



UNIVERSIDAD DE
TALCA

InnovaChile
CORFO

Manual de Diseño para Obras de Recuperación y Conservación de Aguas y Suelos



**Roberto Pizarro T.
Carolina Morales C.
Leonardo Vega T.
Francisco Balocchi C.**

Manual de manejo de suelos para la restauración hidrológica forestal y oasisificación

Registro de propiedad intelectual n° 186.903

ISBN 978 - 956 - 332 - 340 - 5

Este manual ha sido financiado por INNOVA-CORFO para el proyecto “Restauración Hidrológico Forestal y Oasificación: Herramientas claves para el aumento de la productividad de los suelos degradados de la Región de Coquimbo”.

Talca, diciembre de 2009

Agradecimientos a Dirección de Comunicaciones Universidad de Talca.

Manual de Diseño

para Obras de Recuperación y
Conservación
de Aguas y Suelos

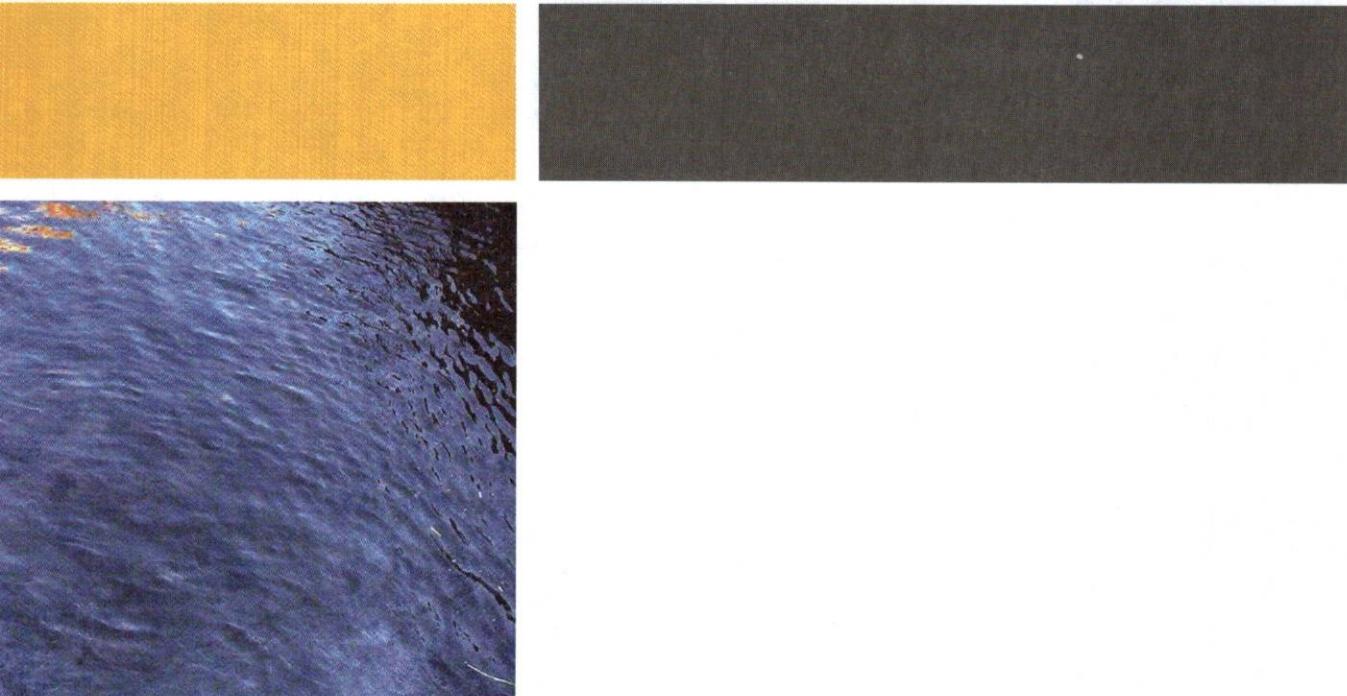
Autores:

Roberto Pizarro Tapia
Carolina Morales Calderón
Leonardo Vega Torres
Francisco Balocchi Contreras



índice.

0. Prólogo.....	5
1. Introducción	7
2. Canales de Evacuación de Aguas Lluvias.....	9
2.1. Consideraciones Generales de Construcción.....	11
2.2. Diseño Hidrológico de Canales de Evacuación de Aguas Lluvias.....	11
2.2.1. Diseño con velocidad de Agua Conocida.....	12
2.3. Pasos para la Construcción de un Canal de Evacuación frente a procesos de formación de cáravas	16
3. Zanjas de Infiltración.....	19
3.1. Consideraciones del Diseño de Zanjas.....	21
3.2. Diseño Hidrológico de una Zanja de Infiltración	22
3.3. Pasos para la Construcción de una Zanja de Infiltración.....	24
4. Terrazas de Infiltración de Agua.....	27
4.1. Consideraciones del Diseño de Terrazas de Infiltración.....	29
4.2. Tipos de Terrazas de Infiltración.....	30
4.3. Diseño Hidrológico de Terrazas de Infiltración.....	31
4.4. Pasos para la Construcción de Terrazas de Infiltración.....	34



Prólogo

El presente manual tiene como finalidad dar a conocer una serie de técnicas para minimizar los procesos erosivos de carácter hídrico, así como favorecer mecanismos de infiltración del agua y de recuperación de los suelos que presentan mayor degradación. De esta forma, se pretende colaborar en la restauración del ambiente y el paisajismo con técnicas probadas en el campo de la Ingeniería Forestal, y que han sido validados por los investigadores del grupo EIAS, Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos, de la Universidad de Talca, validaciones que han tomado lugar en distintas parte del país y particularmente en la Región de Coquimbo.

Asimismo, este manual se presenta en el marco del proyecto “Restauración Hidrológico Forestal y Oasificación: Herramientas claves para el aumento de la productividad de los suelos degradados de la Región de Coquimbo”, financiado por INNOVA – CORFO, y dirigido por la Sra. Susana Benedetti, directora del proyecto e investigadora del Instituto Forestal, y el Sr. Roberto Pizarro, director alterno, académico e investigador de la Universidad de Talca.

El objetivo general del proyecto es aumentar la productividad forestal, agrícola y ganadera de áreas degradadas y desertificadas de la Región de Coquimbo, mediante técnicas y propuestas ligadas a la restauración hidrológico forestal y a la oasificación en zonas prioritarias de actuación. Este proyecto ha tomado lugar entre los años 2006 y 2009.

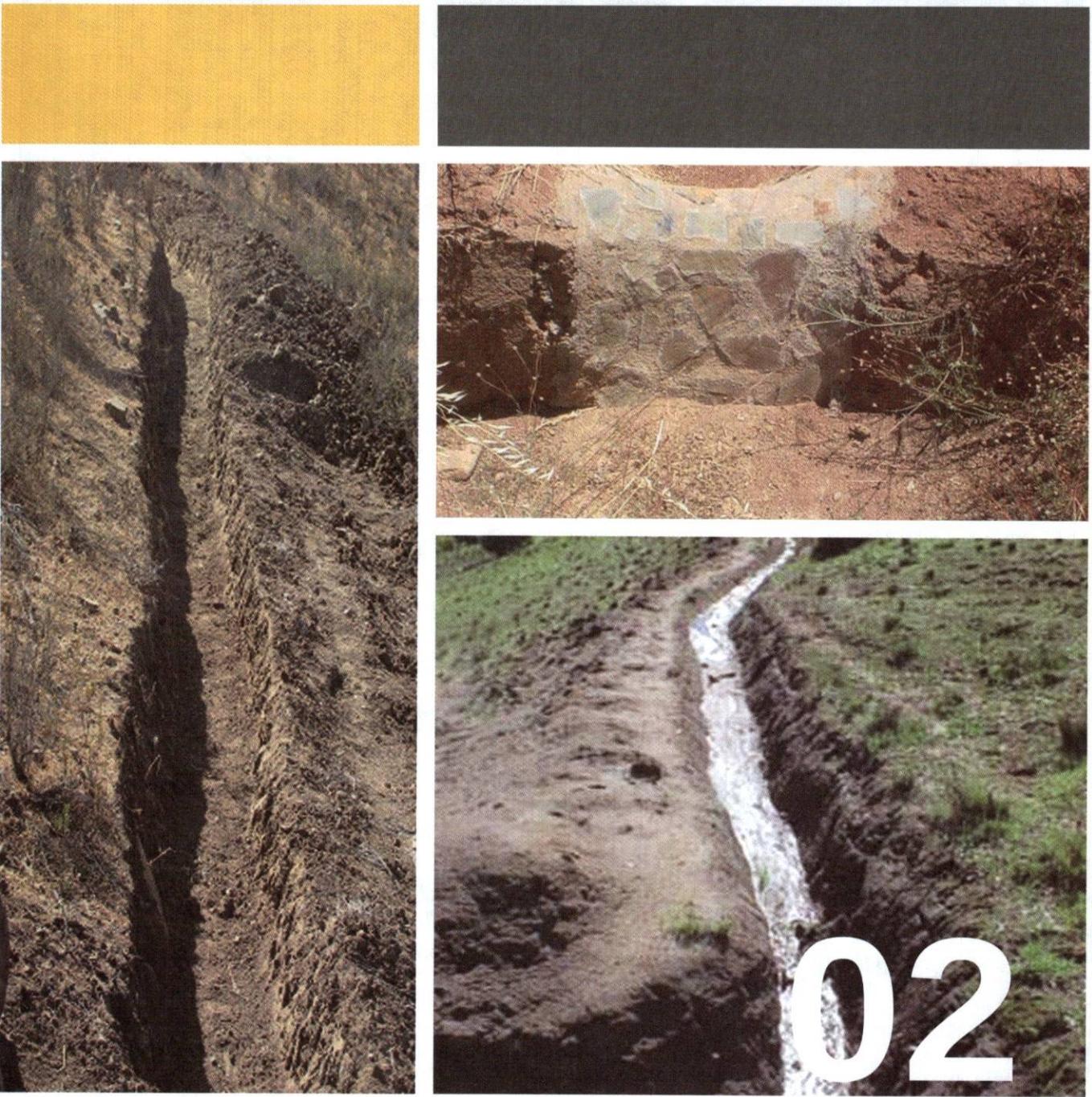


Introducción

En las distintas actividades de desarrollo de áreas rurales, que abordan las instituciones y organismos públicos, adquiere una singular importancia el accionar que pueda llevarse a cabo con el recurso hídrico, toda vez que infiere especiales limitantes al desarrollo de estas áreas y máxime si se trata de zonas áridas y semiáridas. La erosión de los suelos en Chile es considerada uno de los problemas ambientales más significativos del sector silvoagropecuario. Dicha problemática está asociada a una disminución de la productividad y la fertilidad edáfica, provocada por una baja retención tanto del agua como del suelo, cuya tendencia a escurrir se manifiesta en mayor medida en terrenos con pendientes pronunciadas.

La incorporación de las técnicas de conservación de aguas y suelos demanda un importante esfuerzo técnico y económico, por lo que los conocimientos referentes a esta temática y los estudios que se han realizado al respecto, son insuficientes para abordar la amplia problemática involucrada.

En función de lo expuesto, el presente documento pretende entregar una visión pragmática acerca del diseño y construcción de distintas obras de conservación y recuperación de suelos y aguas. Esto, dirigido principalmente a sectores semiáridos de Chile, en especial a la región de Coquimbo, y que tiene por objetivo ofrecer nuevas tecnologías de conservación de aguas y suelos, que permitan actuaciones más acordes con el medio ambiente físico y social, y que hagan posible acercarse hacia un desarrollo sostenible.



Canales de Evacuación de Aguas Lluvias

2.1. Consideraciones Generales de Construcción

La construcción de este tipo de canal se realiza en forma transversal a la pendiente, siguiendo las curvas de nivel o con un pequeño desnivel que en general se recomienda no sea superior al 1%. Este tipo de obra es de gran utilidad para aquellas zonas donde las lluvias son muy intensas, y se presentan suelos muy pesados, poco permeables y donde después de cada lluvia se produce un gran escorrimiento superficial de agua.

2.2. Diseño Hidrológico de Canales de Evacuación de Aguas

Lo primero que debe considerarse al momento de diseñar un canal es el tipo de sección transversal que se elegirá, para llevar a cabo el proceso de diseño. Así, la forma que puede tener un canal puede ser muy variada, pero la más adecuada es la sección trapezoidal (ver figura 1), ya que ofrece las mejores perspectivas de construcción, en función de diseño, replanteo y aspectos de costos.

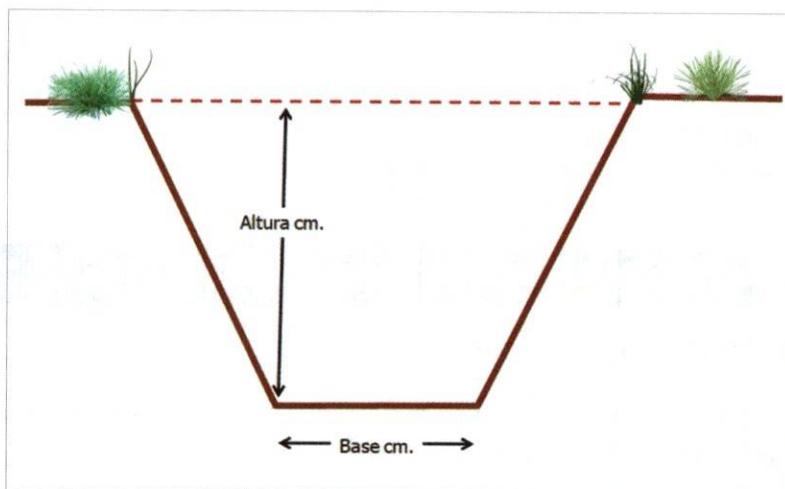


Figura 1: Canal con sección trapezoidal

donde:

h = Altura canal (cm).

b = Base canal (cm).

α = Ángulo del talud con respecto a la vertical.

l = Longitud de talud (cm).

A continuación se definen los elementos de diseño de un canal trapezoidal, mediante una metodología ampliamente utilizada, que se basa en la ecuación de continuidad y en la ecuación de Manning, entre otros aspectos.

Así, un efectivo diseño deberá contemplar la maximización del valor del radio hidráulico, definido como el cuociente entre el área de la sección (A) y el perímetro mojado (P_m).

$$R = \frac{A}{P_m}$$

De esta manera, se desprende que el radio ideal estará definido por el perímetro mojado mínimo, situación que llega a definir para este caso.

$$R = \frac{h}{2}$$

donde:

R = es el radio hidráulico.

h = Corresponde al tirante o altura efectiva del canal.

2.2.1. Diseño con velocidad de agua conocida

a. Cálculo del caudal a conducir

El caudal a ser encauzado por una obra hidráulica de este tipo, es una información fundamental en el diseño. Así:

$$Q = C * I * A$$

donde:

Q = Caudal de aportación al canal (m³/s).

C = Coeficiente de escorrentía.

I = Intensidad de precipitaciones (mm/hr).

A = Área de aportación (m²).

b. Cálculo de la sección del canal

Si se considera que, en términos generales, el caudal se define como el producto de la sección del canal y la velocidad del agua, se aprecia que el elemento restante para validar la definición de la sección, lo constituye la velocidad del agua. Así:

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

donde:

A = Es la sección del canal (m²); Q es el caudal en m³/s.

V = Es la velocidad en m/s.

Ahora bien, la velocidad del agua involucrada es aquella que sea máxima en función del tipo de superficie que posea el canal, de tal manera que no sea erosiva. Dicha velocidad máxima puede ser determinada en la tabla de Agres y Scoates (1939), citada por Ciancaglini (Cuadro 1).

Cuadro 1. Velocidades máximas permitidas en canales (Agres y Scoates, 1939, aumentada con valores de Foster, 1967)

Material	Velocidad (m/s)
Suelo arenoso muy suelto	0.30 - 0.45
Arena gruesa o suelo arenoso suelto	0.46 - 0.60
Suelo arenoso promedio	0.61 - 0.75
Suelo franco arenoso	0.76 - 0.83
Suelo franco aluvión o ceniza volcánica	0.84 - 0.90
Césped de crecimiento ralo o débil	0.9
Suelo franco pesado o franco arcilloso	0.90 - 1.20
Suelo con vegetación regular	1.22
Suelo arcilloso o cascajoso	1.20 - 1.50
Césped vigoroso, denso y permanente	1.52 - 1.83
Conglomerados, cascajo cementado, pizarra blanca	1.80 - 2.40
Roca dura	3.00 - 4.50
Hormigón	4.51 - 6.00

Por ende, a partir de la determinación de velocidad máxima, es posible definir la sección del canal.

c. Cálculo del tirante (h)

El tirante o altura efectiva del canal, para ser definido, necesita previamente determinar el ángulo de inclinación del talud del canal, con respecto a la vertical, dado que la formulación matemática obtenida a través de la maximización del radio hidráulico así lo determina. En este contexto, h se define como sigue:

$$h = \sqrt{\frac{A \cos \alpha}{2 - \operatorname{sen} \alpha}}$$

donde A corresponde a la sección transversal del canal y α al ángulo del talud con respecto a la vertical.

Por otra parte, el ángulo α se limita en canales de tierra, en virtud del proceso erosivo que puedan sufrir las márgenes del canal. En ese contexto, la elección del ángulo debe ser cuidadosa y en función de lo que la experiencia señale, aunque se puede recomendar que α no sea menor a 20° , en términos muy generales. De igual forma, si el canal se encuentra adecuadamente revestido, α puede asumir cualquier valor.

d. Cálculo de la base de fondo (b)

La base del canal está determinada por la siguiente expresión:

$$b = \frac{A}{h} - h * \operatorname{tg} \alpha$$

donde todos los términos son conocidos.

e. Cálculo de la longitud del talud

La longitud del talud se define como sigue:

$$I = \frac{h}{\cos \alpha}$$

Por consiguiente, el perímetro mojado es, $P = b + 2l$.

En este contexto, y en función de la expresión que consigue maximizar el radio hidráulico, es posible obtener relaciones entre α , b y l . Así se puede dar lo siguiente, en términos de ejemplo orientador a la elección del ángulo:

Si $\alpha = 36.37^\circ$, $b = l/2$

Si $\alpha = 30.00^\circ$, $b = l$

Si $\alpha = 21.47^\circ$, $b = 2l$

Si $\alpha = 16.31^\circ$, $b = 3l$

Si $\alpha = 13.00^\circ$, $b = 4l$

f. Cálculo de la pendiente del canal (s).

Aplicando la ecuación de Manning, queda,

$$Q = \frac{1}{n} * S^{1/2} * R^{2/3} * A$$

de lo que se desprende que:

$$S = \left(\frac{Q * n}{R^{2/3} * A} \right)^2$$

donde:

Q = Caudal a conducir en m³/s.

n = Coeficiente de rozamiento de Manning

S = Pendiente longitudinal del canal (m/m)

R = Radio hidráulico (m)

A = Sección transversal (m²)

El radio hidráulico se define a través de la expresión que permite su maximización, a saber,

$$R = \frac{h}{2}$$

Por lo tanto, todos los términos de la ecuación de Manning son conocidos, a excepción de S, que es la incógnita a resolver.

g. Cálculo de la revancha (r).

Con el objetivo de evitar derrames por turbulencia y oleaje del agua, se hace necesario estructurar un margen de seguridad; por ello, se adiciona a la longitud del talud, el valor "r", o revancha, que se define empíricamente como sigue:

$$R = \frac{1}{5} * h$$

o bien a través del empirismo que el constructor posea para este tipo de obras.

2.3. Pasos para la Construcción de un Canal de Evacuación frente a procesos de formación de cárcavas.

- a) Se debe comenzar analizando la situación que se presenta en el terreno para identificar si se hace necesaria su realización. Entonces, se debe observar si se presentan situaciones como formación de cárcavas ó quebradas, o movimientos en masa, como lo muestra la figura 2.

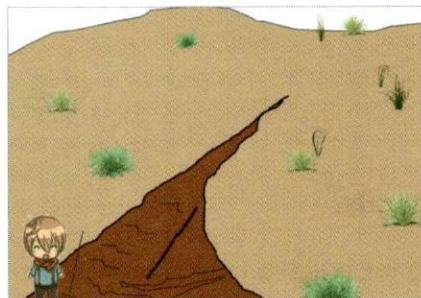


Figura 2: Formación de cárcavas

- b) Si en el terreno se presentan algunas de estas condiciones, entonces se decide por construir un canal como el que se muestra en la figura 3.

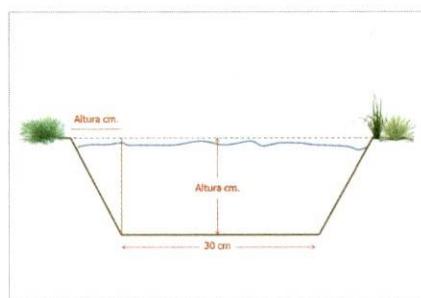


Figura 3: Esquema de un canal trapezoidal

c) Es importante considerar que el canal se debe construir aguas arriba del punto de inicio de la cárcava, a una distancia mínima de 3 metros (ver figura 4).

d) Para comenzar por la construcción del canal, se debe determinar su diseño. El primer dato que se debe obtener corresponde a la superficie de la cuenca donde se encuentra la cárcava, determinada en hectáreas (ha). Asimismo, se debe contar con la altura, la base y la longitud de talud que deberá poseer el canal a construir.

e) Con las dimensiones calculadas, ya se puede comenzar con la construcción del canal (figura 5).

f) También se hace necesario saber la extensión o largo que deberá tener el canal; para esto se recomienda que su largo no sea mayor a 100 m. Para incorporar al terreno la pendiente que debe poseer el canal durante su largo, es posible hacerlo como se muestra en la figura 6, en donde la pendiente es de 1,5 %.

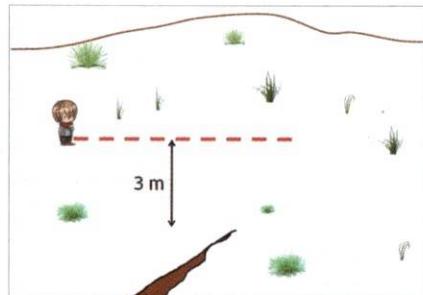


Figura 4: Distancia mínima de cárcavas

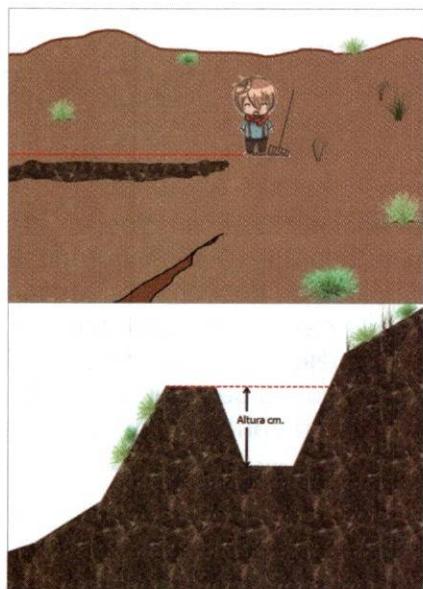


Figura 5: Construcción del canal dependiendo de la altura

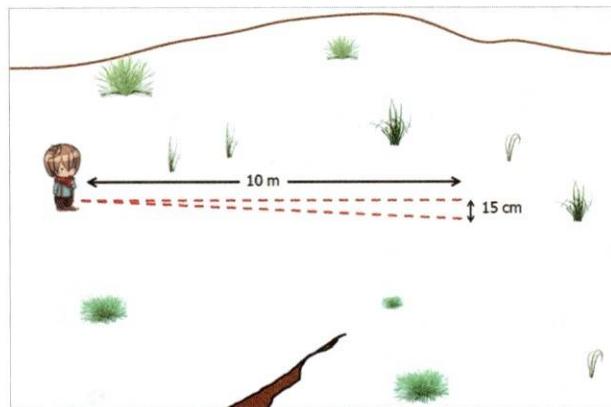
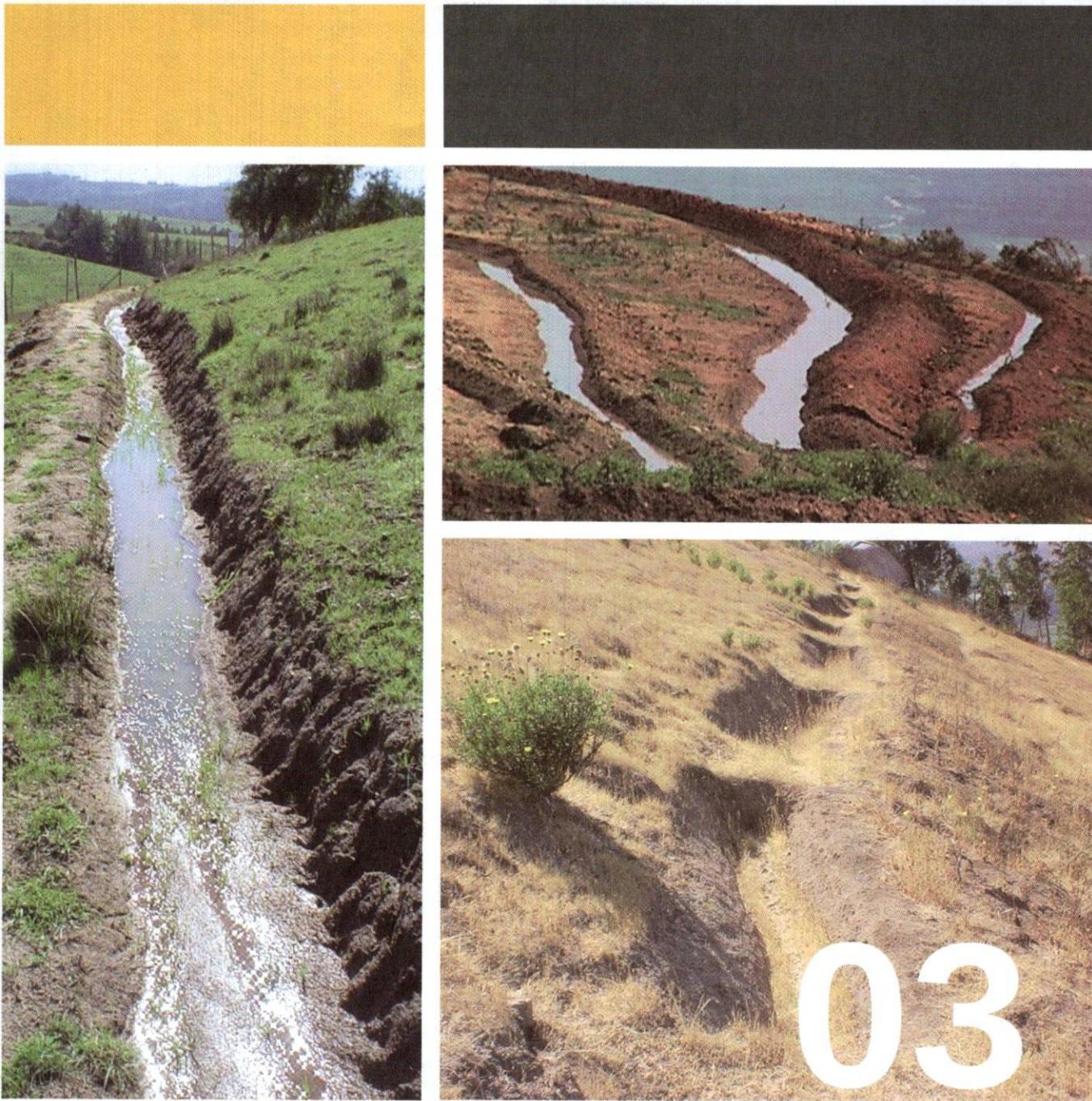


Figura 6: Por cada 10 m de largo; se debe bajar 15 cm. Esto permite mantener una pendiente constante del 1,5 %.

g) Al finalizar la construcción del canal éste podrá tener una vida útil de alrededor de 10 años, durante los cuales se deben realizar tareas como la limpieza de desechos acumulados dentro del canal, y el arranque de malezas desde dentro del canal (figura 7). Además, se pueden realizar algunas tareas para mejorar la duración y la calidad del canal, como es el caso de realizar plantaciones de plantas herbáceas (malezas) en el camellón de tierra. Esto sirve para darle mayor estabilidad y soporte al canal.



Figura 7: Construcción de Canal de Desviación en terreno



03

Zanjas de Infiltración

3.1. Consideraciones del Diseño de Zanjas

Las zanjas de infiltración (figura 8) son canales sin desnivel construidos en laderas, los cuales tienen por objetivo captar el agua que escurre, evitando procesos erosivos de manto y permitiendo así la infiltración del agua en el suelo.

El diseño de zanjas de infiltración atiende fundamentalmente a los siguientes criterios:

- a) El espaciamiento entre zanjas debe ser tal que permita un control adecuado de la erosión.
- b) La capacidad adecuada de las zanjas debe almacenar un determinado volumen de agua producido por la lluvia y favorecer el crecimiento de las plantas.



Figura 8: Zanjas de Infiltración

Las características técnicas de las zanjas de infiltración son función de las condiciones de suelo y clima de la zona donde se pretenden implementar. Algunos efectos positivos de estas obras son los siguientes:

- Aumento de la capacidad de infiltración de agua en el suelo.
- Disminución de la escorrentía del agua.
- Disminución de los procesos erosivos.

3.2. Diseño Hidrológico de una Zanja de Infiltración

El principio fundamental a la hora de diseñar las zanjas de infiltración, está en que el volumen de agua que aporta la zona aguas arriba de la zanja, conocida como zona de impluvio, debe ser menor o igual a la que capta, más la que absorbe la zanja (ver figura 9).

Así, se tiene la siguiente expresión:

$$Ve = Vo + Vi$$

donde Ve corresponde al volumen de escorrentía aportado por la zona de impluvio; Vo es el volumen de captación de la obra y Vi corresponde al volumen de infiltración, y todas estas expresiones se definen para un lapso de una hora.

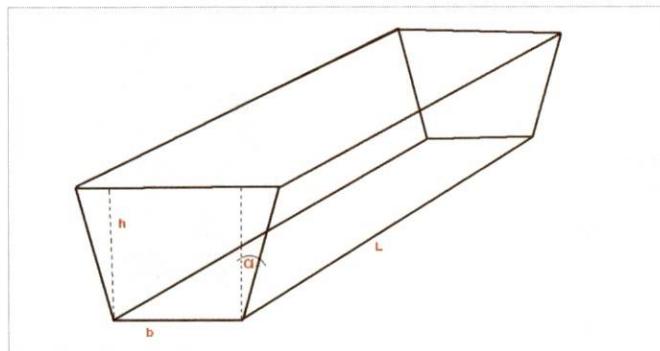


Figura 9: Diseño Zanjas de Infiltración

Las expresiones que definen cada una de las variables son las siguientes:

$$Ve = I * l * d_h * e$$

donde:

Ve: volumen de escorrentía aportado por la zona de impluvio (m³)

I: Intensidad de precipitación máxima para 1 hora (mm/h)

l: largo de la zanja (m)

dh: distancia horizontal entre zanjas de infiltración (m)

e: coeficiente de escorrentía (0,9 – 1, como factor de seguridad)

Por otra parte,

$$Vo = h * (b + htg \alpha) * l$$

donde:

Vo: volumen de captación de la obra (m³/h)

b: base de la zanja (m)

h: altura de la zanja (m)

l: largo de la zanja (m)

α: ángulo de talud con respecto a la vertical (°)

Asimismo,

$$Vi = b * l * v$$

donde:

Vi: volumen de infiltración (m³/h)

b: base de la zanja (m)

l: largo de la zanja (m)

v: velocidad de infiltración de la zanja (m/h)

Así, de cumplirse lo expuesto en la primera ecuación es posible determinar el distanciamiento entre zanjas de infiltración, de la siguiente manera:

$$Ve = Vo + Vi$$

$$I * l * d_h * e = h * (b + htg \alpha) * l + b * l * v$$

Despejando y reduciendo los términos semejantes, queda:

$$d_h = \frac{b * (h + v) + h^2 \operatorname{tg} a}{I * e}$$

donde todos los términos son conocidos.

Por otro lado, es importante destacar que la mantención de la zanja es fundamental para aumentar su vida útil; esta mantención se refiere a la limpieza del material arrastrado por el agua.

3.3. Pasos para la Construcción de una Zanja de Infiltración

a) Las líneas de zanjas deben quedar instaladas en una línea sin pendiente. Para ello, se puede utilizar el nivel de ingeniero, el nivel en A o la técnica de nivel de las mangueras con agua.

b) Se deben marcar las zanjas en el suelo de acuerdo a las dimensiones establecidas en el diseño. A modo de ejemplo, se marcan a los 5 metros de largo, 1 metro de separación entre zanjas y 7 metros de separación entre líneas de construcción como se observa en la figura 10.

c) Una vez marcadas las zanjas en el suelo, se sigue con la construcción. Ésta se realiza con herramientas tradicionales, es decir pala, picota y chuzo. Es importante que la zanja no tenga desnivel; esto se comprueba con el nivel de ingeniero en "A" o con el nivel de las mangueras.

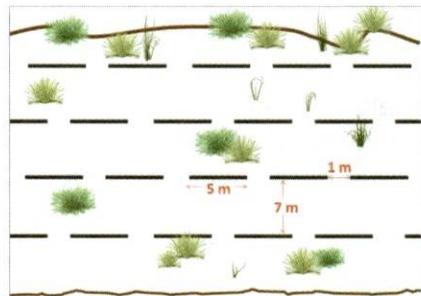


Figura 10: Disposición de las zanjas en terreno



Figura 11: Formación sobre camellón en la parte baja de la zanja

La tierra que se saca de la zanja, se deposita en la parte aguas abajo de la zanja, para formar un camellón (ver figura 11), el cual debe ser ligeramente compactado.

d) Para lograr resultados más favorables, es necesario acompañar las obras con una plantación, la cual se debe realizar sobre el camellón formado por la tierra sacada de la zanja, como lo muestra la figura 12.

e) Por último, las zanjas deben ser mantenidas periódicamente, es decir, deben ser limpiadas y reparadas, con el fin de cumplir con su objetivo que es captar el agua que escurre por las laderas, evitando la erosión y propiciando la recarga de las napas subterráneas (figura 13).

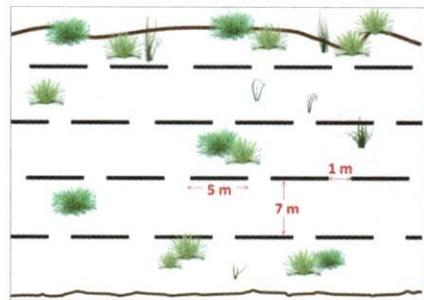


Figura 12: Plantación sobre camellón de la zanja



Figura 13: Mantención Zanjas de Infiltración

04

Terrazas de Infiltración de Agua

4.1. Consideraciones del Diseño de Terrazas de Infiltración

Las Terrazas de Infiltración son verdaderos escalones muy anchos, construidos por el hombre usando la misma tierra del lugar. De esta forma, toda la pendiente del cerro queda transformada en escalones con pendiente contra la inclinación de la ladera, con un pequeño borde.

Es así que las terrazas tienen por objetivo, al igual que las zanjas, evitar que el agua escurra y conseguir que esta penetre en el suelo, permitiendo de esta forma que los suelos inclinados puedan usarse con cultivos agrícolas o plantaciones forestales (figura 14).



Figura 14: Terrazas de Infiltración de agua, para cultivos y plantaciones

4.2. Tipos de Terrazas de Infiltración

Las terrazas tienen diferentes tamaños dependiendo del uso que se les quiera dar. Si se destinan a plantaciones forestales, el ancho será entre 0,5 y 1 metro (figura 15). En cambio, si es para cultivo, podrá medir entre 2,5 y 6 metros o más ancha (figura 16).

En el caso de terrazas agrícolas, el ancho varía según el tipo de suelo; así, para un suelo delgado, el ancho de la terraza será de 2,5 a 6 metros; en cambio, si el suelo es más profundo y fácil de trabajar, el ancho podrá ser mayor, hasta los 12 metros.

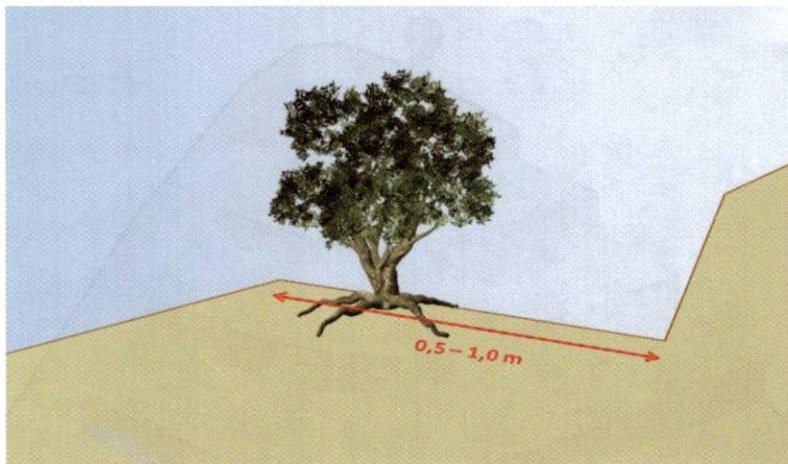


Figura 15: Terrazas Forestales

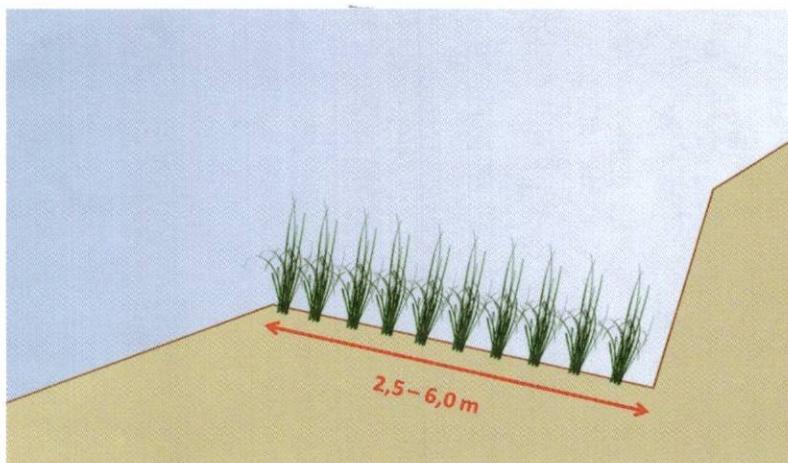


Figura 16: Terrazas Agrícolas

4.3. Diseño Hidrológico de Terrazas de Infiltración

Tomando como referencia las figuras anteriores, las terrazas de infiltración obedecen al siguiente esquema de diseño (figura 17):

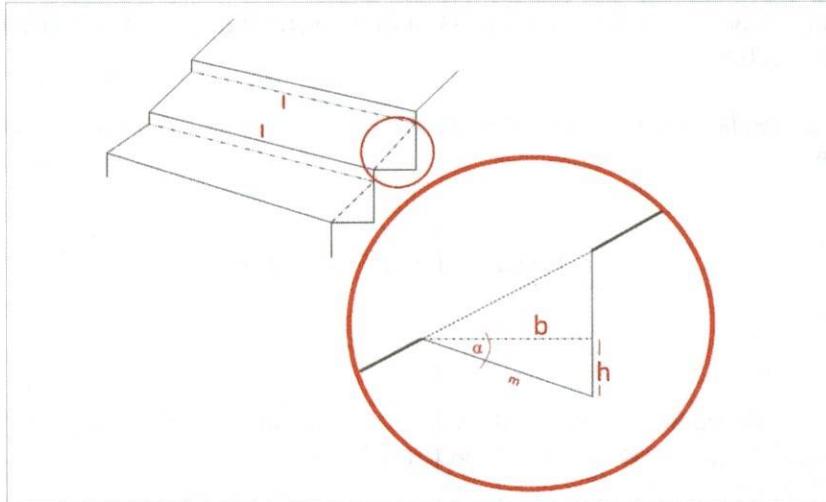


Figura 17: Esquema de diseño de las terrazas de infiltración

Así, h corresponde a la altura de la terraza, b es la base y l es el largo de la terraza. Por lo tanto, b y h son los catetos de un triángulo que representa la sección de captación de la terraza.

Las consideraciones a la hora de diseñar este tipo de terrazas de infiltración, son similares a las zanjas, es decir, la cantidad de agua de lluvia que escurre desde zona de captación, debe ser menor o igual a la que capta o absorbe la terraza. En otras palabras, la capacidad de éstas no debe ser sobrepasada por el total de aportaciones que a ella converjan.

Así, se tiene la siguiente expresión:

$$Ve = Vo + Vi$$

Donde Ve corresponde al volumen de escorrentía aportado por la zona de impluvio, Vo , es el volumen de captación de la obra y Vi corresponde al volumen de infiltración, en donde todas las expresiones se definen para un lapso de una hora.

Por otra parte, las expresiones que definen cada una de las variables son las siguientes:

$$Ve = I * l * d_h * e$$

donde:

Ve : volumen de escorrentía aportado por la zona de impluvio (m³)

I : Intensidad de precipitación máxima para 1 hora (m/h)

l : largo de la terraza (m)

d_h : distancia horizontal entre terrazas de infiltración (m)

e : coeficiente de escorrentía (0,9 – 1, como factor de seguridad)

Luego, para el cálculo del volumen de captación de las obras, se debe considerar una sección triangular $b * (h/2)$ que ponderada por el largo de la terraza, da lo siguiente:

$$Vo = b * \frac{h}{2} * l$$

donde:

Vo : volumen de captación de la obra (m³/h)

b : base de la terraza (m)

h : altura de la terraza (m)

l : largo de la terraza (m)

Por otra parte,

$$Vi = b * l * v$$

donde:

Vi: volumen de infiltración (m³/h)

b: base de la terraza (m)

l: largo de la terraza (m)

v: velocidad de infiltración de la terraza (m/h)

En términos estrictos, el volumen de infiltración debería considerar el tramo m y no la base b de la terraza (figura 17). Sin embargo, se considera a la base b para facilitar el cálculo y porque establece un factor de seguridad en la estimación de la infiltración, dado que la subestima en relación a si fuera considerado el tramo m.

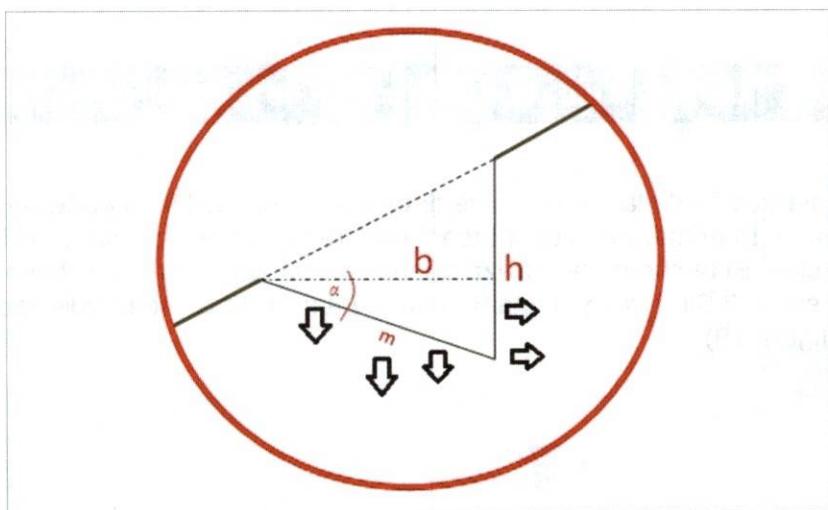


Figura 18: Esquema de diseño de las terrazas de infiltración

Luego, es posible determinar el distanciamiento entre terrazas de infiltración, de la siguiente manera:

$$Ve = Vo + Vi \quad \text{y por tanto,}$$

$$I * l * d_h * e = b * \frac{h}{2} * l + b * l * v$$

Reduciendo los términos semejantes, la distancia horizontal se define por:

$$d_h = \frac{b * \left(\frac{h}{2} + v \right)}{I * e}, \text{ en que la base puede expresarse}$$

de la siguiente forma:

$$b = \frac{d_h * I * e}{\left(\frac{h}{2} + v \right)}, \text{ donde todos los términos son conocidos.}$$

4.4. Pasos para la Construcción de Terrazas de Infiltración

- a) La construcción de las terrazas se debe comenzar desde la parte baja hacia la alta. El primer paso es marcar las terrazas en terreno para facilitar la construcción. El ancho de la terraza puede ser variable, pero se recomienda que sea sobre 2,5 metros y hasta 6 metros. La marcación se puede hacer con cal (ver figura 19).

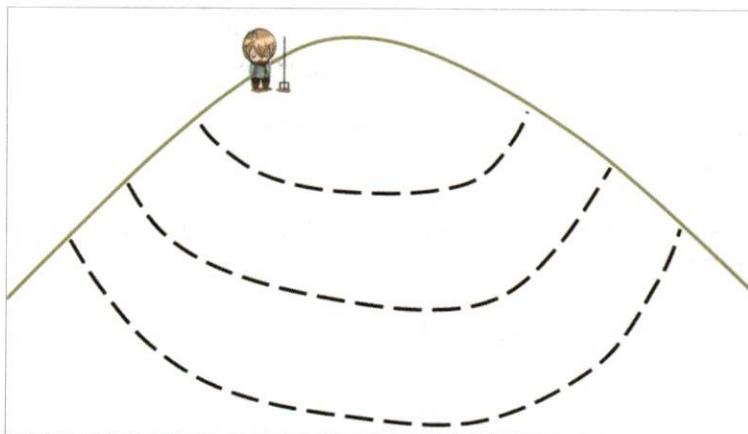


Figura 19: Marcación de Terrazas en terreno con cal

- b) Con el objetivo de no perder la escasa capa de suelo fértil, ésta debe ser extraída y almacenada en la parte alta, donde se efectuará el corte como se muestra en la figura 20.

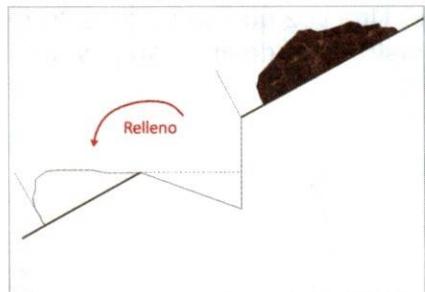


Figura 20: Remoción de suelo fértil

- c) Luego de la remoción del suelo fértil, se hace la excavación en la parte alta de lo que será la terraza, y la tierra que se vaya sacando debe ser puesta en la parte baja, de modo que el terreno se nivele, procurando una ligera pendiente inclinada hacia el cerro (ver figura 21).

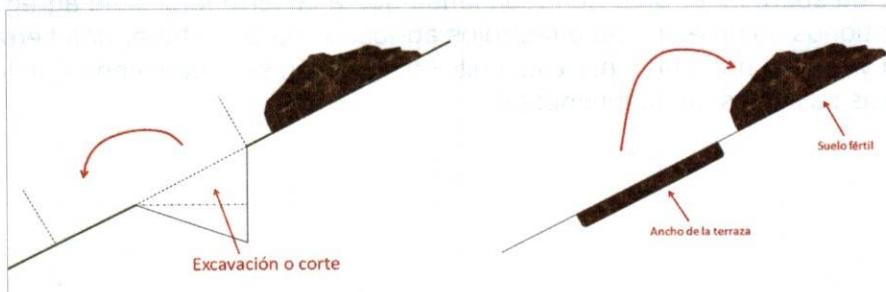


Figura 21: Corte y relleno de la terraza

- d) Asimismo, es importante que el borde de la terraza quede bien compactado, para que no se derrumbe. Es recomendable afirmar el borde con un empotrado de piedra o ramas como lo muestra la figura 22, para dar mayor sostén a la terraza.

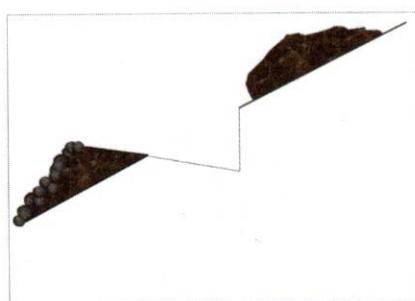


Figura 22: Compactación del borde de la Terraza

e) Una vez que se tenga el terreno nivelado, es necesario que se pase una rastra para dejarlo parejo y apto para el cultivo que se pondrá (figura 23).

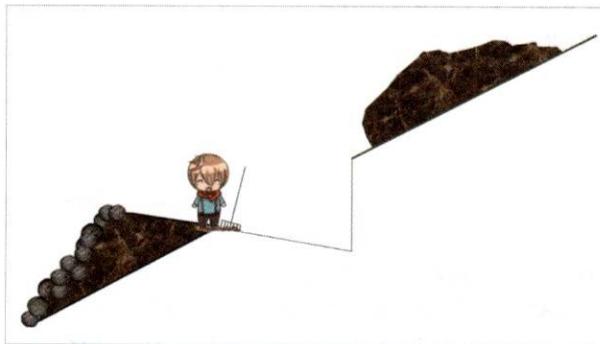


Figura 23: Emparejamiento de la Terraza.

f) Por último, la capa de tierra fértil que se sacó en el primer paso será esparcida sobre la terraza. Se recomienda que a la tierra fértil se le agreguen otros abonos como el guano o rastrojos agrícolas, para así tener una tierra buena y rica en nutrientes para los cultivos. También se recomienda que los primeros cultivos sean leguminosas.



**Manual de Diseño
para Obras de Recuperación y Conservación
de Aguas y Suelos**