

# Manual para evaluar la erosión de los suelos en zonas forestales

HELENA COTLER



**CentroGeo**  
19°17'30"N 99°13'17"O 2489m



R Í O A R R O N T E  
FUNDACIÓN



**FMCN**

FONDO MEXICANO  
PARA LA CONSERVACIÓN  
DE LA NATURALEZA, A.C.  
INSTITUCIÓN PRIVADA



**CentroGeo**  
19°17'30"N 99°13'17"O 2489m



**R Í O A R R O N T E**  
FUNDACIÓN



**FONDO MEXICANO  
PARA LA CONSERVACIÓN  
DE LA NATURALEZA, A.C.**  
INSTITUCIÓN PRIVADA

**Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. (FMCN)**

Damas 49, Col. San José Insurgentes, C.P. 03900, Benito Juárez, Ciudad de México.

[www.fmcn.org](http://www.fmcn.org)

**Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (Centro Geo)**

Contoy 137, Col. Lomas de Padierna, Alcaldía Tlalpan, CP. 14240, México, CDMX.

[www.centrogeo.org.mx](http://www.centrogeo.org.mx)

**Autora**

Helena Cotler

**Coordinación Institucional:**

Renée González, FMCN

Graciela Reyes Retana, FMCN

Juan Manuel Frausto, FMCN

Rossana Landa, FMCN

Denice Lugo, FMCN

Helena Cotler, Centro Geo

**Coordinación Técnica y Editorial:**

Rossana Landa y Denice Lugo

**Fotografía**

Helena Cotler

**Diseño gráfico**

Marcela Rivas

[marcerivasg@gmail.com](mailto:marcerivasg@gmail.com)

**Para citar este documento:**

Cotler, Helena (2020). *Manual para evaluar la erosión de los suelos en zonas forestales*.

Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C., México.

ISBN 978-607-99061-0-8

# Contenido

I. Introducción	3
II. ¿Cómo muestreamos los suelos?	7
III. ¿Cómo muestreamos la cubierta del suelo?	8
IV. ¿Cómo muestreamos el espesor del mantillo?	10
V. ¿Cómo medimos los pedestales?	12
VI. ¿Cómo medimos las terracetas?	13
VII. ¿Cómo medimos los surcos?	14
VIII. ¿Cómo medimos las cárcavas?	16
IX. ¿Cómo muestreamos cuánto suelo perdemos a través del uso de estacas de erosión?	18
X. ¿Qué hacemos para evitar la erosión?	20
XI. Bibliografía	21
Anexo 1: Formatos de campo	22
a) Suelo-cobertura	23
b) Espesor del mantillo	24
c) Pérdida de suelo a través de los pedestales	25
d) Pérdida de suelo a través de las terracetas	26
e) Pérdida de suelo a través de los surcos	27
f) Pérdida de suelo a través de las cárcavas	28
g) Pérdida de suelo a través de las estacas	29
Anexo 1: Ejemplos	30
Ejemplo Suelo-cobertura	31
Ejemplo Espesor del mantillo	32
Ejemplo Pérdida de suelo a través de los pedestales	33
Ejemplo Pérdida de suelo a través de las terracetas	34
Ejemplo Pérdida de suelo a través de los surcos	35
Ejemplo Pérdida de suelo a través de las cárcavas	36
Ejemplo Pérdida de suelo a través de las estacas	37



# I. Introducción

**M**éxico es reconocido como uno de los 17 países megadiversos del planeta. Esta megadiversidad nos enorgullece, pero también nos convoca a proteger el vital y extraordinario patrimonio natural del que somos responsables.

Uno de los caminos para hacerlo es monitorear la situación y las tendencias de nuestra biodiversidad, con el objetivo de contar con datos periódicos y sistemáticos que guíen la toma de decisiones respecto a su manejo y conservación. Lograrlo requiere un esfuerzo participativo y multidisciplinario, basado no solamente en información científica, sino también en el conocimiento tradicional que los ejidos y las comunidades tienen de los ecosistemas forestales que existen en las tierras de las que son propietarios.

El monitoreo de los suelos es una herramienta imprescindible para conocer su estado de salud. Los suelos son el punto de partida de toda la vida en el planeta. En ellos se llevan a cabo funciones ecológicas esenciales como la captación y el almacenamiento de agua, la captura de carbono, el reciclaje de nutrientes, el mantenimiento de la biodiversidad y el sostén para la vegetación. Además, constituyen un recurso que puede tardar cientos o miles de años en formarse, pero que se encuentran fuertemente amenazados por procesos de erosión, contaminación, acidificación, compactación, salinización y pérdida de su biodiversidad, derivados principalmente de las actividades humanas. La recuperación de los suelos y de sus funciones ecológicas es uno de los retos ambientales más serios que enfrenta el planeta, por lo cual su monitoreo debe convertirse en un quehacer estratégico dentro de nuestras metas de conservación para incidir efectivamente en la protección de los ecosistemas y de los servicios ambientales que nos brindan.

El manual que tienes en tus manos te permitirá monitorear el estado de tus suelos y evaluar si las acciones de manejo realizadas están ayudando a disminuir la erosión en los ecosistemas forestales.

*La formación de un suelo puede tardar cientos de años, sin embargo, su mal manejo puede promover su erosión en muy poco tiempo.*

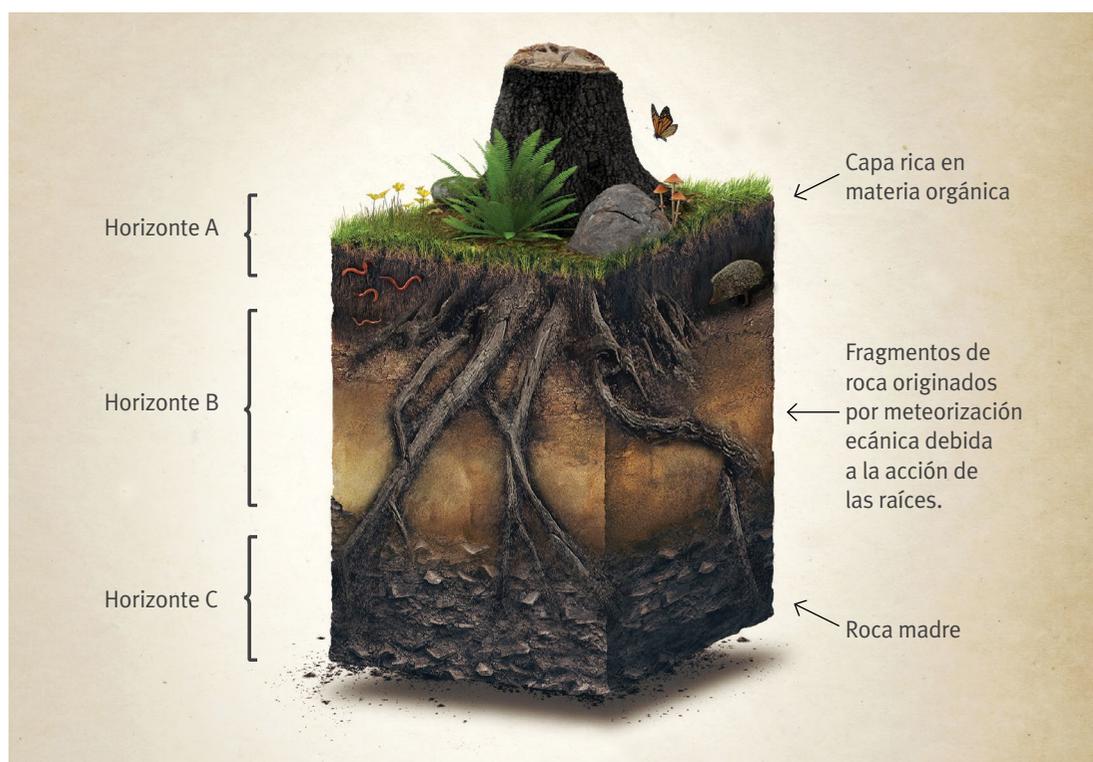
## LOS SUELOS

Los suelos están compuestos de distintas capas llamadas horizontes (Figura 1), los cuales están formados por minerales (producto de la alteración de la roca), materia orgánica (material vegetal descompuesto), aire y agua.

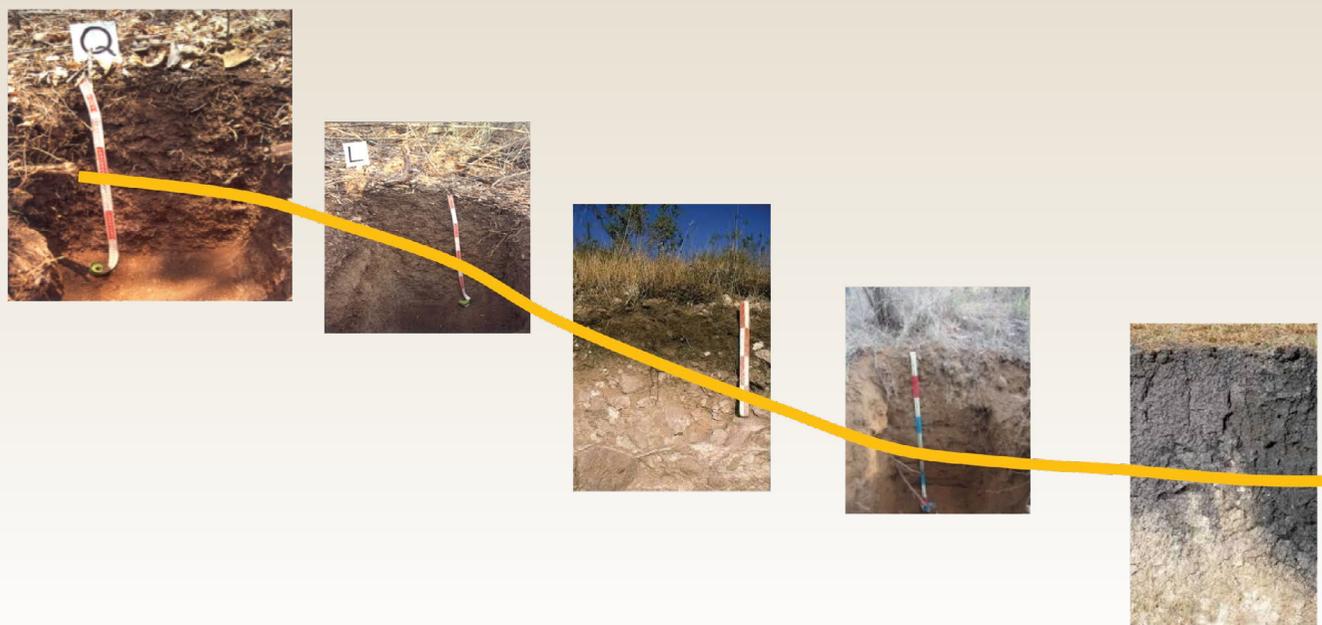
El horizonte A es el más superficial. Tiene un color más oscuro que los otros horizontes, debido a la acumulación y la descomposición de la materia orgánica. Esta característica favorece la retención de la humedad, los nutrientes y la presencia de lombrices y otros microorganismos (actividad biológica).

El horizonte B contiene un poco de materia orgánica de la superficie y cuando incluye arcilla adquiere colores más rojizos; cuando no hay arcilla, entonces presenta colores claros.

El horizonte C está constituido por material rocoso fragmentado y alterado. En la capa más profunda encontramos la roca madre sobre la cual se desarrolla el suelo.



**FIGURA 1.** Perfil de donde se observan los diferentes horizontes de los que está compuesto el suelo.



**FIGURA 2.**  
Perfil de los  
suelos a lo largo  
de una ladera.

La formación de los suelos varía en el tiempo, el espacio y a lo largo del paisaje (Figura 2), pero siempre resulta de la combinación del clima (temperatura, lluvia y viento), la actividad de los organismos vivos, el relieve (pendiente y orientación), el tipo de roca madre y el tiempo. Como consecuencia, sus características varían de un lugar a otro y sus propiedades cambian. Por eso, algunos suelos son más profundos, otros pueden ser más pedregosos, otros arcillosos, etc.

Los suelos son importantes pues cumplen distintas funciones en el ecosistema, ya que infiltran y retienen agua, brindan soporte y nutrientes para la vegetación, constituyen el hábitat para una gran diversidad de organismos (conocida como fauna edáfica) y capturan carbono.

En zonas forestales, la descomposición de hojas y raíces incorporan materia orgánica y nutrientes a los suelos. La materia orgánica incrementa la porosidad y permite retener más humedad. En época seca, estos suelos proporcionan el agua y los nutrientes necesarios para que las plantas sobrevivan.

Uno de los principales componentes de la materia orgánica que se almacena en los suelos es el carbono. Suelos bien conservados acumulan o “capturan” carbono y se evita la emisión de carbono a la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que es un gas de efecto invernadero y uno de los principales componentes que causa el cambio climático.

La erosión provoca que los suelos se compacten, pierdan materia orgánica, nutrientes y capacidad de retener agua. En síntesis, suelos erosionados son suelos de menor calidad que no permiten mantener todas las funciones de los suelos, como retención de humedad, conservar nutrientes, mantener profundidad de enraizamiento, entre otros.



### *¿Para qué evaluar la erosión?*

El monitoreo de la erosión alerta sobre aquellos sitios donde estamos perdiendo suelo y nos permite conocer cuán degradado está nuestro terreno. Con esa información podemos implementar acciones y saber si las condiciones del suelo mejoraron después de nuestra intervención.

**FIGURA 3.** Ladera con rasgos de erosión.

## ¿POR QUÉ SE EROSIONAN LOS SUELOS?

6

La erosión hídrica (por el agua) ocurre cuando las gotas de agua de la lluvia caen sobre un suelo desnudo (que no tiene ningún tipo de cobertura). Estas gotas de agua rompen los terrones o agregados del suelo y desprenden partículas que pueden tapan los poros de suelo o bien pueden ser transportados por flujos de agua a lo largo de la ladera. Este proceso arrastra de manera diferencial a las partículas, es decir que arrastra primero las partículas pequeñas (arcillas, materia orgánica, limos) causando un deterioro de la estructura del suelo, de su capacidad nutricional, y su capacidad de retener agua.

Un proceso similar es causado por el viento, el cual también puede romper agregados y transportarlos, empobreciendo al suelo.

La erosión de suelos genera en el paisaje distintas formas geométricas, las cuales pueden medirse directamente en campo y sirven como referencia (línea base) para saber si nuestros bosques se están erosionando.

## II. ¿Cómo muestreamos los suelos?

Mediante este manual muestrearemos los suelos a través de métodos de reconocimiento, es decir, procedimientos demostrativos, sencillos y de bajo costo que brindan una primera aproximación confiable sobre la erosión en un lugar determinado.

El muestreo se realizará a lo largo de un transecto, sobre el cual se identificarán visualmente los rasgos de erosión dominantes (no siempre se encontrarán todas las formas de erosión). Estos rasgos serán explicados

a detalle más adelante. Una vez ubicados los sitios representativos en ellos se dispondrán las unidades de muestreo y sus repeticiones.

**Todas las medidas se realizarán dos veces al año, una medición en época de secas y una medición acabando la época de lluvias.**

Los métodos de muestreo a realizar se resumen en el siguiente cuadro:

**CUADRO 1. Registros, ubicación, equipo necesario y recomendaciones para el muestreo.**

Registro	Equipo	Método de muestreo
<b>Cubierta del suelo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuadrante de PVC de un metro cuadrado (o ramas y longímetro)</li> <li>• Cámara fotográfica</li> <li>• Formato de campo</li> </ul>	A lo largo de un transecto de 1 a 3 km se elegirán cinco unidades de muestreo de 1 m <sup>2</sup> cada una, buscando que representen la situación de la cobertura del suelo en ese paisaje. En ellas se estimará el porcentaje de suelo cubierto.
<b>Espesor del mantillo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuadrante de PVC de un metro cuadrado</li> <li>• Pala de jardinería (o ramas y longímetro)</li> <li>• Flexómetro, regla graduada o vernier en centímetros</li> <li>• Formato de campo</li> </ul>	En las cinco unidades de muestreo determinadas para el punto anterior (Cubierta del suelo) se estimará el espesor del mantillo. En cada unidad se harán cuatro muestras.
<b>Pedestales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexómetro o regla graduada en centímetros</li> <li>• Formato de campo</li> </ul>	A lo largo del transecto (1 a 3 km), en las zonas donde se observen pedestales, se delimitarán zonas de muestreo de 1 m <sup>2</sup> y se medirá la altura del pedestal. Se elegirán tres zonas y en cada una medir hasta un máximo de 10 pedestales.
<b>Terracetas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexómetro o regla graduada en centímetros</li> <li>• Formato de campo</li> </ul>	A lo largo del transecto (1 a 3 km), en las zonas donde se observen terracetas, se delimitarán zonas de muestreo de 1 m <sup>2</sup> y se medirá la altura de la terraceta. Se elegirán tres zonas y en cada una medir hasta un máximo de 10 terracetas
<b>Surcos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexómetro o longímetro en centímetros</li> <li>• Formato de campo</li> </ul>	A lo largo del transecto se identificará la presencia de surcos. Un máximo de 10 surcos serán medidos.
<b>Cárcavas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Longímetro</li> <li>• Clinómetro</li> <li>• Formato de campo</li> </ul>	A lo largo del transecto se identificará la presencia de cárcavas. Un máximo de 5 cárcavas serán medidas.
<b>Estacas de erosión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexómetro o regla graduada en centímetros</li> <li>• Estacas de madera de 30 centímetros</li> <li>• Formato de campo</li> </ul>	En las cinco unidades de muestreo determinadas para el primer punto (Cubierta del suelo) se establecerán las estacas de erosión. Tres estacas por cada unidad.

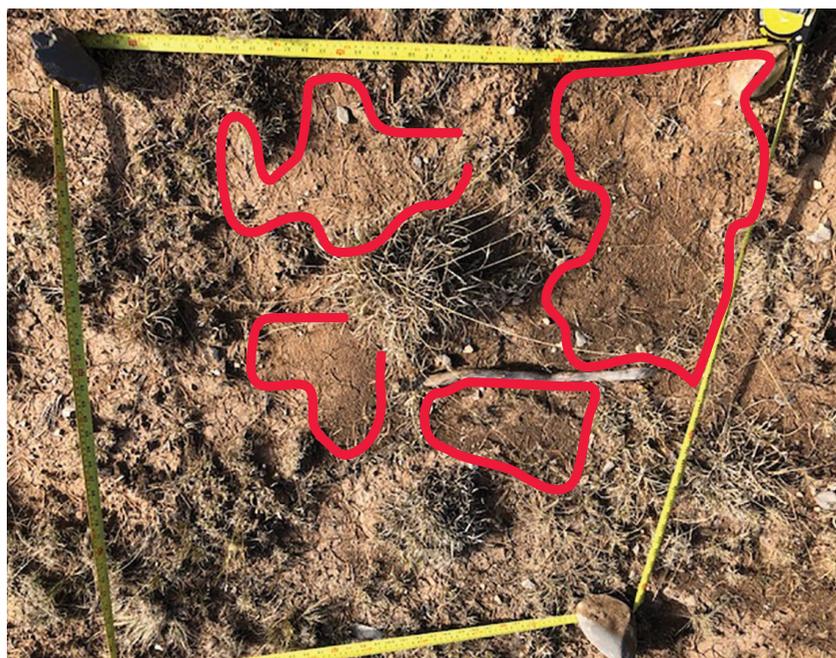
Antes de salir a campo, los brigadistas deben planear sus actividades, revisar el equipo y verificar su funcionamiento.

## III. ¿Cómo muestreamos la cubierta del suelo?

Para realizar el muestreo de la cubierta del suelo, elegiremos a lo largo del transecto, cinco zonas de muestreo que serán delimitadas mediante un cuadrante de un metro por lado que abarque una superficie de un metro cuadrado.

De preferencia las zonas de muestreo deben estar distribuidas a lo largo del transecto, no juntas.

Sugerimos construirlo con tubos y codos de PVC de media pulgada (a falta de este material se puede utilizar material del sitio, como ramas y un longímetro). Con la cámara digital, fotografiar cada una de las cinco zonas desde arriba.

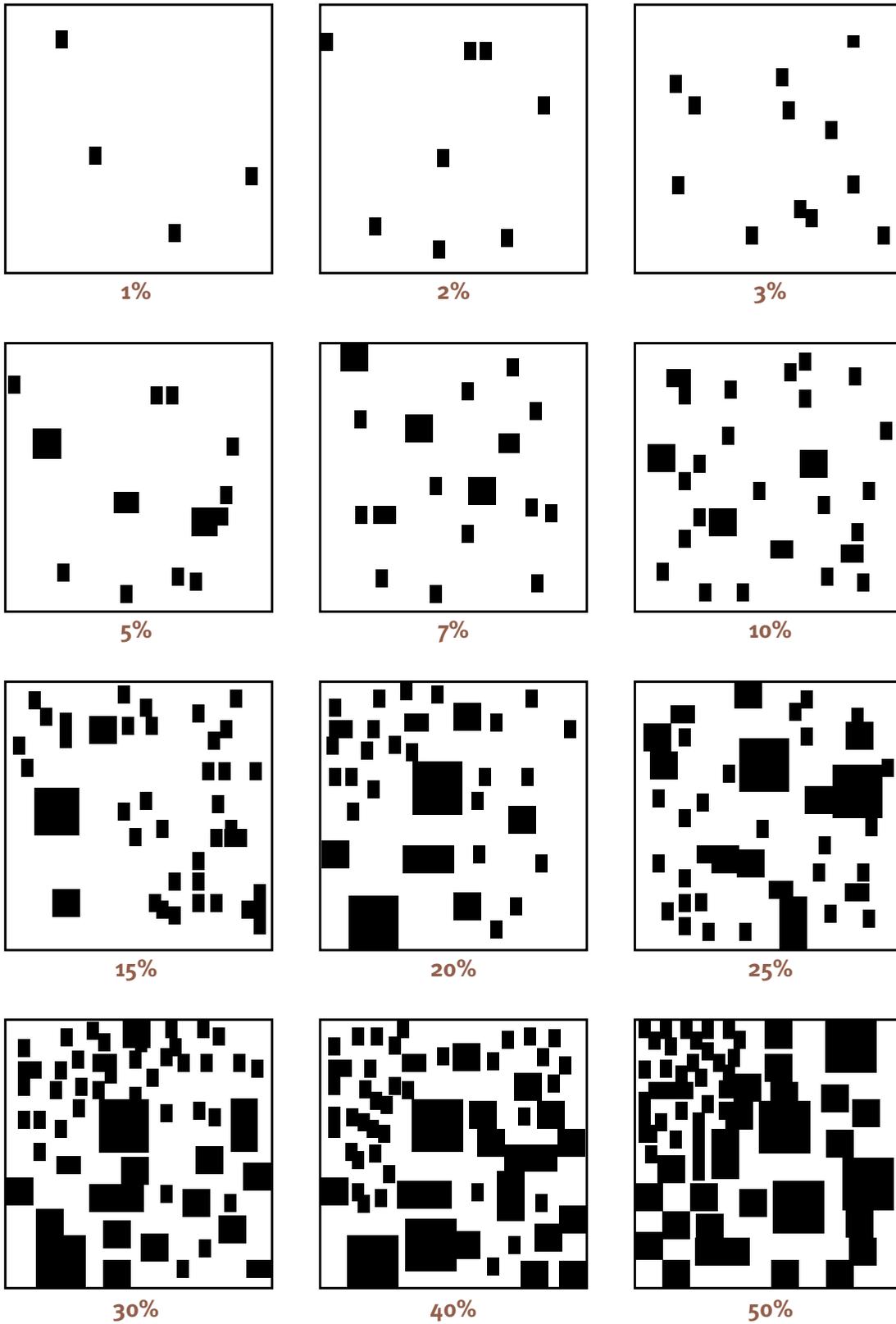


**FIGURA 4.** Porcentaje de suelo desnudo dentro del cuadrante, que en este ejemplo equivale al 40% del total de la superficie.

Registrar la siguiente información en el formato **Cubierta del suelo** (Anexo 1):

- **Clave de la zona de muestreo**
- **Fecha:** día en el que se realiza la actividad en formato día/mes/año (p. ej. 16/02/2020).
- **Nombre completo** de quien captura la información o realiza la actividad.
- **Uso de suelo:** actividades que predominan en el sitio (agrícola de riego, agrícola de temporal, pecuario, forestal).
- **Porcentaje de suelo desnudo:** proporción del suelo que no está cubierto por ningún tipo de vegetación, rocas u otro material respecto de la superficie delimitada en la zona de muestreo. La estimación puede realizarse a través de la Figura 5.
- **Porcentaje de suelo cubierto por vegetación:** proporción del suelo cubierto por algún tipo de vegetación (hojarasca, ramas, pasto, hierba, arbustos, árboles jóvenes) respecto de la superficie delimitada por el cuadrante.

**FIGURA 5.** Láminas comparativas para estimar cubrimiento de suelo (Siebe et al. 2006).



## IV. ¿Cómo muestreamos el espesor del mantillo?



10

**E**l mantillo es la capa que cubre al suelo, formada principalmente por hojas de árboles y arbustos, frutas, semillas y pequeñas ramas en diferente grado de descomposición (Figura 6).

**FIGURA 6.**

Vista de mantillo.

Para realizar el muestreo del espesor del mantillo se elegirán a lo largo del transecto cinco zonas de muestreo de 1 m<sup>2</sup> cada una, que representen la situación de la cobertura del suelo en ese paisaje, en ellas se estimará el porcentaje de suelo cubierto. De preferencia las zonas de muestreo deben estar distribuidas a lo largo del transecto, no juntas.

En cada zona los y las brigadistas medirán con una regla el espesor del mantillo (Figura 7) en cada una de las esquinas del cuadrante. El mantillo es la capa más superficial del suelo, de color café oscuro, donde podremos observar a simple vista restos en descomposición de ramas, hojas y otros materiales orgánicos.

## *Las buenas prácticas de manejo del suelo promueven la conservación del mantillo e incluso incrementan su espesor.*

La información se registrará en el formato **Espesor del mantillo** (Anexo 1), que incluye los siguientes datos:

- **Clave de la zona de muestreo**
- **Fecha:** día en el que se realiza la actividad en formato día/mes/año (p. ej. 16/02/2020).
- **Nombre completo** de quien captura la información o realiza la actividad.
- **Espesor del mantillo en cada cuadrante:** medida en centímetros de la capa de mantillo en las cuatro esquinas del cuadrante de la Unidad de Muestreo (p. ej. 0.1 cm, 1.7 cm). La medición de cero se pone en la superficie del suelo y se mide hacia arriba el espesor de las hojas (Figura 7).
 

**Recomendación: inclinarse casi a ras del suelo para tomar las medidas.**
- **Espesor total del mantillo:** suma del espesor de mantillo en las cinco zonas a lo largo del transecto (p. ej. UM<sub>1</sub> = 0.5 cm; UM<sub>2</sub> = 1.2 cm; UM<sub>3</sub> = 0.6 cm; UM<sub>4</sub> = 1.0 cm; UM<sub>5</sub> = 0.8 cm; TOTAL = 4.1 cm).
- **Espesor promedio del mantillo:** dividir la suma del espesor de mantillo entre el número total de zonas, que serán 5 (p. ej. 4.1 cm ÷ 5 unidades = 0.8 cm).

A continuación, se describen varios rasgos de erosión hídrica (pedestales, terracetas, exposición de raíces, surcos, cárcavas) que se forman debido a la acción del agua sobre el suelo. Es importante acotar que estas características pueden darse de manera simultánea en un área determinada.

Estos rasgos nos permiten estimar la cantidad de suelo que se ha perdido en un área determinada; sin embargo, rara vez podremos conocer la temporalidad del proceso, o la tasa anual de pérdida de suelo. Este último dato se podrá analizar a través del conocimiento local o bien a través del uso de estacas de erosión (también descrito más adelante).



**FIGURA 7.** Medición del espesor del mantillo.

## V. ¿Cómo medimos los pedestales?

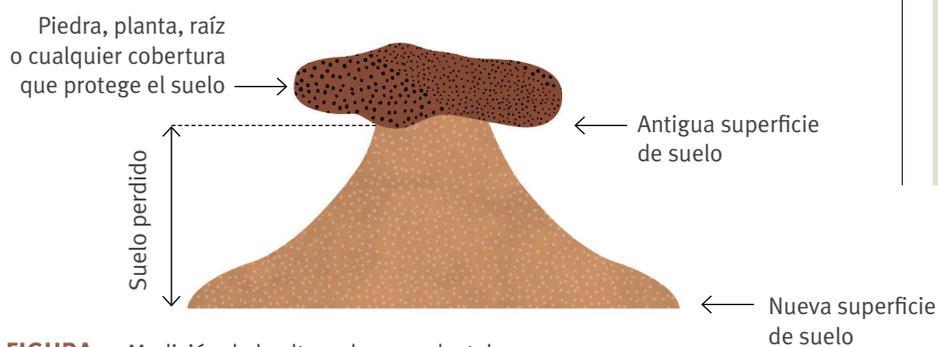
Un pedestal es una porción de suelo protegida del impacto de las gotas de la lluvia por una superficie dura, como una piedra, un tronco seco, una raíz o algún otro material que la protegió de la erosión (Figura 8). Su altura permite deducir la profundidad aproximada de suelo que se ha erosionado.



**FIGURA 8.** Ejemplos de pedestales en campo.

Con apoyo de una regla o flexómetro, se medirá en centímetros cada uno de los pedestales que encuentre dentro de la zona de muestreo. La altura se mide desde el suelo hasta la base de la piedra, tronco seco, raíz u otro material que cubre o tapa al pedestal en su parte más alta (Figura 9). La altura del pedestal representa el suelo perdido.

12



**FIGURA 9.** Medición de la altura de un pedestal.

La información se registra en el formato **Pérdida de suelo a través de los pedestales** (Anexo 1), que incluye:

- **Clave de la zona de muestreo.**
- **Fecha:** día en el que se realiza la actividad en formato día/mes/año (p. ej. 16/02/2020).
- **Nombre completo** de quien captura la información o realiza la actividad.
- **Altura del pedestal:** medida en centímetros entre el suelo y la base de la piedra, tronco seco, raíz u otro material que cubre o tapa al pedestal.
- **Altura total de los pedestales:** suma de la altura de todos los pedestales registrados (p. ej.  $P_1 = 5 \text{ cm}$ ;  $P_2 = 2 \text{ cm}$ ;  $P_3 = 6 \text{ cm}$ ;  $TOTAL = 13 \text{ cm}$ ).
- **Altura promedio de los pedestales:** dividir la suma de las alturas de los pedestales entre el número total de pedestales registrados (p. ej.  $13 \text{ cm} \div 3 \text{ pedestales} = 4.3 \text{ cm}$ ).

## VI. ¿Cómo medimos las terracetitas?



FIGURA 10. Ejemplos de terracetitas.

Las terracetitas son desniveles que se presentan en una ladera, ocasionadas por la compactación del suelo debida al paso continuo de ganado (Figura 10). A nivel de ladera, las terracetitas pueden conformar un paisaje singular, también es conocido como “pie de vaca” (Figura 11).

Con apoyo de la regla o el flexómetro, se medirá la altura en centímetros de cada una de las terracetitas presentes en las tres zonas de muestreo. Estas zonas las elegirán los y las brigadistas a lo largo del transecto, evitando que las zonas estén juntas. La altura se mide desde la base de la terracetita hasta la superficie actual del suelo.



FIGURA 11. Ladera con “pie de vaca”.

Esta información se registra en el formato **Pérdida de suelo a través de las terracetitas** (Anexo 1), que incluye:

- **Clave de la zona de muestreo.**
- **Fecha:** día en el que se realiza la actividad en formato día/mes/año (p. ej. 16/02/2020).
- **Nombre completo** de quien captura la información o realiza la actividad.
- **Altura de la terracetita:** medida en centímetros entre el suelo y la base de la terracetita.
- **Altura total de las terracetitas:** suma de la altura de todas las terracetitas registradas (p. ej.  $T_1 = 1 \text{ cm}; T_2 = 2 \text{ cm}; T_3 = 1.5 \text{ cm}; T_4 = 0.8 \text{ cm}; \text{TOTAL} = 5.3 \text{ cm}$ ).
- **Altura promedio de las terracetitas:** dividir la suma de las alturas de las terracetitas entre el número total de terracetitas registradas (p. ej.  $5.3 \text{ cm} \div 4 \text{ terracetitas} = 1.3 \text{ cm}$ ).

## VII. ¿Cómo medimos los surcos?

Los surcos son canales, con una profundidad inferior a 20 centímetros. Generalmente se encuentran alineados a la pendiente principal. Son resultado del escurrimiento de agua durante varias temporadas, y en general, se presentan en áreas donde el suelo está poco cubierto o desnudo. Son considerados un tipo de erosión severa.

En el recorrido del transecto, los y las brigadistas deben ir observando a su alrededor para identificar donde se encuentran los surcos y elegir 10 de ellos.

Con ayuda del flexómetro o el longímetro, se determinará, en centímetros, el largo, el ancho y la profundidad de un máximo de 10 surcos presentes a lo largo del transecto (Figura 12).

Posteriormente se deberá multiplicar los datos de profundidad, largo y ancho del surco para obtener el volumen de cada surco. Luego se debe estimar la densidad aparente<sup>1</sup>. La multiplicación del volumen por la densidad aparente nos permitirá obtener el peso del suelo perdido (Anexo 1).

La estimación de la densidad aparente puede realizarse de dos formas:

1. Identificar el valor de densidad aparente que mejor se aplique al área de trabajo en función de la cubierta del suelo y del uso

### CUADRO 2. Valores estimados de densidad aparente.

	Densidad aparente media (ton/m <sup>3</sup> )	Rango típico de densidad aparente (ton/m <sup>3</sup> )
Suelo bien cubierto por mantillo	1.0	0.9-1.1
Suelo con mantillo superficial y ocasional paso de ganado	1.2	1.1-1.3
Suelo desnudo, con presencia de ganado	1.4	1.3-1.7

<sup>1</sup> La densidad aparente relaciona un volumen conocido de suelo con su peso. De este modo puede conocerse el espacio poroso del suelo y estima su grado de compactación.



**FIGURA 12.** Medición de la profundidad, el ancho y el largo de un surco.

2. A partir de una evaluación cualitativa en el campo siguiendo los sucesivos pasos: (Siebe et al. 2006).

En el lugar donde se hará la medición de los surcos, se excava un pequeño hoyo en el suelo (20 cm de lado x 40 cm en otro lado y 20 cm de profundidad), dejando las paredes lo más rectas posibles. Se toma una muestra de suelo y se determina la textura del suelo (suelta es arenosa, pegajosa es arcillosa, harinosa es limosa, si hay mezcla de todas las anteriores se denomina franca).

Se introduce una cuchilla o navaja en una de las paredes y se realiza la siguiente evaluación. Así, por ejemplo, si para meter el cuchillo se necesita mucha fuerza y si la textura es arcillosa, entonces el valor estaría entre 1.6 a 1.8, podría elegirse la mitad: 1.7.

La información se captura en el formato **Pérdida de suelo a través de los surcos** (Anexo 1), que incluye:

- **Clave de la zona de muestreo.**
- **Fecha:** día en el que se realiza la actividad en formato día/mes/año (p. ej. 16/02/2020).
- **Nombre completo** de quien captura la información o realiza la actividad.
- **Profundidad del surco:** medida en centímetros de la profundidad del surco.
- **Ancho del surco:** medida en centímetros del ancho del surco.
- **Largo del surco:** medida en centímetros de la longitud del surco.
- **Volumen del surco:** multiplicación de la profundidad, ancho y largo del surco para conocer el volumen de suelo que se ha perdido.
- **Convertir el volumen de suelo perdido en toneladas por hectárea.** Para ello se multiplica el volumen del surco x una hectárea (10,000 m<sup>2</sup>) x la densidad aparente (ton/m<sup>3</sup>).

**CUADRO 3.** Valores estimados de densidad aparente para suelo seco.

Característica (válido para suelo seco)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )			
	Arenas y limos	Francos	Arcillosos	Evaluación
El cuchillo sólo se puede introducir bajo fuerzas mayores, el suelo casi no se desmorona.	1.9 a 2.1	1.8 a 1.9	1.6 a 1.8	Alta
El cuchillo sólo se introduce con dificultad 1 a 2 cm en el suelo, la muestra se desmorona en pocos fragmentos que sólo se pueden partir con la mano con dificultad.	1.8	1.6	1.4	Mediana
El cuchillo se puede introducir en el suelo con poco esfuerzo, la muestra se desmorona en pocos fragmentos, los cuales pueden partirse con la mano en fragmentos más pequeños.	1.6	1.4	1.2	
Al presionar suavemente el suelo se desmorona en muchos fragmentos.	1.4	1.2	1.0	Baja
La muestra se desmorona totalmente al tomarla con la mano, se ven muchos poros gruesos y muy gruesos.	1.2	<1.0		

**Nota:** la unidad de medida de la densidad aparente puede ser g/cm<sup>3</sup> o ton/m<sup>3</sup>, es lo mismo. Además, se tomará una fotografía en donde se observen los surcos registrados.

## VIII. ¿Cómo medimos las cárcavas?



**FIGURA 13.** Ejemplos de cárcavas.

Una cárcava es una depresión profunda, mayor a 30 cm, causada por un flujo concentrado de agua que puede formar un barranco en una ladera. Las cárcavas tienen formas distintas, a veces son muy profundas y angostas, otras veces pueden ser anchas y poco profundas.

Para saber si la cárcava sigue creciendo, antes de hacer alguna acción, se puede poner alguna referencia en el borde de la cárcava, pueden ser piedras o estacas pintadas. Si con el tiempo éstas caen significa que la cárcava sigue creciendo y eso debe ayudarnos a mejorar nuestro método de control de erosión (Figura 14).

Se medirá en metros la profundidad, el ancho del borde superior, el ancho del borde inferior y el largo de cada una de las cárcavas.

Si el tamaño de la cárcava lo permite se puede hacer la medición de la profundidad al centro de la cárcava directamente con un longímetro. Si no, medirá la profundidad de la cárcava utilizando el clinómetro.

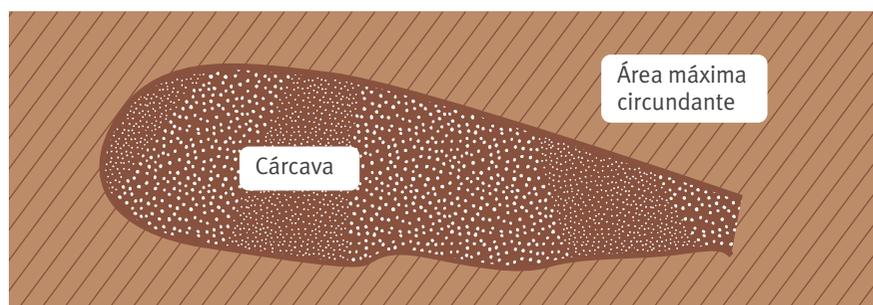
Posteriormente se medirá además la longitud de la cárcava en su parte más larga con apoyo del longímetro. Si la longitud de la cárcava supera el longímetro, ésta deberá estimarse. La longitud y el área de la cárcava permitirán calcular el volumen de suelo perdido en metros cúbicos, a través de la siguiente fórmula:

**volumen de suelo perdido** = área de la cárcava x longitud de la cárcava

Si la longitud de la cárcava es de 200 metros, el ejemplo se representa de la siguiente manera:

**volumen de suelo perdido** = 74.9 x 200 = 14 980 m<sup>3</sup>

Posteriormente se convierte el volumen de suelo perdido al área donde se formó la cárcava. Este valor corresponde al área máxima circundante a la cárcava, como se muestra en la siguiente figura:



Volumen perdido de suelo (m<sup>3</sup>) ÷ área circundante máxima (m<sup>2</sup>)  
 $80 \text{ m}^3 \div 250,000 \text{ m}^2 = 0.05992 \text{ m}^3/\text{m}^2$

Finalmente, la multiplicación por la densidad aparente (ver cálculo en ¿cómo medimos los surcos?) permitirá convertir el volumen de suelo perdido a tonelada por hectárea.

Suelo perdido (m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>) x hectárea x densidad aparente (ton /m<sup>3</sup>)  
 $0.05992 \times 10,000 \times 1.2 = 719.04 \text{ ton/ha}$



La información se registra en el formato **Pérdida de suelo a través de las cárcavas** (Anexo 1), que incluye:

- **Clave de la zona de muestreo.**
- **Fecha:** día en el que se realiza la actividad en formato día/mes/año (p. ej. 16/02/2020).
- **Nombre completo** de quien captura la información o realiza la actividad.
- **Profundidad de la cárcava:** medida en metros de la profundidad de la cárcava.
- **Ancho del borde superior de la cárcava:** medida en metros del ancho de la cárcava a nivel del suelo (nivel del suelo original).
- **Ancho del borde inferior de la cárcava:** medida en metros del ancho de la cárcava en el nivel más bajo del suelo (nivel del suelo actual dentro de la cárcava).
- **Área de la cárcava:** medida en metros cuadrados de la superficie que ocupa la cárcava.

**FIGURA 14.** Representación de la ubicación de las estacas o rocas pintadas en los límites de una cárcava.

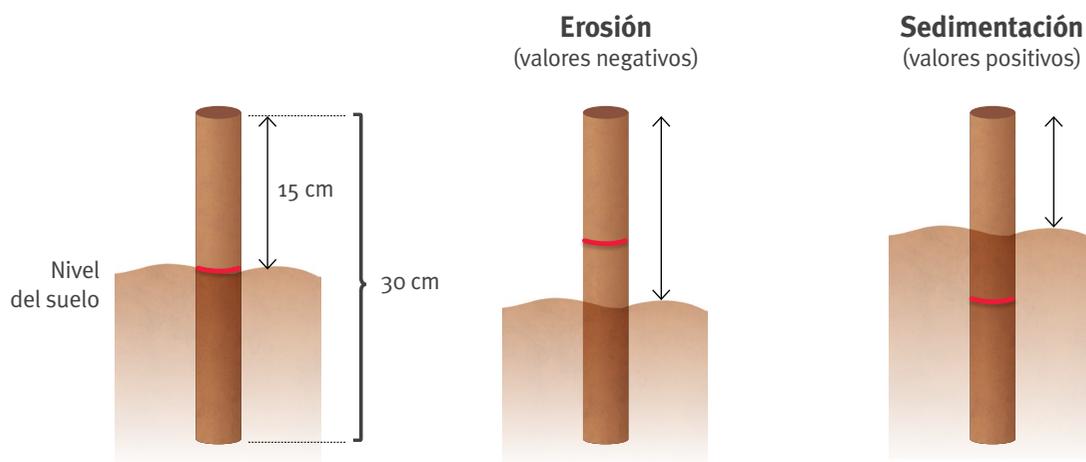
# IX. ¿Cómo muestreamos cuánto suelo perdemos a través del uso de las estacas de erosión?

A través de las medidas anteriores podemos conocer la cantidad de suelo que ha sido removido, aunque sin saber el tiempo que ha tomado esta remoción.

Para identificar el tiempo se pueden utilizar algunos insumos, como estacas.

La colocación de estacas o varillas –ya sea de madera, acero o cualquier otro material que no se deteriore– constituye un método ampliamente utilizado para registrar la erosión del suelo a lo largo del tiempo.

Se utilizará estacas de 30 centímetros colocadas al azar en cinco unidades de muestreo. Antes de poner las estacas en el suelo se marcan con plumón indeleble el contorno de cada estaca a exactamente a los 15 centímetros de altura. Posteriormente las estacas serán clavadas de tal forma que la marca y la superficie del suelo coincidan (Figura 15).



**FIGURA 15.** Estacas marcadas. La estaca de la izquierda, de 30 centímetros de largo y enterrada firmemente, presenta la marca a 15 centímetros al nivel del suelo. La estaca del centro muestra que el suelo se encuentra por debajo de la marca, es decir, ha habido un proceso de erosión. La estaca de la derecha ejemplifica que el nivel del suelo se encuentra sobre la marca de la estaca, es decir, hay un proceso de sedimentación que también es resultado de la erosión y el arrastre de material hacia este sitio.



Las zonas donde se instalan las estacas deben estar libres de paso de gente y de ganado para evitar movimientos de estacas y pueden quedarse por tiempo indefinido, de modo de evaluar el efecto de las prácticas de manejo.

Cada vez que se acuda a las zonas de muestreo se revisarán las estacas y se medirán, con apoyo de la regla graduada o el flexómetro, la distancia en centímetros que hay entre el suelo y el borde de la estaca.

Si la longitud entre el suelo y el borde de la estaca aumenta (es mayor que 15 centímetros), significa que estamos perdiendo suelo y registraremos la medida con un signo negativo (p. ej. -15.8 cm). Si la longitud entre el suelo y el borde de la estaca disminuye (es menor que 15 cm), quiere decir que estamos acumulando sedimento y registraremos la medida con un signo positivo (+13 cm).

La información se registra en el formato **Cárcavas** (Anexo 1), que incluye:

- **Clave de la zona de muestreo.**
- **Fecha:** día en el que se realiza la actividad en formato día/mes/año (p. ej. 16/02/2020).
- **Nombre completo** de quien captura la información o realiza la actividad.
- **Profundidad de la cárcava:** medida en metros de la profundidad de la cárcava.
- **Ancho del borde superior de la cárcava:** medida en metros del ancho de la cárcava a nivel del suelo (nivel del suelo original).
- **Ancho del borde inferior de la cárcava:** medida en metros del ancho de la cárcava en el nivel más bajo del suelo (nivel del suelo actual dentro de la cárcava).
- **Área de la cárcava:** medida en metros cuadrados de la superficie que ocupa la cárcava.

# X. ¿Qué hacemos para evitar la erosión?

Ahora conocemos que el suelo es un recurso que tarda muchísimo tiempo en generarse, por lo que su pérdida es irreparable y los efectos sobre la salud de los ecosistemas son inmediatos. Ahora cuentas con las herramientas necesarias para evaluar si tu terreno forestal presenta algún signo de erosión y tomar algunas medidas al respecto. Son muchas las prácticas que puedes implementar para reducir la erosión del suelo:



## Mantén la vegetación y evita el suelo desnudo

Ayuda a que las plantas, pastos, arbustos y árboles del sitio se reproduzcan.

Esto lo podemos lograr evitando o minimizando la entrada de animales de pastoreo al lugar o restringiendo aquellas actividades que tienen un impacto negativo sobre la vegetación. Las plantas cubrirán el suelo, reduciendo la erosión por viento y lluvia, y las raíces ayudarán a sujetarlo. Si nada crece por sí solo, puedes plantar leguminosas o vegetación de rápido crecimiento que se desarrolle en sitios cercanos (p. ej. frijol, lenteja, haba, chícharo, cacahuete, trébol, mezquite, huizache, maguey, nopal, entre otros). Estas plantas son capaces de fijar nitrógeno atmosférico, por lo que ayudan a la fertilidad de los suelos, y sus flores son llamativas en cuanto a forma y colores, atrayendo polinizadores. Evita a toda costa plantar especies que no sean de la zona, ya que podríamos introducir individuos que compitan con las especies locales y reduzcan la biodiversidad de tu terreno.



## Barreras de material vegetativo (todo lo relacionado con una planta, por ejemplo ramas, tronco, hojas, etc.)

El material acumulado para minimizar incendios puede disponerse de manera perpendicular a la pendiente, de forma lineal o bien escalonado. Este material retendrá sedimentos, productos de la erosión de suelos, al tiempo que su descomposición incorpora materia orgánica al suelo.



## Crea barreras vivas

Una fila de arbustos, árboles u otras plantas (p. ej. magueyes, nopales) colocada en contra de la pendiente protege el suelo al reducir la velocidad del viento y del agua, disminuyendo la erosión.



## Integra composta o abono orgánico

Este material absorbe agua y retiene la humedad, evitando la erosión por viento y ayudando a que las plantas tengan agua disponible durante la época seca. Además, es un sustrato lleno de nutrientes que promoverá el crecimiento de la vegetación y el desarrollo de la fauna edáfica.



## Brechas cortafuegos

Evita realizarlas en el sentido de la pendiente, tratar en lo posible que tengan un ángulo inclinado. Evita excavar allí donde hay surcos o cárcavas que son indicadores de suelos susceptibles de erosionarse.



## Obras en suelo

Evita remover, excavar o cualquier tipo de disturbio en suelos que ocasione la ruptura de agregados. Las obras como zanjas, bordos y excavaciones similares deben ser evaluadas cuidadosamente, y ser realizadas sólo ante la inexistencia de suelos y en zonas áridas y semiáridas (Cotler et al. 2015).

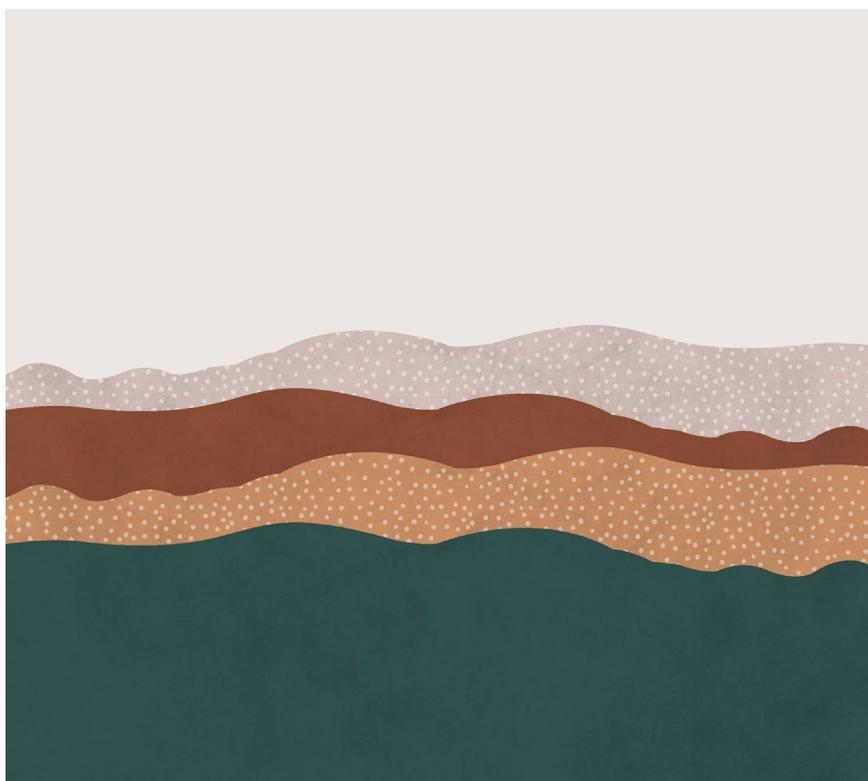
# XI. Bibliografía

Cotler H., S. Cram, Martínez-Trinidad S., Bunge V. (2015). *Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas trinchera*. Investigaciones Geográficas 88:6-18. [dx.doi.org/10.14350/ig.47378](https://doi.org/10.14350/ig.47378)

Hudson, N.W. (1977). "Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía", *Boletín de suelos de la FAO* 68. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, Roma.

Siebe C., Stahr J. (2006). *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. 2a edición. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México.

Stocking, M. y Murnaghan, N. (2003). *Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra*. Ediciones Mundi-Prensa.



# ANEXO 1: FORMATOS DE CAMPO

## A) CUBIERTA DEL SUELO

Lugar		Fecha (día/mes/año)	
Coordenadas		Autor (a)	
Unidades		Porcentaje (%) de suelo cubierto	
	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
	6		
	7		
	8		
	9		
	10		
	Suma		
	Promedio		

## B) ESPESOR DEL MANTILLO

Lugar	Fecha (día/mes/año)
Coordenadas	Autor (a)
Número de medida	Espesor de mantillo (cm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
Suma de todas las medidas	
Promedio (cm)	

## C) PÉRDIDA DE SUELO A TRAVÉS DE LOS PEDESTALES

Lugar	Fecha (día/mes/año)
Coordenadas	Autor (a)
Número de medida	Altura de pedestal (mm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
Suma de todas las medidas	
Promedio (mm)	

## D) PÉRDIDA DE SUELO A TRAVÉS DE LAS TERRACETAS

Lugar	Fecha (día/mes/año)
Coordenadas	Autor (a)
Número de medida	Altura de terracetas (cm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
Suma de todas las medidas	
Promedio (cm)	

## EJ PÉRDIDA DE SUELO A TRAVÉS DE LOS SURCOS

<b>Lugar</b>		<b>Fecha</b> (día/mes/año)	
<b>Coordenadas</b>		<b>Autor (a)</b>	

Medidas	Ancho (cm)	Profundidad (cm)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
Suma de todas las medidas		
Promedio (cm)		

### CÁLCULO

Determinar Longitud del surco (m)

Determinar o estimar área en la que se ha formado el surco (estimada en campo)

#### ÁREA DE CAPTACIÓN DEL SURCO:

##### 1. Si la forma del surco es triangular

(a) Volumen del surco:  $\frac{1}{2}$  ancho x profundidad (m)

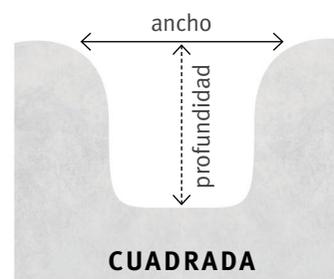
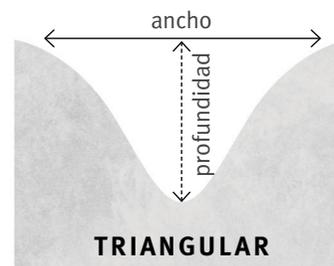
(b) Volumen de suelo perdido: volumen del surco (m<sup>3</sup>) x longitud del surco (m)

(c) Convertir volumen total perdido en m<sup>2</sup> del área en la que se formó el surco:  
 Volumen de suelo perdido (m<sup>3</sup>) ÷ área del surco = suelo perdido m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

(d) Convertir el volumen de suelo perdido en toneladas por hectárea:  
 Suelo perdido (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) x 10,000 m<sup>2</sup> x densidad aparente (ton/m<sup>3</sup>) =

##### 2. Si la forma del surco es cuadrada, solo cambia la primera fórmula:

(a) Ancho x profundidad



## F) PÉRDIDA DE SUELO A TRAVÉS DE LAS CÁRCAVAS

<b>Lugar</b>		<b>Fecha</b> (día/mes/año)	
<b>Coordenadas</b>		<b>Autor (a)</b>	

<b>Medidas</b>	<b>Ancho del borde superior (m) - A1</b>	<b>Ancho en la base (m) - Ab</b>	<b>Profundidad (m)</b>
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Suma de todas las medidas			
Promedio (cm)			

### CÁLCULO

28

Determinar Longitud de la cárcava

Estimar área de la zona donde se forma la cárcava (estimada en campo)

- (a) Calcular el área de la cárcava  
**(Ancho superior + ancho inferior) x profundidad**
- (b) Calcular el volumen de suelo perdido de la cárcava  
**Área de cárcava x longitud**
- (c) Convertir el volumen de suelo perdido al área donde se formó la cuenca  
**Volumen perdido de suelo (m<sup>3</sup>) ÷ área de cuenca (m<sup>2</sup>)**
- (d) Convertir el volumen de suelo perdido a hectárea  
**Suelo perdido (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) x hectárea x densidad aparente (ton/m<sup>3</sup>)**

## G) PÉRDIDA DE SUELO A TRAVÉS DE LAS ESTACAS

<b>Lugar</b>		<b>Fecha</b> (día/mes/año)	
<b>Coordenadas</b>		<b>Autor (a)</b>	

Número de medida	Altura (cm)		Promedio
	Tiempo 1	Tiempo 2	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Suma de todas las medidas			
Promedio (cm)			

Recuerda si la distancia entre el suelo y la punta de la estaca ha aumentado (es mayor que 15 cm), quiere decir que estamos perdiendo suelo y registramos la longitud con un signo negativo (p. ej. -15.8 cm). Si la longitud entre el suelo y la punta de la estaca ha disminuido (es menor que 15 cm), quiere decir que estamos acumulando sedimento y el valor de la longitud se registra con un signo positivo (+13 cm).

**Pérdida de suelos (ton/ha) = altura promedio pedestal x área (ha) x densidad aparente**

# ANEXO 2: EJEMPLOS

## EJEMPLO - CUBIERTA DEL SUELO

Lugar		Fecha (día/mes/año)	
Coordenadas		Autor (a)	
Unidades		Porcentaje (%) de suelo cubierto	
	1		10
	2		15
	3		15
	4		20
	5		15
	6		25
	7		30
	8		35
	9		20
	10		10
	Suma		195
	Promedio		19.5

## EJEMPLO - ESPESOR DEL MANTILLO

Lugar	Fecha (día/mes/año)
Coordenadas	Autor (a)
Número de medida	Espesor de mantillo (cm)
1	2.1
2	3.2
3	2
4	4
5	3.7
6	2.9
7	1.7
8	4.5
9	3.5
10	2.6
11	3.7
12	5.0
13	3.9
14	4.1
15	2.8
16	1.9
17	2.4
18	3.1
19	3.6
20	4.1
Suma de todas las medidas	64.8
Promedio (cm)	3.24

## EJEMPLO - PÉRDIDA DE SUELO A TRAVÉS DE LOS PEDESTALES

Lugar	Fecha (día/mes/año)
Coordenadas	Autor (a)
Número de medida	Altura de pedestal (mm)
1	4
2	5
3	6
4	3
5	7.5
6	5.5
7	6.2
8	4.5
9	8
10	6
11	4
12	9
13	2
14	5
15	7
16	4
17	8
18	4
19	5
20	6
Suma de todas las medidas	109.7
Promedio (mm)	5.49

### CÁLCULO-EJEMPLO:

$$\begin{aligned}
 \text{Pérdida de suelos (ton/ha)} &= \text{Altura promedio pedestal} \times \text{área (ha)} \times \text{densidad aparente} \\
 &= 0.00549 \text{ m} \times 10,000 \text{ m}^2 \times 1.2 \text{ ton/m}^3 \\
 &= 65.88 \text{ ton/ha}
 \end{aligned}$$

## EJEMPLO - PÉRDIDA DE SUELO A TRAVÉS DE LAS TERRACETAS

Lugar	Fecha (día/mes/año)
Coordenadas	Autor (a)
Número de medida	Altura de terracetos (cm)
1	7
2	4
3	3
4	6
5	2
6	5
7	4
8	4
9	4
10	3
11	2
12	6
13	8
14	10
15	12
16	4
17	4.5
18	6.5
19	7
20	5
Suma de todas las medidas	107
Promedio (cm)	5.35

### CÁLCULO-EJEMPLO:

$$\begin{aligned}
 \text{Pérdida de suelos (ton/ha)} &= \text{Altura promedio terracetos} \times \text{área (ha)} \times \text{densidad aparente} \\
 &= 0.0535 \text{ m} \times 10,000 \text{ m}^2 \times 1.2 \text{ ton/m}^3 \\
 &= 642 \text{ ton/ha}
 \end{aligned}$$

## EJEMPLO - PÉRDIDA DE SUELO A TRAVÉS DE LOS SURCOS

<b>Lugar</b>		<b>Fecha</b> (día/mes/año)	
<b>Coordenadas</b>		<b>Autor (a)</b>	

Medidas	Ancho (cm)	Profundidad (cm)
1	15	145
2	5	152
3	8	181
4	7	127
5	10	112
6	12	123
7	7	134
8	13	144
9	17	134
10	8	128
11	21	121
Suma de todas las medidas	312	2690
Promedio (cm)	3.12	26.9

### CÁLCULO-EJEMPLO:

Longitud del surco (m) = 4.5 (medido en campo)

Área en la que se ha formado el surco (estimada en campo) = 12 m<sup>2</sup>

### ÁREA DE CAPTACIÓN DEL SURCO:

#### 1. Si la forma del surco es triangular

(a) Volumen del surco:  $\frac{1}{2}$  ancho x profundidad (m) =  $0.134 \times 0.0312 = 0.0041$  m<sup>3</sup>

(b) Volumen de suelo perdido:

Volumen de surco x longitud del surco =  $0.0041$  m<sup>3</sup> x 4.5 m =  $0.0184$  m<sup>3</sup>

(c) Convertir volumen total perdido en m<sup>3</sup> del área en la que se formó el surco

Volumen de suelo perdido (m<sup>3</sup>) ÷ área del surco = suelo perdido m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

$0.0184$  m<sup>3</sup> ÷ 12 m<sup>2</sup> =  $0.00153$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

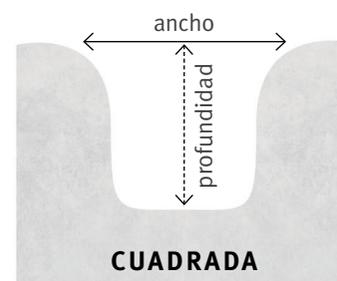
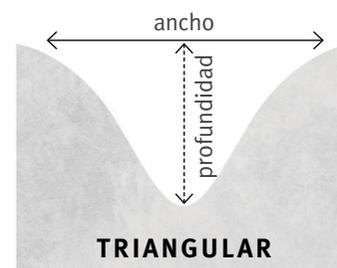
(d) Convertir el volumen de suelo perdido en toneladas por hectárea

Suelo perdido (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) x 10,000 m<sup>2</sup> x densidad aparente (ton/m<sup>3</sup>) =

$0.00153$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x 10,000 m<sup>2</sup> x 1.5 = 18.45 ton/ha

#### 2. Si la forma del surco es rectangular, solo cambia la primera fórmula:

(a) Ancho x profundidad



## EJEMPLO - PÉRDIDA DE SUELO A TRAVÉS DE LAS CÁRCAVAS

<b>Lugar</b>		<b>Fecha</b> (día/mes/año)	
<b>Coordenadas</b>		<b>Autor (a)</b>	

Medidas	Ancho del borde superior (m) - A1	Ancho en la base (m) - Ab	Profundidad (m)
1	10	4	2.3
2	12	5	2.3
3	11	4	3.1
4	12	3	2.7
5	9	4	3.1
6	9	6	2.8
7	11	4	3.2
8	9	7	2.9
9	10	4	2.5
10	12	2	2.1
11	14	3	3.1
12	9	5	3.4
13	9	4	3.4
14	11	4	3.5
15	10	4	3.1
16	9	6	2.8
17	8	5	2.7
18	10	7	2.6
19	11	5	2.1
20	8	4	3.1
Suma de todas las medidas	204	90	56.8
Promedio (cm)	10.2	4.5	2.84

36

### CÁLCULO-EJEMPLO:

Longitud de la cárcava (estimada o medida en campo) = 200 m

Área de la zona donde se forma la cárcava (estimada en campo) = 250,000 m<sup>2</sup>

- Calcular el área de la cárcava:  $\frac{1}{2} (\text{Ancho superior } (A_1) + \text{Ancho de la base } (A_b)) \times \text{Profundidad}$   
 $\frac{1}{2} (10.2 + 4.5) \times 2.84 = 20.87 \text{ m}^2$
- Calcular el volumen de suelo perdido de la cárcava asumiendo su longitud es de 200 m: Área de cárcava x longitud  
 $20.87 \text{ m}^2 \times 200 \text{ m} = 4,174.8 \text{ m}^3$
- Convertir el volumen de suelo perdido al área donde se formó la cuenca: Volumen perdido de suelo (m<sup>3</sup>) ÷ área de cuenca (m<sup>2</sup>)  
 $4,174.8 \text{ m}^3 \div 250,000 \text{ m}^2 = 0.01669 \text{ m}^3/\text{m}^2$
- Convertir el volumen de suelo perdido a hectárea: Suelo perdido (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) x hectárea x densidad aparente (ton/m<sup>3</sup>)  
 $0.01669 \times 10,000 \times 1.2 = 200.28 \text{ ton/ha}$

## EJEMPLO - PÉRDIDA DE SUELO A TRAVÉS DE LAS ESTACAS

<b>Lugar</b>		<b>Fecha</b> (día/mes/año)	
<b>Coordenadas</b>		<b>Autor (a)</b>	

Número de medida	Altura (cm)		Promedio
	Tiempo 1	Tiempo 2	
1	-1	+2	+1
2	-4	-2	-6
3	-3	+1	-2
4	-2	-2	-4
5	-2	-2	-4
6	+2	+1	+3
7	-4	+1	-3
8	+4	-2	+2
9	-3	-1	-4
10	+3	-1	+2
Suma de todas las medidas			-15
Promedio (cm)			-1.5

- Los números negativos (-) indican pérdida y números positivos (+) indican sedimentación

### CÁLCULO-EJEMPLO:

$$\begin{aligned}
 \text{Pérdida de suelos (ton/ha)} &= \text{Altura promedio pedestal} \times \text{área (ha)} \times \text{densidad aparente} \\
 &= 0.015 \text{ m} \times 10,000 \text{ m}^2 \times 1.2 \text{ ton/m}^3 \\
 &= 180 \text{ ton/ha}
 \end{aligned}$$







Enero, 2021  
CIUDAD DE MÉXICO





ISBN: 978-607-99061-0-8



9 786079 906108