edición: 2006

3a edición: 2007. segunda reimpresión

D.R. © 2007. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)

Periférico Pte. No. 5360, Col. San Juan de Ocotán

C.P. 45019, Zapopan, Jalisco, México.

Tel. 01 (33) 3777-7000 www.conafor.gob.mx

ISBN 968-6021-19-1

Impreso y hecho en México

Printed and made in Mexico



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

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

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

Plan Estratégico Forestal para México 2025





Índice

Presentación	9
Introducción	11
Capítulo 1. Cuencas	15
Definición	17
Tipos de cuencas	18
Importancia de las cuencas	18
Características de las cuencas	20
Elementos de una cuenca que intervienen en los escurrimientos	22
Procedimiento para la delimitación de cuencas	25
Elementos para la medición de una cuenca	27
Capítulo 2. Instrumentos y procedimientos topográficos	29
Instrumentos topográficos	31
Caballete tipo triangular o aparato "A"	31
Nivel de manguera	36
Nivel de mano Abney o clisímetro	37
Niveles digitales	38
Procedimientos topográficos	41
Determinación de la pendiente de un terreno	42
Trazo de curvas a nivel	48
Capítulo 3. Estimación de escurrimientos superficiales	53
Probabilidad y periodo de retorno de la lluvia	56
Cálculo de la probabilidad de lluvia	57
Cálculo del periodo de retorno	58
Cálculo del escurrimiento superficial	61
Cálculo del escurrimiento máximo instantáneo	68



Capítulo 4. Obras y prácticas	71
<i>Obras para el control de erosión en cárcavas</i>	<i>73</i>
Presas	75
Presa de malla de alambre electrosoldada o ciclónica	75
Presa de morillos	83
Presa de ramas	91
Presa de piedra acomodada	99
Presa de geocostales	109
Presa de llantas.....	117
Presa de mampostería	125
Presa de gaviones.....	137
Obras en taludes.....	153
Cabeceo de cárcavas	153
Estabilización de taludes	159
Protección y conservación de caminos	165
<i>Obras para el control de erosión laminar.....</i>	<i>173</i>
Terrazas	175
Terrazas de muro vivo	175
Terrazas de formación sucesiva	185
Terrazas individuales	193
Barreras de piedra en curvas a nivel	199
Zanjas	205
Zanjas trincheras (tinas ciegas)	205
Sistema de zanja bordo	215
Zanjas derivadoras de escorrentía	221
Bordos en curvas a nivel.....	229
Roturación.....	237
Prácticas vegetativas	243
Cortinas rompevientos	243
Enriquecimiento de acahuales	253
Sistemas agroforestales.....	267
Acomodo de material vegetal muerto	283
Glosario	289
Bibliografía	295
Acerca de los autores	297

Presentación

Al igual que en el resto del mundo, en México los recursos naturales enfrentan una situación difícil, en particular el recurso suelo. En muchas partes presenta procesos de degradación que inician con la pérdida de cubierta vegetal ocasionada por muy diversos factores económicos y sociales, y que continúa con su erosión, la pérdida de fertilidad, la compactación, lo que afecta de manera importante la disponibilidad y calidad del agua y en ocasiones la seguridad humana debido a derrumbes, inundaciones y otros fenómenos.

La sociedad mexicana tiene el compromiso de participar en la conservación del recurso suelo y podemos hacerlo desde dos frentes: uno de ellos es previniendo su degradación, conservando la vegetación que los protege, y el segundo, frenando y revirtiendo los procesos de degradación ya presentes.

Con estas premisas, en 2004 la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) elaboró y publicó la primera edición de esta obra, *Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas*, como una guía clara y sencilla para cumplir, de manera cotidiana, con la tarea de proteger y reparar la piel de la tierra de nuestro país. Dada la gran demanda y utilidad del manual, la CONAFOR publica una nueva edición, buscando satisfacer esta necesidad.

El manual concentra información sobre una serie de técnicas que al aplicarse contribuyen de manera significativa a incrementar la cobertura vegetal, a disminuir los escurrimientos superficiales, a fortalecer la filtración e infiltración de agua hacia los mantos freáticos, así como a evitar la erosión, entre otros beneficios.

Biól. José Cibrián Tovar
Director General de la CONAFOR





Introducción

El suelo es un recurso natural considerado como no renovable por lo difícil y costoso que resulta recuperarlo o mejorar sus propiedades después de haber sido erosionado o deteriorado física o químicamente.

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

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

De la superficie degradada, el tipo de erosión más importante es, sin duda, la hídrica, que afecta 37% (73'000,000 de hectáreas). Su efecto más evidente es la formación de cárcavas, cuya superficie afectada comprende una extensión de 12% (24'000,000 de hectáreas).

Asimismo, la erosión también afecta las capas superficiales de las tierras (erosión laminar) en una superficie de aproximadamente 25%, en las que todavía es posible desarrollar actividades agropecuarias y forestales —a pesar de una reducción considerable en la producción— y puede revertirse este fenómeno mediante el uso y manejo sustentable del recurso.

Otros tipos de degradación importantes son: la erosión eólica, que afecta 15% del territorio nacional, sobre todo en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, y la degradación química (salinización y contaminación por desechos urbanos e industriales), que se encuentra principalmente en las zonas agrícolas y abarca 13'000,000 de hectáreas a nivel nacional, de las cuales, además, 6'600,000 presentan problemas de salinidad.

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

Con respecto a las áreas forestales, la superficie degradada comprende aproximadamente 16'000,000 de hectáreas y los niveles de degradación se clasifican como: ligeros, moderados, severos y extremos, con afectaciones en la vegetación de bosque, selva, matorral y sus respectivas vegetaciones secundarias (Carta de uso del suelo y vegetación, INEGI, 1996).

Las consecuencias de la deforestación y de la degradación del suelo forestal son: la erosión y sedimentación en lagos, ríos y lagunas; la disminución en la captación de agua y recarga de mantos acuíferos; las inundaciones; la reducción del potencial productivo por la pérdida paulatina de fertilidad de suelos, y los impactos negativos en la biodiversidad, cuyos efectos resultantes son la pobreza y migración de la población rural.

Por ello, es importante considerar acciones de protección, conservación y restauración de suelos forestales integradas al manejo de los recursos naturales —en especial del suelo, la vegetación y el agua— que



contribuyan al objetivo global de mantener y mejorar la condición del suelo, encaminado a la producción sustentable.

Para llevar a cabo un programa integral de conservación y restauración de suelos en áreas forestales, se deben considerar las distintas prácticas vegetativas, agronómicas y mecánicas. Estas últimas tienen influencia en especial sobre el transporte de las partículas del suelo y poco efecto en su desprendimiento, mientras que las dos primeras son más eficientes.

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

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

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

Para dar cumplimiento a los lineamientos de política nacional emanados de los mandatos de carácter jurídico mencionados, la CONAFOR creó, dentro de su estructura, la Coordinación General de Conservación y Restauración y, adscrita a ella, la Gerencia de Suelos Forestales. Esta gerencia tiene el objetivo de implementar y ejecutar acciones para fre-

nar y revertir la tendencia de la degradación de los suelos en las áreas forestales, así como atender las causas y los procesos que provocan su degradación, siendo las principales la deforestación, los cambios de uso del suelo, el sobrepastoreo y los incendios forestales. Para lograrlo, se ha establecido el Programa Nacional de Suelos Forestales, que se ejecuta en áreas prioritarias de las 32 entidades federativas del país, a través de las 13 gerencias regionales de la CONAFOR.

Los trabajos de protección, conservación y restauración de suelos se han realizado principalmente en áreas forestales de ejidos y comunidades donde participan mujeres y hombres, jóvenes y adultos, quienes han entendido la utilidad de este tipo de obras y prácticas para conservar sus suelos, adaptadas a las condiciones naturales, sociales y económicas para resolver los problemas que se presentan en cada lugar, de tal manera que la gente las asimile y las haga suyas, proceso que ya se ha venido dando por lo que se puede considerar que tienen sentido humano y pueden con el tiempo, formar parte de su cultura con respecto al uso y conservación del recurso suelo.

El principal objetivo de esta obra, *Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas*, es divulgar los tipos de obras y prácticas de suelos que se pueden aplicar para la restauración de las áreas forestales degradadas del país. Si además las obras y prácticas que aquí se describen le son de utilidad a técnicos relacionados con el recurso suelo o cualquier ciudadano, la CONAFOR considerará que el objetivo de este manual se ha cumplido.



A photograph of a mountainous landscape. In the foreground, a dirt path lined with stones runs diagonally across a hillside. The hillside is covered with green grass and several young, conical evergreen trees. In the background, more mountains are visible under a hazy sky. The text "Capítulo 1" and "Cuencas" is overlaid on the right side of the image.

Capítulo 1

Cuencas



CUENCAS

La cuenca como unidad de planeación en los trabajos de conservación y restauración de suelos

Definición

Una *cuenca* es toda área drenada por una corriente o sistema de corrientes, cuya agua confluye a un punto de salida (Figura 1).



FIGURA 1. ÁREA DE UNA CUENCA



Tipos de cuencas

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

Cuenca hidrológica. Es un área fisiográfica delimitada por un “parteaguas” que contiene una corriente o un sistema de corrientes hídricas superficiales y toda la estructura hidrogeológica subterránea como una sola unidad. Está definida por la disposición y colocación de las capas geológicas, los límites geológicos de la cuenca pueden ser mayores a los de los topográficos y el agua interceptada en una cuenca puede fluir a otra cuenca vecina.

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

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

Importancia de las cuencas

Las cuencas tienen gran importancia, ya que son el espacio geográfico donde interacciona el hombre con el medio ambiente. Todo lo que sucede dentro de los límites de una cuenca es relevante, ya que la disponibilidad, calidad y permanencia de sus recursos naturales depen-



den del uso y manejo que se les brinde dentro de ella; el agua, suelo, bosques y demás recursos bióticos son insumos esenciales para la vida de numerosas comunidades rurales que obtienen alimentos, bienes y servicios a partir de ellos (Figura 2).



FIGURA 2. RECURSOS NATURALES EN UNA CUENCA

La cuenca representa un marco apropiado para la planeación y aplicación de medidas destinadas a corregir impactos ambientales generados por un uso desordenado de los recursos naturales y donde se facilita la gestión ambiental (implementación de programas para mejorar el nivel de vida de sus habitantes).

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



Características de las cuencas

Las cuencas tienen dos zonas básicas de funcionamiento hídrico, que son importantes tener presentes para su manejo y planeación (Figura 3).



FIGURA 3. PARTES DE UNA CUENCA

Parte alta. Es la zona de mayor importancia, debido a que es el área de captación y suministro de agua de lluvia hacia la parte baja de la cuenca. Es el lugar donde se originan manantiales, arroyos y ríos.

Parte baja. Es la zona de descarga de agua, de almacenamiento y aprovechamiento por las poblaciones, donde se realizan actividades agrícolas y pecuarias debido a la moderada inclinación de los terrenos, mayor profundidad de los suelos y humedad captada de la parte alta de la cuenca (Figura 4).



FIGURA 4. ACTIVIDADES PRODUCTIVAS EN LA PARTE BAJA DE UNA CUENCA

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

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

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

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

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



Para fines del control de la erosión, establecimiento de obras de conservación y restauración y en general para el manejo de los recursos naturales a nivel comunitario se ha adoptado a la microcuenca como la unidad básica de planeación, la cual tendrá una superficie menor a 6,000 hectáreas.

Elementos de una cuenca que intervienen en los escurrimientos

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

Parteaguas. Es el límite físico de la cuenca que define la dirección de los escurrimientos superficiales, es determinado por el trazo de una línea imaginaria a partir de la boquilla o parte más baja y prolongándola por “el filo” de mayor elevación del área de confluencia (cuidando que los escurrimientos superficiales concurren hacia el punto de salida previamente establecido) y hasta llegar nuevamente a la boquilla, por el margen opuesto a donde se inició el trazo. La delimitación de una cuenca se realiza normalmente en una carta topográfica escala 1:50 000 o mayor (Figura 5).

El límite de una cuenca puede prolongarse por las fronteras de países, estados, municipios, comunidades, localidades y hasta en una misma propiedad; por eso la necesidad de tener una planeación previa a los trabajos a realizar y lograr acuerdos entre los distintos propietarios que la integran y que participarán en las diferentes actividades.

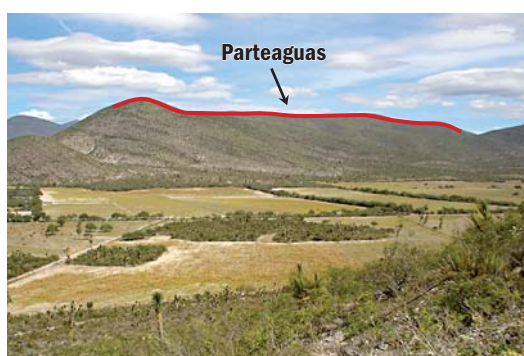


FIGURA 5. TRAZO DEL PARTEAGUAS DE UNA CUENCA



FIGURA 6. EFECTO DE LOS ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES EN LADERAS DESPROTEGIDAS

Otro aspecto importante relacionado con el uso del suelo en las cuencas, es definir el ámbito de trabajo de las diversas instituciones federales, estatales y municipales, así como internacionales, para lograr una mayor efectividad en la ejecución de las actividades que realizan.

Vertientes o laderas. Es el área sobre la superficie terrestre donde se presenta directamente el impacto de las gotas de lluvia, produciendo los escurrimientos laminares que al converger, son la fuente de abastecimiento de las corrientes (Figura 6).



FIGURA 7. PARTES QUE CONFORMAN UNA CUENCA

Boquilla. Es la parte mas baja de la cuenca donde los escurrimientos superficiales convergen en un punto sobre la corriente principal (Figura 7).

Red de drenaje. Conjunto de afluentes naturales por donde circulan las corrientes de agua superficial. Dicho conjunto de afluentes se compone de un cauce principal y por corrientes que se derivan de él. Las corrientes se clasifican de acuerdo con el número de orden, que considera como corrientes de primer orden aquellos afluentes que no tienen tributarios; de segundo orden, aquellas corrientes con dos o más tributarios de primer orden; de tercer orden



aquellas corrientes que tienen dos o más tributarios de segundo orden y así sucesivamente (Figura 8).

Para el establecimiento de obras de conservación y restauración de suelos se recomienda trabajar inicialmente la corriente de primer orden como área primaria de intervención y posteriormente hacia la parte baja, hasta cubrir la superficie total de una microcuenca. Este

es el criterio a seguir cuando se dice que los trabajos de restauración de suelos se inician de la parte alta a la baja de la cuenca.

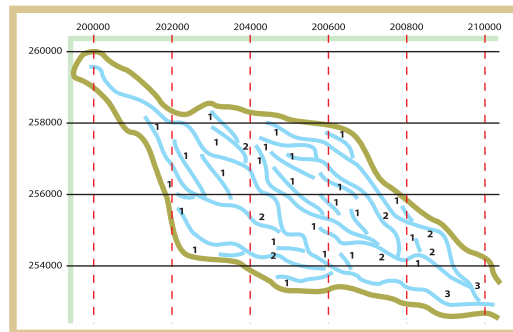


FIGURA 8. RED DE DRENAJE DONDE SE INDICA EL ORDEN DE LAS CORRIENTES EN UNA MICROCUENCA

Tipo de drenaje. La configuración de las redes fluviales es el resultado de las influencias que tienen los suelos, las rocas, el grado de fracturación, estratificación y topografía. Las seis formas de sistemas de drenaje más comunes son: dendrítico, enrejado o rastrillo, radial, paralelo, anular y rectangular (Figura 9).

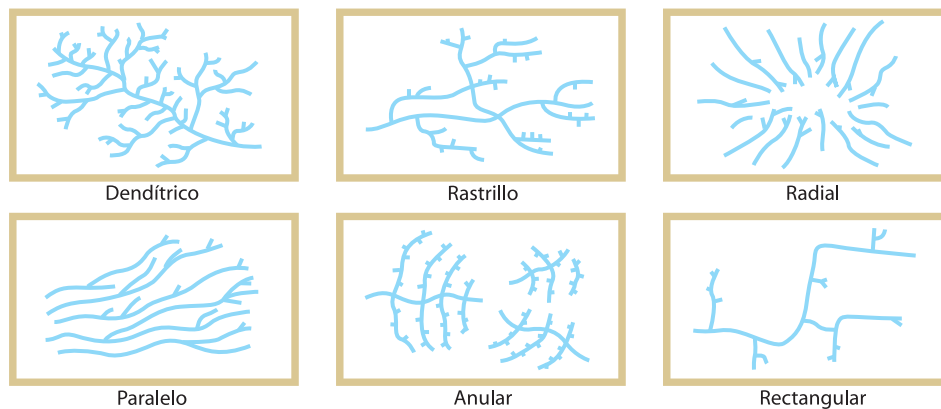


FIGURA 9. TIPOS DE DRENAJE

A partir de estas propiedades podemos establecer algunas generalizaciones tales como:

- Cuencas de mayor superficie tendrán mayores volúmenes de escurrimiento que otras con características similares pero más pequeñas.
- Las redes de drenaje poco ramificadas desfogarán más rápidamente que las más ramificadas.
- En cuencas con pendiente mayores, la velocidad de descarga será mayor que aquella con una menor pendiente.
- Redes de drenaje radial (cuencas con forma tendiente a circular), tienen un menor tiempo de concentración de las aguas resultado del escurrimiento.

Procedimiento para la delimitación de cuencas

Trazo del parteaguas. Puede realizarse de manera digital o manual (Figura 10).

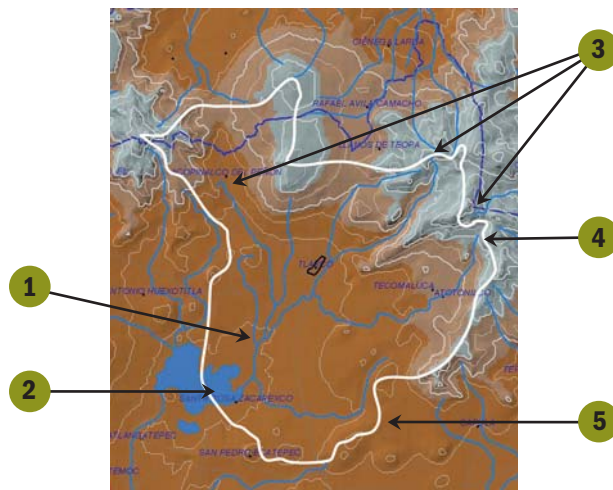


FIGURA 10. PASOS A SEGUIR EN EL TRAZO DEL PARTEAGUAS DE MANERA DIGITAL



Para su trazo se pueden seguir los siguientes pasos:

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

Para el trazo del parteaguas en una carta topográfica 1:50 000 se debe considerar las siguientes indicaciones (Figura 11):

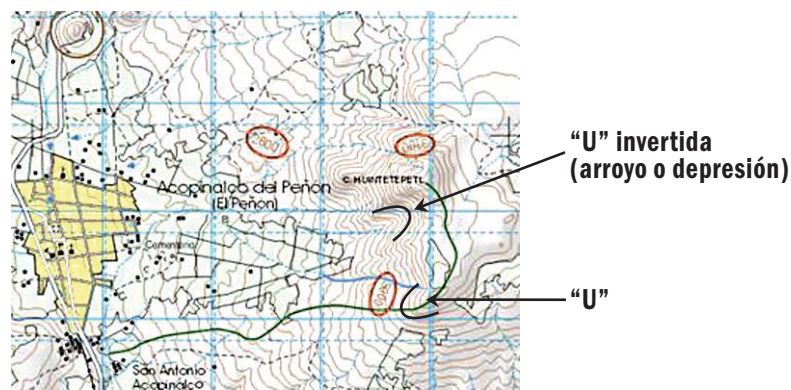


FIGURA 11. DELIMITACIÓN DE UNA CUENCA EN UNA CARTA TOPOGRÁFICA

1. Para trazar el parteaguas de la parte baja hacia la alta, se sigue el centro de la “U” que forman las curvas de nivel señaladas en la carta.
2. La U invertida (∩) indica que se trata de un arroyo o depresión abrupta (Figura 12).
3. Las curvas a nivel que forman círculos indican cimas de cerros o conos cineríticos.
4. La dirección del número de la altitud de la curva de nivel indica la tendencia de la altitud



Forma de "U"
invertida de
curva a nivel

Forma de "U"
de curva a nivel

FIGURA 12. DELIMITACIÓN FÍSICA SIGUIENDO CURVAS A NIVEL

Elementos para la medición de una cuenca

Las características físicas tienen gran importancia en el comportamiento hidrológico de la cuenca. Se utilizan con el objeto de establecer relaciones y comparaciones numéricas con datos hidrológicos conocidos, los cuales se pueden determinar una vez trazada en una carta topográfica.

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

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

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



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

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

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

Donde:

Pc = Pendiente de la cuenca.

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

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



A photograph of a surveying instrument, likely a total station, mounted on a silver tripod with orange adjustment knobs. The tripod is set up on a dirt path in a field of green bushes. A red carrying case for the instrument lies on the ground to the right. The sky is overcast.

Capítulo 2

Instrumentos y procedimientos topográficos



INSTRUMENTOS

Instrumentos topográficos

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

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

El diseño y construcción de prácticas y obras de conservación y restauración de suelos que se presentan en este manual no requieren de aparatos de alta precisión. Los que se utilizan comúnmente, por su fácil construcción en campo, bajo costo y buen funcionamiento, son:

- Niveles de caballete, en específico el triangular, comúnmente llamado aparato “A”.
- Niveles de manguera.
- Niveles de mano.
- Niveles digitales.

En seguida, se muestra en qué consisten y cómo utilizarlos.

Caballete tipo triangular o aparato “A”

Los caballetes se caracterizan por ser ligeros y de construcción sencilla. Entre distintos diseños de caballetes se encuentran los de tipo rectangular, trapezoidal y triangular (Figuras 13–15).



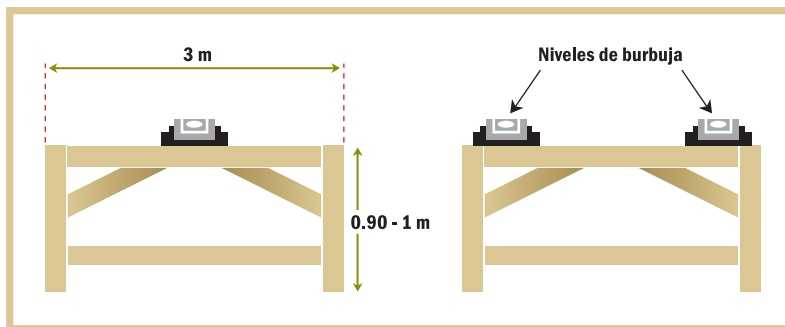


FIGURA 13. TIPO RECTANGULAR

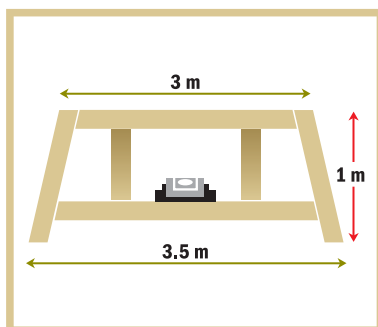


FIGURA 14. TIPO TRAPEZOIDAL

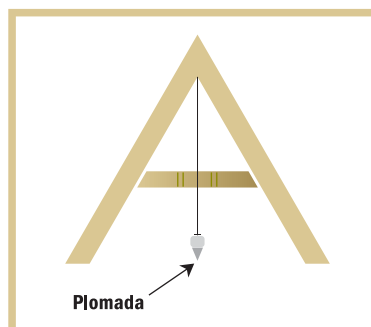


FIGURA 15. TIPO TRIANGULAR

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

Por otro lado, el caballete de tipo triangular o aparato "A" sólo se construye con madera, clavos y una plomada. Es el más liviano de todos y posibilita trazar líneas a nivel aunque no se haya construido con dimensiones exactas. En este manual se hace mayor referencia al aparato "A" por ser el más utilizado para efectuar cálculos de pendiente y trazos de curvas a nivel en obras pequeñas.



a) Materiales para construir un aparato “A”

Los materiales necesarios para construir el aparato “A” son:

- Dos “fajillas” o “tablillas” de 2 a 3 centímetros de grosor, 8 centímetros de ancho y 2 metros de largo y una de 1.5 metro, con el mismo grosor y ancho.
- Tres clavos de 2.5 pulgadas.
- Dos metros de hilo cáñamo.
- Una plomada o botella vacía con tapa de rosca.
- Un lápiz.

b) Proceso de construcción

Primer paso. Se emparejan las puntas de las dos “fajillas” más largas, hasta formar una “A”. La distancia interna entre los extremos separados de las “fajillas” debe ser de 2 metros.

Segundo paso. A partir de uno de los extremos, se deben unir las dos “fajillas” con un clavo. Es importante no introducir totalmente el clavo, para de ahí sujetar el hilo que sostendrá la plomada (Figura 16).



FIGURA 16. UNIÓN DE LOS PALOS BASE MARQUEO PARA COLOCAR EL TRAVESAÑO

Tercer paso. Hay que colocar el travesaño de 1.5 metros a la mitad de la "A". La parte media se puede obtener estirando el hilo atado al clavo hasta las partes terminales de las "fajillas" y doblándolo a la mitad; con esa medida, se colocan marcas con lápiz en ambas "fajillas" (Figura 17).



FIGURA 17. COLOCACIÓN DEL TRAVESAÑO

Cuarto paso. La plomada se debe colgar aproximadamente 3 centímetros debajo del travesaño. Si no se cuenta con plomada, se puede usar una botella llena de agua, arena o tierra, haciendo un amarre por dentro de la tapa (Figura 18).



FIGURA 18. COLOCACIÓN DE LA PLOMADA

Quinto paso. Para ajustar el aparato "A", a dos metros de distancia se anclan dos estacas gruesas en el terreno. Sobre ellas, se colocan los dos extremos del aparato "A", manteniéndolo en forma vertical, para localizar el lugar que indica la plomada, mismo que debe marcarse con el lápiz.



Esta acción se repite cambiando de lugar los extremos del aparato sobre las mismas estacas, con lo que se obtienen dos marcas, una de cada lado (Figura 19).



FIGURA 19. AJUSTE DEL INSTRUMENTO

Sexto paso. Luego, hay que realizar una tercera marca a la mitad de las dos primeras. Para que la plomada vuelva a caer en el centro de la marca, se ajusta la altura de una de las dos estacas enterrándola suavemente en el terreno. Cuando el hilo llegue a la mitad de las dos marcas, los extremos estarán a nivel. Para comprobarlo, se da la vuelta al aparato sobre las mismas estacas: si la plomada vuelve a caer en el centro, el instrumento está listo para ser utilizado. De no ser así, hay que repetir el procedimiento (Figura 20).



FIGURA 20. AJUSTE DE ALTURA DEL APARATO CON DOS ESTACAS



Nivel de manguera

Es un instrumento simple que consta de dos “fajillas” delgadas y una manguera transparente de uno a 0.5 centímetros de diámetro; es un aparato de fácil construcción en campo, que puede ofrecer la precisión suficiente para determinar la pendiente y el trazo de curvas a nivel (Figura 21).



FIGURA 21. CONSTRUCCIÓN DEL NIVEL DE MANGUERA

a) Materiales para construir un nivel de manguera

- Dos “fajillas” de 2 centímetros de grosor, 8 centímetros de ancho y 2 metros de longitud.
- Una manguera transparente de 14 metros de largo. Se utilizarán 2 metros en cada “fajilla”, de tal manera que, al extender las “fajillas”, queden separadas a 10 metros.
- Dos cintas métricas flexibles (como las que usan en costura).
- Pegamento.
- Alambre.
- Pinzas.

b) Procedimiento de construcción

Primer paso. A lo largo de las “fajillas”, una vez que han sido cubiertas con la manguera, se pegan con resistol las cintas métricas. Se debe cuidar que la manguera no quede muy ajustada, pero sí lo suficientemente fija para no tener errores al momento de efectuar las lecturas.



Segundo paso. Dentro de la manguera, hay que poner agua a un metro de altura del soporte (“fajilla”), para facilitar las lecturas y evitar derrames. Es necesario eliminar las burbujas que se forman.

Tercer paso. Para ajustar el instrumento, se colocan las “fajillas” juntas y a la misma altura, se marca con un lápiz el nivel de los meniscos de agua en ambas. A esto se le llama nivel original, y a partir de ahí se puede comenzar a realizar las mediciones.

Nivel de mano Abney o clisímetro

Los niveles de mano son aparatos de construcción industrial que requieren de mayor práctica para su manejo y para obtener mayor precisión en los trabajos. Se usan para la medición de líneas horizontales y ángulos verticales en el diseño de obras sencillas.

En específico, el nivel Abney o clisímetro cuenta con un vernier que permite realizar nivelaciones y medidas de ángulos verticales (Figura 22). Se ajusta elevando o bajando un extremo del tubo hasta que la burbuja se centre, manteniendo la escala del vernier en cero.

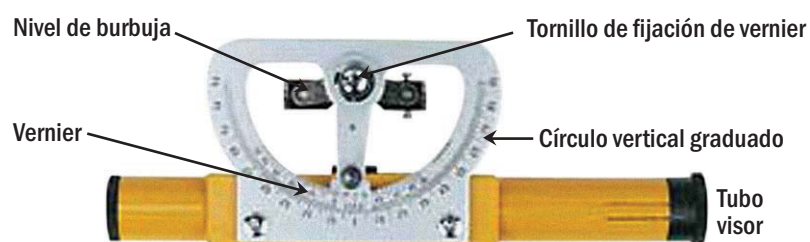


FIGURA 22. COMPONENTES DE UN NIVEL DE MANO TIPO ABNEY

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

Métodos de ajuste del nivel Abney

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

Instalar el nivel con la burbuja centrada en un punto A, para luego ubicar un punto B a unos 10 metros del punto A. Trasladar el nivel al punto B y, con la burbuja centrada, determinar un punto C sobre la misma línea vertical de A. Si A y C coinciden, el nivel está ajustado, si no, se debe estimar un punto medio entre A y C.

Mantener el nivel de mano a la misma altura de un nivel montado con niveles y ajustes correctos y con el que previamente se haya logrado observar un punto de interés que indique la horizontalidad del instrumento. Cuando la burbuja esté centrada, la línea visual del nivel de mano debe coincidir con el mismo punto que se observa en el nivel montado.

Niveles digitales

Entre los niveles digitales que actualmente se pueden encontrar en el mercado está el Torpedo Level, el cual está diseñado para medir ángulos de 45° , 90° y 180° y se pueden ajustar con una línea láser (Figura 23).





FIGURA 23. NIVEL DE MANO TIPO TORPEDO LEVEL

Otro de los diseños digitales es el Multi-digit Pro, que permite medir ángulos con un inclinómetro electrónico y un nivel alineador láser, así como proporcionar la pendiente en grados o en porcentaje. Contiene una memoria para guardar valores y rayo láser visible hasta 20 metros (Figura 24).



FIGURA 24. NIVEL DE MANO TIPO MULTI-DIGIT PRO



PROCEDIMIENTOS

Procedimientos topográficos

Los procedimientos topográficos constituyen una serie de pasos bien definidos que se siguen en la elaboración de planos, delimitación de superficies, diseño y construcción de obras, establecimiento de linderos o nivelaciones de terrenos. A través del uso de los instrumentos topográficos, se pueden estimar distancias horizontales y verticales entre puntos y determinar direcciones de líneas, elevaciones y áreas, entre otros.

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

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

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

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



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

Determinación de la pendiente de un terreno

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

Medición de pendiente con un aparato “A”

En un terreno se pueden tener dos o más áreas con diferente inclinación y superficie, por lo que se debe medir la pendiente para cada caso. Los materiales que se requieren son:

- Un aparato “A”.
- Una cinta métrica.
- Una vara recta (Figura 25).

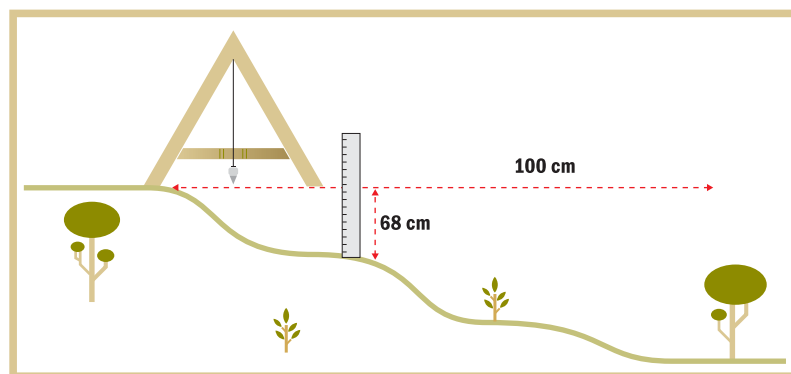


FIGURA 25. MEDICIÓN DE LA PENDIENTE CON EL APARATO "A"

Para obtener los porcentajes de pendiente deben seguirse los siguientes pasos:

Primer paso. Hay que colocar el aparato "A" en el sentido de la pendiente.

Segundo paso. Luego, hay que levantar poco a poco el extremo del aparato que se encuentra aguas abajo, hasta que la plomada marque el centro.

Tercer paso. Se debe poner una vara, caña o palo recto cerca del extremo que se alzó.

Cuarto paso. Con un lápiz, hay que marcar sobre la vara la altura exacta a la que llegó el extremo del aparato "A".

Quinto paso. Tomar la cinta métrica y medir la altura en centímetros. El valor obtenido se divide entre 200 centímetros (distancia de la apertura del aparato) y se multiplica por cien. El resultado es la medida de la pendiente.

Sexto paso. Si se realizan varias mediciones, se debe obtener un dato promedio que represente la pendiente del terreno, a partir de todas las lecturas realizadas. El promedio se obtiene sumando los valores de las mediciones efectuadas y esa cantidad se divide entre la cantidad de lecturas realizadas. Por ejemplo:

Mediciones:

1ª = 20%

2ª = 15%

3ª = 10%

4ª = 30 %

5ª = 25 %

Total = 100%

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

Medición de pendiente con un nivel de manguera

Los materiales que se requieren son:

- Un nivel de manguera.
- Una cinta métrica o regla.

Para determinar la pendiente con el nivel de manguera se realizan los siguientes pasos:

Primer paso. Se colocan los dos soportes juntos, a la misma altura, y se marca el nivel inicial del agua.

Segundo paso. Posteriormente, se aleja una de las “fajillas” a distancia —la que permita la inclinación del terreno y la longitud de la manguera— y se marca el nivel de agua.

Tercer paso. En una de las “fajillas”, se mide la altura entre las dos marcas y se multiplica por dos. Este resultado es el desnivel entre dos puntos.



Cuarto paso. Luego se mide la distancia horizontal entre dichos puntos (Figura 26). La pendiente se obtiene dividiendo el desnivel entre la distancia horizontal y multiplicando por 100, como se indica en la siguiente fórmula:

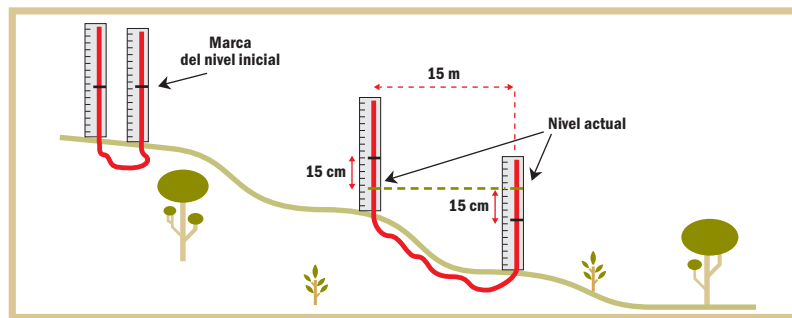


FIGURA 26. MEDICIÓN DE LA PENDIENTE CON NIVEL DE MANGUERA

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

Donde:

S = pendiente (%)

dl = desnivel de dos puntos multiplicado por 2 (m).

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

Ejemplo:

En un terreno, se colocan los dos soportes juntos y se marca el nivel del agua inicial, el cual está a 100 centímetros en el estadal. Luego se aleja uno de los estadales con la manguera a 10 metros y se vuelve a marcar el nivel del agua, que es igual a 15 centímetros. La diferencia de lecturas se multiplica por dos, ya que el nivel del agua se distribuye en las dos lecturas. Por lo tanto: $15 \times 2 = 30$ centímetros de desnivel en 10 metros.

$$S = \frac{100}{L} (dl) = \frac{100}{10} (0.30) = 3\%$$

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

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

Donde:

S = pendiente (%).

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

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

Medición con nivel de mano

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

Primer paso. Se determina la altura visual del operador.

Segundo paso. La persona que realiza las lecturas se debe colocar en dirección de la pendiente, mientras que el estadalero se mueve a unos 10 metros en esa misma dirección.

Tercer paso. La diferencia de la lectura en el estadal (e) y la altura de la visual del operador (v) se multiplica por 100 y se divide entre la distancia que existe del operador al estadalero (l). El resultado de la operación es el porcentaje de pendiente de esa parte del terreno. En este paso se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$S = \frac{(v - e) \times 100}{l}$$

Donde:

S = pendiente (%).

v = altura visual del operador (m).

e = lectura en el estadal (m).

l = longitud del estadal al operador (m).

Ejemplo:

A una distancia de 10 metros, una persona con una altura visual de 1.60 metros toma una lectura de 0.30 metros en el estadal; se obtiene una diferencia de 1.30 (Figura 27). Aplicando la fórmula, el resultado es:

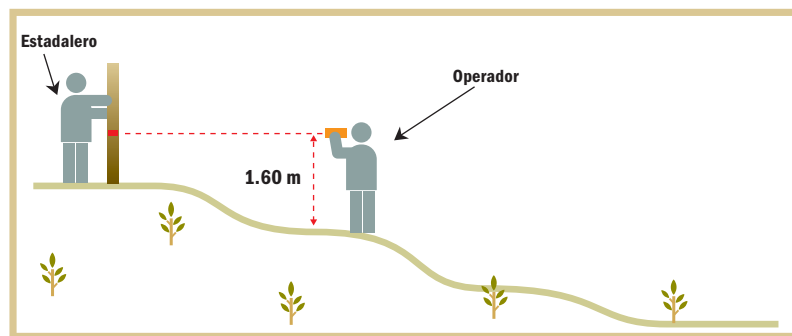


FIGURA 27. DETERMINACIÓN DE LA PENDIENTE CON NIVEL DE MANO

$$S = \frac{(1.60 - 0.30) \times 100}{10} = 13\% \text{ de pendiente}$$

Otra forma de determinar la pendiente utilizando el nivel tipo Abney es la siguiente:

Primer paso. Se marca la altura visual del operador sobre el estadal.

Segundo paso. La persona que sostiene el estadal se mueve a unos 15 metros en dirección de la pendiente, mientras el operador libera el tornillo que controla la burbuja y el arco graduado hasta hacer coincidir la burbuja y la retícula.

Tercer paso. En el arco graduado, se toma lectura del porcentaje de pendiente del terreno o bien la inclinación en grados que hay entre dos puntos.

Trazo de curvas a nivel

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

Con el aparato “A”

Primer paso. Se coloca una estaca en la parte alta del terreno.

Segundo paso. Se acomoda el aparato “A” con sus extremos perpendiculares a la pendiente, y uno de ellos debe quedar junto a la estaca.

Tercer paso. Se mueve el otro extremo hasta que la plomada o el nivel marque el centro y se entierra otra estaca en ese punto.

Cuarto paso. El aparato se mueve en dirección del trazo, ubicando la primera pata en la última estaca y así, sucesivamente, hasta llegar al extremo del terreno (Figura 28).

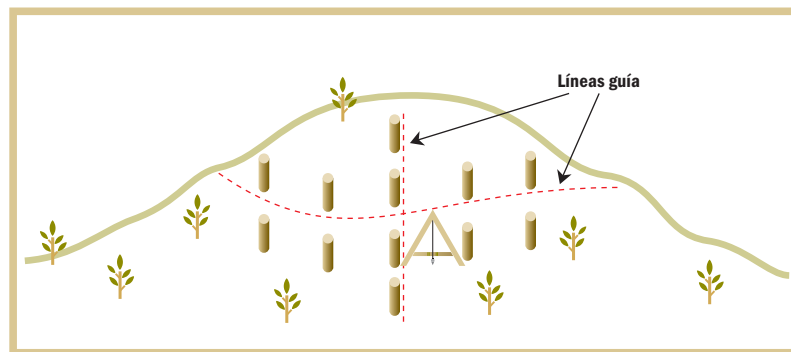


FIGURA 28. TRAZO DE CURVAS DE NIVEL CON APARATO "A"

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

Con el nivel de manguera

Primer paso. Se colocan ambas "fajillas" juntas y a nivel, marcando en ellas el nivel original del agua.

Segundo paso. Se mueve uno de los soportes hasta donde lo permita la longitud de la manguera (normalmente 10 metros) y ahí se desplaza hacia arriba o abajo del terreno, hasta que el menisco del agua en la manguera coincida con la marca del nivel original en el madero. Ahí se clava otra estaca.

Tercer paso. El procedimiento se repite a partir de la última estaca y hasta llegar al límite del terreno o hasta donde exista un obstáculo (Figura 29).

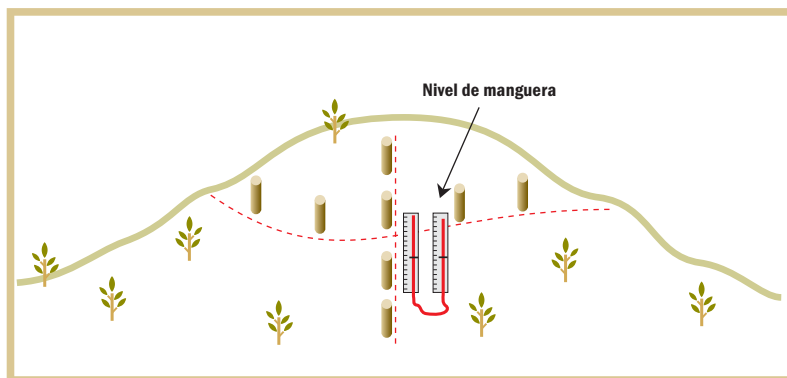


FIGURA 29. TRAZO DE CURVAS CON NIVEL DE MANGUERA

Con nivel de mano

Primer paso. Se determina la altura de la visual del operador del nivel que se instala en el inicio de la curva.

Segundo paso. El estadalero se ubica a 15 metros a nivel del otro operador.

Tercer paso. El estadalero se alinea hasta que coincidan el hilo de la retícula, la burbuja y la altura determinada de la visual del operador del nivel. Cuando esto se logra, significa que las dos personas están sobre la misma línea.

Cuarto paso. El estadalero marca con una estaca el punto donde se encuentra el estadal; ambos operadores se desplazan en dirección del trazo y se repite la acción (Figura 30).

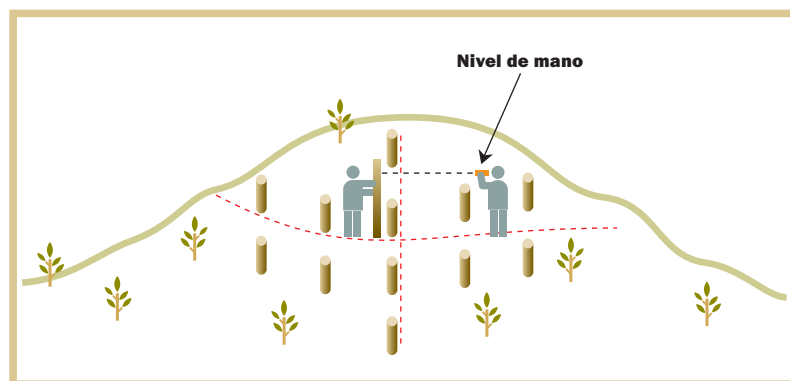
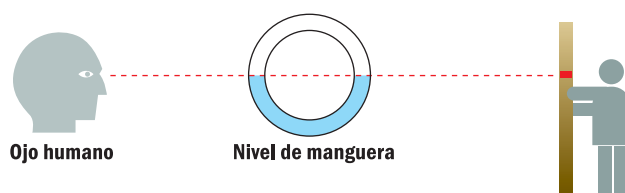


FIGURA 30. TRAZO DE CURVAS CON NIVEL DE MANO

Otras opciones

Otra forma de trazar curvas de nivel es mediante el uso de un nivel de mano, construido con una manguera transparente (de 1/2 a 3/4 de pulgada de diámetro), con agua al 50% y unida con los dos extremos de la misma manguera o con un tapón de madera, para formar un círculo de 25 centímetros de diámetro.

Se utiliza de la misma forma que el nivel de mano, es decir, se coloca a la altura visual del operador y se hace coincidir con el nivel del agua y el punto marcado inicialmente en el estado.







Capítulo 3

Estimación de escurrimientos superficiales



ESTIMACIONES

Estimación de escurrimientos superficiales



FIGURA 31. ARROYO CON FLUJO TEMPORAL DE LLUVIAS

El escurrimiento superficial es la parte de la precipitación que se mueve sobre los terrenos de manera laminar y que, al acumularse en las zonas más bajas del terreno, forma pequeños arroyos que alimentan a las corrientes intermitentes para que éstas a su vez alimenten a los ríos (Figura 31).



Cuando este escurrimiento ocurre en suelo desprotegido, provoca erosión en forma de canalillos que finalmente constituyen cárcavas.

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

En este capítulo se busca:

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

Esta información es útil para obtener datos para planear obras de conservación de suelos, manejo y captación de agua de lluvia, y promover la elección de las obras más apropiadas para conservar y restaurar los suelos.

Probabilidad y periodo de retorno de la lluvia

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

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



Cálculo de la probabilidad de lluvia

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

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

Con estos datos se aplica la fórmula siguiente:

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

Donde:

P = probabilidad de la lluvia.

m = número de orden de la lluvia.

n = número de eventos registrados.

Procedimiento

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

COLUMNA 1	COLUMNA 2
Año	Lluvia (mm)



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

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

Tercer paso. Se aplica la fórmula E1 y se obtiene el dato.

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

Cálculo del periodo de retorno

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

Para el propósito de las obras descritas en este manual, el periodo de retorno se considera de cinco años. Para el cálculo del periodo de retorno se aplica la siguiente fórmula:

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



Donde:

F = frecuencia o periodo de retorno.

n = número total de años de registro.

m = número de orden de la lluvia.

Procedimiento

Primer paso. Para el cálculo se utiliza el mismo procedimiento usado en el cálculo de probabilidad de la lluvia.

Segundo paso. Se aplica la fórmula E2 y se obtiene el dato.

COLUMNA 1	COLUMNA 2	COLUMNA 3	COLUMNA 4	COLUMNA 5	COLUMNA 6	COLUMNA 7
Año	Lluvia (mm)	Año	Lluvia ordenada (mm)	Número de orden (m)	Probabilidad (%)	Periodo de retorno (años)
					$p = \frac{m \times 100}{n + 1}$	$F = \frac{n + 1}{m}$

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

Ejemplo:

Cálculo de la probabilidad y periodo de retorno de la lluvia máxima en 24 horas de la estación 16138 de Uruapan, Michoacán (Cuadro 1).

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



Cuadro 1

Tabla de datos						
Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7
AÑO	LLUVIA MÁXIMA EN 24 HORAS (MM)	AÑO	LLUVIA MÁXIMA EN 24 HORAS ORDENADA (MM)	NÚMERO DE ORDEN (M)	PROBABILIDAD (%) $P = \frac{m \times 100}{n+1}$	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) $F = \frac{n+1}{m}$
1951	5	1955	152.3	1	4.76	21
1952	82.5	1967	121.3	2	9.52	10.5
1953	58.5	1970	119.5	3	14.29	7
1954	59	1958	114	4	19.05	5.25
1955	152.3	1952	82.5	5	23.81	4.20
1956	58.5	1959	79.3	6	28.57	3.5
1957	47.5	1968	77.8	7	33.33	3
1958	114	1962	77	8	38.10	2.63
1959	79.	1963	73.6	9	42.86	2.33
1960	61	1964	73	10	47.62	10
1961	41.5	1964	64.3	11	52.38	1.19.
1962	77	1960	61	12	57.14	1.75
1963	73.6	1954	59	13	61.90	1.62
1964	64.3	1953	58.5	14	66.67	1.5
1965	41.7	1956	58.5	15	71.43	1.4
1966	51.5	1966	51.5	16	76.19	1.31
1967	121.3	1957	47.5	17	80.95	1.24
1968	77.8	1965	41.7	18	85.71	1.17
1969	73	1961	41.5	19	90.48	1.11
1970	119.5	1951	5	20	95.24	1.05
TOTAL				20		

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

LLUVIA MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)
114	5.25
82.5	4.20



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

1.05 años —————→ 31.50 mm
0.80 años —————→ X

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

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

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

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

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

Cálculo del escurrimiento superficial



FIGURA 32. ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES EN ÁREAS FORESTALES

El escurrimiento superficial es un tanto difícil de estimar, ya que no se cuenta con datos suficientes, depende de la cantidad e intensidad de la lluvia, la cobertura vegetal tanto herbácea como arbórea, la rugosidad del terreno, la textura y el contenido de materia orgánica del suelo, la pendiente del suelo y el manejo que se le dé a éste (Figura 32).



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

Las curvas numéricas son similares al coeficiente de escurrimiento y fueron obtenidas por el USDA-SCS, con base en la observación de hidrogramas procedentes de varias tormentas en diferentes cuencas de Estados Unidos. Estas curvas dependen del tipo de suelo, condición hidrológica de la cuenca, uso y manejo del suelo, así como de su antecedente condición de humedad. El cálculo del escurrimiento medio a partir de las curvas numéricas es obtenido mediante las siguientes relaciones:

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

Donde:

Q = escurrimiento medio (mm).

P = precipitación (mm).

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

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

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

Donde:

S = potencial máximo de retención de humedad.

CN = curva numérica o número de curva obtenida de tablas.



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

a) Suelo. El suelo es uno de los factores de mayor incidencia en el escurrimiento; su contenido de materia orgánica y textura son los factores que ayudan de manera importante en la infiltración. El USDA–SCS tomó en cuenta la clase textural de los suelos y su infiltración básica, para agruparlos en cuatro clases (Cuadro 2).

Cuadro 2

Grupos de suelos de acuerdo con sus características	
GRUPOS DE SUELOS	DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO
A	Suelo con bajo potencial de escurrimiento. Incluye arenas profundas con muy poco limo y arcilla y suelo permeable con grava en el perfil. Infiltración básica 8–12 mm / hr.
B	Suelos con moderadamente bajo potencial de escurrimiento. Son suelos arenosos menos profundos y más agregados que el grupo A. Este grupo tiene una infiltración mayor que el promedio cuando húmedo. Ejemplo: suelos migajones, arenosos ligeros y migajones limosos. Infiltración básica 4–8 mm / hr.
C	Suelos con moderadamente alto potencial de escurrimiento. Comprende suelos someros y suelos con considerable contenido de arcilla, pero menos que el grupo D. Este grupo tiene una infiltración menor que la promedio después de saturación. Ejemplo: suelos migajones arcillosos. Infiltración básica 1–4 mm / hr.
D	Suelos con alto potencial de escurrimiento. Ejemplo, suelos pesados, con alto contenido de arcillas expandibles y suelos someros con materiales fuertemente cementados. Infiltración básica menor a 1 mm / hr.

b) Condición hidrológica o cobertura vegetal del terreno. Este factor considera la cobertura vegetal del terreno, el cual incide directamente sobre la interceptación de la precipitación y la rugosidad que se opone al escurrimiento. Para este factor, se determinaron tres clases de cobertura, así como una serie de parámetros para agruparlas de acuerdo con el uso del terreno (Cuadro 3).

Clases de cobertura vegetal

Buena > de 75%
Regular Entre 50 y 75%
Mala < de 50%

Cuadro 3

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

c) Uso del suelo. El uso del suelo es un factor determinante en la estimación del escurrimiento superficial. Por tal motivo se consideran las diferentes prácticas de manejo a que es sometido. Con este último parámetro se compone el cuadro para obtener la curva numérica que se utilizará en la fórmula (Cuadro 4).



Cuadro 4

Uso, tratamiento y condición hidrológica del suelo						
USO DEL SUELO	TRATAMIENTO O PRÁCTICA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	CURVAS NUMÉRICAS			
			A	B	C	D
Suelo en descanso	Surcos rectos		77	86	91	94
Cultivos de escarda	Surcos rectos	Mala	71	81	88	91
	Surcos rectos	Buena	67	78	85	89
	Curva a nivel	Mala	70	79	84	88
	Curva a nivel	Buena	95	75	82	86
	Terraza y curva a nivel	Mala	66	74	80	82
	Terraza y curva a nivel	Buena	62	71	78	81
Cultivos tupidos	Surcos rectos	Mala	65	76	84	88
	Surcos rectos	Buena	63	75	83	87
	Curvas a nivel	Mala	63	74	82	85
	Curvas a nivel	Buena	61	73	81	84
	Terraza y curva a nivel	Mala	61	72	79	82
	Terraza y curva a nivel	Buena	59	70	78	81
Leguminosas en hilera o forraje en rotación	Surcos rectos	Mala	66	77	85	85
	Surcos rectos	Buena	58	72	81	85
	Curva a nivel	Mala	64	75	83	85
	Curvas a nivel	Buena	55	60	78	83
	Terraza y curva a nivel	Mala	63	73	80	83
	Terraza y curva a nivel	Buena	51	67	76	80
Pastizales	Sin tratamiento mecánico	Mala	68	79	86	99
	Sin tratamiento mecánico	Regular	49	69	79	84
	Sin tratamiento mecánico	Buena	39	61	74	80
	Curva a nivel	Mala	47	67	81	88
	Curva a nivel	Regular	25	59	75	83
	Curvas a nivel	Buena	20	35	70	79
Pasto de corte		Buena	30	58	71	78
Bosque		Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Camino de tierra		Buena	72	82	87	89
Caminos pavimentados		Buena	90	90	90	90

Ejemplo de cálculo:

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

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

- Bosque ralo.
- Condición hidrológica mala (< 50% de cobertura).
- Tipo de suelo: franco arenoso que corresponde al grupo B.

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

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

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

$$S = 130.85$$

$$Q = \frac{(106.5 - 0.2(130.85))^2}{106.5 + 0.8(130.85)} \quad (E3)$$

$$Q = 30.56 \text{ mm}$$

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

El escurrimiento calculado es propicio cuando existen condiciones de humedad intermedia, aunque el método considera sus tres condiciones —seca, húmeda y mojada o saturada—, por lo que se deberá ajustar a la condición que se tenga en el terreno. Para ello, se toma en cuenta la



precipitación de cinco días previos a la tormenta considerada utilizando el siguiente cuadro:

CONDICIÓN DE HUMEDAD ANTECEDENTE	PRECIPITACIÓN ACUMULADA DE LOS CINCO DÍAS PREVIOS AL EVENTO (MM)
I. Seca	0 - 12.7
II. Húmeda	12.7 - 38.1
III. Mojada o saturada	> 38.1

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

Cuadro 5

Condiciones de humedad en el suelo		
CURVAS NUMÉRICAS		
CONDICIÓN I SECA	CONDICIÓN II HÚMEDA	CONDICIÓN III MOJADA O SATURADA
100	100	100
87	95	98
78	90	96
70	85	94
63	80	91
57	75	88
51	70	85
45	65	82
40	60	78
35	55	74
31	50	70
26	45	65
22	40	60
18	35	55
15	30	50
12	25	43
9	20	37
6	15	30
4	10	22
2	5	13



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

$$CN (I) = \frac{4.2 \, CN (II)}{10 - 0.58 \, CN (II)} \quad (E5)$$

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

Cálculo del escurrimiento máximo instantáneo

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

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

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

Donde:

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

Q = escurrimiento medio (mm).

A = área de drenaje (ha).

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

T_c = tiempo de concentración (hr).



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

$$T_c = 0.02 \frac{L^{1.15}}{H^{0.38}} \quad (E8)$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración (minutos).

L = longitud de la corriente principal (metros).

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

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

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

Donde:

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

α = coeficiente de escurrimiento (Q / P).

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

A = área de drenaje (ha).

360 = factor de ajuste de unidades.

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

Ejemplo de cálculo:

Continuando con el anterior, se sabe que la cuenca tiene un área de 1,400 hectáreas, la lluvia máxima es de 106.5 mm, la duración del exceso de lluvia es 30 minutos, el cauce tiene una longitud de 13 kilómetros y el desnivel es de 900 m. Ya se calculó el escurrimiento medio, el cual fue de 30.56 mm.

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

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

$$Q = 427,890 \text{ m}^3$$

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

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

