

Aplicación de Técnicas de Captación de Aguas Lluvia en Predios de Secano para Forestación



0006370

Manual 25

Santiago, Chile / Agosto 2000



PROYECTO DE DESARROLLO
DE LAS COMUNAS POBRES DE LA ZONA
DE SECANO (PRODECOP - SECANO)



02 OCT. 2000





APLICACION DE TECNICAS DE CAPTACION DE AGUAS LLUVIA EN PREDIOS DE SECANO PARA FORESTACION

Manual 25

PROYECTO DE DESARROLLO
DE LAS COMUNAS POBRES DE LA ZONA
DE SECANO (PRODECOP - SECANO DE INDAP)

Autores:

Sandra Perret D.
Johannes Wrann H.
Fernando Andrade V.

Santiago, Chile / Agosto 2000



Registro Propiedad Intelectual N° 115.519
Santiago de Chile, 2000
I.S.B.N 956 - 7727 - 44 - 9

Edición general : Instituto Forestal (INFOR)

Autores:

Sandra Perret D.
Johannes Wrann H.
Fernando Andrade V.

Financiamiento de la presente edición:

Fundación para la Innovación Agraria, FIA

Proyecto de Desarrollo de las Comunas Pobres
de la Zona de Secano (PRODECOP - SECANO de INDAP)

Ministerio de Agricultura. Chile.

Primera Edición: Agosto de 2000

El texto reproducido y las opiniones vertidas en este documento, son de responsabilidad exclusiva de los autores.

Diseño y Diagramación: Andrés Hinojosa C.

Impresión: LOM Ediciones Ltda.



INDICE

Introducción	7
1. Captación de Aguas Lluvias (Descripción técnica)	9
2. Tamaño de los Sistemas de Captación y Colección	18
3. Requisitos del Sitio para la Captación de Aguas Lluvias	19
4. Forestación	21
4.1 Surcos en Media Luna	22
4.2 Trincheras o Surcos	24
4.3 Terraza con Muro de piedra	26
4.4 Canaletas de desviación	28
4.5 Limán	30
4.6 Diseño de la Plantación	33
5. Estándares de Costos de Establecimiento	35
6. Bibliografía	39
7. Anexo: Desarrollo de Ejemplos para el Cálculo de Areas de Captación y Colección	41



INTRODUCCION

En las zonas áridas y semiáridas de Chile, el recurso agua ha sido la principal limitante para el éxito de cualquier tipo de cultivo. Esta situación se ve agravada por las extensas superficies con altas pendientes no aptas para el desarrollo de agricultura tradicional. Dichos terrenos presentan un gran deterioro, con un avanzado estado de erosión, lo cual determina zonas de alta complejidad técnica para el establecimiento de plantaciones y cultivos. Por otra parte, estas superficies otorgan una gran "oferta hídrica" producto del agua de escorrentía resultante de las lluvias de tipo torrencial lo cual se constituye en una ventaja si se plantea como una posible fuente hídrica para el establecimiento de plantaciones forestales con especies perennes que contribuyan a la mitigación del proceso erosivo. Sin embargo, para poder lograr este objetivo es necesario optimizar el uso del agua mediante la utilización de técnicas que permitan recolectar la escorrentía superficial y así evitar en parte las pérdidas de suelo que se conocen como "captación de aguas lluvias".

La cosecha de aguas lluvias, técnica cuyo objetivo es canalizar las aguas de escorrentía hacia receptáculos especialmente contruidos, de manera de hacerla disponible por más tiempo para los cultivos, tiene su origen en comunidades precristianas de África del Norte y parte del Medio Oriente. En la actualidad, es Israel el país con más investigación desarrollada sobre el tema. La aplicación de esta técnica en nuestro país cobra gran importancia porque permite establecer con éxito pequeños bosquetes en suelos muy degradados.

Por lo tanto, dada la importancia social de las materias relacionadas con las tecnologías de cosecha de aguas lluvia, es que INFOR ha decidido la elaboración y difusión de este Manual, dirigido a una audiencia técnica, que describe cinco técnicas de captación de aguas lluvia aplicadas en Chile, con el objetivo de contribuir al eficiente aprovechamiento del recurso hídrico generado a partir de la escorrentía superficial.

Los autores agradecen a los expertos de Israel, Doctor Menachem Sachs y al Ingeniero Itshak Moshe, la asistencia técnica prestada en el tema Sabanización y cosecha de aguas lluvias.



1. CAPTACION DE AGUAS LLUVIA

DESCRIPCION TECNICA

La cosecha de aguas lluvia consiste en la utilización de las aguas de escurrimiento superficial o escorrentía, producto de las lluvias de tipo torrencial de las zonas áridas y semiáridas. La técnica consiste en la colección de estas aguas, que escurren de una superficie de captación o superficie de cosecha (laderas y quebradas), para colectarlas en superficies menores (superficie de colección) en donde se hacen infiltrar para mojar completamente el perfil del suelo, en una cantidad superior a lo que se puede conseguir con la precipitación directa. De esta manera se distingue la **superficie de captación** y la **superficie de colección** o de producción o de acumulación.

La superficie de captación es la proveedora de la superficie de producción, en la que se pretende obtener una escorrentía máxima. La superficie de colección es aquella en donde se realiza la plantación o siembra, por lo que adicionalmente es necesario preparar el suelo para que el agua se infiltre en el perfil, manteniendo por más tiempo la humedad del suelo (Critchley and Siegert, 1991).

Superficie de captación: Esta superficie representa el aporte de agua de escorrentía, es decir, agua extra para alimentar la superficie de colección o superficie de producción. El agua captada es directamente proporcional a la superficie de captación. Si la precipitación es de 10 mm, significa que por cada 1 m² en el área de captación, se receptionan 10 litros de agua. Sin embargo, solamente una proporción de la precipitación escurre. La superficie de captación debe cumplir requisitos que permitan obtener una alta escorrentía, para lo cual es necesario conocer las características de textura y cubierta vegetal de cada área seleccionada.

Superficie de colección: Es el área en que se receptiona el agua de escorrentía, procedente de la superficie de captación, de la parte más alta de la pendiente. Es de importancia estimar la capacidad de almacenamiento de agua, que es la suma del agua de lluvia directa recibida, más la escorrentía proveniente de la superficie de captación. La superficie de colección debe ser adecuadamente escarificada o preparada con mayor intensidad para mejorar las características físicas de manera de facilitar el establecimiento y posterior desarrollo de los árboles. La superficie de colección debe tener una profundidad adecuada para el desarrollo radicular del



árbol a plantar (mínimo 60 cm de profundidad) y una alta retención de humedad.

En la Figura 1, se muestra el esquema general de la relación de magnitud de áreas en cosecha de aguas lluvia.



Figura 1: Esquema de la relación de magnitud de áreas en cosecha de aguas lluvia.

La técnica de cosecha de aguas lluvia fue usada hace más de 2.000 años por los Nabateos en el desierto del Negev, en Israel, en zonas con una precipitación anual de 70 - 100 mm. Esta civilización utilizaba el agua de escorrentía de grandes superficies, la que lograba guiar a cientos de metros de distancia hacia los valles agrícolas o superficies agrícolas en terrazas. Este sistema se reimplantó y adaptó en la Estación Agrícola Experimental de Avdat, en Israel, por investigadores de la Universidad de Ben Gurion (Evenari et al, 1983; cit en Yair et al, 1989).

En la actualidad, el Servicio Forestal de Israel está aplicando la técnica de cosecha de aguas lluvia para la forestación en la zona árida de Negev, que recibe una precipitación anual de 150 - 250 mm/año, con rangos de índices de aridez de 0,08 a 0,20. Este índice es el resultado entre el cociente entre la precipitación anual (mm) y la evapotranspiración potencial anual de Penman (mm). La forestación se diseña sobre la base del manejo integral de una cuenca, con el objetivo de aprovechar al máximo el recurso hídrico, a la vez de proteger el

suelo de la erosión. En cuencas pequeñas, con laderas que circundan una quebrada (wadi), se hace un levantamiento topográfico y se diseñan y construyen acumuladores o colectores de agua de escurrimiento, moviendo suelo en forma mecanizada. Los colectores se ubican y preparan de acuerdo al máximo de agua que pueda juntarse en un acumulador, sin peligro de causar erosión. Estas superficies de acumulación o colectores tienen un área variable desde 1 m² hasta 100 m², o más, tales como surcos en media luna, terrazas, trincheras, etc. Un ejemplo típico de una superficie de acumulación o colector mayor es un «limán». Similar a una terraza, el «limán» es una estructura construida de suelo, con una superficie plana sobre la que se establecen las especies arbóreas. Consta de una boca de alimentación en la parte superior de la pendiente, y en el costado opuesto, de un dique (Moshe, 1994)¹.

Relación superficie de captación -colección: En la técnica de cosecha de aguas lluvia para el cultivo o plantación, es necesario integrar en un sistema la superficie de captación y de colección. Las características favorables de cada superficie y la relación del tamaño entre ambas será determinante en el éxito de los cultivos que se establezcan en el área de colección; no obstante se debe considerar además, como otro factor importante, la cantidad e intensidad de la precipitación por evento en cada temporada.

La forma de estimación de la relación entre ambas superficies se basa en satisfacer el supuesto siguiente:

(0) Agua cosechada = Agua requerida por el cultivo

La cantidad de agua cosechada o captada está en función de la cantidad de escorrentía (runoff) generada a partir de la lluvia. La escorrentía se define como un coeficiente o porcentaje de la precipitación estimada en una determinada unidad de tiempo. No toda la escorrentía es aprovechable, debido a pérdidas por distribución desigual y percolación profunda en el colector. Por esta razón el agua cosechada debe multiplicarse por el factor de eficiencia (Critchley y Siebert, 1991).

La relación entre ambas variables se describe a continuación:

$$(1) \text{ Agua cosechada (litros) = Area de captación (m}^2\text{) x Precipitación estimada (litros/m}^2\text{) x coeficiente de escorrentía x factor de eficiencia (menor a 1).}$$

¹ Para mayor información ver cita.



Para determinar el agua requerida en el colector es necesario conocer los requerimientos hídricos del cultivo a establecer o bien por el árbol a plantar. El agua requerida se determina en función de la superficie del colector, la cual debe multiplicarse por la cantidad de agua necesaria para el cultivo o especie arborea a establecer (expresada en mm o en litros/m²) y restarla de la cantidad de precipitación estimada que cae directamente en el área de colección.

$$(2) \text{ Agua requerida} = \text{Area del colector (m}^2\text{)} \times (\text{agua Necesaria por el cultivo (litros/m}^2\text{)} - \text{precipitación estimada (litros/m}^2\text{)}).$$

Por sustitución de la igualdad original (0) , reemplazando (1) y (2), :

$$(0) \text{ Agua cosechada} = \text{Agua requerida por el cultivo}$$

Se obtiene:

$$\text{Area de captación (m}^2\text{)} \times \text{Precipitación estimada (l/m}^2\text{)} \times \text{coeficiente de escorrentía} \times \text{factor de eficiencia} = \text{Area del colector (m}^2\text{)} \times (\text{agua requerida por el cultivo (l/m}^2\text{)} - \text{precipitación estimada(l/m}^2\text{)})$$

Esta fórmula puede expresarse como (Critchley y Siegert, 1991):

$$\frac{\text{Aca (m}^2\text{)}}{\text{Aco (m}^2\text{)}} = \frac{\text{AR (l/m}^2\text{)} - \text{PE (l/m}^2\text{)}}{\text{PE (l/m}^2\text{)} \times \text{CE} \times \text{FE}}$$

En que:

Aca : Area de captación en metros cuadrados

Aco : Area del colector en metros cuadrados

AR : Agua requerida en litros/m²; equivalente a una lluvia optima para la especie en la zona.

PE : Lluvia representativa para el sitio a plantar (litros/m²) o en mm

CE : Coeficiente de escorrentía.

FE : Factor de eficiencia.

Agua requerida : Es el agua necesaria a captar en el colector y dice relación con la precipitación anual ideal que necesitaría la especie a plantar para su desarrollo óptimo. Existen pocos antecedentes sobre los requerimientos de agua de las espe-



cies forestales. En la zona árida y semiárida puede usarse un valor estimativo de 500 a 800 mm/año (o bien litros/m²/año que es lo mismo).

Precipitación Estimada (PE): Es la precipitación anual representativa para una zona determinada (mm o bien litros/m²). Para el diseño de la cosecha de aguas lluvia se recomienda usar un valor para una probabilidad de ocurrencia mayor al promedio aritmético, a partir de una serie de observaciones anuales para la zona de plantación. Lo recomendable es usar un valor que represente a lo menos un 67% de probabilidad de ocurrencia del evento. Esto equivale usar captaciones de agua mayores en el diseño de la plantación. Sin embargo, también significa un mayor riesgo de inundaciones en los colectores en los años de precipitación mayor a la esperada.

Coefficiente de Escorrentía (CE): Es la proporción de la lluvia que escurre en el área de captación y depende de varios factores tales como la intensidad habitual de las precipitaciones, características del suelo, la cubierta vegetal y la topografía del área. La mejor manera de estimar este coeficiente es por medio de mediciones directas en el terreno. Esto puede hacerse a través de una simulación de lluvia o bien en una parcela de escorrentía.

- **Simulación de lluvia:** En una superficie pequeña, por ejemplo 1m², se aplica una lluvia producida con una bomba de espalda a una intensidad determinada y que pueda considerarse representativa para la zona (mm/hora). En la parte inferior de la casilla se instala un balde colector de la escorrentía. La cantidad que escurre en relación al total regado en la casilla es la proporción de escorrentía.
- **Parcela de escorrentía:** La parcela debiera establecerse en un lugar representativo para la plantación, concretamente de la superficie de captación, y observarse por un período de mínimo 5 años. La parcela se instala considerando que la longitud mayor esté en el sentido de la pendiente con un estanque colector en la parte inferior. Las dimensiones mínimas son de 3 a 4 m de ancho por 10 a 12 m de largo. La delimitación de la parcela se hace generalmente con un latón galvanizado de 30 cm de alto (15 cm se entierran). Un pluviómetro debe instalarse junto a la parcela. Para cada eventose debe anotar la lluvia por unidad de tiempo y relacionarla con la cantidad de escorrentía medida en el estanque de la parcela. Las normas y procedimientos para la instalación de parcelas de escorrentía pueden obtenerse de experiencias desarrolladas por INFOR (Perret S., Valdebenito G., 1997), ver Figura 2. En experiencias de captación de aguas lluvia realizadas por INFOR con este método se estimó para un sitio de la IV



Región (zona de Illapel) un coeficiente de escorrentía de 0,3 (Andrade et al, 1997).



Figura 2: Parcela de escorrentía en la VI Región

- Estimación de escorrentía en quebradas: Un instrumento sencillo para estimar los niveles de escorrentía en pequeñas quebradas consiste en un tubo perforado cada 5 cm de un largo aproximado de 1,5 m. En el interior del tubo se introduce una regla graduada y marcada con yeso o tiza, esto indica el nivel de la escorrentía. El tubo debe colocarse en posición vertical, firmemente empotrado en hormigón en la base de la quebrada (Moshe, 1994, comunicación personal).

Factor de Eficiencia (FE): Este factor considera las irregularidades del terreno y pérdidas por evaporación y percolación profunda. Empíricamente se ha estimado que este factor varía entre 0,5 y 0,75. El primer valor es representativo

para captaciones externas (o intermedias en tamaño) y el segundo para las captaciones in situ. Cuando el terreno de cultivo es nivelado y emparejado, la eficiencia es más alta.

Capacidad del Colector

Para el cálculo del tamaño del colector y su capacidad de captación, es recomendable hacerlo en base a una lluvia continua de gran intensidad y estimar la escorrentía generada en el área de captación. Una lluvia continua de gran intensidad en la zona centro norte y central del país (zona árida a semiárida) puede estimarse en 100 mm en 24 horas, lo que equivale a 100 litros/m².

El colector debe tener una dimensión capaz de almacenar la escorrentía del área de captación más la lluvia directa que cae sobre la superficie del colector. En la Figura 3 se muestra el procedimiento para la marcación de un tipo de colector.

La capacidad del colector se mide de acuerdo a su volumen, producto de la superficie por la profundidad, y la capacidad de retención del agua del suelo expresado en porcentaje. Esta última consiste en la retención de agua entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Este porcentaje de agua, en términos de proporción por volumen de suelo, depende de algunas propiedades físicas del suelo como son la la textura y la profundidad, entre otras (Dunne and Leopold,1978).

Sin embargo, es recomendable considerar solamente el volumen del espacio de la excavación o de la superficie delimitada por muros de piedra y suelo del colector. Esto, en base a un supuesto que el suelo está saturado en su capacidad de retención, como resultado de una lluvia anterior. La capacidad de retención de agua, propia de ese suelo, puede considerarse como un margen de seguridad en el diseño del colector.

A modo de ejemplo, un colector formado por un semicírculo de 4 m de diámetro, y que se encuentra a una distancia de captación con el colector anterior de 10 m, pendiente arriba, y además considerando lluvias probables de 100 mm (100 l/m²) cada vez, ¿qué capacidad debe tener un colector, si el coeficiente de escorrentía es de 0,30 y el factor de eficiencia de 0,75 ?. La Figura 4 muestra el croquis de la relación entre el área de colección y captación.



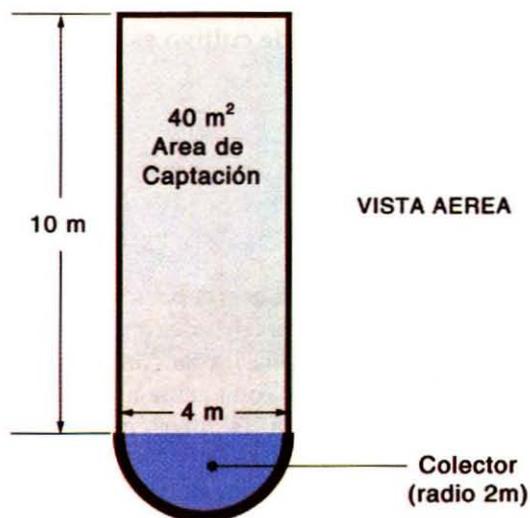


Figura 3: Croquis área de captación y colección

Bajo el supuesto que es conocido el coeficiente de escorrentía promedio para la zona de establecimiento (0,3) y la precipitación promedio por evento es de 100mm y el factor de eficiencia es de 0,75 se tiene:

Agua de escorrentía recibida en el colector es de:

$$40 \text{ m}^2 * 100 \text{ l/m}^2 * 0,3 * 0,75 = 900 \text{ litros}$$

Superficie del colector:

$$\text{Área Colector (Aco)} = (p * r^2) / 2$$

$$Aco = (3,1416 * 4) / 2$$

$$Aco = 6,28 \text{ m}^2$$

Lluvia caída en el área de colección:

$$6,28 \text{ m}^2 * 100 \text{ l/m}^2 = 628 \text{ litros}$$

Capacidad de agua que tiene que contener el colector es:

Agua esorrentía efectiva + lluvia caída en área del colector
900 litros + 628 litros = 1528 litros = 1.528.000 cm³

El colector debe construirse con un surco, zanjón, o bien con muros de piedra y suelo compactado, tal que permita almacenar una capacidad de 1.528 litros.

En este caso la totalidad de la superficie del colector, semicírculo con un radio de 2 m, es aprovechable para almacenamiento de agua. Por lo tanto lo que corresponde determinar es la profundidad del terreno para acumular en esa superficie un volumen de agua equivalente a 1.528 litros.

Para determinar la profundidad se procede de la siguiente forma (Ver Figura 5):

Volumen almacenado (cm³) = Area colector (cm²) * Profundidad (P) (cm)

$$1.528.000 = 62.800 \text{ cm}^2 * P$$

$$P = 1528000 / 62800 = 24,33 \text{ cm}$$

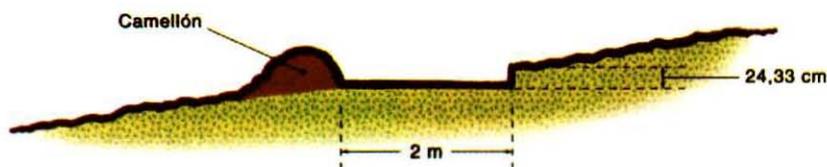


Figura 4: Vista de perfil del Colector

En la medida que la pendiente aumenta, se llegará a una situación en que la superficie aprovechable del colector para almacenar el agua disminuirá. En tal caso deberá aumentar la profundidad, para permitir la capacidad deseada.

2. TAMAÑO DE LOS SISTEMAS DE CAPTACION Y COLECCION

De acuerdo al origen de la escorrentía y al tamaño de la superficie de captación se puede clasificar las técnicas de cosecha de aguas lluvia en las siguientes categorías (Critchley y Siegert, 1991).

- 1. Captación in situ (dentro del campo) o de minicaptación (microcatchments):** Las superficies de captación son pequeñas, al igual que los colectores. La longitud de la superficie de captación varía entre 1 y 30 metros. La relación entre superficie de captación y de colección es de 1:1 hasta 3:1. Ejemplos típicos son los camellones en curvas de nivel, surcos en media luna, terrazas de piedra, zanjas de infiltración.
- 2. Captación externa (external catchment systems or long slope catchment technique):** La captación de la escorrentía proviene de quebradas o pendientes de superficies mayores. La superficie de captación en la pendiente tiene una longitud de 30 a 200 metros. La relación entre las superficies de captación y de colección es de 2:1 hasta 10:1. Se debe considerar un aliviadero en el colector para posibles excesos de escorrentía. Ejemplos: camellones en forma de trapecios, limanes, zanjas de desviación.
- 3. Captación de avenidas de agua (floodwater harvesting):** captaciones de superficies de escorrentía formadas por avenidas de agua de superficies mayores. Ejemplo de este tipo de colectores: diques de desviación o diques de diseminación (water spreading bunds), limanes, cuarteles bajo nivel de la superficie del suelo; diques permeables de piedra. Las superficies de captación pueden estar localizadas a varios kilómetros y conducidos por canalizaciones hasta las superficies de colección o de producción. La relación entre la superficie de captación y de colección es superior a 10:1. Al igual que en el caso anterior, de captación externa, se debe considerar sistemas de evacuación de excesos de escorrentía.

3. REQUISITOS DEL SITIO PARA LA CAPTACION DE AGUAS LLUVIA

Para aplicar esta técnica con fines de forestación en un sitio determinado, se debe cumplir con los siguientes requisitos:

- El sitio debe presentar una inclinación para que la escorrentía pueda desplazarse desde la superficie de captación hasta la de colección. De acuerdo a Critchley y Siegert (1991), la pendiente no debe ser mayor a 5%. Estas condiciones son difíciles de encontrar en Chile, de hecho las experiencias de INFOR, establecidas en la década pasada en la IV Región se instalaron en terrenos con pendientes de 12 a 15%. En un nuevo proyecto de INFOR, en el año 1999, se trabajó en un terreno con una pendiente de alrededor de 22%, que pudiera considerarse como el límite superior, por los peligros de erosión que implica. En todo caso se deben aplicar las técnicas de conservación de suelos y las estimaciones de obras de hidrología para las captaciones con áreas mayores a las de captación in situ.
- Las superficies de colección o de producción deben tener una profundidad suficiente para poder conservar humedad en el perfil del suelo y permitir el desarrollo radicular de los árboles o cultivos a establecer. Al respecto el área del Negev, en Israel, presenta condiciones muy adecuadas, debido a los suelos profundos de "loess". Estas condiciones no siempre se presentan en Chile, por lo cual debe considerarse una profundidad de suelo de a lo menos 60 cm.
- Las características de las precipitaciones y del suelo deben permitir la producción de escorrentía en las superficies de captación. Mientras mayor el porcentaje de escorrentía que se produzca en una lluvia, más adecuado será el sitio para la aplicación de la técnica. Según Critchley y Siegert, (1991); Yair; Shachak y Schreiber, (1989); Moshe, (1989); Dunne y Leopold, (1978) y Sachak et al, (1997) la generación de escorrentía depende de los siguientes factores:
 1. **La intensidad de la lluvia:** En lluvias intensas la energía cinética de las gotas es considerable cuando choca con la superficie del suelo. Esto causa el rompimiento de la agregación del suelo, así como una dispersión de las partículas, que rellenan los poros superficiales. Esto produce la obstrucción de los poros, formando una capa compactada superficial que reduce la capacidad de infiltración. Características del suelo: La porosidad varía según la

textura y estructura del suelo, lo que influye en la capacidad de infiltración. Cada tipo de suelo presenta una curva característica de infiltración en relación al tiempo. Los suelos arenosos tienen una tasa de infiltración superior a los arcillosos. Cifras estimativas de tasas de infiltración, de acuerdo a diferentes texturas de suelo son:

Suelo arenoso:	50,0 mm/hora
Suelo franco arenoso	25,0 mm/hora
Suelo franco	12,0 mm/hora
Suelo franco arcilloso	7,0 mm/hora

La humedad inicial del suelo es un factor determinante en su capacidad inicial de infiltración. Cuando el suelo está seco y muy compacto la capacidad de infiltración decrece, por que implica altas tasas de escorrentía superficial, lo cual es conveniente para el área de captación.

El origen, profundidad y posición en la pendiente son otros de los factores claves en la capacidad de generar escorrentía. Estudios desarrollados en Israel (Yair and Shachak, 1987 cit en Yair et al, 1989), determinaron que la capacidad de generar escorrentía es superior en las laderas rocosas, comparado con las laderas de suelo coluvial. Además se determinó que la zona de mayor eficiencia para el establecimiento de los colectores de agua es la de transición entre la ladera rocosa y el suelo coluvial.

2. La cubierta vegetal: Los terrenos áridos y semiáridos están formados por dos tipos de cubiertas de vegetación, que forman superficies, áreas o casillas ("patches"):

- Vegetación microfítica conformada por algas cyanobacterias, líquenes y musgos. Estas superficies generan escorrentía puesto que la cubierta del suelo es dura.
- Vegetación macrofítica, conformada por pastos, arbustos, árboles y terrenos de cultivo. Estas superficies absorben el agua superficial y disminuyen la escorrentía (Shachak et al, 1997).

4. FORESTACION

Para llevar a cabo la forestación con la técnica de cosecha de aguas lluvia se deben considerar diversas fases, desde la elección del sitio, la delimitación del terreno, ubicación y disposición de los colectores, el tamaño de las superficies de captación, la relación entre la superficie de captación y de colección. A continuación se detallan las fases necesarias para ejecutar la actividad de implementación.

Para la elección del sitio se debe considerar las características señaladas en el punto anterior. De éstas, la de mayor dificultad es la estimación de la escorrentía esperada en las áreas que servirán como superficies de captación. La elección del sitio es por lo tanto la decisión de mayor importancia. Una observación preliminar permitirá apreciar las posibilidades de generación de escorrentía del terreno, de acuerdo a la textura superficial del suelo y cubierta vegetal. Se debe evitar terrenos con pendientes superiores a 25% ya que la probabilidad de erosión por efecto de las aguas de escorrentía es altísima. El rango de pendientes más apto es de 3 a 15%, sin embargo, excepcionalmente puede extenderse hasta un máximo de 25%. En todo caso, es conveniente hacer algunas pruebas de escorrentía con un simulador de lluvia.

Tipo de colectores:

De acuerdo a Shachak et al, (1997); Yair et al, (1989); Andrade y Wrann, (1997), los colectores más aptos para diferentes localizaciones en la microcuenca y colección de escorrentía de ladera y/o de quebradas son los siguientes:

- 1. Surcos en media luna:** Aptos para las zonas de mayor pendiente (hasta 25%). También se pueden utilizar en pendientes menores y para la captación de escorrentía en laderas. En este tipo de colectores se establecen habitualmente de uno a tres árboles.
- 2. Trincheras o surcos:** Generalmente se utilizan en pendientes intermedias, de alrededor de 12%; principalmente para captación de escorrentía de laderas.
- 3. Terraza con muro de piedra, de forma rectangular o de semicírculo:** Para pendientes de 3 a 15%. Se utiliza para captación de escorrentía de ladera y de quebrada, mediante una canaleta.
- 4. Canaletas de desviación:** Se puede establecer en sitios con pendientes de



hasta 12%. Son aptos para captar escorrentía de quebradas.

5. Limón: Es un colector de mayor tamaño y se usa para los sectores más bajos de la microcuenca, con pendientes de 3 a 8 %. Se utiliza con el fin de acumular agua de escorrentía procedente de laderas y quebradas desde distancias mayores.

A continuación se entrega una descripción de cada uno de estos colectores:

4.1 Surcos en media luna

Puede ser de una forma semicircular o de un sector circular menor al semicírculo. En el sector de la circunferencia se levanta un camellón de suelo y piedras, producto del surco interior. En algunos casos se puede hacer un surco en la parte interior o bien hacer una zanja en toda la superficie interior del colector. Un tamaño habitual de este colector es de 4m de diámetro o de la cuerda y se usa para la plantación de un solo árbol. Si el diámetro o la cuerda es de 6m, se pueden establecer hasta 3 ejemplares. La capacidad de almacenamiento de agua está dada principalmente por las dimensiones del surco o de la zanja, para evitar que el camellón tenga que soportar todo el volumen de agua interior. Este colector tiene la ventaja de ser el de menor costo, pues requiere una menor cantidad de mano de obra. Se construye mayoritariamente de forma manual, pero puede establecerse con maquinaria, tractor oruga con pala o bien con una retroexcavadora. La construcción se realiza con la tierra existente dentro del área comprendida entre los arcos concéntricos, formándose un surco que servirá como acumulador de agua. La planta se establece a media altura del camellón en el lado interno junto al surco o zanja. Algunos tamaños de colectores con sus respectivos rendimientos de construcción se muestran en el cuadro a continuación:

Cuadro 1: Tamaños y rendimientos de colectores

Diámetro del Colector (m)	Número de Plantas /colector	Rendimiento (jorn/unidad)
6	3	0,85
5	2	0,50
4	1	0,40

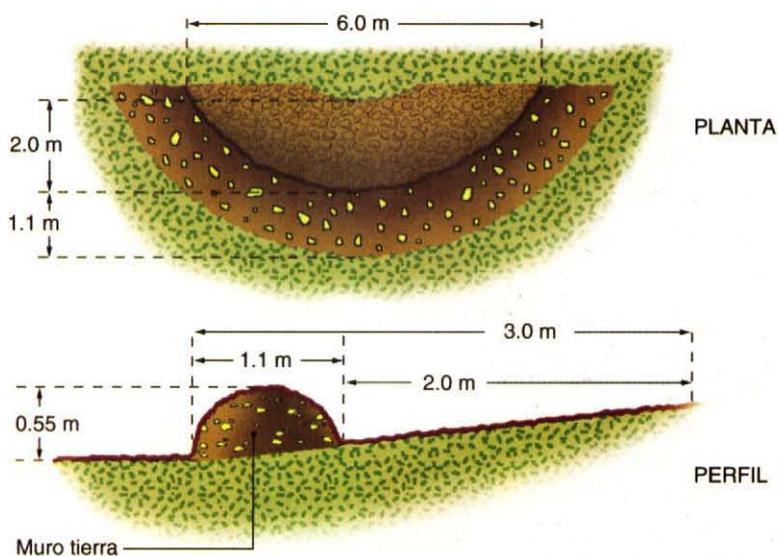


Figura 5 : Marcación de colectores. Se puede observar la estaca a 0,5 m sobre la cuerda de la semi-circunferencia.



Figura 6 : Surco en media luna



Figura 7: Surcos en media luna

4.2 Trincheras o surcos

Aun cuando presentan aspectos distintos, la trinchera y el surco pueden considerarse como el mismo colector, formado por una zanja o surco y un camellón recto en la parte inferior de la pendiente. En el caso de la trinchera, la zanja tiene un ancho mayor que el del surco. La trinchera consiste en una excavación rectangular de 1 a 2 m de ancho, dependiendo si se aplica en un terreno de mayor o menor pendiente respectivamente, dentro de los límites aconsejables de aplicación. El largo puede ser variable, pero es aconsejable no sobrepasar los 10 m, para evitar reparaciones muy costosas en caso de escorrentías mayores de las estimadas. La zanja o el surco comienza desde el nivel del suelo para llegar gradualmente hasta una profundidad de hasta 30 cm. El material extraído, suelo y piedras, se acumula en el borde inferior de la pendiente en forma de camellón.

Al igual que en el caso anterior, se recomienda establecer la planta a media altura en el camellón, para así tener mayor humedad y suelo removido.. El número de

plantas puede ser de hasta 5 para una trinchera o surco de 10 m de largo.

Normalmente se usa una distancia mínima de 2 m entre árboles. El plano de una trinchera o surco y fotos se muestran en las Figuras 9 y 10.

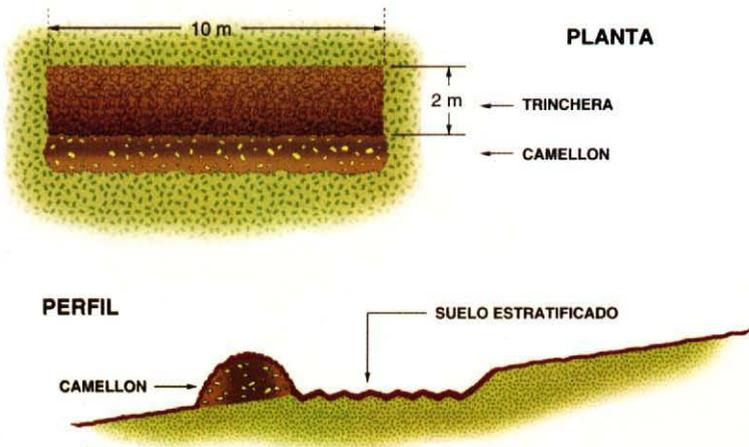


Figura 8: Diseño de colector tipo trinchera



Figura 9: Trinchera, comuna de Illapel



Figura 10: Trinchera, Comuna de Illapel IV región

4.3 Terraza con muro de piedra

La terraza puede ser de forma rectangular, de hasta 3m de ancho y perpendicular a la pendiente; o bien de forma de media luna, semicircular o como de un sector circular. En los perímetros laterales e inferiores, en el sentido de la caída de la pendiente, se levanta un muro de piedra de 1 m de espesor que forma la base exterior e inferior de la terraza. Además se construye en los perímetros externos un pequeño muro de hasta 30 cm de alto, y espesor de 1 m para poder contener mayor escorrentía. En los bordes externos se recubre con una tela plástica para impermeabilizar el muro, logrando así acumular mayor volumen de agua y dirigir la humedad hacia los horizontes inferiores del suelo. A diferencia del método anterior, se genera un área de infiltración mayor y, a la vez, se prolonga el tiempo de disponibilidad de agua para las plantas que estén en esa área.

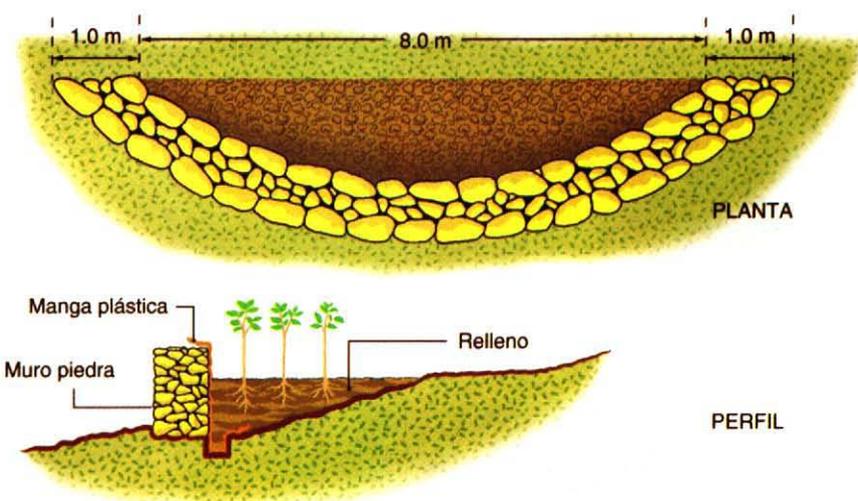


Figura 11: Plano de una terraza con muro de piedra de 8 m largo.



Figura 12: Marcación terraza con muro de piedra

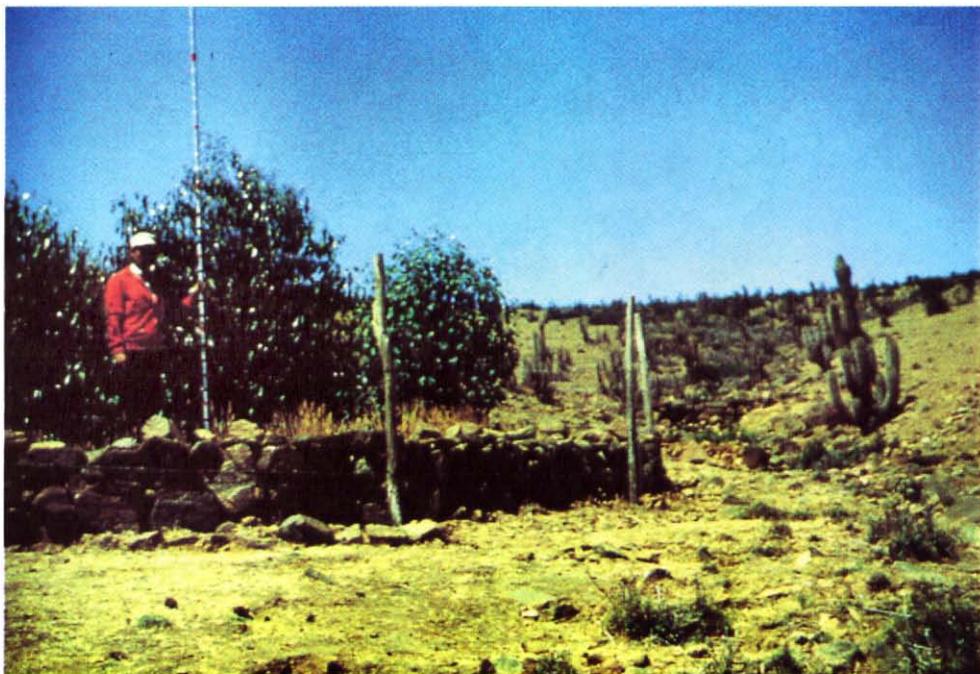


Figura 13: Terraza en media Luna para captación de escorrentía de quebrada adjunta

4.4 Canaletas de desviación

Son zanjas de 50 cm de ancho y 30 cm de profundidad que se construyen a partir de quebradas, en cuyo eje longitudinal se localizan tazas de plantación de 2m x 2m o similar, cada cierta distancia, que puede ser cada 5m. La canaleta capta la escorrentía de la quebrada, pero también de la ladera. La pendiente de la zanja no debe exceder el 1% para evitar erosión. Si las canaletas se establecen en terrenos con pendientes de más de 15%, se corre el riesgo de erosión por desmoronamiento de las paredes laterales. En todo caso, es recomendable establecer piedras en el cauce cada 5m para disminuir la escorrentía e incluso construir la canaleta con piedras en los bordes. Las canaletas se construyen en forma manual. Tienen la ventaja de captar escorrentía de la quebrada y a la vez de la ladera. En la figura.15 se muestra un plano tipo de una canaleta de desviación.

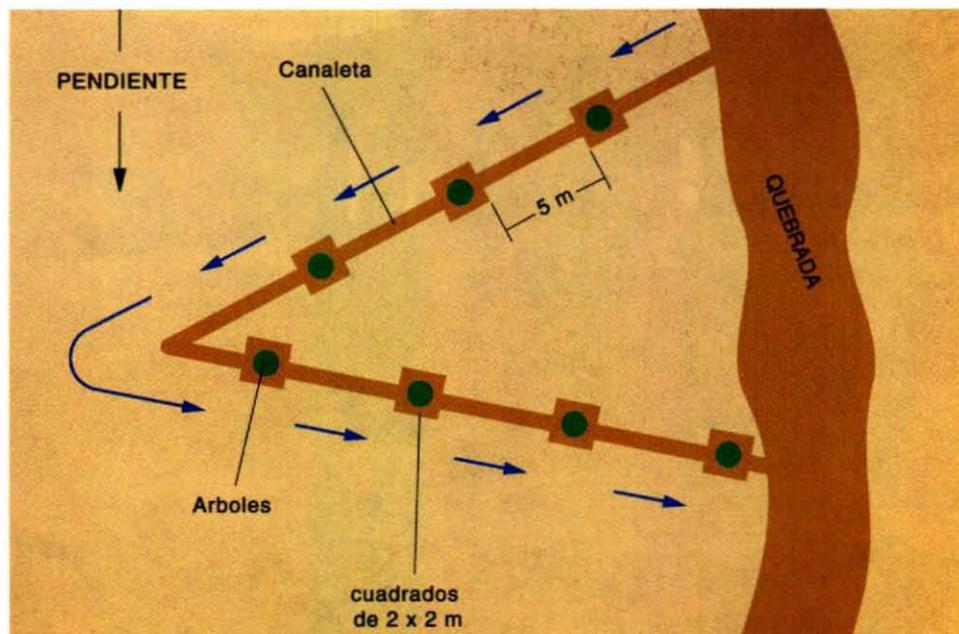


Figura 14: Diseño canaletas de Desviación



Figura 15: Dique hecho manualmente en la quebrada y canaleta de desviación



Figura 16: Canaleta de desviación con casilla de plantación

4.5 Limán

El limán es un colector de mayor tamaño y consiste en un semicírculo o sector circular plano con un borde de suelo y piedras. Normalmente la pared de los bordes tiene 3m de ancho en la base, 1m de alto y 1m en la corona (ver figura 18).

Debido a la superficie del limán, normalmente mayor a 80 m², es apto solamente para lugares de poca pendiente (hasta 8%) y para captación externa o de avenidas de agua. En la construcción se debe hacer un desagüe a partir de la cota máxima de

colección de agua para evitar rupturas en la pared en casos de grandes escorrentías. Generalmente un limán es para establecer un conjunto de más de 20 árboles. Por ejemplo, en un limán de 90 m² se pueden establecer hasta 30 ejemplares.

En 1995, el Instituto Forestal construyó un colector de este tipo en la quebrada Iltá, comunidad Agrícola Tunga Norte, Provincia de Choapa, para el cual se utilizó una retroescavadora Massey Ferguson 6000. Dado que este tipo de colector es de gran tamaño (90 m²), es necesario contar con una gran superficie de captación para asegurar la disponibilidad de agua necesaria. El método consiste en desviar el agua proveniente de la quebrada, lugar donde se produce la concentración y conducción natural del agua, la cual es encauzada hacia los colectores por intermedio de un dique.

La superficie de plantación utilizada en el ensayo (90 m²) tiene una capacidad para 29 plantas. La pendiente transversal es cero y el muro de tierra es de forma trapezoidal con 3 m en la base y 1 m en el tope. Además cuenta con un aliviadero de 20 cm de diámetro, a 30 cm de altura.

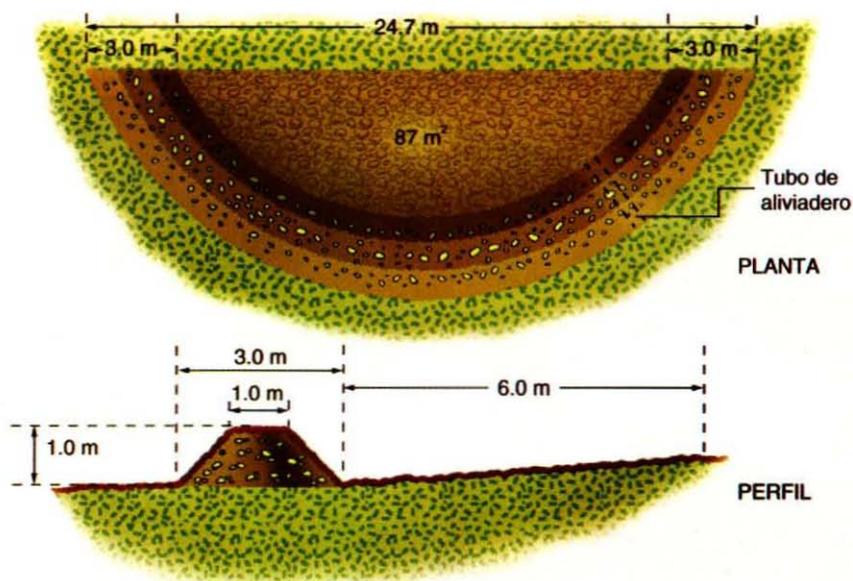


Figura 17: Plano de una terraza en forma de media luna (Limán)



Figura 18: Liman en el Desierto de Negev



Figura 19: Liman con plantación de Eucalyptus cladocalyx de un año de edad

4.6 Diseño de la plantación

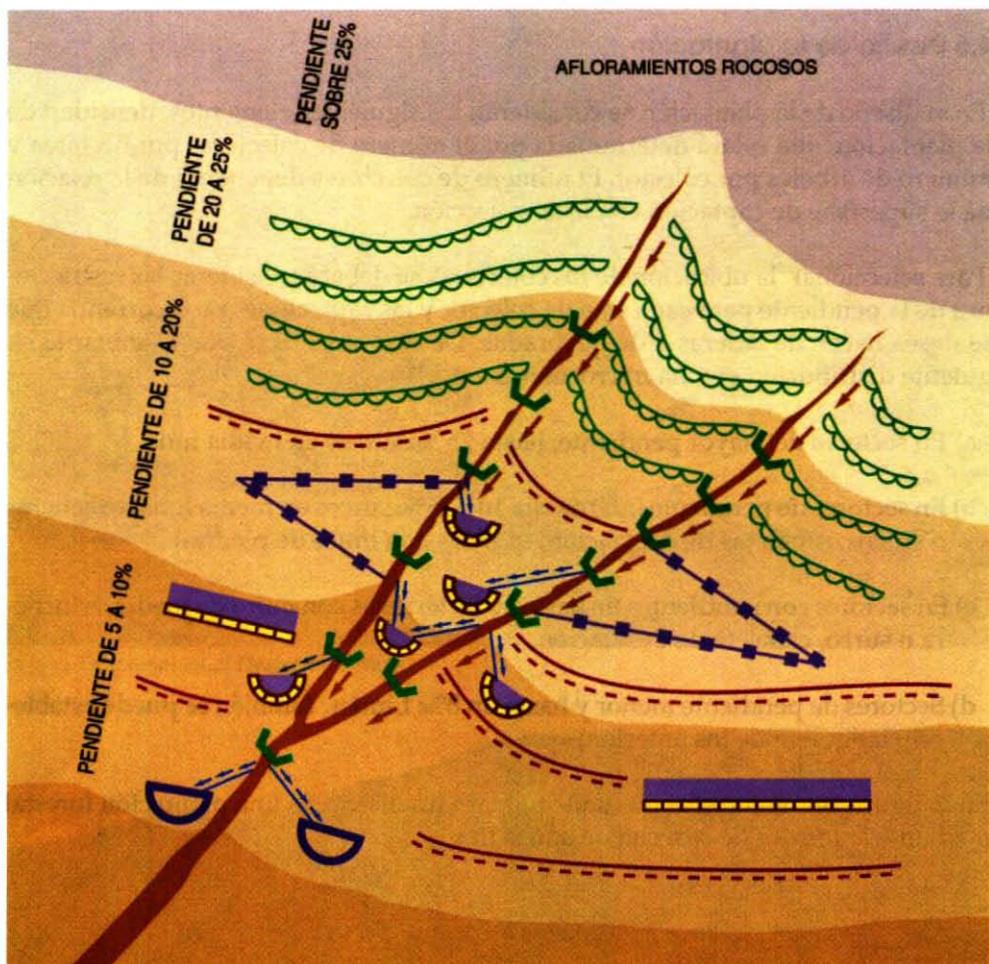
En el diseño de la plantación se consideran los siguientes elementos: densidad de la plantación, que estará determinada por el número de colectores por hectárea y número de árboles por colector. El número de colectores dependerá de la relación de la superficie de captación con la de colección.

Para seleccionar la ubicación de los colectores se deberá considerar las restricciones de la pendiente para cada tipo de colector y las captaciones de escorrentía que se desea hacer, de laderas o de quebradas. De esta manera se puede anotar la siguiente distribución en una microcuenca:

- a) En sectores de mayor pendiente, hasta 25 %: surcos en media luna
- b) En sectores de pendiente intermedia 10 a 15%: surcos en media luna, trincheras o surcos, canaletas de desviación, terrazas con muro de piedra.
- c) En sectores con pendientes de hasta 10 %: terrazas con muro de piedra, trinchera o surco, canaleta de desviación.
- d) Sectores de pendiente menor y hasta un 8%: Limán. También se puede establecer cualquiera de los anteriores.

En la figura 20 se muestra un esquema para un diseño de una plantación forestal mediante la técnica de cosecha de aguas lluvia.





- | | | | |
|---|----------------------|---|--|
|  | Limán |  | Terraza En Semicírculo |
|  | Quebrada |  | Canaleta de Desviación |
|  | Trinchera |  | Surco Profundo o Trinchera |
|  | Surcos En Media Luna |  | Canaleta de Desviación con Casilla de Plantación |
|  | Dique de Piedra | | |

Figura 20: Diseño de una plantación con diferentes tipos de colectores

5. ESTANDARES DE COSTOS DE ESTABLECIMIENTO DE COLECTORES PARA LA FORESTACION

A continuación se entregan estándares de costos según tipo de colectores para plantación.

Escurrimiento de laderas:

• Terrazas

Las terrazas de alrededor de 10 m² en laderas han demostrado buenos resultados para el establecimiento inicial; sin embargo, son de un costo de construcción muy alto, con valores de US\$ 2.640 por hectárea.

Costo unitario :

Mano de obra : 8 jornadas x US 11,0/jornada	=	US\$	88,0
Materiales plastico protector 10 m ²	=	US\$	8,0
Total :	=	US\$	96,0

Costo por ha (100 árboles/ha)	=	US\$	96,0
20 terrazas/ha con 5 plantas cada una	=	US\$	1.920,0

• Surcos manuales en media luna

Surcos en media luna con una superficie de 10 m² para establecer 3 plantas

Costo unitario por surco :

Mano de obra :0,85 jornadas x US\$ 11,0	=	US\$	9,4
---	---	------	-----

Costo por ha (102 árboles/ha):

34 surcos/ha con 3 plantas cada una	=	US\$	318,0
-------------------------------------	---	------	-------



- **Zanjas manuales de colección rectangulares :**

Con una superficie de 10 m² para establecer 3 plantas

Costo unitario por zanja :

Mano de obra : 1 jornada x US\$ 11,0 = US\$ 11,0

Costo por ha (102 árboles/ha)
34 zanjas/ha con 3 plantas cada una = US\$ 374,0

- **Escurrimiento de quebradas :**

- Canaletas de desviación que alimentan tazas de plantación individual, dispuestas cada 5 m en el surco. El costo unitario se refiere a 50 m de canaletas con sus respectivas tazas de plantación cada 5 m, para plantar 10 árboles.

Costo unitario para 50 metros de canaletas y tazas de plantación cada 5 m:

Mano de obra : 5 jornadas x US\$ 11,0 = US\$ 55,0

Costo por ha (100 árboles/ha):
10 tramos de 50 m que completan los
100 árboles = US\$ 550,0

- Limán construido en forma manual de 20 m², para establecer 8 árboles.

Costo unitario :

Mano de obra : 15 jornadas x US\$ 11,0 = US\$ 165,0

Plástico 20 m² = US\$ 16,0

Total = US\$ 181,0

Costo por ha

(6 limanes/ha = 48 árboles) = US\$ 1.086,0



- Limán construido en forma mecanizada, de 80 m² para establecer 25 árboles. El número de limanes posibles de establecer depende de las condiciones fisiográficas y topográficas. No siempre es posible establecer uno o más por hectárea.

Costo unitario :

Mano de obra : 14 jornadas x US\$ 11,0	=	US\$	154,0
Operación de tractor agrícola con retroexcavadora (4 horas)	=	US\$	148,0
Total	=	US\$	302,0

- **Ejemplo de costos de forestación para una hectárea:** En una forestación se puede considerar varios tipos de colectores, dependiendo de su posición en la pendiente, o bien si se capta preferentemente de una ladera o de una quebrada, como se indica en la figura 20. A continuación se entrega un ejemplo que contempla diferentes colectores para una densidad de 100 árboles por hectárea. Escurrimiento de laderas :

4 terrazas : 20 árboles (4 x US\$ 96,0)	=	US\$	384,0
4 surcos individuales 12 árboles (4xUS\$ 9,4)	=	US\$	37,4
8 zanjas : 24 árboles (8 x US\$ 11,0)	=	US\$	88,0

- **Escurrimiento de quebradas**

100 m desviación de canaletas con 20 árboles en tazas individuales	=	US\$	110,0
--	---	------	-------

- **Limán de construcción mecanizada :**

limán con 25 árboles	=	US\$	302,0
Costo total de los 100 arboles /ha	=	US\$	921,4



Estos costos no incluyen el cerco de protección. Para el cerco se puede considerar dos alternativas:

- *Cercado individual de cada colector o grupo de colectores*
- *Cercado de la superficie completa.*

Es recomendable la segunda opción ya que tiene un costo menor. Para este tipo de cerco se debe considerar un costo aproximado de US\$1,7 por metro lineal..

Cuadro 2: Estimación de Costos para la forestación con Cosecha de Aguas lluvias y colectores

Tipo de Colector	N°Colectores /ha	Arboles /ha	Confección Colectores U\$/ha
Tipo Manual			
• Terraza en ladera 10m ²	20	100	1.920
• Surcos en media luna	34	102	312
• Zanjas	34	102	374
• Canaletas desviación 50m	10	100	550
• Limán 20 m ²	6	48	1.086
Tipo mecanizado			
• Limán 80 m ²	1	25	302

** Nota: Cuadro no considera costo de cercado*

Bibliografía

ANDRADE, F. y WRANN, J., 1997: Técnicas de forestación en zonas áridas: cosecha de aguas lluvia y utilización de vertientes. En: Forestación y Silvicultura en Zonas Áridas y Semiáridas, CORFO-INFOR, Santiago. Pág. 3-18.

ANDRADE, F. WRANN, J. Y COHEN, M., 1998: Cosecha de aguas lluvia para la forestación. En: Actos Primer Congreso Latinoamericano INFRO, Valdivia, Noviembre 1998, Tema 4: Desarrollo Forestal en Tierras Áridas y Semiáridas, en CD.

CRITCHLEY, W. and SIEGERT, K., 1991: Water Harvesting, FAO, Roma, 133 pág.

DUNNE, T. and LEOPOLD, L.B., 1978: Water in the environmental planning. W.H. Freeman and Co, San Francisco, 818 pág.

MOSHE, I. 1989: Plantings by run-off harvesting in the Negev. Allgemeine Forstzeitschrift N° 24-26, pág. 638-641.

MOSHE, I. 1994: Soil conservation and afforestation practices as a tool for rehabilitation of arid regions. Proceedings IUFRO Symposium "Silviculture of Protection Forestry in Arid Regions and the Agroforestry Potential, Alexandria, Egypt, March, 1994, pág 116-117.

PERRET, S.; VALDEBENITO, G. 1997: Evaluación de pérdidas de suelo y escorrentía bajo diferentes esquemas productivos en la provincia del Choapa, IV Región. En: Forestación y Silvicultura en Zonas Áridas y Semiáridas CORFO-INFOR, Santiago, pág. 60-73.

SACHS, M. 1994: Desert afforestation – a successful implantation in the Negev desert. Proceedings IUFRO Symposium "Silviculture of Protection Forestry in Arid Regions and the Agroforestry Potential, Alexandria, Egypt, March, 1994, pág. 110-112.

SHACHAK, M. SACHS, M. MOSHE, I, 1997: Savannization, an integration of ecological theory, experimental approach and successful landscape management in the Negev desert. En: Forestación y Silvicultura en Zonas Áridas y Semiáridas, CORFO-INFOR, Santiago, pág. 93-117.

YAIR, A. SHACHAK, M. SCHREIBER, K-F. 1989: Hillslope minicatchments: The use of surface run-off water to increase primary production in a rocky desert. Allgemeine Forstzeitschrift, N° 24-26, pág. 642-647.

DESARROLLO DE EJEMPLOS PRACTICOS PARA EL CALCULO DE LAS AREAS DE CAPTACION Y COLECCION

Ejercicio N°1:

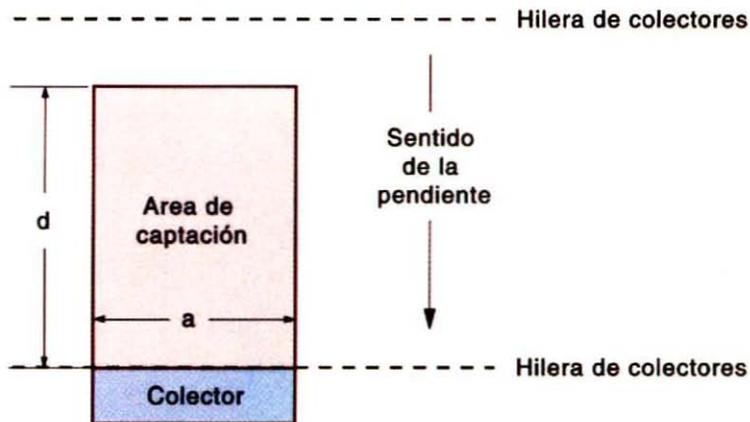
En un sitio de la zona árida de Chile, con una precipitación representativa de 150 mm/año, se desea desarrollar una sabanización con la especie *Acacia saligna*. Se estima que la especie se desarrolla en forma satisfactoria con una precipitación anual de 500 mm.

Para el establecimiento de las plantas se confeccionarán colectores rectangulares de $6 \text{ m}^2/\text{árbol}$. El ancho hacia el área de captación es de 3 m. Se estima un coeficiente de escorrentía de 0,3 y un factor de eficiencia de 0,5.

Calcular:

1. El área de captación
2. Distancia de Captación con respecto a la hilera precedente de colectores
3. Que densidad de plantación (N° arboles/ha) podrá establecerse.

Croquis de la situación planteada:



Desarrollo del Ejercicio N°1:

Datos:

Aca =	?
Ancho área de captación (a) =	3m
Aco =	6 m ²
PE =	150 mm = 150 l/m ² /año
AR =	500 mm = 500 l/m ² /año
CE =	0,3
FE =	0,5

1. Cálculo área de captación

Aca =	Aco (AR-PE) / PE*CE*FE
Aca =	6 (500-150) / 150*0,3*0,5
Aca =	2.100 / 22,5
Aca =	93,3 m ²

2. Cálculo distancia del área de captación

Aca =	d * a
93.3 =	d * 3 m
d =	93,3 / 3
d =	31,1 m

3. Densidad de plantación

La capacidad de cada colector es para un solo árbol, por lo que la superficie total requerida para cada árbol es equivalente a la suma del área de captación mas el área de colección:

$A_{ca} + A_{co} =$ Area total para la plantación de un árbol

$93,3 + 6,0 =$ 99,3 m²

Luego la densidad por hectarea será de :

$10.000 \text{ m}^2 / 99,3 \text{ m}^2 =$ 100,7 árboles

100 árboles /hectárea



Ejercicio N°2:

En el secano interior de la región semiárida de Chile se desea establecer una plantación de *Eucalyptus camaldulensis*. La precipitación estimada es de 400 mm/año (con una probabilidad de ocurrencia del 67 %). El coeficiente de escorrentía para la zona es de 0,2 y el factor de eficiencia de 0,75. Se estima que para desarrollarse en óptimas condiciones la especie requiere de una precipitación anual de 800 mm.

De acuerdo a los antecedente entregados ¿Cuál debería ser la relación entre la Superficie de captación y la de colección por cada árbol a establecer?

Solución Ejercicio N°2:

Datos:

Aca =	? m ²
Ancho área de captación (a) =	? m
Aco=	? m ²
PE= 400 mm=	400 l/m ² /año
AR= 800 mm =	800 l/m ² /año
CE=	0,20
FE=	0,75

$$Aca / Aco = \frac{AR - PE}{PE * CE * FE}$$

$$Aca / Aco = \frac{800 - 400}{400 * 0,2 * 0,75}$$

$$Aca / Aco = 6,7$$

$$Aca = 6,7 * Aco$$

Luego la superficie de captación debe ser 6,7 veces mayor a la superficie de colección.



Ejercicio N°3:

Se ha construido un liman que tiene una superficie útil de 100 m^2 y donde se establecerán 25 árboles. La superficie de captación es de 2.000 m^2 . Se estima que la máxima intensidad de lluvia por evento pluviométrico en la zona puede llegar a los 90 mm . Bajo estas circunstancias ¿A qué altura en el dique se debe construir la canaleta de salida o aliviadero, para no sobrepasar la capacidad del limán?. Se estima que el coeficiente de escorrentía es de $0,3$ y el factor de eficiencia de $0,5$.

Desarrollo Ejercicio N°3:

Datos:

Aca =	2.000 m^2
Aco =	100 m^2
PE =	$90 \text{ mm} = 90 \text{ l/m}^2/\text{evento}$
CE =	$0,30$
FE =	$0,50$

En este caso se trata de dimensionar la altura del colector de manera que al ocurrir un evento de esta naturaleza sea capaz de contener ese volumen de agua.

Capacidad del colector (Cc):

Cc =	$PE * Aco + Aca (PE * CE * FE)$
Cc =	$90 * 100 + 2000 (90 * 0,3 * 0,5)$
Cc =	36.000 litros

Por lo tanto la Capacidad del colector (Cc), será equivalente al área de Colección, multiplicado por la altura (A) en que se debe construir el aliviadero.

Se tiene:

$$Cc = Aco * A$$

Reemplazando:

$$1.000.000 \text{ cm}^2 * A = 36.000.000 \text{ cm}^3$$

Despejando se tiene que :

$$A = 36 \text{ cm, que indica la altura en la que debe comenzar la canaleta del aliviadero.}$$



SANTIAGO

Huérfanos 554

Casilla 3085

Fono: (56-2) 693 0700

Fax: (56-2) 638 1286

CONCEPCION

Camino a Coronel

km 7,5 - Casilla 109 C

Fono: (56-41) 27 9273

Fax: (56-41) 27 9273

VALDIVIA

Fundo Teja Norte

Casilla 385

Fono: (56-63) 21 1476

Fax: (56-63) 21 8968

COYHAIQUE

Baquadano 645

Fono: (56-67) 23 3585

Fax: (56-67) 23 3585

<http://www.infor.cl>

e-mail: info@infor.cl



INFOR
Instituto Forestal