

Técnicas de Cosecha de Aguas Lluvia y Conservación de Suelos para la Oasificación del Norte Chileno

MANUAL N° 44
La Serena, Chile Diciembre 2011



INFOR

Técnicas de Cosecha de **Aguas Lluvia** y **Conservación de** **Suelos** para la **Oasificación del Norte** **Chileno**

MANUAL N° 44

La Serena, Chile Diciembre 2011



INFOR

Registro Propiedad Intelectual N° 212.646
Santiago de Chile, 2011
I.S.B.N. 978 - 956 - 318 - 052 - 7

Edición General: Instituto Forestal (INFOR)

Autores:

Sandra Perret D.
Sandra Gacitúa A.
Jaime Montenegro R.

Financiamiento de la presente edición:
Ministerio de Agricultura, Chile

Edición Diciembre 2011

Esta edición está basada en el texto del Manual 25 editado por INFOR
en Agosto de 2000.

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

Diseño y Diagramación: Sebastián Núñez S.

PROLOGO

El presente manual ofrece opciones que tienen un alto potencial para ser adaptadas a las condiciones agroecológicas, a los sistemas productivos y a los objetivos y necesidades específicas del agricultor. Una primera versión de éste manual, se inició en el año 2000 con la recopilación de la información basada mayormente en las experiencias extranjeras e implementadas a modo demostrativo en la Región de Coquimbo.

En esta edición se incorporan, luego de un proceso de validación y revisión, las experiencias ejecutadas por el Instituto Forestal y otras entidades del sector público y privado. Además, se entregan antecedentes sobre los costos de implementación de algunas de estas prácticas con el objeto de evaluar su viabilidad y efectividad en el aprovechamiento de la escorrentía superficial, para su posterior proceso de implementación y consolidación a mayor escala.

La conservación y uso adecuado de los suelos y el agua en tierras de cultivo, pastizales y bosques son la clave para el mantenimiento de la productividad de las tierras, el bienestar de la población y por ende de la Nación (Ipinza et al., 1991).



INDICE

I. Introducción	6
II. Antecedentes históricos	8
III. Situación en Chile	9
IV. Hidrología de las zonas áridas	10
V. Causas y factores de la erosión	11
VI. Estimación de pérdida de suelo	14
VII. Captación de aguas lluvia	18
VIII. Tamaño de los sistemas de captación y colectores	25
IX. Requisitos del sitio para captación de aguas lluvia	27
X. Forestación	30
XI. Clasificación y descripción de obras de conservación de agua y suelos	31
XII. Diseño de la plantación	44
XIII. Criterios de evaluación para el uso sustentable del suelo	46
XIV. Estándares y costos de establecimiento de colectores para la forestación	51
XV. Cálculo de las áreas de captación y colección	58
XVI. Bibliografía	62

I. INTRODUCCIÓN

El problema de la pérdida de suelo radica principalmente en la actividad silvoagropecuaria, donde el hombre es el principal actor, que con su accionar ha provocado mermas en la productividad de los ecosistemas, lo que conlleva a un detrimento de su condición de vida asociado a aspectos sociales y económicos.

Una posible vía de recuperación de estas áreas, es la forestación 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, elemento que restringe en gran medida la actividad silvoagropecuaria. Normalmente el mal aprovechamiento que se hace de este elemento al dejarla escurrir, produce pérdidas importantes de suelo y fertilidad.

La cosecha de aguas lluvias es una técnica cuyo objetivo es canalizar las aguas de escorrentía hacia receptáculos para ser utilizada por las plantas por un periodo de tiempo mayor. La formación vegetal resultante de esta técnica se denomina sabana, que consiste en pequeños grupos de árboles distribuidos en una unidad de superficie determinada. La principal ventaja de esta práctica es que permite establecer pequeños bosquetes en suelos muy degradados. Esta técnica tiene su origen en las 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.

El término **oasificación** fue propuesto por Andrés Martínez de Azagra Paredes, catedrático de Hidráulica e Hidrología Forestal de la Universidad de Valladolid y se basa en la cosecha de suelo, de nutrientes y agua que son fundamentales para el proceso restaurador de la ladera degradada. Además de cosechar agua se recolectan nutrientes, semillas y suelo, por lo que al mismo tiempo se logra el control de la erosión hídrica, tan frecuente en las zonas áridas y semiáridas.

Por lo tanto, para oasificar es preciso plantear sistemas de recolección de agua, es decir, hay que perfilar micro-embalses convenientemente dimensionados para acumular el agua de escorrentía en los puntos a repoblar. Estas pequeñas estructuras de tierra recogen e infiltran la escorrentía, mejorando las condiciones de humedad del suelo y posibilitando el desarrollo de una vegetación natural leñosa, invirtiéndose así el temido proceso de desertificación (*Figura 1*).



Figura 1. Oasificación en la Comunidad Agrícola de Atelcura, Región de Coquimbo 2011.
Fotografía: INFOR.

Lo anterior, se logra mediante la modificación del relieve o topografía de manera de generar zonas receptoras de agua y nutrientes que se abastecen de zonas productoras o de escurrimiento. La zona receptora, en la cual se concentra el agua y los nutrientes, producto del escurrimiento por la pendiente, adquiere una mayor capacidad y productividad para sostener y mantener vegetación. Así es posible crear un paisaje de sabana, es decir, grupos de árboles, tipo parque o dehesa, obteniendo como resultado una mayor diversidad biológica, producto del aprovechamiento del agua y nutrientes que anteriormente se perdían.

En Chile, específicamente en las zonas de secano, 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 cultivos anuales o intensivos. Dichos terrenos presentan un gran deterioro, con un avanzado estado de erosión y desertificación. Este diagnóstico 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 que ofrece la naturaleza traducido en aguas lluvias.

Con este fin, se ha desarrollado una recopilación de las técnicas de conservación de suelos y agua más utilizadas en las zonas áridas y semiáridas de Chile, de manera que sirva de herramienta para la toma de decisión en pos de la oasisificación de estos territorios.

Desde la década de los 90, del siglo pasado INFOR ha dirigido esfuerzos hacia los aspectos técnicos y metodológicos de la conservación de suelos y agua, principalmente apoyado con entidades que trabajan en estos temas.

II. ANTECEDENTES HISTORICOS

Debido a la importancia que el agua siempre ha tenido para el hombre, éste se ha preocupado por su captación, especialmente en zonas secas. Las formas más primitivas de recoger agua fueron sencillos hoyos excavados en el suelo o en la roca, para captar y almacenar la escorrentía generada durante las lluvias. Algún tiempo después, estos hoyos se acompañaron de muros de desviación, para crear un área de captación de mayor superficie.

Algunos restos arqueológicos de este tipo de estructuras se han estudiado en las montañas de Edom (en el sur de Jordania) con una antigüedad de unos 9.000 años, en Irak hacia el año 4500 A.C. y en la zona situada entre el golfo de Arabia y La Meca (Frasier, 1994). La técnica consistía esencialmente en la recolección de agua lluvia y su desviación a estanques naturales o artificiales (Bazza y Tayaa 1994).

Evenari et al. (1963, 1964) describieron un sistema de captación de agua para la agricultura, situado en pleno desierto del Negev (Israel), que data desde unos 4.000 años. Estas instalaciones están constituidas por áreas productoras de escorrentía con laderas sin vegetación y suelo alisado, para fomentar el escurrimiento superficial y zanjas cavadas, siguiendo curvas de nivel que conducían el agua recogida a los campos de cultivo. Esto permitía la producción de cereales en una región con precipitación anual media de 100 mm.

En Palestina han sido descubiertas cisternas con áreas de captación, del año 2500 al 1800 A.C. (Nasr, 1999). Otras técnicas de cosechas de agua han sido utilizadas hace unos 500 años en el suroeste de Estados Unidos, y en México, India y África, tanto en la zona subsahariana como al norte de este continente (Frasier, 1994; Bazza y Tayaa, 1994).

En la actualidad, la recolección de agua se practica en las regiones áridas y semiáridas de numerosos países (Australia, Túnez, Kenia, India, Pakistán, Israel, México, entre ellos Chile), principalmente para la agricultura. La técnica más utilizada es, sin duda, la de micro-embalses. Su ventaja radica en que estas técnicas tradicionales de recolección de agua son sencillas de ejecutar, característica que resulta interesante para su aplicación en la restauración forestal (*Figura 2*).



Figura 2. Limán en el desierto de Negev. Fotografía: Hanan Isachar

III. SITUACIÓN EN CHILE

Desde la llegada de los españoles, Chile ha sufrido una serie de transformaciones y alteraciones que han modificado por completo su paisaje. El origen de esta transformación comienza con el aumento de la población y el posterior hallazgo de yacimientos minerales en la zona norte del país. La explotación de minas de cobre, plata y oro condujo a la devastación de extensas zonas, quedando una cubierta vegetal insuficiente para proteger el suelo de la actividad pluvial y eólica, lo cual aceleró los procesos erosivos y con ello el avance de la desertificación hacia el sur del territorio.

Es así como en las zonas áridas y semiáridas de Chile, el recurso agua ha sido la principal limitante para el éxito de cualquier tipo de cultivo, limitando el desarrollo de la agricultura tradicional. Las lluvias torrenciales y esporádicas pueden constituir una ventaja si se plantea como una posible fuente hídrica para el establecimiento de plantaciones forestales con especies perennes que contribuyan a mitigar la erosión (Perret et al., 2000).

Analizando gran parte de las obras dirigidas a la conservación de aguas y suelos llevadas a cabo en el país, surge la pregunta sobre cuáles son las más adecuadas desde el punto de vista técnico y de los costos asociados a ellas. En este contexto, se deben considerar aspectos ligados a la ingeniería hidrológica y de suelos, ya que la erosión implica movimientos en masa de tierra y agua. El proceso precipitación-escorrentía está determinado por el comportamiento de las precipitaciones y específicamente, de su intensidad y de la proporción de escorrentía superficial que se genera en el suelo.

En función de lo expuesto, las obras de conservación de aguas y suelos, que son de envergadura media a pequeña, son las más efectivas y aplicables en forma extensiva (Figura 3). Entre estos métodos, los más utilizados son la construcción de terrazas individuales, los diques para el control de cárcavas, las técnicas de enriquecimiento de la vegetación existente, la exclusión de áreas prioritarias a conservar y los surcos en contorno, entre otros. Sin embargo, haciendo una combinación y manejo adecuado del capital biológico presente, tanto nativo como exótico, e incorporando el uso integrado de obras para la conservación de los ecosistemas suelo-agua-planta, es posible, si se aplica con un criterio racional, prevenir oportunamente efectos no deseados.



Figura 3. Obras de conservación de aguas y suelo. Quebrada Ilta, Comunidad Agrícola Tunga Norte, Región de Coquimbo 2011. Fotografía: INFOR.

En este manual se hace una descripción técnica y económica de las obras de conservación de aguas y suelos existentes al 2011, con el objetivo que sirva como referencia para futuras investigaciones y aplicaciones. Todas las medidas que se proponen pasan necesariamente por la capacitación de los técnicos y de la población urbana y rural para su efectivo impacto en el medio ambiente.

IV. HIDROLOGÍA DE LAS ZONAS ÁRIDAS

Las zonas áridas se caracterizan por su escasa precipitación, acumulada en pocos eventos al año dado que generalmente estas lluvias son cortas, intensas y concentradas en una época.

El norte y parte de la zona central de Chile son un buen ejemplo de este comportamiento, con promedios anuales de precipitación inferiores a 300 mm y con una gran variación temporal y espacial. Otros aspectos a considerar son la evaporación y el carácter esporádico de los cauces (Fernández, 1997).

La derivación de las aguas lluvias en zonas áridas y semiáridas a través de canales de desviación se hace efectiva de cauce a ladera cuando los eventos pluviométricos son de gran magnitud. Sin embargo, estos eventos pueden causar procesos erosivos en sus laderas, dado que los suelos son extremadamente vulnerables al impacto de las gotas de lluvia debido a la escasa vegetación protectora, al grado de compactación que presentan y al manejo productivo intensivo bajo el que se encuentran, infiltrando así solo en las primeras capas del suelo (*Figura 4*).



Figura 4. Erosión en cárcavas. Quebrada El Peral Comunidad Agrícola Cuz Cuz, Región de Coquimbo 2011. Fotografía: INFOR.

V. CAUSAS Y FACTORES DE LA EROSIÓN DEL SUELO

El suelo se forma de las rocas, pero su proceso es a muy largo plazo. Mediante diversos mecanismos, tanto físicos como químicos y biológicos, las rocas poco a poco van desintegrándose pasando a formar parte del suelo (Ipinza et al., 1991).

Uno de los fenómenos naturales que incidió en la modificación del paisaje, fue la glaciación, cuyos grandes bloques de hielo trituraron enormes cantidades de rocas, las que se fueron incorporando al suelo.

Otro factor natural importante es la temperatura, la que por su oscilación provoca ruptura en las rocas y por ende el desprendimiento de partículas por medio de la acción de contracción y expansión del material parental. También contribuye a la formación de los suelos la actividad de la micro y la macrofauna.

Conformados los suelos, el proceso continúa con la aparición de vegetación menor de carácter colonizadora y posteriormente de formaciones vegetales naturales, cuyas características de tamaño y densidad estarán en función principalmente de las variables climáticas del lugar.

Sin embargo, tanto los suelos como las formaciones vegetales naturales pueden ser afectados positiva o negativamente por la acción del hombre y, lamentablemente, este efecto es frecuentemente negativo por la sobreutilización de los recursos vegetales y la consecuente pérdida de los suelos. Al respecto, es conveniente precisar algunos conceptos, como:

► **Erosión**

Proviene del verbo latino "erodere", roer, y se refiere al progresivo desgaste de la superficie terrestre debido a la acción de los denominados agentes geomorfológico externos: agua, viento y hielo.

► **Desertificación**

Corresponde a la acción de degradar el ecosistema transformándolo en un desierto, producto de la intervención de los seres humanos y de variables climáticas, en zonas áridas, semiáridas y sub-húmedas secas (Geist, 2005) (Figura 5).

Según la UNCCD, desertificación es la degradación de la tierra en regiones áridas, semiáridas y sub-húmedas secas, resultante de diversos factores, incluso variaciones climáticas y actividades humanas (IFAD, 2001).

► **Desertización**

Se refiere a la acción de degradación del ecosistema, transformándolo en un desierto, producto de agentes naturales en los que no interviene la acción del hombre (Ipinza et al., 1991) (Figura 6).

También es definido como la extensión irreversible de formas desérticas de suelos y paisajes situadas en áreas donde no ha ocurrido en un pasado reciente (Noel, 2002).



Figura 5. Ecosistemas degradados intervenidos por el hombre. Fotografía: INFOR.



Figura 6. Ecosistemas degradados por agentes naturales. Fotografía: Karina Gutiérrez P.

Los cambios sufridos por la superficie terrestre han conducido a estudiar los mecanismos y factores para controlar la erosión y la lucha contra la desertificación en ambientes mediterráneos (Tabla 1).

TÉCNICAS DE COSECHA DE AGUAS LLUVIA Y CONSERVACIÓN DE SUELOS PARA LA OASIFICACIÓN DEL NORTE CHILENO

Tabla 1. Transformaciones en el medio ambiente inducidos por el hombre y/o naturaleza.

		DISPONIBILIDAD DE AGUA		
		Desequilibrios temporales	Deficiencias permanentes	
TRANSFORMACION EN EL MEDIO AMBIENTE	Producido por la naturaleza	SEQUIAS	ARIDEZ	
		Características	<ul style="list-style-type: none"> - Persistencia en precipitaciones menores a la medida. - Variabilidad en frecuencia, duración y severidad. - Ocurrencia imprescindible. - Reducción de disponibilidad de agua en zona afectada. - Disminución en la capacidad de conducción de la red hidrográfica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Condiciones de baja humedad en toda la zona. - Altos grados de insolación. - Variaciones extremas de temperatura. - Alta variabilidad en la precipitación en el tiempo y en el espacio. - Bajas precipitaciones medias anuales. - Baja Capacidad de conducción de la red hidrográfica
		Efectos	<ul style="list-style-type: none"> - Erosión eólica y deterioro de suelos cultivables. - Reducción de la flora y fauna. - Reducción de calidad de aire: polvos. - Aparición de plagas y enfermedades. - Aumento de la demanda de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> - Producción agrícola limitada. - Actividades de extracción e industriales limitadas por r disponibilidad del recurso del agua. - Asentamientos humanos dispersos. - Subsistencia de economías agrícolas
	Respuestas	<ul style="list-style-type: none"> - Regulación de uso de agua, racionalización y/o reciclado. - Medidas institucionales de uso durante la crisis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Recuperación de suelos: Irrigación. - Secuencia en la concesión de uso del suelo. - Obras hidráulicas de almacenaje y conducción de agua. 	
	Inducido por el hombre	Características	DEFICIT	DESERTIFICACION
		Efectos	<ul style="list-style-type: none"> - Sobreexplotación de acuíferos. - Nivel de agua en embalses menor a la prevista. - Degradación de suelos. - Condiciones de escurrimiento incrementadas. - Disminución de recarga de acuíferos. - Capacidad alterada de conducción en la red hidrográfica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Minado de acuíferos. - Pérdida de los sistemas ribereños. - Pérdida de nutrientes en suelos. - Daños de las capas superficiales y subsuperficial de suelos. - Aumento de inundaciones repentinas y en escurrimientos - Deterioro y/o pérdida de capacidad de conducción en la red hidrográfica.
Respuestas		<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas hidrológicos afectados localmente. - Deterioro de la calidad del agua; intrusión salina. - Conflictos entre usuarios del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> - Erosión por viento y agua. - Salinización de suelos. - Agrietamiento y/o compactación de suelos. - Salinización de aguas. - Abatimiento de acuíferos: subsistencias. - Cambios microclimáticos: calidad del aire. - Alteración de la estructura social. - Cambios en las bases de la economía. - Pérdida de suelos cultivables. 	

VI. ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO

Las investigaciones tendientes a medir la erosión hídrica y el desarrollo de metodologías para evaluar la pérdida de suelo, comienzan a principios de 1900, principalmente en EEUU. Las primeras aproximaciones en el desarrollo de modelos predictores, tuvieron carácter cualitativo y como resultado se obtuvieron ecuaciones empíricas, donde se destaca la formulada por Musgrave (1947) marcando el fin del primer período. Posteriores estudios sobre la importancia del impacto de las gotas de lluvia en el suelo, permitieron mejorar las ecuaciones empíricas desembocando a mediados de la década del 60, en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Universal Soil Loss Equation) USLE, dando inicio al período de los modelos paramétricos de medición de erosión (Perret et al., 1998).

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) fue desarrollada por Wischmeier y Smith en 1965, tomando como base la información obtenida de 10.000 parcelas experimentales distribuidas en las principales áreas agrícolas de Estados Unidos, con el objetivo principal de determinar el comportamiento del suelo frente a las diferentes formas y tipos de cultivos y, a la vez, evaluar los resultados de las medidas de protección con la finalidad de mantener el suelo como un recurso sustentable.

Para poder estimar las pérdidas de suelo o erosión, se deben distinguir ciertos conceptos que dicen relación con su vulnerabilidad:

- ▶ **Erosividad del suelo:** Relacionada con la capacidad erosiva de las gotas de lluvias y el flujo de la escorrentía superficial.
- ▶ **Erosionabilidad del suelo:** Vulnerabilidad o susceptibilidad del suelo para ser erosionado.

La USLE, como modelo matemático, permite estimar la cantidad de suelo promedio anual que se pierde por concepto de erosión hídrica y su valor es calculado como un producto de seis factores:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Donde;

- A:** Pérdida de suelo (erosión) expresado en toneladas por hectárea (t/ha) o bien en (t/ha /año).
- R:** Índice de erosión pluvial (erosividad) expresado en ($J \times cm \times m^{-2} \times hora^{-1}$)
- K:** Factor de erosionabilidad del suelo ($t \times m^2 \times hora \times ha^{-1} \times J^{-1} \times cm^{-1}$).
- L:** Factor adimensional de longitud de pendiente.
- S:** Factor adimensional de pendiente
- C:** Factor adimensional de ordenación de cultivos.
- P:** Factor adimensional de control de erosión mediante prácticas de cultivo.

A continuación, se describe la metodología y el cálculo de los parámetros:

- ▶ **Factor de erosividad del aguacero o índice de erosión pluvial (R):** Representa la energía con la que la lluvia es capaz de erosionar superficialmente el suelo y se define como el producto de la energía cinética de una lluvia por su máxima intensidad en 30 minutos, dividido por cien.
- ▶ **Factor de erosionabilidad del suelo (K):** Relaciona las propiedades físicas del suelo con la velocidad de éstos para erosionarse y representa la pérdida media anual de un suelo por unidad de Factor R.
- ▶ **Factor topográfico o de relieve (L S):** Integra los dos componentes del relieve que influyen sobre la pérdida de suelo.
 - **L**, corresponde a la distancia desde el punto en que se inicia la escorrentía hasta donde se produce la deposición del material.
 - **S**, representa la pendiente expresada en porcentaje.
- ▶ **Factor de cultivo o factor vegetación (C):** Se define como la relación entre el valor medio de pérdida de suelo en un campo cultivado o con vegetación y las que se pierden en una parcela, en idénticas condiciones de lluvia, suelo y topografía, pero sometida a barbecho continuo (Mintegui y López, 1990).

La influencia que tienen los cultivos y sus prácticas sobre la erosión de los suelos depende de muchos factores. Entre éstos se pueden mencionar tipo de cultivo, formación vegetal aérea, sistema radicular, cantidad de absorción de agua, cantidad de residuos remanentes, y otros.

El efecto protector que tiene la vegetación sobre el suelo incorporado en el factor C, se debe principalmente a la protección aérea, protección a ras del suelo y a los residuos que lo protegen, recubriéndolo y mejorándole sus propiedades físicas. Su valor debe ser calculado en forma experimental para cada cubierta vegetal. En el caso de cultivos agrícolas, el factor debe ser calculado por períodos, debido a la variación de la cubierta del suelo según avanza el ciclo biológico del cultivo. Para tal caso, según M.O.P.U. (1985), se han establecido 5 períodos:

- Período 1:** Barbecho. Desde la aradura a la siembra.
- Período 2:** Siembra. Desde las labores previas a la siembra, hasta lograr que el cultivo cubra un 10% del suelo.
- Período 3:** Establecimiento. Desde el final del período anterior hasta que el cultivo desarrolla un 50% de cobertura.
- Período 4:** Crecimiento y maduración. Desde el final del período anterior hasta la cosecha.
- Período 5:** Rastrojo.

TÉCNICAS DE COSECHA DE AGUAS LLUVIA Y CONSERVACIÓN DE SUELOS PARA LA OASIFICACIÓN DEL NORTE CHILENO

Una vez calculados los valores de C para cada período, las pérdidas de suelo deben ajustarse a la distribución del índice de erosión pluvial (R), para esto los valores de pérdida de suelo encontrados para cada período deben ser multiplicados por el correspondiente porcentaje de factor R. Para realizar lo anterior, es necesario calcular la distribución porcentual media del factor R a lo largo del año, en función de las características pluviométricas propias de la zona de estudio. Para el caso de suelos con cubierta arbórea permanente (pastizales, matorrales, formaciones arbustivas y forestales), el valor de C permanece constante a lo largo de todo el año.

En base a las condiciones previamente planteadas, el valor de C fue calculado como valor medio anual, para cada una de las cubiertas vegetales del sureste de España (Tabla 2).

Tabla 2. Valor medio anual del factor C según Cubierta Vegetal¹.

Cubierta Vegetal	Valor C
Arbolado forestal denso	0,01
Arbolado forestal claro	0,03
Matorral con buena cobertura	0,08
Matorral ralo y eriales	0,20
Cultivos arbóreos y viñedos	0,40
Cultivos anuales y herbáceos	0,25
Cultivos en regadío	0,04

¹ Fuente: "Paisajes erosivos del sureste español". Proyecto LUCDEME (1983), citado por Dirección General del Medio Ambiente (1985).

- **Factor de prácticas de conservación de suelos (P):** Es considerada como una variable independiente del factor C y se refiere únicamente a: cultivos a nivel, cultivos en faja y terrazas. Cualquier otra práctica tendiente a prevenir la pérdida de suelo, es considerada dentro de las labores propias de ordenación del cultivo y deben ser incorporadas en el factor C. definido como: "la relación existente entre el valor medio de las pérdidas de suelo producidas en un campo donde se realizan las prácticas de conservación de suelos anteriormente aludidas, y las que se originarían en el mismo campo si se hicieran las labores en la dirección de la máxima pendiente, a igualdad de los restantes factores lluvia, suelo, topografía y vegetación en ambas situaciones". De acuerdo a los resultados obtenidos desde un muestreo de 189 parcelas se determinaron distintos valores de P, en función de la inclinación de la ladera (Mintegui y López, 1990) (Tabla 3).

TÉCNICAS DE COSECHA DE AGUAS LLUVIA Y CONSERVACIÓN DE SUELOS PARA LA OASIFICACIÓN DEL NORTE CHILENO

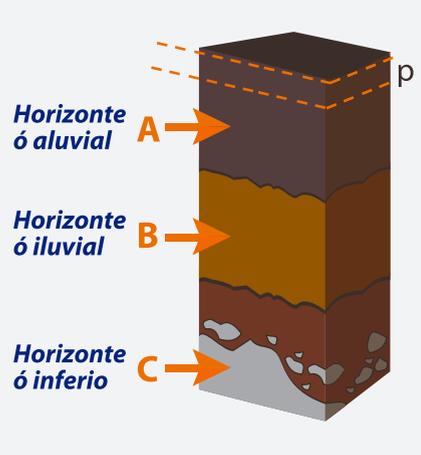
Tabla 3. Valores de P, en función de la inclinación de la pendiente.

Pendiente (%)	Cultivo a Nivel	Cultivo en Faja	Cultivo en terraza	
			a ¹	b ²
2 -7	0,50	0,25	0,10	0,05
8 -12	0,60	0,30	0,12	0,05
13 - 18	0,80	0,40	0,16	0,05
19 - 24	0,90	0,45	0,18	0,06

¹terrazas de desagüe con canal encespedado, ²terrazas de infiltración
Fuente: Soil Conservation Service, citado por Dirección General del Medio Ambiente (1985).

A nivel de campo surge la pregunta sobre ¿Cuántas toneladas de suelo se pierden en una hectárea (ha), si disminuye 1 mm el perfil de suelo después de un evento pluviométrico?.

En forma práctica se puede aplicar el siguiente ejercicio (Figura 7).



Horizonte A → Horizonte ó aluvial
Horizonte B → Horizonte ó iluvial
Horizonte C → Horizonte ó inferio

$1 \text{ ha} = 10.000 \text{ m}^2$
 La superficie tiene entonces las siguientes dimensiones:
 Largo (L): 100m
 Ancho (A): 100m
 Profundidad (p): 1mm (=0,001m)

El volumen de suelo perdido en la hectárea es:
 $100 \times 100 \times 0,001 = 10 \text{ m}^3$

Los suelos poseen distintos valores de densidad aparente, se debe aplicar un valor tabla, el que varía entre 1,6 a 2,1 g/cm³

$10 (\text{m}^3) \times 10^6 (\text{cm}^3/\text{m}^3) \times 1,6 (\text{g}/\text{cm}^3) = 16.000.000 (\text{g}) = 16 (\text{t})$

La pérdida de suelo para una densidad aparente de 1,6 es 16 t/ha. Para el valor más alto de densidad sería de 21 t/ha

Figura 7. Pérdida de suelo.

La gestión hídrica en las zonas áridas y semiáridas ha constituido uno de los principales elementos de análisis para el manejo sustentable de los recursos naturales, debido a la escasa oferta de agua y a su gran demanda para diversos usos. Con el fin de aportar a la solución del problema de conservación, recuperación de suelos y utilización óptima del escaso recurso agua se debe potenciar, difundir y masificar el uso de técnicas de cosecha de aguas lluvia bajo sistemas integrados de producción mejorando así, la capacidad de cosecha e infiltración en los suelos.

VII. CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIA

La adopción de prácticas conservacionistas es la clave para la valorización (capitalización) del recurso suelo, ya que ellas mejoran las condiciones físico/nutricionales que incrementan la productividad. Dentro de estas prácticas, la cosecha de aguas lluvias, en especial en zonas de secano, es complementaria e imprescindible.

Descripción de la Técnica

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 coleccionarlas en superficies menores (superficie de colección) en donde se hacen infiltrar para mojar completamente el perfil del suelo, en una cantidad superior a la que se produciría con la precipitación directa. De esta manera se distingue el área de captación y área de colección (producción o acumulación).

- **El área de colección (Aco)**, es el área en que se recepciona el agua de escorrentía, procedente de la superficie de captación, de la parte más alta de la pendiente. Es importante estimar la capacidad de almacenamiento de agua que tendrá cada colector, su capacidad debe contemplar la suma del agua de lluvia directa recibida, más la escorrentía proveniente de la superficie de captación. El suelo debe ser escarificado a una profundidad mínima de 60 cm para mejorar sus características físicas, favoreciendo el desarrollo radicular de la vegetación a establecer.
- **El área de captación (Aca)**, representa el aporte de agua de escorrentía, es decir, agua extra para alimentar la superficie de colección. El agua captada es directamente proporcional a la superficie de captación (Critchley y Siegert, 1991).

Por ejemplo si la lluvia caída en un evento pluviométrico es de 10 mm, significa que por cada 1 m² en el área de captación, se recepcionan 10 litros de agua en el área de colección. Sin embargo, solamente una proporción de esta precipitación escurre. Por ello, 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 a seleccionar.

La forestación se diseña sobre la base de una ordenación de la cuenca, con el objeto de aprovechar al máximo el agua lluvia, y a la vez, proteger el suelo de la erosión. En cuencas pequeñas, con laderas que circundan una quebrada, se hace un levantamiento topográfico y se diseñan y construyen acumuladores o colectores de agua de escurrimiento, moviendo suelo en forma mecanizada. Estos colectores se ubican y preparan de acuerdo al máximo de agua que pueda juntarse en un acumulador, sin peligro de causar erosión (Moshe, 1994). 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, entre otros. Un ejemplo típico de una superficie de acumulación o colector mayor es un "**limán**", similar a una terraza, que es una estructura

construida de suelo en un sector bajo, por lo general en el piedmont de una ladera, con una superficie plana, sobre la que se establecen las especies vegetales, con un dique en la parte delantera, pendiente abajo, opuesta a la boca de alimentación, como aliviadero.

- **Relación área de captación - colección.** Esta relación depende principalmente de la cantidad e intensidad de la precipitación por evento en cada temporada, permitiendo diseñar y estimar la magnitud del área de colección en función del área de captación (Figura 8).



Figura 8. (A) Relación Superficie de captación - colección. (B) Comunidad Agrícola Atelcura. Fotografía: INFOR.

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

(1) Agua cosechada, en litros, (I) = Agua requerida por el cultivo

La cantidad de agua cosechada o captada está en función de la cantidad de escorrentía 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 Siegert, 1991). Reemplazando en la fórmula (1) se tiene que:

(2) Agua cosechada (I) = $\text{Aca} \text{ (m}^2\text{)} \times \text{Pe} \text{ (l/m}^2\text{)} \times \text{Ce} \times \text{Fe}$

Donde;

- Aca:** área de captación (m²)
- Aco:** área del colector (m²)
- Ar:** agua requerida en (l/m²)
- Pe:** precipitación estimada (l/m²)
- Ce:** coeficiente de escorrentía
- Fe:** factor de eficiencia (< 1)

Para determinar el agua suplementaria requerida en el colector, es necesario conocer los requerimientos hídricos de la vegetación a establecer. El agua suplementaria se determina en función de la superficie del colector, la cual debe multiplicarse por la cantidad de agua requerida por el cultivo (expresada en mm o en l/m^2) y restándose a la cantidad de precipitación estimada que cae directamente en el área de colección. De esta manera reemplazando en la fórmula (1) se tiene:

$$(3) \text{ Agua requerida del cultivo} = Aco (m^2) \times Ar (l/m^2) - Pe (l/m^2)$$

Por sustitución de la igualdad original (1), reemplazando (2) y (3):

$$(1) \text{ Agua cosechada (I)} = \text{agua requerida del cultivo}$$

Se obtiene:

$$Aca (m^2) \times Pe (l/m^2) \times Ce \times Fe = Aco (m^2) \times Ar (l/m^2) - Pe (l/m^2)$$

Esta fórmula puede expresarse como:

$$\frac{Aca (m^2)}{Aco (m^2)} = \frac{Ar (l/m^2) - Pe (l/m^2)}{Pe (l/m^2) \times Ce \times Fe}$$

- **Agua requerida (Ar):** Es el agua necesaria a captar en el colector a partir de la precipitación anual estimada para la zona y el requerimiento de la o las especies a plantar, de manera de potenciar su óptimo desarrollo. Para el caso de las especies forestales no se cuenta con antecedentes validados sobre los requerimientos de agua, sin embargo para efectos de dimensionar el colector, puede usarse un valor estimativo de 500 a 800 ($l/m^2/año$).
- **Precipitación estimada (Pe):** Es la precipitación anual representativa para la zona (mm y/o l/m^2). Para el diseño del colector se recomienda usar un valor de precipitación con una probabilidad de ocurrencia mayor al promedio aritmético, esto tomado a partir de una serie de observaciones anuales. Lo recomendable es usar un valor que represente a lo menos un 67% de probabilidad de ocurrencia para asegurar un menor riesgo de inundación en los colectores.
- **Coefficiente de escorrentía (Ce):** Es la proporción de la lluvia que escurre en el área de captación. Este coeficiente depende de varios factores como la intensidad de las lluvias, las características del suelo, la cubierta vegetal y la topografía del área de captación. En la *Tabla 4* se dan a conocer los valores de coeficiente de escorrentía.

Tabla 4. Coeficiente de escorrentía (Ce), según Rázuri (1984).

Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despre- ciable
		>50	20 - 50	5 - 20	1 - 5	0 - 1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos Vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques Vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Nota: Para zonas que se espera puedan ser quemadas se deben aumentar los coeficientes:
 ➤ Cultivos: multiplicar por 1,10
 ➤ Pastos y vegetación ligera, hierba y grama, bosques y vegetación densa: multiplicar por 1,30

Sin embargo, la mejor manera de estimar este coeficiente es por medio de mediciones directas en el terreno. Esto puede hacerse mediante una simulación de lluvia o bien con una parcela de escorrentía.

- **Simulación de lluvia:** En una superficie pequeña, por ejemplo 1 m², se aplica una lluvia producida con una bomba de espalda a una intensidad determinada, 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 el agua de escorrentía.
- **Parcela de escorrentía:** La parcela debiera establecerse en un lugar representativo de la plantación 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 latón galvanizado de 30 cm de alto (15 cm se entierran). Además se debe instalar junto a la parcela un pluviómetro. En cada lluvia se debe anotar el tiempo de ocurrencia 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, et al., 1993) (Figura 9A y 9B).

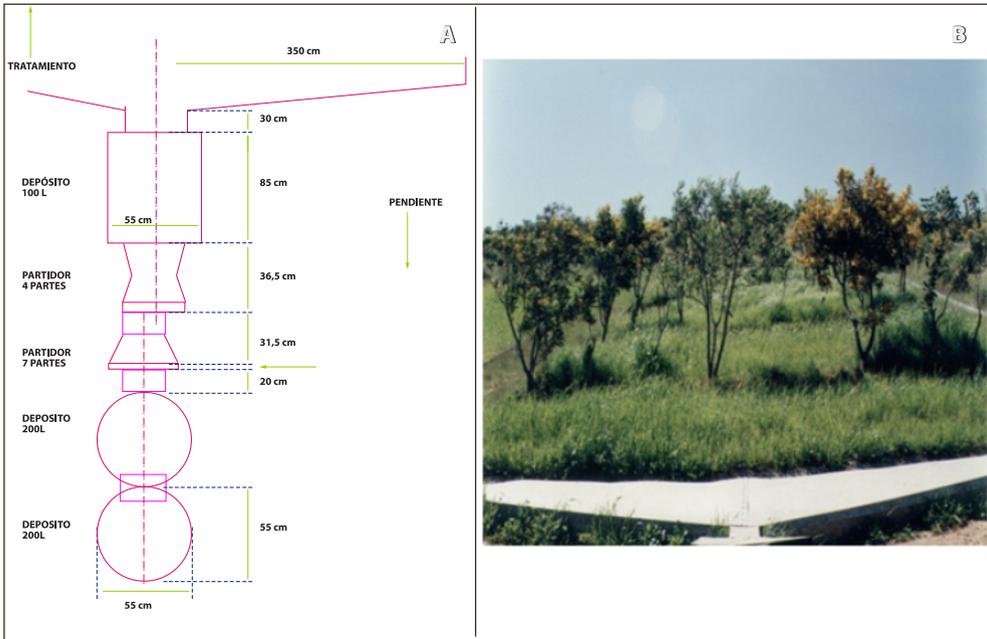


Figura 9. (A) Diseño de parcela de escorrentía. (B) Establecimiento en campo, en la región de Coquimbo. Fotografía: INFOR.

- **Factor de eficiencia (F_e):** 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. El C_e y F_e estiman el aporte real de agua del Aco hacia el Aca, corrigiendo el aporte real de agua.
- **Capacidad del colector (CC):** El colector debe tener una dimensión capaz de almacenar la escorrentía del Aca, más la lluvia directa que cae sobre Aco. Su capacidad está determinada por el volumen de almacenamiento del mismo (superficie por la profundidad), y la capacidad de retención del agua por el suelo (entre capacidad de campo y su punto de marchitez permanente).

CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIA

Para estimar la dimensión 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 Aca. Una lluvia continua de estas características en la zona centro norte y central del país (zona árida a semiárida) puede estimarse entre 80 a 100 mm en 24 horas, lo que equivale a 80 o 100 (l/m²), respectivamente.

El área del colector está dada por su forma. En el caso de las zanjas y trincheras que son de forma rectangular se calcula multiplicando el largo por el ancho del colector (Figura 10A). En el caso que el colector sea un surco en media luna, terraza con muro de piedra o un limán el área se calcula con la superficie de medio círculo (Figura 10B).

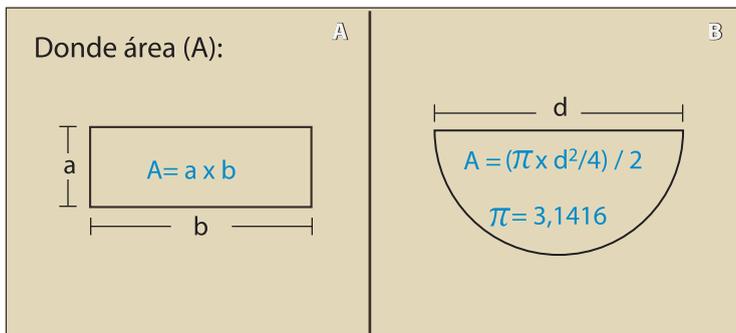


Figura 10. Área de colector según su forma. (A) colector rectangular. (B) colector semicircular

El área de captación corresponde a la zona formada por un rectángulo ubicado inmediatamente sobre al colector a utilizar, el cual comparte uno de los lados con el colector. El largo del área de captación está determinada por la presencia de otra obra de conservación o alguna diferencia de relieve (Figura 11).

Para dimensionar el volumen del Aco, se debe considerar su profundidad de excavación delimitada por los muros de la obra de conservación y la base del colector.

A modo de ejemplo (Figura 11), un colector formado por un semicírculo de 4 m de diámetro, que se encuentra a una distancia de captación con el colector anterior, de 10 m, pendiente arriba, para lluvias probables de 100 mm (100 l/m²) por evento pluviométrico, coeficiente de escorrentía de 0,30 y factor de eficiencia de 0,75, la capacidad que debe tener el colector se calcula como:

CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIA

Agua de escorrentía recibida en el colector es de:

$$400 \text{ m}^2 \times 100 \text{ (l/m}^2\text{)} \times 0,3 \times 0,75 = 900 \text{ l}$$

Área del colector:

$$\begin{aligned} \text{Area Colector} &= \pi r^2 / 2 \\ \text{Aco} &= (3,1416 \times 4 \text{ m}^2) / 2 \\ \text{Aco} &= 6,28 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Lluvia caída en el Aco:

$$6,28 \text{ m}^2 \times 100 \text{ (l/m}^2\text{)} = 628 \text{ l}$$

La capacidad del Aco para contener el agua de escorrentía efectiva y la lluvia caída en forma directa al colector es:

$$900 \text{ (l)} + 628 \text{ (l)} = 1528 \text{ (l)} = 1.528.000 \text{ (cm}^3\text{)}$$

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

Por lo tanto lo que corresponde determinar es la profundidad (p) del terreno para acumular en esa superficie un volumen de agua equivalente (V_a) a 1.528 l (Figura 12).

Para determinar la profundidad se procede de la siguiente forma:

$$V_a \text{ (cm}^3\text{)} = \text{Aco (cm}^2\text{)} \times p \text{ (cm)}$$

Reemplazando los valores obtenidos en la formula se tiene:

$$1.528.000 \text{ cm}^3 = 62.800 \text{ cm}^2 \times p$$

Despejando p:

$$p = (1.528.000 / 62.800) = 24,33 \text{ cm}$$

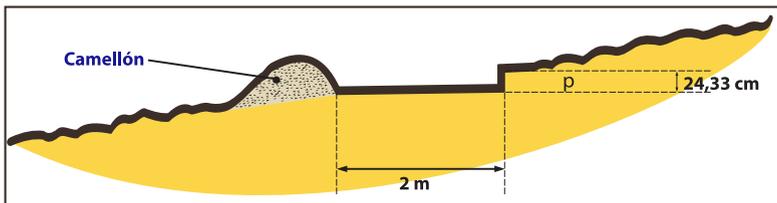


Figura 12. Vista de perfil del colector

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.

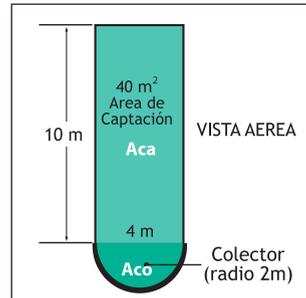


Figura 11: Relación entre el área de captación (Aca) y colección (Aco).

VIII. TAMAÑO DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y COLECTORES

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

- **Captación en campo o de minicaptación:** Las áreas de captación son pequeñas, al igual que los colectores. La longitud del Aca varía entre 2 a 30 metros. La relación entre Aca y Aco 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.
- **Captación externa:** La captación de la escorrentía proviene de quebradas o de superficies mayores. El Aca en la pendiente tiene una longitud de 30 a 200 metros. La relación entre Aca y Aco es de 2:1 hasta 10:1. Se debe considerar un aliviadero en el colector para posibles excesos de escorrentía. Ejemplos típicos son camellones en forma de trapecios, limanes y zanjas de desviación.
- **Captación de avenidas de agua:** La captación de la escorrentía proviene de superficies mayores. Las Aca pueden estar localizadas a varios kilómetros y conducidos por canalizaciones hasta el Aco. La relación entre Aca y Aco 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. Ejemplo de este tipo de colectores son diques de desviación o diques de diseminación, limanes, cuarteles bajo nivel del suelo y diques permeables de piedra.

En la *Figura 13* se aprecia un sistema de clasificación de captación de agua según su fuente de origen (Siegert, 1994).

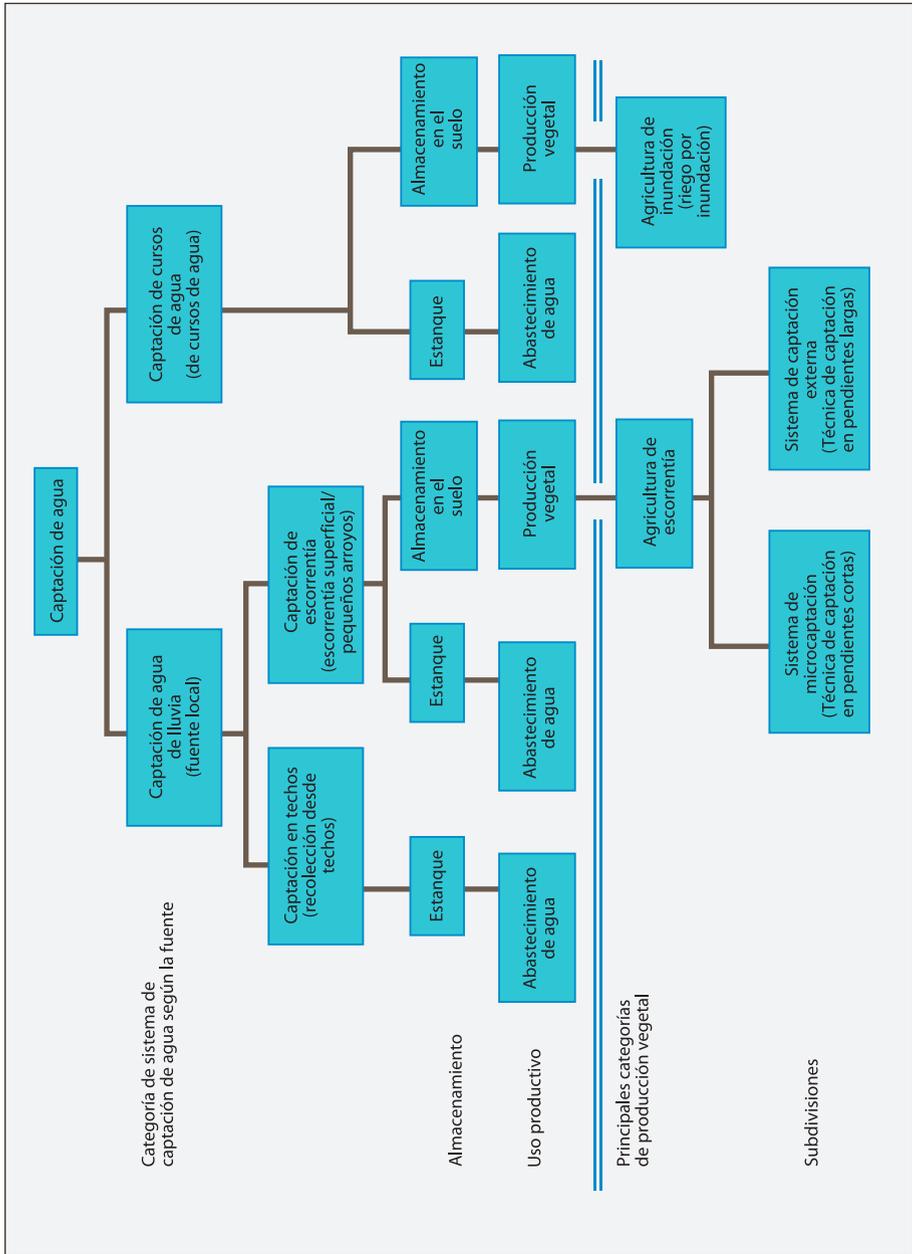


Figura 13. Clasificación de técnicas de recolección de aguas; según Siegert (1994).

IX. REQUISITOS DEL SITIO PARA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

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 Siegert (1994), la pendiente no debe ser mayor a 5% (Figura 14). Estas condiciones son difíciles de encontrar en Chile, de hecho las experiencias de INFOR establecidas desde el año 1995 a la fecha en la región de Coquimbo fueron en terrenos con pendientes entre 12 a 22%, que pudiera considerarse como el límite superior, por los peligros de erosión que implica.

El Aco debe tener una profundidad de a lo menos 60 cm, para poder conservar la humedad en el perfil del suelo y permitir el desarrollo radicular de los árboles o cultivos a establecer.

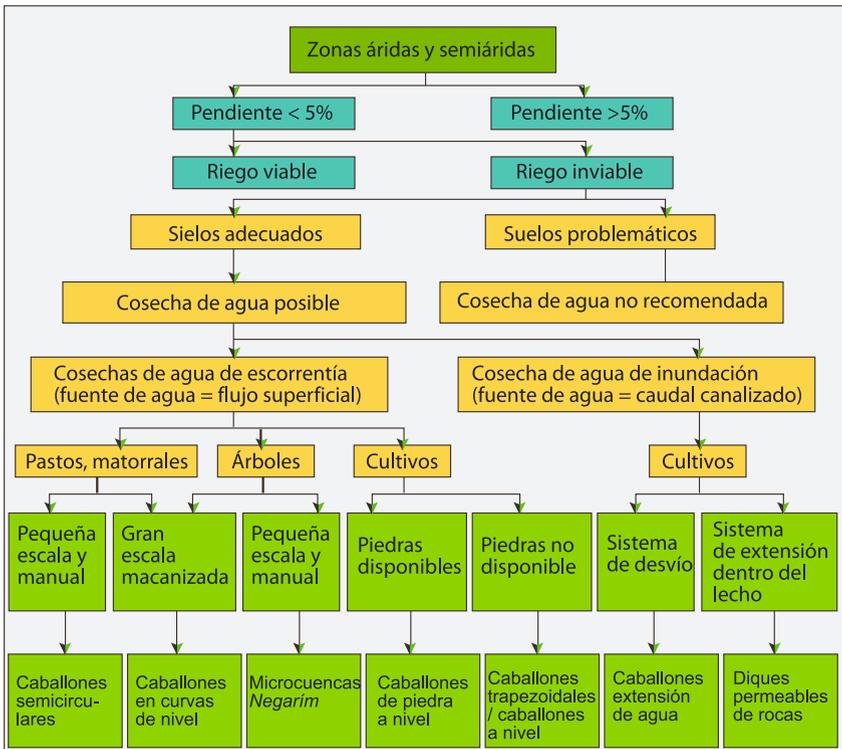


Figura 14. Clasificación de sistema de cosecha de agua según pendiente, según Siegert (1994).

Mientras mayor sea el flujo de la escorrentía que se produzca en una lluvia, más adecuado será el Aca para la aplicación de la técnica. La generación de escorrentía depende de los siguientes factores (Critchley y Siegert, 1991; Yair et al., 1980; Moshe et al., 1998; Dunne y Leopold, 1978):

- **Intensidad de la lluvia:** Las gotas de lluvia de alta intensidad al entrar en contacto con el suelo poseen una mayor energía cinética causando el rompimiento de la agregación del suelo, dispersando las partículas que rellenan los poros superficiales. Esto produce la compactación de suelo reduciendo la capacidad de infiltración y favoreciendo la escorrentía superficial.
- **Características del suelo:** La porosidad varía según la textura y estructura del suelo (Figura 15), lo que hace variar 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

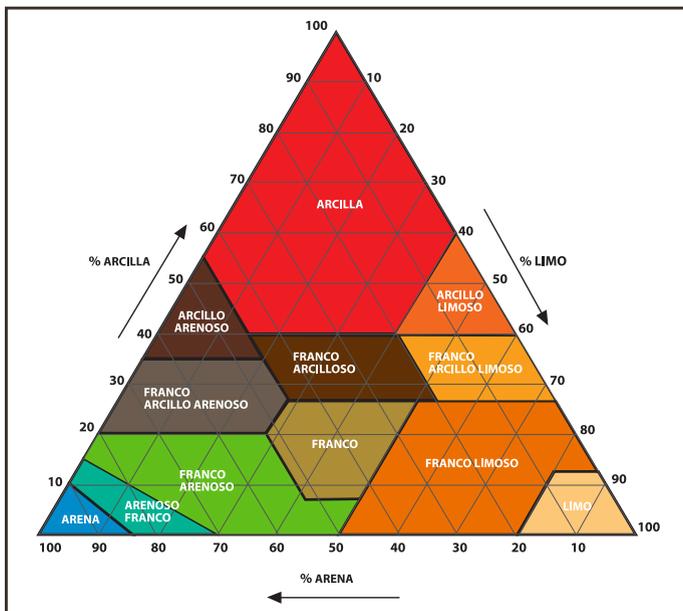


Figura 15. Clasificación de suelos según su textura.

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, implicando 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 et al., 1980), 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.

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 (Figura 16A).
- **Vegetación macrofítica**, conformada por pastos, arbustos, árboles y terrenos de cultivo (Figura 16B). Estas superficies absorben el agua superficial y disminuyen la escorrentía (Shachak et al., 1997).



Figura 16. Cubierta vegetal microfítica (A) y macrofítica (B). Fotografía: INFOR.

X. FORESTACIÓN

La utilización de técnicas de cosecha de agua en las zonas áridas y semiáridas destaca por su sencillez, en cuanto a su planificación y ejecución, y constituyen un elemento esencial para la restauración forestal (Figura 17A y 17B).

Para llevar a cabo la forestación con la técnica de cosecha de aguas lluvia se debe contemplar la elección del sitio, la delimitación del terreno, la ubicación y disposición de los colectores, el tamaño del Aca y la relación entre Aca y Aco.

La elección del sitio es la decisión de mayor importancia ya que influye en el aporte de agua para la forestación en el Aco. Una observación preliminar del sitio (textura superficial del suelo y cubierta de vegetación) permitirá apreciar las posibilidades de generación de escorrentía del terreno. Se deben evitar terrenos con pendientes superiores a 25 %. El rango de pendientes más aptos es entre 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.



Figura 17. Vista de restauración forestal en la región de Coquimbo con técnicas de cosecha de aguas lluvia. (A) Establecimiento del trincheras con muro de piedra, 1999. (B) Trinchera forestada con *Eucalyptus cladocalyx*, 2011, Fotografías: INFOR.

XI. CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE OBRAS DE CONSERVACIÓN DE AGUA Y SUELO

Las obras de conservación de aguas y suelos pueden ser clasificadas en dos grupos. Las primeras son aquellas cuya principal función es la protección de las laderas, ya sea cortando la energía de la escorrentía superficial, o aumentando la infiltración de ésta en el suelo. Se utilizan generalmente en zonas áridas y semiáridas y favorecen la instalación de especies arbóreas y arbustivas, promoviendo un aumento de la productividad de esos suelos.

Las segundas son aquellas cuya principal función es la protección de cauces, ya sea de ríos o de cárcavas, y consisten en obras transversales que cortan la energía del agua, disminuyendo su velocidad y a la vez, favorecen la retención de sedimentos, con lo que se suaviza la pendiente del cauce. Generalmente se utilizan en zonas de régimen pluvial torrencial y son independientes al uso del suelo aledaño, es decir, no siempre están asociadas a especies vegetales. Su importancia radica, en que se usan para proteger de inundaciones a la infraestructura vial y sectores urbanos y agrícolas.

Desde un punto de vista forestal, ambos tipos de obras son utilizadas por separado o en forma complementaria, dependiendo de las condiciones ambientales y del sitio.

Otro punto de consideración, es la variación en los nombres que reciben las técnicas, es decir, para una misma práctica existe más de un nombre, y éste dependerá del país y/o región en que se encuentre.

A continuación se describen las obras de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos que han sido usadas en el país.

Surcos en media luna

Aptos para zonas de mayor pendiente (hasta 25%). Se puede establecer entre uno a tres árboles por colector dependiendo del diámetro de la obra (4 a 6 m) (Tabla 5).

Tabla 5. Tamaños y rendimientos de surcos en media luna

Diámetro del Colector (m)	Plantas por Colector (N°)	Rendimiento (jornadas/colector)
6	5	1,00
5	4	0,70
4	3	0,50

Son de forma semicircular, donde se levanta un camellón de suelo y piedra como murete. 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 para evitar que el camellón tenga que soportar todo el volumen de agua almacenada (Figura 18).

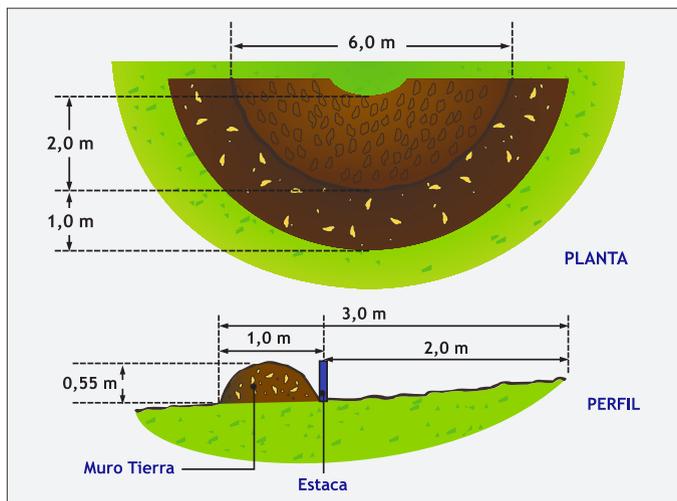


Figura 18. Marcación de colectores en media luna.

Esta obra es de bajo costo ya que se construye mayoritariamente de forma manual, pero puede establecerse con maquinaria (tractor oruga con pala o bien con una retroexcavadora). La planta se establece a media altura del camellón en el lado interno junto al surco o zanja (*Figura 19*).

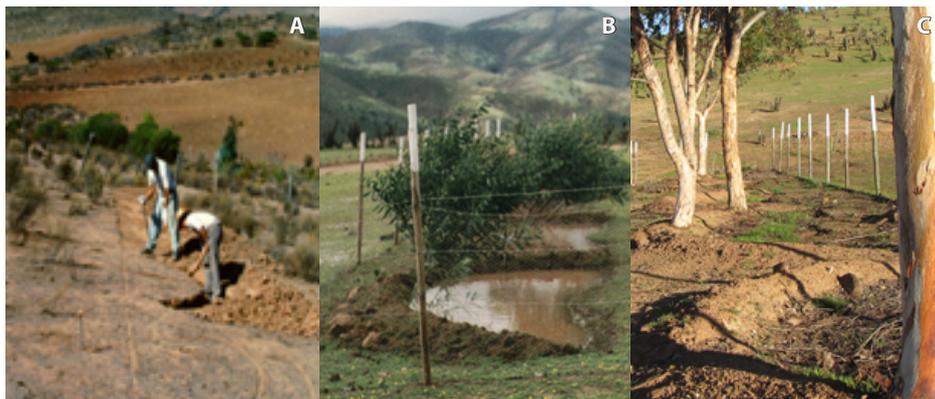


Figura 19. Evolución de una forestación en surcos en media luna. (A) Establecimiento de obra, 1995. (B) Crecimiento inicial, al año 2. (C) Situación actual, 2011. Fotografías: INFOR.

Trincheras o surcos

Generalmente se utilizan en pendientes intermedias, hasta 15% para captación de escorrentía de laderas. Aún cuando presentan distintas formas, la trinchera y el surco puede 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 surco. La trinchera consiste en una excavación rectangular de 1 a 2 m de ancho, dependiendo si se aplica en un terreno de menor o mayor pendiente, respectivamente. El largo puede ser variable, pero es aconsejable no sobrepasar los 10 m de longitud conteniendo un número de plantas no mayor a 5 (Figura 20).

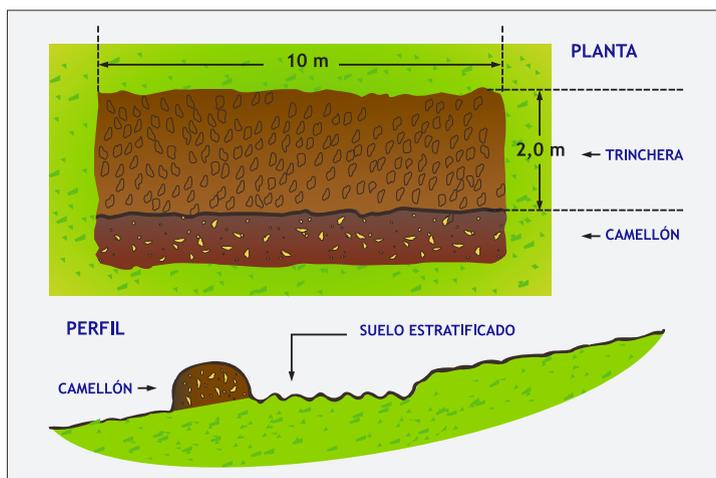


Figura 20. Diseño del colector tipo trinchera.

La zanja o el surco comienzan desde el nivel del suelo para llegar gradualmente hasta la profundidad de 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. Las ventajas de establecer la planta en el tercio superior del camellón se debe a que esta porción de tierra removida, aporta mayor aireación, retención de agua, facilidad para el desarrollo radicular y eliminación de malezas (Figura 21).



Figura 21. (A) Establecimiento de trinchera con muro de piedra. (B) Situación actual, 2011. Comunidad Agrícola Tunga Norte, region de Coquimbo. Fotografía: INFOR.

Terraza de muro de piedra

Apta para pendientes de 3 a 15%. Se utiliza para captación de escorrentía de ladera y de quebrada. La terraza puede ser de forma rectangular o media luna, de hasta 8m de ancho, perpendicular a la pendiente. Para su construcción se levanta un muro de piedra de 1 m de espesor y 30 cm de alto, en el sentido de la caída de la pendiente (Figura 22).

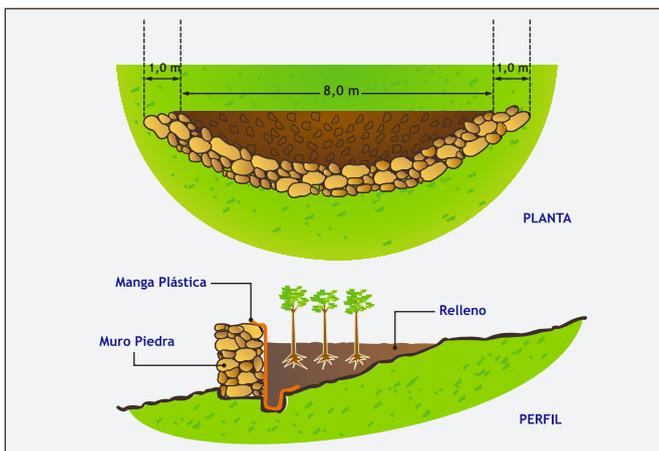


Figura 22. Plano de una terraza con muro de piedra de 8 m largo.

La cara interna del muro se recubre con una tela plástica para impermeabilizarlo, logrando así acumular mayor volumen de agua dirigiendo la humedad hacia los horizontes inferiores del suelo. A diferencia del método anterior, se genera una mayor área de infiltración prolongando por más tiempo la disponibilidad de agua para las plantas que se establecen en ella (Figura 23).



Figura 23. (A) Marcación terraza con muro de piedra. (B) Situación actual, 2011. Comunidad Agrícola Atelcura Región de Coquimbo. Fotografías: INFOR.

Canaletas de Desviación

Se puede establecer en sitios con pendientes de hasta 12 %. Son zanjas de 50 cm de ancho y 30 cm de profundidad que se construyen con piedras en los bordes con el objetivo de canalizar el agua desde las quebradas hacia las casillas de plantación. Estas casillas tienen una dimensión de 2 m x 2 m, distanciadas cada 5 m sobre la canaleta (Figura 24).

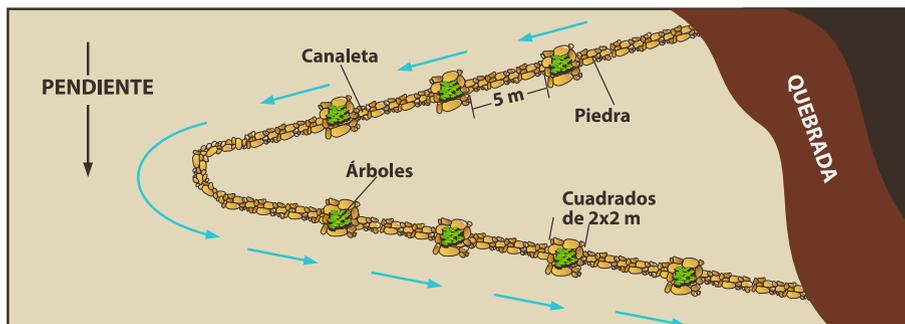


Figura 24. Diseño Canaletas de Desviación

La canaleta capta la escorrentía de la quebrada, pero también de la ladera. La pendiente de la canaleta 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 (Figura 25).

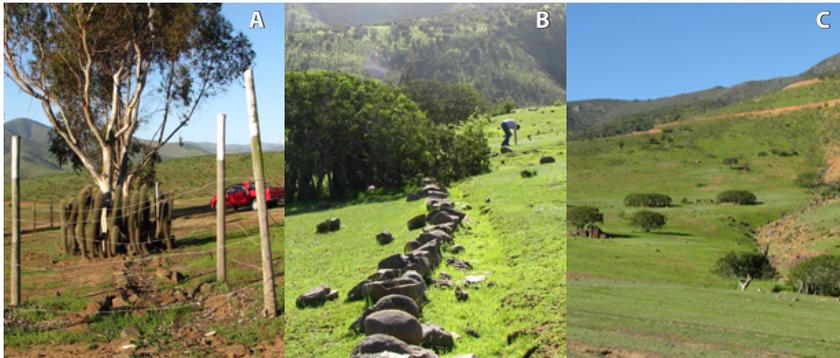


Figura 25. Obras de Canaletas de Desviación en la Región de Coquimbo, 2011. Fotografías: INFOR.

Limán

Es un colector de mayor tamaño usado con el fin de acumular agua de escorrentía procedente de laderas y quebradas desde distancias mayores. Se establece preferentemente en los piedmonts de las laderas con pendientes entre 3 a 8%. Consiste en un semicírculo o sector circular plano con un borde de suelo y piedras. La superficie de un liman normalmente es mayor a 80 m², lo que permite establecer una plantación de alrededor de 7 árboles. Para el diseño se mide el diámetro de la semicircunferencia y en su punto medio se establece una estaca donde se amarra un cordel con largo igual al radio. La marcación se realiza con cal (Figura 26).

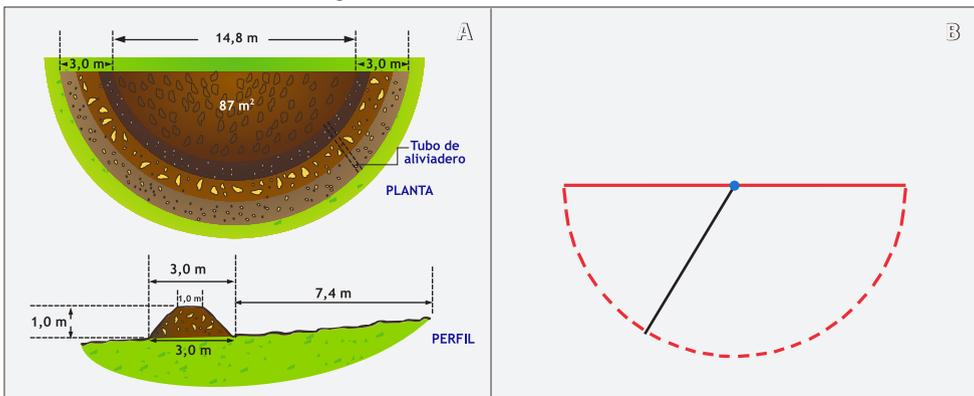


Figura 26. Limanes. (A) Diseño en forma de semicircunferencia, (B) Marcación.

La pendiente transversal al interior del limán es cero y el muro de tierra es de forma trapezoidal con 3 m en la base y 1 m en el tope. El camellón alcanza una altura de 1 m y en su construcción se debe hacer un aliviadero o desagüe a partir de la cota máxima de colección de agua a 30 cm de altura y con 20 cm de diámetro para evitar rupturas en la pared en casos de grandes escorrentías (Figura 26 y 27).

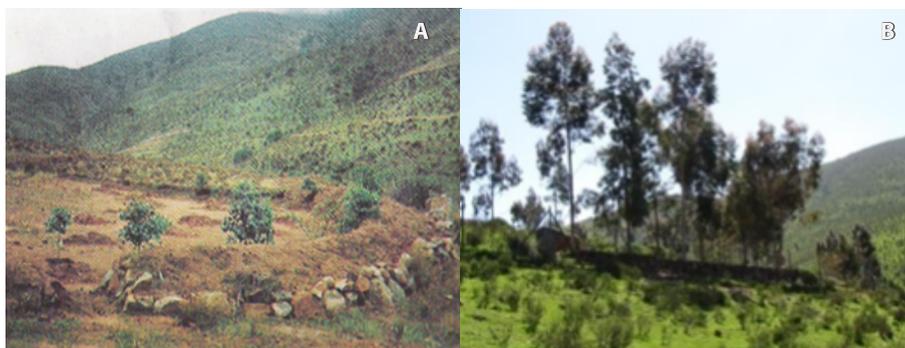


Figura 27. Limán con Plantación de *Eucalyptus cladocalyx*, (A) Un año de edad, (B) Situación actual, 2011. Fotografías: INFOR

Bancales

Aptos para terrenos de fuerte pendientes (máximo 30 %), consisten en una terraza semi-circular, de tamaño pequeño, que se puede usar para plantaciones forestales o agrícolas. El diámetro es de 1,2 m, y el ancho del muro es de 50 cm, dispuestos en tresbolillo, con separación de 5 m entre ellos. Se usan en sectores donde existe poco suelo y, dado el tamaño, se pueden establecer uno o dos árboles, dependiendo de la especie (Figura 28). Lo ideal es construir estos bancales con terminaciones laterales en ángulo recto de manera de permitir un mejor aprovechamiento del agua de escorrentía.



Figura 28. Bancales; (A) Diseño grafico de bancales (CONAF, 1996), (B) Banca con *Opuntia* sp. (tuna) Región de Coquimbo. Fotografía: CORFO.

Un ejemplo práctico de la efectividad de esta obra en la restauración forestal y conservación de suelo en España se muestra en la *Figura 29*.



Figura 29. Restauración Forestal en Altas Cumbres de El Cortijillo, Granada, España.

Bordos Semicirculares

Los bordos son pequeños diques de tierra, cuyos extremos terminan sobre una curva de nivel. Entre curvas de nivel se ubica el bordo en tresbolillo y la separación entre ellos dependerá de su tamaño y del área de captación; el diámetro de los bordos puede variar entre 12 y 40 m. La altura del bordo se recomienda no menor a 25 cm con pendiente lateral (taludes) de 1/1 (Critchley y Siegert, 1996). Son utilizados, principalmente, para la rehabilitación de pastizales o producción de forraje (*Figura 30*).

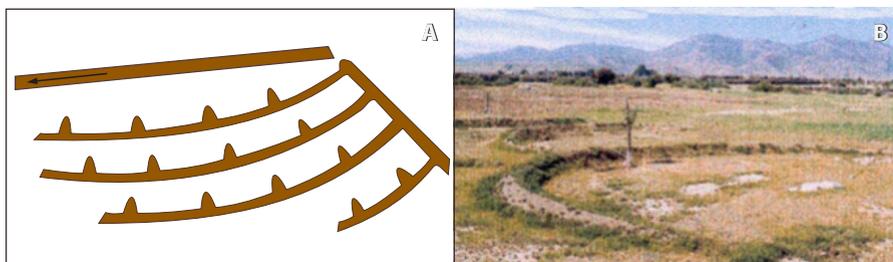


Figura 30. Bordos Semicirculares, (A)Diseño de un bordo, (B) Comunidad Agrícola Jiménez y Tapiá. Sector El Sauce, Comuna Combarbalá. Fotografía: CONAF.

Colectores de Piedra

Son obras ubicadas en zonas de concentración del flujo superficial, que tienen como propósito regular la velocidad de escurrimiento (*Figura 31*). Corresponden a un foso cilíndrico, relleno de bolones de piedra, con una vía de ingreso del agua y otra de evacuación ubicada aguas abajo.

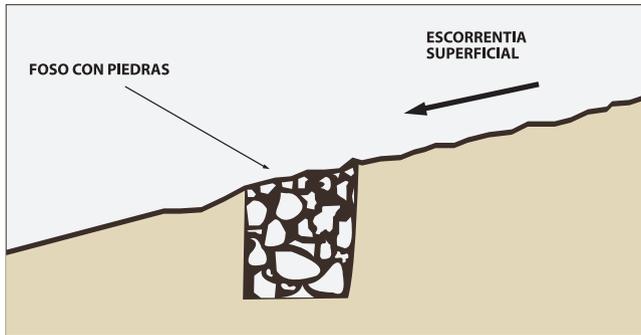


Figura 31. Colectores de piedra.

Diques Transversales

Son estructuras ubicadas en forma perpendicular al eje del cauce, están diseñadas para disminuir, anular o, al menos controlar los procesos de transporte sólido y de erosión en el lecho y sus márgenes, evitando que con los mismos se incorpore un considerable caudal sólido a las aguas circulantes. Estas estructuras deben estar ancladas y poseer un dissipador de energía.

Su diseño está condicionado al tamaño de la quebrada o cárcava, considerando cálculos hidrológicos e hidráulicos. Estos pueden ser diques de gravedad o diques de anclaje. Según los materiales empleados para su construcción, se clasifican en diques de mampostería en seco, gavionada, y de concreto armado. Éstos se usan en ríos y quebradas torrenciales.

Existen otras estructuras hechas de postes, generalmente impregnados (diques de postes o polines) y otras de sacos de tierra, que no responden a un diseño de mecánica y, por lo tanto, se usan para cauces de poca envergadura como pequeñas cárcavas (*Figura 32*). Dentro de las funciones que cumplen estas estructuras están la de retener el suelo arrastrado por las aguas lluvias, infiltrar el agua hacia las napas subterráneas, regular el flujo hídrico, disminuir su velocidad de arrastre y, como consecuencia, crear un área para la forestación.

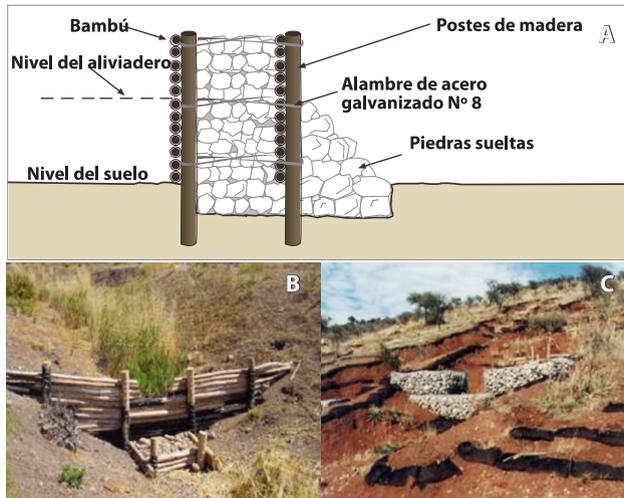


Figura 32. Ejemplos de diques, (A) Diseño con colchón dissipador de piedra, (B) Dique fabricado de postes, (C) Dique con mampostería gavionada. Fotografía: CONAF.

Murete

Se les llama muretes a diques que no presentan vertedero, y al igual que éstos, se ubican perpendicular al eje hidráulico, su objetivo es obstaculizar la escorrentía superficial, disminuyendo de esta forma, el transporte de material sólido. Son de menores dimensiones que los diques, con una altura no mayor a 1 m y largo variable. Pueden construirse de diferentes materiales, como mampostería en seco, polines o sacos rellenos con tierra (Figura 33).

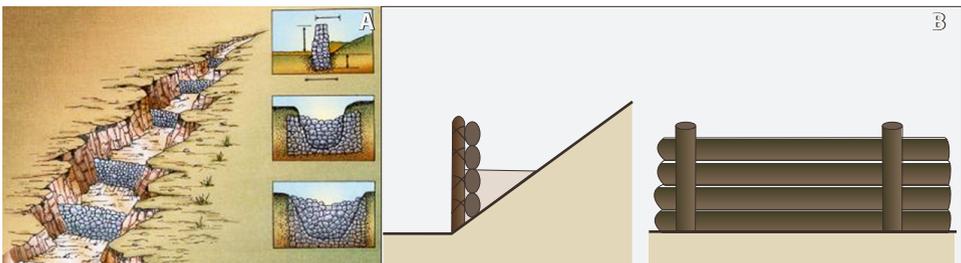


Figura 33. Muretes sin dissipador y aliviadero, (A) Confeccionados con piedra, (B) Confeccionados con polines.

Estanques de Captación de Agua

Son estructuras construidas para almacenar el agua superficial y subterránea, captada y conducida por drenes subterráneos. Éstos permiten la acumulación en épocas de lluvia, producto de la mayor escorrentía superficial y subterránea, y su fin es su uso posterior en épocas de mayor demanda (Figura 34).



Figura 34. Estanques de captación de aguas subterráneas. Fotografía: INFOR.

Fajinas

Las fajinas consisten en cuerpos cilíndricos de 10 a 40 cm de diámetro, que contienen ramillas poco ramificadas atadas con alambre. Se pueden utilizar para la regeneración de vegetación ripícola, por lo que se colocan en la orilla del cauce de tal forma que las partes que deben enraizar, estén fuera del agua y en contacto con el suelo, las que se cubren con tierra (López, 1984). Por fajinas también se entiende a una capa o manto de ramas atadas, que se coloca sobre los taludes, protegiéndolos del impacto directo de la lluvia y de la velocidad del cauce (Figura 35).

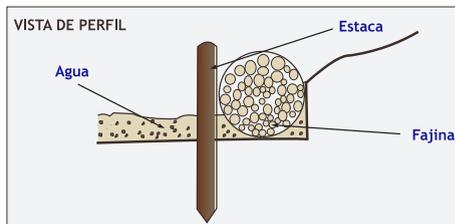


Figura 35. Diseño del perfil de una fajina.

Murete Lineal

Son obras de control de taludes y laderas; según CONAF (1998), este tipo de obra resulta muy adecuada en laderas de pendientes moderadas, medianas y escarpadas. No es recomendable en taludes de derrumbios o de suelos de alta pedregosidad.

Se pueden construir de diversos materiales como postes de pino impregnados, sacos de tierra, fajinas de ramas o sarmientos, o ramas trenzadas (Figura 36).

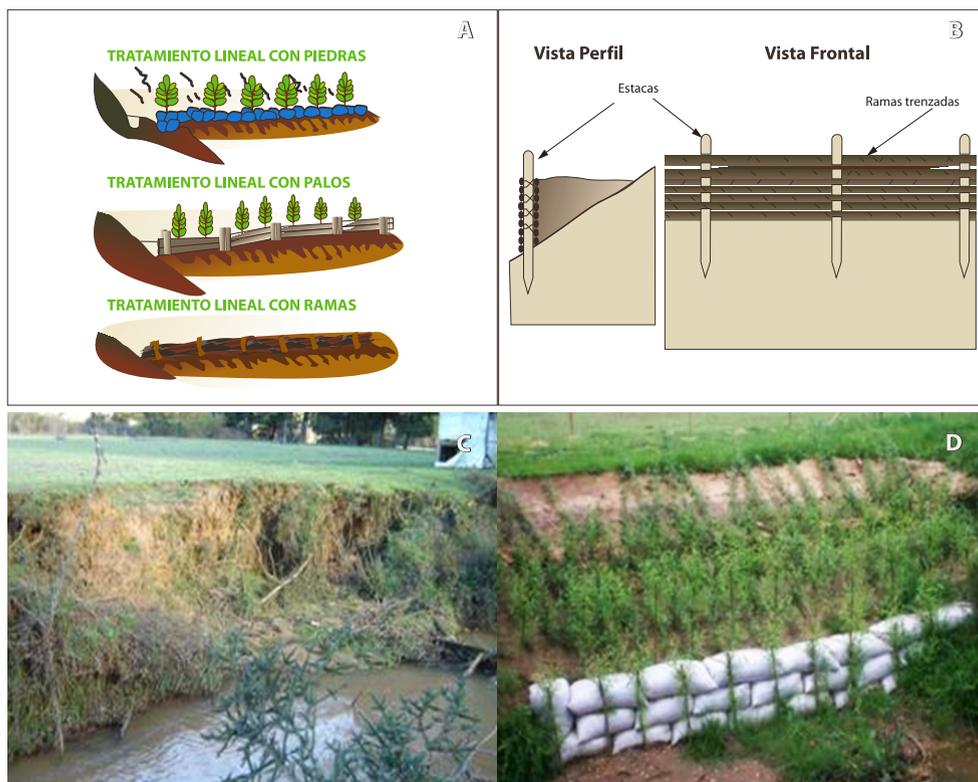


Figura 36. Muretes Lineales, (A) Diseño de tratamiento lineal con distintos materiales, (B) Diseño ramas trenzadas, (C) Situación sin control de talud. (D) Control de talud con muretes lineal de sacos. Fotografía: INFOR.

Zanjas de Absorción o Infiltración

Son obras de recuperación de suelos que comprende un conjunto de zanjas, construidas de forma manual o mecanizada, cuyo objetivo es capturar y almacenar la escorrentía procedente de las cotas superiores. Se construye transversalmente a la pendiente, sin desnivel, y la sección puede ser trapezoidal o rectangular, aunque se aconseja la primera para evitar derrumbes indeseables (Figura 37).

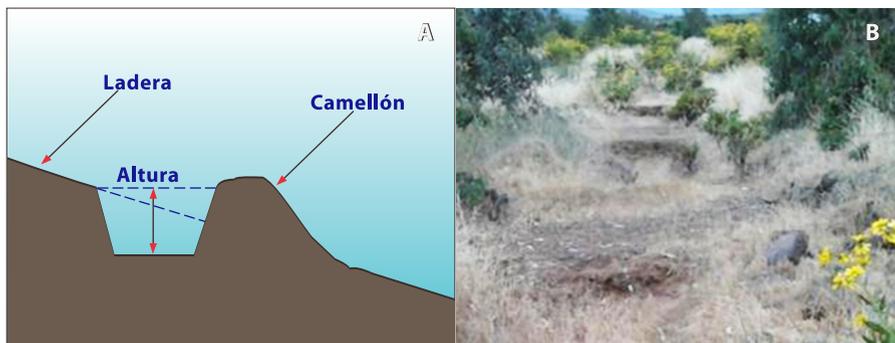


Figura 37. Zanjas de infiltración, (A) Esquema gráfico. (B) Zanja de infiltración Las Cardas, Ovalle. Fotografía: INFOR.

Negarim

Son estructuras de forma cuadrada o romboidal, rodeadas por pequeños camellones de tierra y con un orificio de infiltración en el vértice inferior de cada una de ellas, en el que se sitúa la planta (Figura 38).

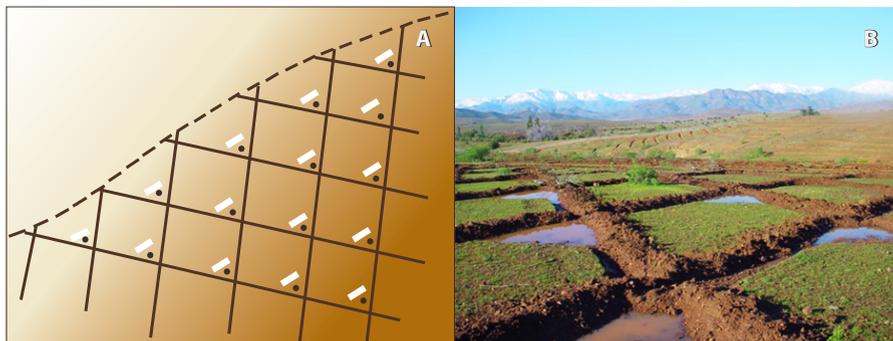


Figura 38. Diseño de Negarim, (A) Diseño de un Negarim, (B) Negarimes Comunidad Agrícola Jiménez y Tapia Combarbalá. Fotografía: CONAF.

XII. DISEÑO DE LA PLANTACIÓN

En el diseño de la plantación, la densidad de la plantación estará determinada por el número de colectores por hectárea y el número de árboles por colector, y el número de colectores dependerá de la relación de la superficie de captación con la de colección.

Para la elección y ubicación de las obras se deben considerar las restricciones que impone la pendiente para cada tipo de colector y las captaciones de escorrentía que se desea efectuar, ya sean de laderas o de quebradas.

Considerando lo anterior, una forma de distribución de las obras de conservación de suelo y cosecha de aguas en una microcuenca, en función de la pendiente del terreno, es la siguiente:

- En sectores de mayor pendiente, hasta 25 %: Surcos en media luna, bancales
- En sectores de pendiente intermedia 10 a 15 %: Surcos en media luna, trincheras o surcos, canaletas de desviación, terrazas con muro de piedra.
- En sectores con pendientes de hasta 10 %: Terrazas con muro de piedra, trinchera o surco, canaleta de desviación.
- En Sectores de pendiente menor hasta 8 %: Liman, Negarim. También se puede establecer cualquiera de los anteriores.
- En la *Figura 39*, se muestra un esquema para un diseño de una plantación forestal mediante la técnica de cosecha de aguas lluvia.

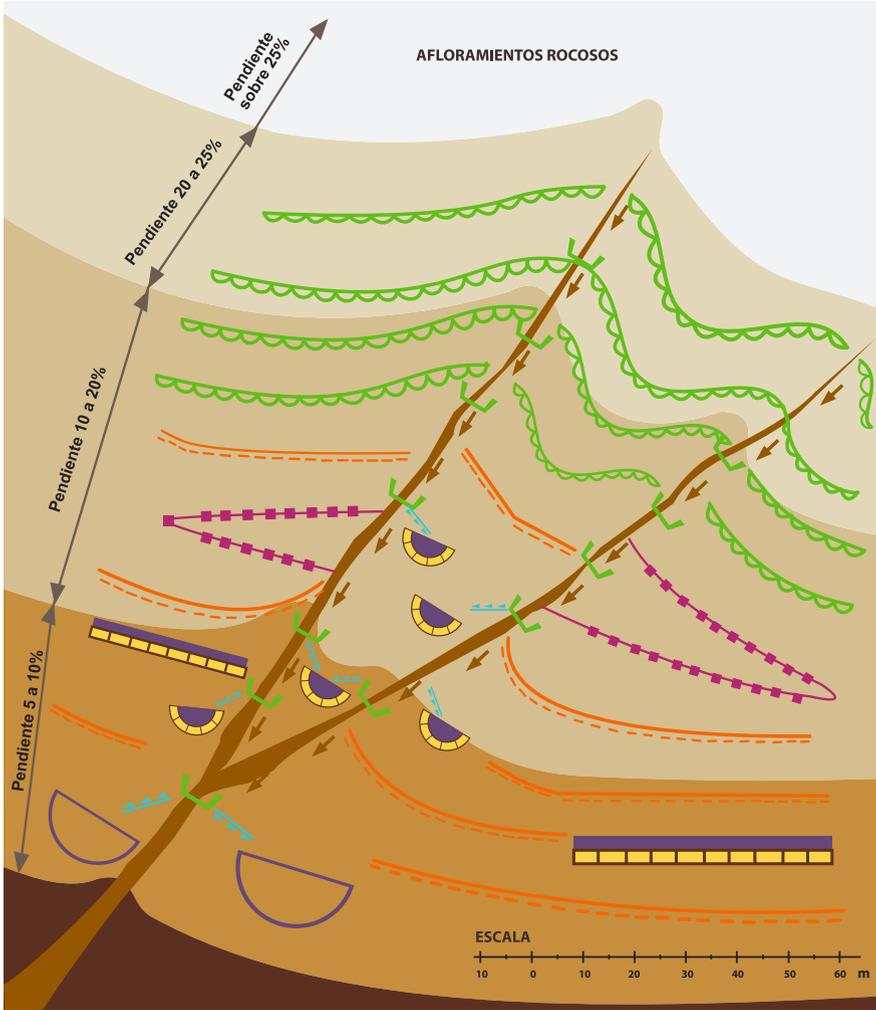


Figura 39. Esquema de una captación de aguas lluvia en una microcuenca para forestación

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

XIII. CRITERIOS DE EVALUACION PARA EL USO SUSTENTABLE DEL SUELO

El enfoque de evaluación para la definición de modelos de desarrollo predial es una metodología desarrollada para enfrentar los problemas de diseño y transferencia tecnológica a los pequeños agricultores.

En la metodología se da énfasis a la inserción y optimización del componente arbóreo en respuesta a los principales problemas del ámbito rural, que si se combina con técnicas de cosecha aguas lluvias, en especial en aquellos territorios con características de aridez, resulta ser más exitoso.

Esto conduce a enfrentar la implementación de modelos de uso de manera integral, considerando todos los componentes que son necesarios para dar respuesta a las necesidades de la población rural, sin dejar de lado sus propias vivencias y experiencias a la hora de decidir el modelo productivo a implementar.

Por ello, la estrategia para la ejecución y manejo de los sistemas productivos en predios de pequeños agricultores debe contemplar criterios claros, tanto en sus aspectos biológicos y económicos como en los socioculturales.

El enfoque de sistema requiere de las siguientes fases:

- Identificación del problema.
- Caracterización del área a nivel regional, predial y de ecosistema.
- Diseño y alternativas de tecnología a incorporar.
- Validación de las tecnologías.
- Recomendaciones de las tecnologías validadas.

A continuación se entregan algunos criterios de evaluación para que los profesionales que los utilicen sean capaces de proponer soluciones viables o bien sugerir cambios graduales a los sistemas ya en uso.

Este conjunto de criterios debe aplicarse de forma participativa y multidisciplinaria, en especial para los pasos de Caracterización, Diseño y Validación, de manera de lograr una evaluación objetiva en la identificación de las mejoras a los sistemas silvoagropecuarios existentes o a introducir.

Crterios Ecológicos

1. El sistema corresponde a la capacidad de uso del sitio y cumple una función acorde a los demás elementos del paisaje: Para dar respuesta se debe contar con información referente a criterios particulares, que consideren por ejemplo un inventario de los recursos naturales, planes de ordenación de uso territorial, mapas de uso de los suelos, cartografía de cursos de agua superficial y en lo posible subterránea entre otros.

2. El sistema disminuye las pérdidas en los ciclos de nutrientes: Es importante verificar el tipo de especies que se propone incorporar, debiéndose tomar en consideración aspectos como tipo de copa, profundidad radicular, competitividad con otras especies, entre otras. En este punto son claves las entradas y salidas de nutrientes para mantener en equilibrio el sistema, considerando los siguientes componentes:

- ▶ **Aportes:** Estos se pueden obtener a través especies fijadoras de N atmosférico, como son algunas leguminosas, también por la incorporación de materia orgánica rica en N, el uso de plantas micorrizadas, la aplicación de abonos orgánicos, y el uso técnicas de establecimiento que favorezcan su incorporación al suelo a través del agua de escorrentía.
- ▶ **Salidas:** Para evitar pérdidas de nutrientes las cosechas se deberían realizar in situ (cultivo, hojas, frutos), que es uno de los factores que más contribuye a la exportación de nutrientes, así como también disminuir el uso de las quemas, incrementar el aporte de materia orgánica para favorecer el aprovechamiento del agua y nutrientes evitando su lixiviación.
- ▶ **Aceleración de ciclos:** Se logra a través del incremento de poblaciones de organismos descomponedores, la utilización de especies micorrizadas que favorezcan el aprovechamiento de fósforo, o bien especies inoculadas con *Rhizobium* para incorporar nitrógeno. Otra forma de acelerar los ciclos es realizando manejo de podas de especies de rápido crecimiento con lo cual se genera una nueva fitomasa de hojas y rastrojos que se incorporan al sistema.

3. El sistema minimiza los procesos competitivos y optimiza los procesos sinérgicos entre los componentes: Es necesario conocer las asociaciones de especies que se pueden establecer, de manera de lograr un mejor aprovechamiento del sitio a través de:

- **Control de Sombra:** Con esto se pretende reducir los procesos de fotosíntesis, favoreciendo por ejemplo la producción de frutos, eliminación de las malezas, entre otras. El realizar cultivos con sombra ligera o transitoria aumenta la productividad de los cultivos y del suelo, a través de la protección durante la germinación, crecimiento y aporte de materia orgánica al suelo.
- **Manejo de los Árboles:** Esto se realiza con el fin de mejorar el microclima por medio de una selección de especies apropiadas (tolerantes, no invasoras, no alelopáticas, fijadoras de N, de raíces pivotantes, de hojas pequeñas y de rápida descomposición), distanciamiento y ordenamiento de los árboles en función de los objetivos de producción, poda de ramas y raíces. Todo ello contribuye a reducir la evaporación y pérdida de humedad del suelo favoreciendo así, el crecimiento de los cultivos.

4. El sistema a largo plazo en la extracción de productos de un recurso no excede su capacidad de producción o su regeneración: Es importante considerar que en el sistema se aprovechen al máximo todos los productos que se puedan obtener de las podas, ya sea para la venta de subproductos o para favorecer la productividad del sistema mediante la incorporación de materiales de desechos que incrementen la materia orgánica del suelo. El uso del árbol permite diversificar la producción, aumentando la seguridad del agricultor, ya que sus ingresos no dependerán de un solo cultivo. Además esto incrementa el valor de sus terrenos y disminuye la presión por el recurso suelo, lo que se traduce en la sustentabilidad de los recursos naturales.

5. El sistema muestra cierto grado de diversidad y contribuye a la conservación de la biodiversidad: La tendencia es seleccionar sistemas que contribuyen a una gran gama de alternativas productivas, ecológicas y sociales. Para ello es imprescindible el uso de componentes agrícolas, ganaderos y forestales y en cada uno de ellos considerar el uso de varias especies dando prioridad a la utilización de especies nativas y el prever el hábitat para otros organismos.

6. El sistema disminuye el riesgo de multiplicación de plagas y enfermedades: Es importante controlar cualquier riesgo de plagas o enfermedades mediante la utilización adecuada de medidas preventivas, naturales y no químicas. Esto se puede lograr por medio de la utilización de especies tolerantes y vigorosas, una mezcla de especies y variedades, una combinación de varias especies nativas, y proporcionando las condiciones de nichos para enemigos naturales.

7. El sistema ejerce una función de amortiguamiento de ciclo hídrico y del microclima: El manejo de los bosques con prácticas conservacionistas de uso de suelo y agua a los sistemas tradicionales de producción trae ventajas significativas en la capacidad de infiltración, retención del agua y nutrientes en los horizontes del suelo, en la reducción de la erosividad del suelo y la reducción de la erodabilidad de la lluvia, en la amortiguación del efecto erosivo de la pendiente, en disminuir las variaciones de la humedad relativa y en aminorar el efecto del viento y de las temperaturas extremas.

8. El sistema contribuye a la captura de CO₂: Para este criterio se debe considerar que al menos un componente tenga la capacidad de acumular CO₂ en cantidades significativas y fijarlo por un tiempo en pie, como madera o en forma de materia orgánica en el suelo.

Crterios Económicos

Los objetivos del sistema deben ser compatibles con las prioridades de los beneficiarios y estar claramente desarrollados en términos económicos (producir más a un precio justo).

1. El sistema debe contribuir a satisfacer las necesidades básicas (combustible, alimentación, vivienda e ingresos básicos).
2. El sistema debe reducir los riesgos económicos y de seguridad en la economía del hogar.
3. El sistema debe garantizar una igual o mayor productividad en comparación con los sistemas actuales.
4. El sistema después de la etapa inicial debe continuar económicamente y auto gestionarse en el largo plazo (rentabilidad y mercado).
5. El sistema debe mantener o aumentar el valor real de la tierra.

Crterios Socio-Culturales

1. El sistema fortalece el bienestar social y mantiene y/o aumenta los valores sociales y no acarrea efectos negativos para la sociedad: Es importante considerar en la elección del sistema productivo que sea lo suficientemente atractivo para reducir la migración en especial de la población más joven, de manera de satisfacer sus aspiraciones; generar fuentes de trabajo y con ello disminuir los riesgos de delincuencia y el consumo de drogas.

2. El sistema fortalece la autoestima y las comunidades se organizan eficientemente para lograr la autogestión: En este punto es clave la participación de la comunidad en la toma de conciencia, planificación, ejecución, evaluación y ajuste del sistema o sistemas a

incorporar. Si se fortalecen los mecanismos de solidaridad, cooperación y se respetan los valores tradicionales, la probabilidad de éxito en la obtención de los beneficios será mayor, permitiéndoles acceder a un status socioeconómico más estable, se fortalece el interés y la autogestión.

3. El sistema valoriza la cultura y las tradiciones de la zona: Es importante considerar y potenciar los recursos locales y el respeto de las costumbres y las tradiciones, ya que con ello se asegura un mayor éxito en las medidas productivas a introducir.

4. El sistema, al incorporar nuevas tecnologías, debe integrar elementos de las tecnologías tradicionales: En este aspecto la creación de áreas demostrativas es clave para ir efectuando cambios graduales, ganar la aceptación social e ir de la mano con una enseñanza horizontal.

5. El sistema debe contemplar las interacciones positivas entre la comunidad y las instituciones involucradas: El objetivo en este caso es complementar los roles de los actores involucrados, mantener en todo momento una relación de igualdad, entregar a los beneficiarios objetivos institucionales claros y explícitos y no centralizar las acciones.

6. El sistema mantiene o mejora la equidad entre grupos y/o géneros: En todo trabajo participativo, la integración comunitaria es lo relevante y en ella no pueden quedar de lado las relaciones intergeneracionales y de género.

7. El sistema respeta y fortalece la identidad hombre/naturaleza y la visión del espacio de la comunidad: La mejora del paisaje trae aparejado el valor estético del mismo, en la elección de los componentes se debe analizar si se generan entre ellos relaciones de mutualismo e interdependencia, de manera que dar una convivencia armónica entre comunidades.

Estos conjuntos de criterios deben conducir a los profesionales hacia la búsqueda de alternativas viables de uso productivo, considerando la incorporación de los árboles en el desarrollo rural, el aprovechamiento de las aguas lluvias y la conservación del recurso suelo.

Las especies a utilizar en estos casos deben ser preferentemente de uso múltiple, de manera que contribuyan a una variedad de bienes y servicios, tales como madera para leña, carbón, postes y otros productos dependiendo de la región y el mercado existente, como forraje, protección, mejoramiento de las características del suelo, embellecimiento del paisaje, frutos, esencias, entre otros.

Las opciones elegidas, en lo posible, no deben cambiar profundamente los sistemas de producción tradicionales, de manera que los cambios propuestos sean fáciles de introducir y realizar, y ofrezcan resultados satisfactorios y visibles en el corto y mediano plazo.

XIV. ESTANDARES Y COSTOS DE ESTABLECIMIENTO DE COLECTORES PARA LA FORESTACION

A continuación se entregan estándares de costos según tipo de colector (Tablas 6 y 7).

Tabla 6. Costos de Establecimiento por Tipo de Colector

TIPO DE COLECTOR	NÚMERO DE JORNADAS POR CONSTRUCCIÓN DE COLECTOR		MATERIALES Y MAQUINARIA	
	TOTAL JORNADA HOMBRE	COSTO (\$) JORNADA	PLÁSTICO PROTECTOR	UNIDAD
1. Terrazas con muro de piedra (diámetro: 5 m)	8	10.000	10	mL
	Subtotal 1	80.000		Subtotal 2
				Total (\$) 85.000
2. Surcos en media Luna (diámetro: 6 m)	1	10.000		mL
	Subtotal 1	10.000		Subtotal 2
				Total (\$) 10.000
3. Trincheras (volumen: 2 x 10 x 0,3 = 6 m³)	1	10.000		mL
	Subtotal 1	10.000		Subtotal 2
				Total (\$) 10.000
4. Canaletas de desviación (volumen: 0,5 x 50 x 0,30 = 7,5 m³) y tasas de plantación cada 5 m	5	10.000		mL
	Subtotal 1	50.000		Subtotal 2
				Total (\$) 50.000
5. Limán manual (diámetro: 7,12 m)	15	10.000	20	mL
	Subtotal 1	150.000		Subtotal 2
				Total (\$) 167.000
5. Limán manual (diámetro: 14,27 m)	14	10.000		mL
			20	ARRIENDO RETROESCAVADORA
				Subtotal 2
			Total (USD) 334	
			UNIDAD	COSTO (\$) /mL
			UNIDAD	COSTO (\$) /h
			Subtotal 2	20.000
			Total (\$) 140.000	97.000
			Total (USD)	237.000
				474

Tabla 7. Estimación de Costos según Tipo de Colector (1 ha)

TIPO DE COLECTOR	SUPERFICIE (m²)	Nº DE COLECTORES /ha	ARBOLLES / COLECTOR	COSTO CONFECCIÓN COLECTOR (USD/UNIDAD)	COSTO TOTAL (USD/ha)
Terrazas con muro de piedra	10	25	4	177	4.425
Surcos en media Luna	14	16	5	20	320
Trincheras	20	34	5	20	680
Canaletas de desviación	25	10	10	100	1.000
Limán manual	20	10	6	334	3.340
Limán de piedra mecanizado	80	6	10	474	2.844

*Nota: Cuadro no considera costos de cercado y de plantación.

Faena de Cercado

Una vez determinada la superficie a intervenir se procede a la faena de cercado. El cerco tiene por función proteger la plantación de los posibles daños de animales (liebres, conejos, cabras, y ganado en general) y del acceso de personas; la permanencia del cerco es de a lo menos cinco años, tiempo en que la plantación es más vulnerable al ataque de algún animal.

Tipos de Cercos Recomendados

- **Cerco con malla hexagonal.** Este presenta un completo control sobre animales menores. Además puede protegerse con quiscos cada 1,5 m para evitar que animales rocen con la malla y la deterioren rápidamente. La malla debe ser reforzada con tres hebras de alambre galvanizado, esto es necesario para lograr un mayor tensado y resistencia. Luego sobre la malla colocar dos hebras de alambre de púas.
- **Cerco con alambre de púas (5 hebras).** Este tipo de cercado es de rápida colocación y larga vida útil, sin embargo no evita la penetración de los animales menores y cabras pequeñas, por lo cual su costo comparativo es elevado debido a la poca protección que brinda.
- **Cerco con quiscos.** Este cercado es de muy bajo costo, se requiere de una considerable cantidad de mano de obra debido a que es necesario cortarlo, guardarlo y transportarlo al lugar de plantación. Este cerco evita el ingreso de cualquier animal dañino y una vez establecidos y arraigados los quiscos permite la reutilización de postes y alambres.

Construcción del Cerco

- **Marcación.** Una vez determinado el lugar definitivo se procede a marcar la superficie a plantar. Si se dispone de 1 ha a plantar, significa 10.000 m², esto puede ser cercado de diferentes formas. Ejemplos:

Cuadrado:

$1 \text{ ha} = 100 \text{ m} \times 100 \text{ m} = 10.000 \text{ m}^2$, esto determina un perímetro de:

$$100 \text{ m} + 100 \text{ m} + 100 \text{ m} + 100 \text{ m} = 400 \text{ m}$$

Rectangular 1:

$1 \text{ ha} = 200 \text{ m} \times 50 \text{ m} = 10.000 \text{ m}^2$, esto determina un perímetro de:

$$200 \text{ m} + 50 \text{ m} + 200 \text{ m} + 50 \text{ m} = 500 \text{ m}$$

Rectangular 2:

1 ha = 125 m x 80 m = 10.000 m²: esto determina un perímetro de:

$$125\text{ m} + 80\text{ m} + 125\text{ m} + 80\text{ m} = 410\text{ m}$$

Para optimizar el uso de los fondos destinados a este ítem, se debe escoger el arreglo que dé un menor perímetro, lo que demandará menor cantidad de materiales.

Cálculo de materiales.

Conociendo la superficie definitiva de la plantación, y el perímetro a cercar, el cálculo de los materiales es sencillo de determinar. A modo de ejemplificar los cálculos se tomará como base la superficie de 1 ha y el perímetro de 400 m.

- **Determinación del número de postes.** Para esto es necesario fijar la distancia que tendrán los postes, lo ideal es que vayan cada 3 m, luego el número de postes se calcula dividiendo el perímetro del cerco por el espaciamiento entre postes (400 m / 3 m), lo que implica 134 postes, a ello se le deben adicionar 2 tirantes cada 50 m, lo que significa que se divide 400 m por 50 m, esto da 8 tirantes. Cada tirante requiere 2 postes, lo que da un total de 16 postes. A todo esto se le debe adicionar los esquineros que son 2 por esquina, además de los necesarios para la puerta de acceso (2 postes más).

En definitiva la cantidad de postes para este perímetro es de:

$$134\text{ postes} + 16\text{ diagonales} + 8\text{ esquineros} + 2\text{ para puerta} = 152\text{ postes}$$

- **Determinación de la malla.** La cantidad de rollos de malla dependerá del perímetro y los metros de malla que traiga el rollo.

Malla Hexagonal de 1,5" = 50 m por rollo

Para el perímetro de 400 m se requiere de 8 rollos de malla

- **Determinación del alambre galvanizado N°14.** Este se utiliza solo si se realiza el cercado con la malla hexagonal, con el fin de darle una mayor tensión y apoyo. El alambre se vende por kilos y un kilo tiene aproximadamente 36 m, luego la cantidad de kilos de alambre se obtiene al dividir el perímetro por 36 m. Esto implica que se necesitan 11,1 kilos de alambre para el perímetro de este ejemplo, pero como se dijo anteriormente es necesario colocar 3 corridas para lograr la firmeza adecuada por lo tanto en este caso se necesitaría 33,3 kilos de alambre.

► **Determinación del alambre de púa.** Su uso principal es para reforzar la malla hexagonal, evitando el ingreso de animales mayores a la plantación. En este caso se usan dos hebras de alambre sobre la malla distanciados cada 20 cm. El alambre de púas se vende por rollos, si se compran rollos de 275 m para el ejemplo de este ejercicio se requeriría de 2,9 rollos.

► **Faena de Construcción del Cerco.** Las faenas que contempla el cercado son:

- Hoyadura
- Zanjas de 15 cm de ancho por 15 cm de profundidad, cuando se utilice malla hexagonal.
- Distribución de los postes
- Alineamiento y colocación de postes
- Colocación de esquineros y diagonales
- Colocación de mallas y alambre

Si se utiliza malla hexagonal, se debe enterrar la malla en la zanja y rellenar con tierra. Para estas faenas se necesitan como mínimo una brigada de tres personas, para cercar una hectárea se requieren en total 24 jornadas-hombre.

Tabla 8. Estándares de Costos de Cercado para 100 m

ITEM	UNIDADES	CANTIDAD	\$/ UNIDAD	COSTO TOTAL (\$)	COSTO TOTAL (USD)**
Malla hexagonal 1,20 x 50 m	rollo	2	66,990	133,980	268
Malla hexagonal 0,80 x 25 m	rollo	4	24,000	96,000	192
Malla hexagonal 3/4" x 1,0 x 50 m (gallinero)	rollo	2	34,290	68,580	137
Alambre de púas 16 x 200 m (2 hebras)	rollo	1	35,000	35,000	70
Alambre galvanizado N° 14 (rinde 36 m/kg, 3 hebras)	kg	8	2,000	16,000	32
Clavo 3" (rinde aprox. 135 m)	kg	1	2,500	2,500	5
Grapas 1 1/4 (rinde aprox. 125 m)	kg	1	2,800	2,800	6
Polin impregnado 3 - 4"	unidades	38	2,000	76,000	152
Mano de Obra	JH*	6	10,000	60,000	120

*JH: jornada hombre

**USD: \$500 (2011).

En las *Tablas 9 y 10*, se entregan los costos por hectárea para el establecimiento de dos tipos de cercos recomendados para asegurar el prendimiento de la vegetación.

Tabla 9. Estándares de Costos para Cercado de una Hectárea con Malla Hexagonal 1,20 m

ITEM	UNIDADES	CANTIDAD	\$/ UNIDAD	USD / UNIDAD	VALORTOTAL (\$)	VALORTOTAL (USD)
Malla hexagonal 1,20 x 50 m	rollo	8	66,990	134	535,920	1,072
Alambre de púas 16 x 200 m (2 hebras)	rollo	3	35,000	70	105,000	210
Alambre galvanizado N° 14 (rinde 36 m/kg, 3 hebras)	kg	33	2,000	4	66,000	132
Clavo 3" (rinde aprox. 135 m)	kg	3	2,500	5	7,500	15
Grapas 1 1/4 (rinde aprox. 125 m)	kg	3	2,800	6	8,400	17
Polin impregnado 3 - 4"	ud	152	2,000	4	304,000	608
			Subtotal Materiales		1,026,820	2,054
Mano de Obra	JH	24	10,000	20	240,000	480
COSTO PROMEDIO POR METRO LINEAL DE CERCO		TOTAL		TOTAL	1,266,820	2,534
					3,167	6

Tabla 10. Estándares de Costos para el Cercado de una Hectárea con Malla Hexagonal 1,0 m

ITEM	UNIDADES	CANTIDAD	\$/ UNIDAD	USD / UNIDAD	VALOR TOTAL (\$)	VALOR TOTAL (USD)
Malla hexagonal 3/4" x 1,0 x 50 m (gallinero)	rollo	8	34.290	68,58	274.320	549
Alambre de púas 16 x 200 m (2 hebras)	rollo	3	35.000	70	105.000	210
Alambre galvanizado N° 14 (rinde 36 m/kg, 3 hebras)	kg	25	2.000	4	50.000	100
Clavo 3" (rinde aprox. 135 m)	kg	3	2.500	5	7.500	15
Grapas 1 1/4 (rinde aprox. 125 m)	kg	3	2.800	5,6	8.400	17
Polin impregnado 3-4"	ud	156	2.000	4	312.000	624
			Subtotal Materiales		757.220	1.514
Mano de Obra	JH	20	12.000	24	240.000	480
			TOTAL		997.220	1.994
COSTO PROMEDIO POR METRO LINEAL DE CERCO					2.493	5

En la *Tabla 11* se indican los valores de plantas de especies más utilizadas en las zonas áridas y semiáridas

Tabla 11. Valores de plantas de especies Nativas y Exóticas más usadas en restauración forestal

ITEM	VALOR PLANTA (\$)	VALOR PLANTA (USD)
Eucalyptus sp.	130	0,3
Acacia saligna	160	0,3
Quillaja saponaria	1.250	2,5
Prosopis chilensis	1.500	3,0
	Valor jornal (\$)	Valor jornal (USD)
Mano de Obra (rinde 200 planta / jornada)	10.000	20

Para la forestación y restauración de terrenos degradados se pueden considerar diferentes técnicas de conservación de suelo y agua. Las obras a implementar dependerán de su posición en la pendiente, o bien si se capta preferentemente de una ladera o de una quebrada. En las *Tablas 12 y 13* se indican los costos de forestación según el tipo de colector de aguas lluvias.

Tabla 12. Estimación de Costos de Forestación según Tipo de Colector de Aguas Lluvias por Hectárea Especies exóticas

TIPO DE COLECTOR	SUPERFICIE (m ²)	COLECTORES / ha	ARBOLES / ha	VALOR PLANTA (USD / ha)*	COSTO CONFECCIÓN COLECTOR (USD/ha)	COSTO CERCO PERIMETRAL (USD /ha)**	COSTO CERCO PROTECCIÓN INDIVIDUAL (USD / ha)**	COSTO DE PLANTACIÓN (USD /ha)	VALOR TOTAL (COLECTOR + FORESTACIÓN) (USD/ha) CON CERCO	VALOR TOTAL (COLECTOR + FORESTACIÓN) (USD/ha) CON PROTECCIÓN
Terrazas con muro de piedra	10	25	100	26	4.425	2.543	800	10	7.004	5.261
Surcos en media Luna	14	16	80	21	320	2.543	640	8	2.891,8	989
Trincheras	20	34	170	44	680	2.543	1.360	17	3.284,2	2.101
Cabalatas de desviación	25	10	100	26	1.000	2.543	800	10	3.579	1.836
Límán manual	20	10	60	16	3.340	2.543	480	6	5.904,6	3.842
Límán de piedra mecanizado	80	6	60	16	2.844	2.543	480	6	5.408,6	3.346

* *Eucalyptus cladocalyx*, *E. camaldulensis*, *E. diversicolor* y/o *Acacia saligna*.

** Incluye mano de obra y tipode cerco con malla hexagonal de 1,20 m.

*** Incluye mano de obra y tipo de cerco individual con 3 tutores y malla hexagonal de 0,8 m.

Tabla 13. Estimación de Costos de Forestación según Tipo de Colector de Aguas Lluvias por Hectárea Especies nativas

TIPO DE COLECTOR	SUPERFICIE (m ²)	COLECTORES / ha	ARBOLES / ha	VALOR PLANTA (USD / ha)*	COSTO CONFECCIÓN COLECTOR (USD/ha)	COSTO CERCO PERIMETRAL (USD /ha)**	COSTO CERCO PROTECCIÓN INDIVIDUAL (USD / ha)**	COSTO DE PLANTACIÓN (USD /ha)	VALOR TOTAL (COLECTOR + FORESTACIÓN) (USD /ha) CON CERCO	VALOR TOTAL (COLECTOR + FORESTACIÓN) (USD/ha) CON PROTECCIÓN
Terrazas con muro de piedra	10	25	100	300	4.425	2.543	800	10	7.278	5.535
Surcos en media Luna	14	16	80	240	320	2.543	640	8	3.111	1.208
Trincheras	20	34	170	510	680	2.543	1.360	17	3.750	2.567
Cabalatas de desviación	25	10	100	300	1.000	2.543	800	10	3.853	2.110
Límán manual	20	10	60	180	3.340	2.543	480	6	6.069	4.006
Límán de piedra mecanizado	80	6	60	180	2.844	2.543	480	6	5.573	3.510

* *Prosopis chilensis*, *Quillaja saponaria* y *Peumus boldus*

** Incluye mano de obra y tipode cerco con malla hexagonal de 1,20 m.

*** Incluye mano de obra y tipo de cerco individual con 3 tutores y malla hexagonal de 0,8 m.

CÁLCULO DE LAS ÁREAS DE CAPTACIÓN Y COLECCIÓN

XV. CÁLCULO DE LAS ÁREAS DE CAPTACIÓN Y COLECCIÓN

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:

- Área de captación (Aca).
- Distancia de captación (d) con respecto a la hilera precedente de colectores.
- Densidad de plantación (N° árboles/ha) que podrá establecerse.

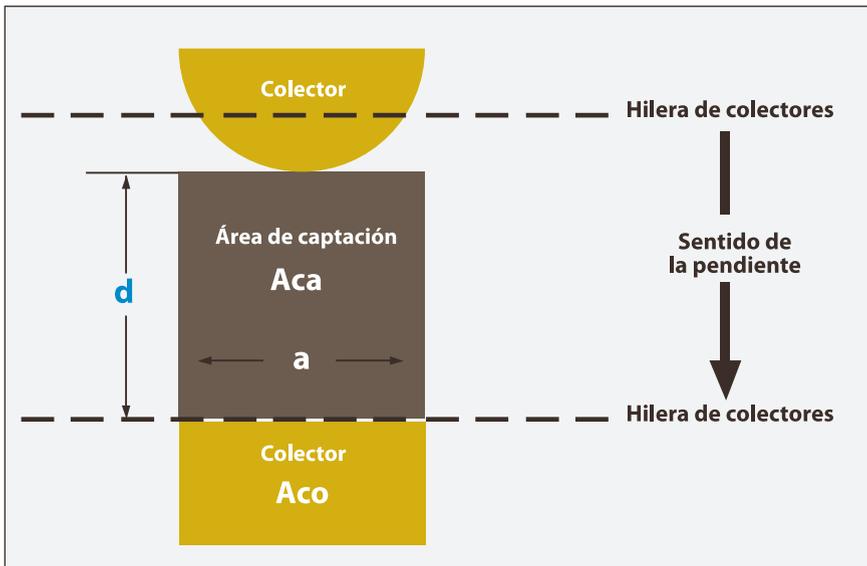


Figura 40. Situación Ejercicio N° 1

Solución Ejercicio N°1

Datos:

<i>Aca</i>	=	?
<i>a</i> (ancho área captación)	=	3m
<i>Aco</i>	=	6m ²
<i>Pe</i>	=	150 mm=150 l/ m ² /año
<i>Ar</i>	=	500 mm=500 l/m ² /año
<i>Ce</i>	=	0,3
<i>Fe</i>	=	0,5

Cálculo área de captación

$$\begin{aligned}
 Aca &= Aco (Ar-Pe) / Pe \times Ce \times Fe \\
 Aca &= 6 (500-150) / 150 \times 0,3 \times 0,5 \\
 Aca &= 2.100 / 22,5 \\
 Aca &= 93,3 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Cálculo distancia del área de captación (d)

$$\begin{aligned}
 Aca &= d \times a \\
 93,3 &= d \times 3 \text{ m} \\
 d &= 93,3 / 3 \\
 d &= 31,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

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 más el área de colección:

$$\begin{aligned}
 Aca + Aco &= \text{Área total para la plantación de un árbol} \\
 93,3 + 6,0 &= 99,3 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Luego la densidad por hectárea será de:

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

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 antecedentes entregados:

Calcular:

-Relación entre área de captación y de colección por cada árbol a establecer.

Solución Ejercicio N° 2

<i>Aca</i>	=	<i>? m²</i>	
<i>a (ancho área de captación)</i>	=	<i>? m</i>	
<i>Aco</i>	=	<i>? m²</i>	
<i>Pe</i>	=	<i>400 mm =></i>	<i>400 l/m²/año</i>
<i>Ar</i>	=	<i>800 mm =></i>	<i>800 l/m²/año</i>
<i>Ce</i>	=	<i>0,20</i>	
<i>Fe</i>	=	<i>0,75</i>	
<i>Aca / Aco</i>	=	<i>Ar - Pe / Pe x Ce x Fe</i>	
<i>Aca / Aco</i>	=	<i>800 - 400 / 400 x 0,2 x 0,75</i>	
<i>Aca / Aco</i>	=	<i>6,7</i>	
<i>Aca</i>	=	<i>6,7 x Aco</i>	

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 m², donde se establecerán 25 árboles. La superficie de captación es de 2.000 m².

Se estima que la máxima intensidad de lluvia por evento pluviométrico en la zona puede llegar a los 90 mm.

CÁLCULO DE LAS ÁREAS DE CAPTACIÓN Y COLECCIÓN

El coeficiente de escorrentía es de 0,3 y el factor de eficiencia de 0,5.

Bajo estas circunstancias.

Calcular:

-Altura en el dique a la que se debe construir la canaleta de salida o aliviadero, para no sobrepasar la capacidad del limán.

Solución Ejercicio N°3

$$\begin{aligned} Aca &= 2.000 \text{ m}^2 \\ Aco &= 100 \text{ m}^2 \\ Pe &= 90 \text{ mm} \Rightarrow 90 \text{ l/m}^2/\text{evento} \\ Ce &= 0,30 \\ Fe &= 0,50 \end{aligned}$$

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):

$$\begin{aligned} Cc &= Pe \times Aco + Aca (Pe \times Ce \times Fe) \\ Cc &= 90 \times 100 + 2000 (90 \times 0,3 \times 0,5) \\ Cc &= 36.000 \text{ l} \Rightarrow 36.000.000 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} Cc &= Aco \times A \\ 36.000.000 \text{ cm}^3 &= 1.000.000 \text{ cm}^2 \times A \end{aligned}$$

Despejando se tiene que:

$$\begin{aligned} A &= 36.000.000 \text{ cm}^3 / 1.000.000 \text{ cm}^2 \\ A &= 36 \text{ cm} \end{aligned}$$

Es decir a 36 cm es la altura en la cual se debe construir la canaleta del aliviadero desde el nivel del piso del limán.

XVI. BIBLIOGRAFIA

Bazza, M y Tayaa, M. 1994. Operation and management of water harvesting techniques. Water harvesting for improved agricultural production. Water Reports FAO, 3.

CONAF. 1988. Control de erosión y forestación en cuencas hidrográficas de la zona semi-árida de Chile. Proyecto cuencas CONAF-JICA. Informe Final. Ministerio de Agricultura. Chile. 161 p.

CONAF - JICA. 1998. Manual de control de erosión. Proyecto Cuencas CONAF-JICA. Corporación Nacional Forestal. Santiago. Chile. 73 p.

Critchley, W. y Siegert, K. 1991. Water harvesting. Manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization of the United Nations..

Critchley, W. y Siegert, K. 1996. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. Tomo I: Bases Técnicas y Experiencias en África y Asia.

Dunne, T. y Leopold, L. B. 1978. Water in environmental planning. San Francisco: W. H. Freeman. 818 pp. Book reviews.

Evenari, M., Shanani, L. y Tadmor, N. 1963. Runoff-farming in the Negev desert of Israel. Progress Report on the Avdat and Shivta Farm Projects for the years 1958-1962. Rehovot: Ed. The National and University Institute of Agriculture.

Evenari, M., Shanani, L. y Tadmor, N. 1964. Runoff-farming in the Negev desert of Israel. Progress report on the Avdat and Shivta Farm Projects 1962-1963. Rehovot: Ed. The National and University Institute of Agriculture.

Fernández, B. 1997. Los esquivos recursos hídricos de la zona central de Chile", Revista Universitaria, nº 56, pp. 39-44.

Frasier, G.W. 1994. Water harvesting/runoff framing systems for agricultural production. Water harvesting for improved agricultural production. Water Reports FAO, 3.

Geist, Helmut. 2005. The causes and progression of desertification. Ashgate Publishing. ISBN 9780754643234.

IFAD, 2001. Desertification as a global problem. Produced on the occasion of the Conference of the Parties, COP-V, UNCCD, Geneva, Switzerland: 1-12 October 2001.

Ipizaga, R., Perret, S. y Requena, J. 1991. El impacto de la erosión en Chile. Renarres, 8 (32): 12-20.

López, C. 1984. Corrección de torrentes y estabilidad de cauces. Universidad Politécnica de Madrid. España. 169 p.

Mintegui A. y López, J. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. Servicio Central del Gobierno Vasco. Vitoria. España. 306 p.

M.O.P.U.1985. Metodología para la evaluación de la erosión hídrica. Dirección General del Medio Ambiente. MOPU.p.150.

Moshe, Y. 1994. Soil Conservation and Afforestation Practices as a Tool For Rehabilitation of Arid regions. En: Proceedings of the First International Symposium on "Silviculture of protection Forestry in Arid Regions and the Agroforestry Potential." Alexandria, Egipto.

Moshe, Y. 1989. Plantings by runoff harvesting in the Negev. Allgemeine Forest Zeitschrift, Munchen- Afforstation in Israel. N° 24-26, 638-641 p.

Musgrave, G.W. 1947. The Quantitative evaluation of factors in water erosion. A first approximation, Journal of soil and water conservation, 2,3: 133 -138 p.

Nasr, M. 1999. Assessing desertification and water harvesting in the Middle East and North Africa: Policy implications. Bonn: ZEF.

Noel, H. 2002. Man-Made Deserts: Desertization Processes and Threats. Arid Land Research and Management 16 (1) 36p.

Perret, S., Wrann, J. y Andrade, F. 2000. Aplicación de técnicas de captación de aguas lluvia en predios de secano para forestación. Manual 25. Proyecto de desarrollo de las comunas pobres de la zona de secano (Prodecop-Secano). Santiago. Chile. 45 p. INFOR.

Perret, S., Valdevenito, G y Salinas. A. 1998. Estudio técnicas agroforestales para el control de la erosión en una subcuenca de la provincia de Choapa IV region. Informe final proyecto CORFO.

Perret, S.; Benedetti, S.; Andrade, F.; Carrasco, R. 1993. Técnicas de Cultivo para el control de la Erosión en una Subcuenca de la Provincia de Choapa, IV Región. Informe Anual. INFOR , 35 p. Santiago, Chile.

Rázuri, L. 1984. Estructura de de conservación de suelos y aguas(p.1-33). Serie Riego y Drenaje, 32 (RD-32). Centro Interamericano de Desarrollo de Agua Y Tierra. Mérida. Venezuela.

Siegert, K. 1994. Introduction to water harvesting: some basic principles for planning, design and monitoring. Water harvesting for improved agricultural production. Water report FAO, 3.

Shachak, M.; Pickett, S.; Boeken, B.; y Zaady, E. 1997. Managing patchiness, ecological flows, productivity and diversity in the Negev desert. In Management of Dry Lands Toward Ecological Sustainability. Eds. T Hoekstra and M Shachak. Illinois University Press, Chicago (In press).

Shachak, M.; Sachs, M.; y Moshe, I. 1998. Ecosystem Management of Desertified Shrublands in Israel. *Ecosystems* 1: 475-483 p.

Wischmeier, W y Smith D. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. *Agric. Handbook* N° 282 U.S. Department of agriculture.

Yair, A. Shachak, M. y 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, 642-647 p.



INFOR

INSTITUTO FORESTAL - CHILE

SEDE METROPOLITANA, Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago. Fono: (56 2) 366 71 00 / Fax: (56 2) 366 71 31

SEDE BÍO BÍO, Camino a Coronel Km 7,5 Concepción. Fono / Fax: (56 41) 285 32 60

SEDE VALDIVIA, Fundo Teja Norte S/N, Valdivia. Fono: (56 63) 211 476 / Fax: (56 63) 218 968

OFICINA DIAGUITAS, Ruta 41 Km 5,5 costado Aeropuerto La Florida, La Serena. Fono / Fax: (56 51) 543 627

OFICINA PATAGONIA, Riquelme 147, Coyhaique. Fono: (56 67) 573 159

www.infor.cl www.oirs.cl