



CONSULTORÍA SP-16-2009: ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL DESARROLLO DE OPCIONES DE COSECHA DE LLUVIA Y MANEJO ADECUADO EN SISTEMAS DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA.



SENARA



Documento: D-01

"COMPENDIO CON INFORMACIÓN DE LAS OPCIONES TÉCNICAS DE COSECHA DE AGUA APLICABLES A NUESTRO MEDIO".

REALIZADA PARA EL MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA EN EL MARCO DEL PROGRAMA DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA SOSTENIBLE.

Convenio 1436/OC-CR-BID.

PERIODO DE REALIZACIÓN NOVIEMBRE 2009-JUNIO 2010.

REALIZADO POR:



UNA
UNIVERSIDAD
NACIONAL
COSTA RICA

Centro Mesoamericano
de Desarrollo Sostenible del
Trópico Seco.
Universidad Nacional,
Sede Chorotega.
Nicoya, Costa Rica.
Tel. (506) 2685-3280 Ext 160.
Fax (506) 2686-3300.
Email: cemedede@una.ac.cr.
Web site:
www.cemedede.una.ac.cr.

El presente documento fue producido en el marco de la consultoría SP-016-2009 con el aporte económico del Ministerio de Agricultura y Ganadería con fondos del Programa de Fomento de la Producción Agropecuaria Sostenible, Convenio 1436/OC-CR-BID.

El CEMEDE-UNA es un programa académico de la Universidad Nacional, de naturaleza interdisciplinaria, físicamente ubicado en la Región Chorotega de Costa Rica, cuyo objeto de trabajo es la problemática ambiental, económica, social, cultural y política de las comunidades, regiones y naciones comprendidas en la Región Mesoamericana del Trópico Seco.

AUTORES

Rigoberto Rodríguez Quirós, rrodr@una.ac.cr.
Hubert Morris Grainger, hmorrisg@gmail.com.
David Morales Hidalgo, dmorale@una.ac.cr.

Aportes Técnicos

Hubert Morris Grainger.
Rigoberto Rodríguez Quirós.
Adolfo Salinas Acosta.
David Morales Hidalgo.

Diseño y Diagramación

David Morales Hidalgo.

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión del material contenido en este producto informático para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor, siempre que se especifique claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción del material contenido en este producto informativo para reventa u otros fines comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor.

Derechos reservados: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica.

© MAG 2010.

Para información adicional: www.cemedede.una.ac.cr Email: cemedede@una.ac.cr
Tel. (506) 2685-3280 o en cualquiera de las oficinas del MAG.

AGRADECIMIENTO

El equipo ejecutor de la consultoría SP-016-2009: "*Estudio de viabilidad técnica y económica para el desarrollo de opciones de cosecha de lluvia y manejo adecuado en sistema de riego en la producción agropecuaria*", agradece al Programa de Fomento a la Producción Agropecuaria Sostenible (convenio 1436/OC-CR-BID) del MAG, por la confianza y financiamiento para la realización de este trabajo, así como a todas las personas que de una u otra forma apoyaron la ejecución de la misma; con especial referencia a los funcionarios del MAG miembros del comité de seguimiento, por sus valiosos aportes y acompañamiento durante el periodo de la consultoría:

Región Chorotega:

Ing. Oscar Vásquez Rosales, Director Regional.

Ing. Norma Salazar Ruiz, Unidad de Proyectos.

Ing. Juan Manuel Benavides Pérez, Unidad de Proyectos.

Ing. Omar Campos Duarte, Coordinador de Producción Sostenible.

Región Huetar Norte:

Ing. Javier Ávila Vega, Director Regional.

Ing. Allan Alfaro Alfaro, Coordinador de Producción Sostenible.

Ing. Luis Fernando González Chinchilla, Jefe de Extensión.

Región Pacífico Central:

Ing. Juan Carlos Moya Lobo, Director Regional.

Ing. Amalia Venegas Porras, Coordinadora de Producción Sostenible.

Ing. Luis Umaña Rodríguez, Técnico agrícola.

Asimismo agradecemos al Msc Eddy Romero del Valle, Msc. Nelson Brizuela Cortés, Ing. Marvin Barrantes Castillo y al Ing. Agustín Sanabria Loaiza, funcionarios del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (*SENARA*) , por sus aportes y colaboración.

No queremos finalizar, sin externar nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Roberto Azofeifa Rodríguez, Coordinador del Componente de Asistencia Técnica e Inversiones del Programa de Fomento a la Producción Agropecuaria del MAG, por sus valiosos aportes y comentarios técnicos, así como en la asistencia en los trámites administrativos.

CONTENIDO

PREFACIO	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (SCALL).....	3
2.1 Componentes mínimos.....	3
2.2 Componentes adicionales.....	3
3. SOBRE EL ÁREA DEL TERRENO DEDICADO AL SCALL.....	4
3.1 Microcaptación	4
3.2 Sistemas de Captación Externa.....	8
4. TECNOLOGÍAS PARA LA APLICACIÓN DE LA CAPTACIÓN EXTERNA.....	10
4.1 Clasificación de experiencias por topografía	10
4.1.1 Experiencias para pendientes pronunciadas	10
4.1.2 Experiencias para laderas suaves.....	12
4.1.3 Experiencias para la llanura	15
4.2 Capacidad de almacenamiento del agua de lluvia.....	18
5. TIPOS DE TECNOLOGÍAS DISPONIBLES EN EL MEDIO	22
5.1 Tecnologías apropiadas.....	22
5.2 Tecnologías convencionales.....	23
6. RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN COSTA RICA	25
6.1 Consideraciones para el diseño del reservorio.....	25
6.2 Tipos de tecnologías sugeridas	26
7. REFERENCIAS.....	31

PREFACIO

El presente documento, forma parte de una serie de publicaciones producidas por la consultoría SP-016-2009 denominada “*Estudio de viabilidad técnica y económica para el desarrollo de opciones de cosecha de lluvia y manejo adecuado en sistema de riego en la producción agropecuaria*”, la cual fue realizada para el Ministerio de Agricultura y Ganadería en el marco del Programa de Fomento de la Producción Agropecuaria Sostenible, convenio 1436/OC-CR-BID, y ejecutada por el Centro Mesoamericano de Desarrollo Sostenible del Trópico Seco de la Universidad Nacional de Costa Rica (CEMEDE- UNA).

Dicha consultoría tenía como fin primordial la elaboración de una Estrategia Nacional para la implementación de la tecnología de cosecha de agua de lluvia en el país.

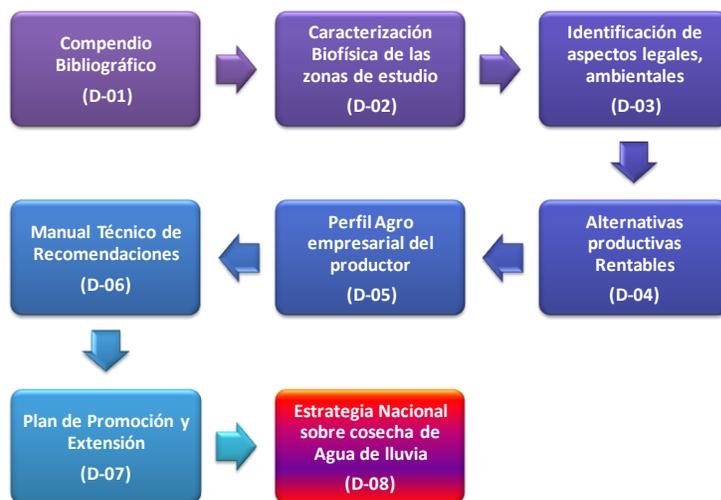
Los productos de la consultoría incluyen los siguientes documentos:

- **Documento 1 (D-01):** *Compendio con información de las opciones técnicas de cosecha de agua aplicables a nuestro medio.*
- **Documento 2 (D-02):** *Caracterización biofísica de las zonas definidas para la implementación de las opciones de cosecha de agua de lluvia.*
- **Documento 3 (D-03):** *Identificación de los aspectos ambientales, legales, sanitarios que establezcan regulaciones en cosecha de agua.*
- **Documento 4 (D-04):** *Alternativas productivas rentables por región.*
- **Documento 5 (D-05):** *Perfil agroempresarial de los posibles beneficiarios de la tecnología de cosecha de lluvia.*

- **Documento 6 (D-06):** Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia (SCALL) en el sector agropecuario de Costa Rica y recomendaciones para su utilización.
- **Documento 7 (D-07):** *Plan de promoción, extensión y capacitación de las innovaciones tecnológicas para la implementación de la cosecha de agua en 6 regiones de Costa Rica.*
- **Documento 8 (D-08):** *Propuesta de estrategia nacional de desarrollo de las opciones técnicas para la cosecha de lluvia y su utilización en sistemas de riego.*

Cada uno de estos documentos está interrelacionado, por lo que se recomienda, para lograr un mejor entendimiento, leerlos conforme se presenta en el siguiente diagrama.

Diagrama de seguimiento con los nombres de los documentos de la consultoría SP-016-09 y



sus relaciones:

Es decir, es apropiado iniciar la lectura con el presente documento, denominado “*Compendio bibliográfico de las opciones técnicas de cosecha*”

de agua aplicables a nuestro medio (D-01)", para hacerse un panorama general del tema de la cosecha de agua de lluvia y de las diferentes estructuras que pueden funcionar en las áreas seleccionadas para el estudio.

El documento denominado "*Caracterización biofísica de las zonas definidas para la implementación de las opciones de cosecha de agua de lluvia (D-02)*", sería el segundo en la lista, y con el mismo se pretende dar a entender cuáles son las características que presenta cada una de las zonas prioritarias en el país, definidas en la consultoría y que pueden incidir en la aplicación de la tecnología de cosecha de agua de lluvia.

Seguidamente es recomendable proseguir con el documento "*Identificación de los aspectos ambientales, legales, sanitarios que establezcan regulaciones en cosecha de agua – D-03*", con el fin de entender lo concerniente a aspectos que pudieran incidir a la hora de construir reservorios para la cosecha de agua.

El documento "*Alternativas productivas rentables por región – D-04*) es el cuarto de los informes. Aquí se presentan las principales actividades rentables según región, así como análisis de costos y rentabilidades, incluyendo o no la tecnología de cosecha de agua de lluvia.

Posteriormente, se recomienda continuar con el "*Perfil agroempresarial de los posibles beneficiarios de la tecnología de cosecha de lluvia–D-05*", el cual establece las condiciones requeridas que deben cumplir los productores para darle sostenibilidad a un Programa Nacional de Cosecha de Agua de Lluvia (el cual se incluye en el documento D-08).

El documento "*Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia (SCALL) en el sector agropecuario de Costa Rica y recomendaciones para su utilización –D-06*" contiene las especificaciones técnicas sobre la construcción de reservorios.

El "*Plan de promoción, extensión y capacitación de las innovaciones tecnológicas para la implementación de la cosecha de agua en 6 regiones de Costa Rica –D-07*" es una parte integral del documento D-08, sin embargo, se incluye como un documento separado para efectos de enfatizar en la parte de promoción.

Finalmente, la "*Propuesta de estrategia nacional de desarrollo de las opciones técnicas para la cosecha de lluvia y su utilización en sistemas de riego –D-08*" es el producto principal de la consultoría, y se nutre de los demás documentos mencionados, por lo que su lectura se recomienda para el final. En este se establecen los aspectos principales a considerar para el establecimiento de la estrategia nacional, como lo son el plan operativo y la implementación de un Programa Nacional de cosecha de agua de lluvia.

Cada uno de los documentos mencionados anteriormente se puede obtener en formato digital PDF en la dirección electrónica <http://www.cemede.una.ac.cr/cemede/publicaciones.php?tipo=12>.

1. INTRODUCCIÓN

La escasez de agua es un problema que aqueja a muchas regiones y personas en el mundo. Según UNESCO (2003), la tierra, con sus diversas y abundantes formas de vida, que incluyen a más de 6.000 millones de seres humanos, se enfrenta en este comienzo del siglo XXI con una grave crisis del agua. Todas las señales parecen indicar que la crisis se agrava y que continuará haciéndolo, a no ser que se emprenda una acción correctiva. Se trata de una crisis de gestión de los recursos hídricos, esencialmente causada por la utilización de métodos inadecuados.

Por supuesto, la escasez afecta también muchas actividades productivas del hombre, entre las que destacan la producción agrícola y pecuaria (Alfaro 2009 y Casanova et al 2000).

En ese contexto, se hace necesaria la búsqueda de opciones de manejo y aprovechamiento de agua, para ser utilizada tanto con fines productivos como domésticos.

Una de las opciones con las que se cuenta es la cosecha de agua de lluvia. La utilización de agua de lluvia ha estado presente por muchas generaciones, como una forma de suplir las necesidades de agua para diferentes usos como la agricultura, la atención de animales y el uso doméstico. Aunque por mucho tiempo ha sido relegada como una fuente de agua para las diversas actividades, en los últimos años esta práctica ha venido recobrando fuerza.

Nasr (1999) define la cosecha de agua como la recolección del agua de escorrentía para su uso productivo, mientras que según FAO (2000) la captación de agua de lluvia está definida como la recolección de escorrentía superficial para su uso productivo, y que puede lograrse de las superficies de tejados, así como de corrientes de agua intermitentes o efímeras.

Existen diversas formas de clasificación de lo que se considera cosecha de agua (Desrochers 2004). Las variaciones normalmente dependen del autor, y en muchas ocasiones hay divergencias en cuanto a lo que se considera o no cosecha de agua.

También es importante recalcar que existen diferencias entre lo que se considera captación de agua de lluvia, conservación de agua y entre captación de agua de lluvia y riego. Hudson (1987) citado por FAO (2000), distingue entre conservación de suelos (labranza, terrazas, bordos y surcos), conservación de aguas, definida como captar y almacenar agua donde cae (surcos, terrazas y derivación de agua e inundaciones) y captación de agua de lluvia, descrito con énfasis en el almacenamiento de agua para su utilización en otra parte. Una diferencia importante y obvia es que para conservar el agua se requiere prevenir la escorrentía, mientras que las técnicas para captar el agua necesitan un área con alta escorrentía (FAO 2000).

Varios autores describen métodos y conceptos diferentes de cómo se concibe la captación del agua de lluvia para su aprovechamiento (Martínez 1998, Middle East Peace Process 2005, Mongil y Martínez de Azagra 2007, Narayan *et al.* 2008).

Oweis *et al.* (1999), Oweis y Hachum (2004), por ejemplo, indican que la cosecha de agua se divide en dos grandes ramas: una que se refiere al agua de escorrentía y otra que habla de cosecha de agua para riego suplementario.

Prinz (1994), Prinz y Malik (S.f), hacen un desglose más amplio donde se incluyen las siguientes categorías, definidas por la relación entre el área de recolección y el área de depósito del agua: (1) Cosecha de agua en techos, (2) Cosecha de agua para consumo animal, (3) Cosecha de agua inter – lineal (4) Microcaptación, (5) Captación de mediana escala o Macrocaptación, (6) Captación de gran escala (áreas de captación con muchos

kilómetros cuadrados, necesitan estructuras muy complejas y grandes redes de distribución).

A manera de síntesis, Fox (2001) resume las posibilidades de captura considerando la duración posible del almacenamiento y la fuente de donde fue captada de agua en la Figura 1. En este esquema, se establece que si el tiempo de almacenamiento del agua en el suelo es corto, las principales estructuras son aquellas que están dentro de los cultivos como medias lunas, barreras vivas; entre otros. Mientras tanto, si el periodo de almacenamiento es largo (semanas o meses), se pueden utilizar estructuras como tanques, represas y embalses.

Ministerio de Agricultura y Ganadería en el marco del Programa de Fomento de la Producción Agropecuaria Sostenible, convenio 1436/OC-CR-BID.

El presente documento, es uno de los productos de dicha consultoría. En él se incluyen las diferentes opciones técnicas de cosecha de agua que se han desarrollado en nuestro medio. Se incluyen además, algunas opciones que han sido puestas en marcha en latitudes muy diferentes a la nuestra, como es el caso de Asia y África. Se consideran estos aportes como un complemento a las opciones que pueden servir en nuestro medio.

Se pretende que el presente documento sirva

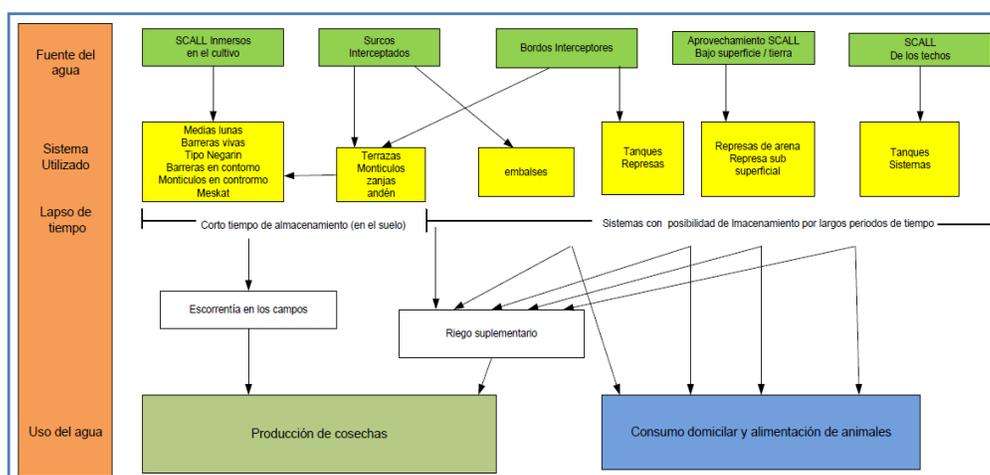


Figura 1. Clasificación de los sistemas de captura de agua de lluvia según tiempo de almacenamiento y fuente del agua. Fuente Fox (2001)

En Costa Rica, algunas regiones presentan déficit hídrico en ciertas épocas del año en cuanto a precipitación. Esta situación propicia la realización de un esfuerzo con tal de analizar las posibilidades existentes de suplir las necesidades de agua con fuentes alternativas, en este caso la cosecha de agua de lluvia.

Es por eso que nace el proyecto “Estudio de viabilidad técnica y económica para el desarrollo de opciones de cosecha de lluvia y manejo adecuado en sistema de riego en la producción agropecuaria”, promovido por el

como un instrumento para valorar los aspectos positivos que se puedan implementar en nuestra región, considerando variables como precipitación, topografía, suelos, recurso humano, tipo de equipo (maquinaria o animales), materiales (plástico, geomembranas).

Al final, se incluye una tabla con los tipos de estructuras que se considera pueden funcionar en una o más de las regiones definidas en el estudio, de acuerdo al análisis de diferentes variables según sea el caso.

2. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

De acuerdo con Bocek (S.f.), los criterios para determinar cuál es el mejor método para almacenar agua de lluvia y/o escorrentía incluyen:

- El objetivo por el cual ésta se recolecta.
- La pendiente del terreno.
- Las características del suelo.
- Los costos de construcción.
- La cantidad, intensidad y distribución estacional de las lluvias.
- Factores sociales tales como la tenencia de la tierra y las prácticas tradicionales del uso del agua.

Debería también considerarse que las condiciones físicas de un área de captación no son homogéneas. Hasta en el nivel micro hay gran variedad de diferentes pendientes, tipos de suelo, cubiertas de vegetación, etc. Cada área de captación tiene por lo tanto su propia respuesta de escorrentía superficial y responderá de distinto modo a diferentes eventos de precipitación (FAO, 2000).

2.1 Componentes mínimos

La mayoría de los autores consultados (por ejemplo, FAO (2000); Anaya y Martínez (2007); Bocek (S.f.) y Cajina (2006); entre otros, hacen referencia a la existencia de tres componentes en los sistemas de cosecha de agua:

- 1) El área de captura, en donde se recolecta el agua para ser transportada hasta el reservorio.
- 2) El área de almacenaje o reservorio (reservorio artificial, perfil del suelo, acuíferos subterráneos).
- 3) El área objetivo o de uso del agua (agricultura, uso doméstico o industrial).

2.2 Componentes adicionales

Algunos autores (Anaya y Martínez 2007; Texas Water Development Board 2005), hacen referencia a otros componentes que permiten dar un mayor manejo al agua cosechada como lo son los sistemas de primera limpieza, filtración y distribución.

Los sistemas de “*primera limpieza*” buscan evitar que los sólidos depositados en el área de captación lleguen al tanque de almacenamiento. Con ésta medida se disminuye la necesidad de retirar sedimentos del almacenamiento, se aumenta la vida útil de los equipos de bombeo al no tener que desplazar sólidos y se restringe el decaimiento de la calidad del agua por la descomposición de la materia orgánica presente en ella. (Anaya y Martínez 2007; Texas Water Development Board 2005).

Los sistemas de filtración permiten bloquear un tamaño de partícula deseada con el fin de poder entregar el agua en una mejor condición, en muchos de los casos precede a la purificación del agua según se requiera.

La distribución permite desplazar el líquido hacia donde sea requerido por lo tanto puede estar comprendido por tuberías a presión y bombas, o simplemente ser establecido mediante un canal de riego.

3. SOBRE EL ÁREA DEL TERRENO DEDICADO AL SCALL

Existen varias técnicas para materializar un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL), éstas se clasifican según el terreno que requieren sus infraestructuras en Microcaptaciones o captación dentro del sistema y Sistemas de Captación Externa (FAO 2000).

3.1 Microcaptación

Describe las técnicas de captación de agua de lluvia, para las cuales se utilizan varias expresiones como “microcaptación”, “captación de agua de rampas pequeñas”, “captación dentro del sistema de captación” o “captación de microcuencas”. Este sistema se encontró aplicado en América (compilados por Anaya y Martínez 2007, FAO 2000) en España (Prinz 1994), África (Stockholm International Water Institute 2001), por mencionar algunos.

Los sistemas de captación del agua de lluvia, dedican una parte del terreno a la escorrentía del agua (área de escorrentía) y otra parte del terreno para almacenar el agua que previamente escurrió (área de almacenaje). Ambas áreas deben estar acondicionadas para que cumplan eficientemente con sus objetivos.

La microcaptación *in situ* del agua de lluvia, se diferencia de la captación general básicamente en tres aspectos:

- Porque el sistema de captación se realiza exclusivamente para emplearlo en cultivos básicos, forrajeros, industriales, vegetación nativa, árboles, arbustos y frutales.
- Porque el área de escorrentía, está formada por microcaptaciones que aportan cantidades adicionales de agua y no tienen que conducirla a grandes distancias, ya que

dicha área está adyacente al área destinada al almacenamiento.

- Porque el área de almacenamiento incluye el mismo suelo, en el cual se desarrollan las raíces de los cultivos.

Los objetivos de la microcaptación de agua de lluvia se refieren a aumentar la disponibilidad de agua para las plantas, mitigar los efectos de la sequía; propiciar una producción sostenible y mejorar el entorno ecológico.

La ubicación y selección del sitio para establecer obras de microcaptación de agua de lluvia debe considerar que el suelo tenga cuando menos 70 cm de profundidad.

Los ejemplos típicos de microcaptación son el “*negarim*” (para árboles), microcuencas en contorno (para árboles); surcos en contorno (microcuencas) y bordes semicirculares (para pastos y forrajes).

La microcaptación implica descripciones de técnicas con una longitud del área de captación entre 1-2 metros y 100-150 metros y con una relación área de captación/área de plantas entre 1:1 a 10:1 (depende de la precipitación y de otros factores).

La gran ventaja de las técnicas de microcaptación es que es posible combinarlas con las de conservación del agua y las de control de erosión, además que son relativamente sencillas, baratas y de alta efectividad. Siendo estas obras pequeñas, a menudo se utilizan para cultivar árboles. (Moges 2004, FAO 2000).

Ejemplo de aplicación de concepto:

Microcaptación Guimaraes Duque (FAO, 2000) (ver Figura 2).

Lugar: zona semiárida Brasil.

Tipo de sistema: Consiste en la formación de surcos seguidos por camellones altos y largos. El surco y el camellón son formados a través de

cortes efectuados con un arado de disco reversible sobre la curva de nivel previamente trazada. Generalmente, estos arados son de tres discos.

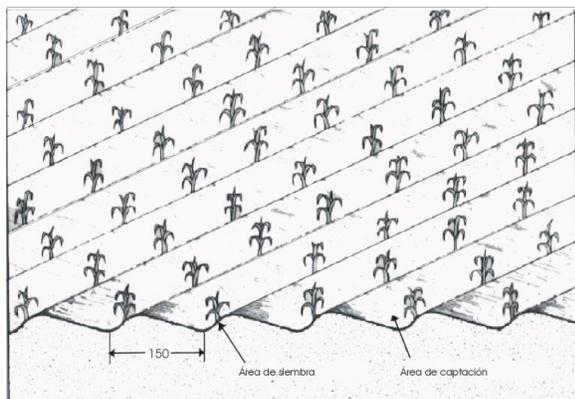


Figura 2. Representación de microcaptación Guimaraes Duque. Fuente: FAO 2000.

Descripción: Los surcos alcanzan una profundidad media de 0,25 m y un espaciamento de 1,5 m, igual al ancho del tractor de neumáticos.

Ventajas: Utiliza el mismo terreno de siembra para la captación, es de bajo costo y bajo grado de complejidad. Se puede realizar con materiales del sitio.

Desventajas: sólo puede hacerse con arado de discos, lo que implica la utilización de tractor; sólo permite una hilera de plantas por surco, en el área de siembra.

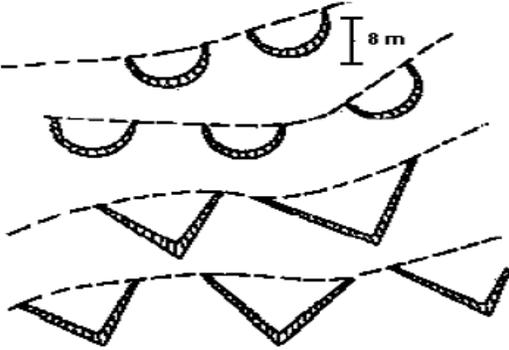
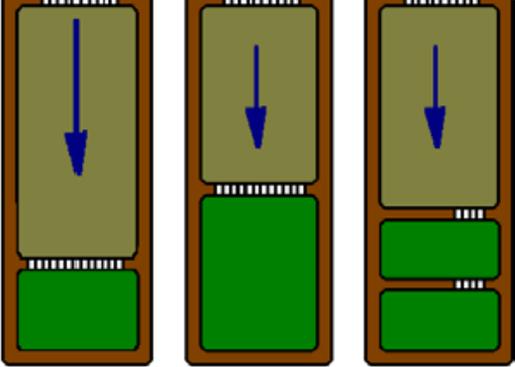
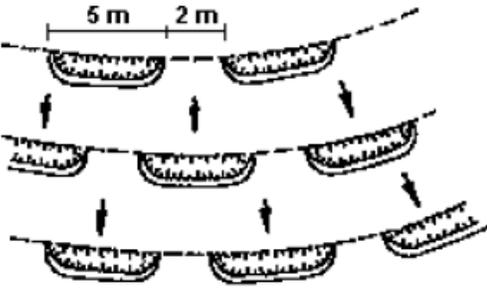
Lluvia promedio anual: 400 - 600 mm.

Otros tipos de sistemas de microcaptación se anotan en el Cuadro 1.

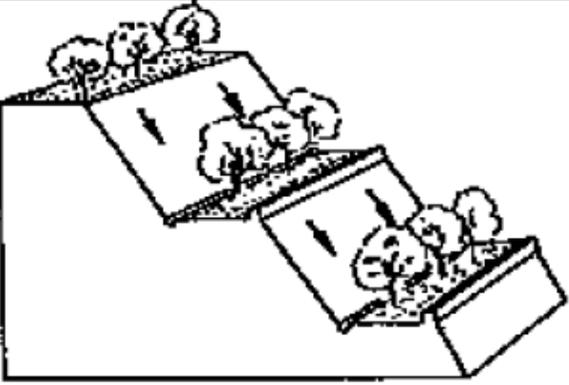
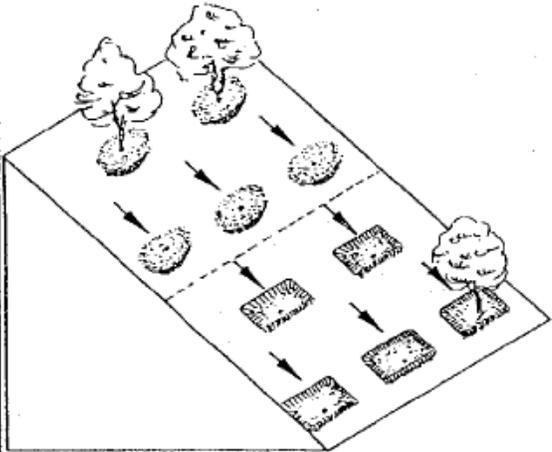
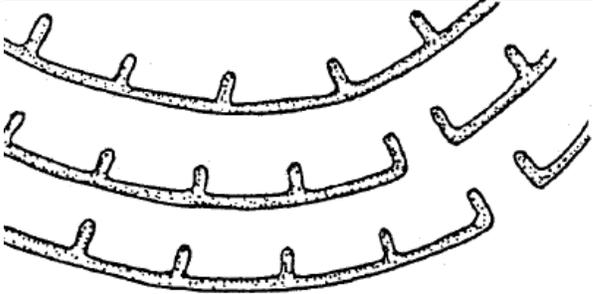
Cuadro 1: Diferentes tipos de microcaptación.

TIPO	ILUSTRACIÓN	PARÁMETROS
Negarín		$CA = 3 - 250$ $CR = 1 - 10$ $CCR = 3 : 1 - 25 : 1$ $PREC = 150 - 600$ <i>mm/año</i> $SL = 1 - 20\%$
Hoyos		$CA = 0,25$ $CR = 0,08$ $CCR = 3 : 1$ $PREC = 350 - 600$ <i>mm/año.</i> $SL = 0 - 5\%$

Cuadro 2: Diferentes tipos de microcaptación (continuación).

TIPO	ILUSTRACIÓN	PARÁMETROS
<p>Aros semicirculares</p> <p>Bordos Triangulares</p>		<p>CA= 24-226</p> <p>CR= 6-57</p> <p>CCR= 4:1</p> <p>PREC= 300 - 600 mm/año.</p> <p>SL= 2 - 20%</p>
<p>Tipo Meskat</p>		<p>CA= 500</p> <p>CR= 250</p> <p>CCR= 2:1</p> <p>PREC= 200 - 600 mm/año.</p> <p>SL= 2 - 15%</p>
<p>Tipo Vallerani</p> <p>Totalmente mecanizado</p>		<p>CA= ~ 15</p> <p>CR= ~ 2.4</p> <p>CCR= 6:1</p> <p>PREC=100 - 600 mm/año.</p> <p>SL= 20 - 50%</p>

Cuadro 3: Diferentes tipos de microcaptación (continuación).

TIPO	ILUSTRACIÓN	PARÁMETROS
Camas en contorno		<p>CA= ~2-16 CR= 2-8 CCR= 1:1-8:1 PREC= 100 – 600 mm/año. SL= 20 - 50%</p>
Terrazas puntuales Microcaptaciones En pendientes		<p>CA= 5 - 50 CR= 1 - 5 CCR= 3:1 - 20:1 PREC= 100 – 600 mm/año. SL= 1 - 50%</p>
Caballetes en contorno		<p>CA= 100 CR= 20 CCR= 5:1 PREC= 300 - 600 mm/año. SL= 5 - 25%</p>

CA = Tamaño de captación (m²). PREC = Precipitación.
 CR = Área de cultivo (m²). SLCA = Pendiente en área de captación.
 CCR = Relación captación – cultivo. SLCR = Pendiente en área de cultivo.
 SL = Pendiente.

Fuente: Prinz y Singh (1996).

3.2 Sistemas de Captación Externa

Describe las técnicas de captación de agua de lluvias generalmente referidas como “Captación Externa”, “Captación de Agua de Rampas Largas” o “Mayores Longitudes en el Área de Captación” o “Captación de Microcuencas”.

Las características principales de los sistemas de Captación Externa son:

- Captación de aguas de escorrentía superficial, laminar y de arroyos.
- Escorrentía superficial almacenada en el perfil del suelo.
- Área de captación, generalmente de 30 a 200 metros de largo.
- Se requiere de suficiente superficie para ubicar las áreas de captación, almacenamiento y siembra.
- Relación área de captación/área de plantas usualmente de 2:1 a 10:1.
- Vía preparada para vertedero del exceso de agua.
- Crecimiento irregular de las plantas a menos que se nivele el terreno.

El Banco Mundial (1988) mencionado por FAO (2000), describe sistemas de captación de lluvia con una longitud del área de captación de 50 a 150 metros (depende de la precipitación y de otros factores importantes), trata sobre el cálculo de la proporción área de captación/área de plantas y recomienda realizar las obras en laderas con una pendiente menor a 2-3%, para evitar construir bordes demasiado altos. Estos sistemas comúnmente se usan para cultivos. Generalmente necesitan inversiones de mano de obra y de capital en la implementación y en el mantenimiento.

El conjunto de sistemas de captación externa es utilizado en todas sus variantes alrededor del mundo debido a que es la metodología que permite almacenar el agua en un reservorio o tanque.

Ejemplo de aplicación de concepto: sistema de aprovechamiento de la escorrentía superficial en embalses para riego de salvación por gravedad (FAO 2000).

Lugar: zona semiárida Brasil, en los estados de Bahía, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará y Piauí suman más de 100 embalses para riego de salvación.

Tipo de sistema: El Sistema de Aprovechamiento de la Escorrentía Superficial a través de embalses de salvación -SAES-ES-.

Descripción: es una técnica que tiene la finalidad de captar y almacenar, en reservorios (embalses) superficiales, el excedente de agua que se produce en la superficie del suelo después de cada evento lluvioso, para su utilización posterior; en el período sin lluvias durante la época lluviosa, como riego de salvación y, en la época seca, como riego complementario. Está constituido por tres elementos básicos: Área de captación (Ac), Tanque de almacenamiento (Ta) y Área de siembra (As). Esta puede variar de acuerdo a la situación socioeconómica del productor y a las características edafo-climáticas de la propiedad rural (ver Figura 3).

Observaciones: Esta técnica se considera de un grado intermedio de complejidad, pues requiere la intervención de mano de obra especializada para su diseño, trazo y construcción, además de que el agricultor aprenda qué es una curva de nivel, cómo fertilizar y cómo aplicar el riego.

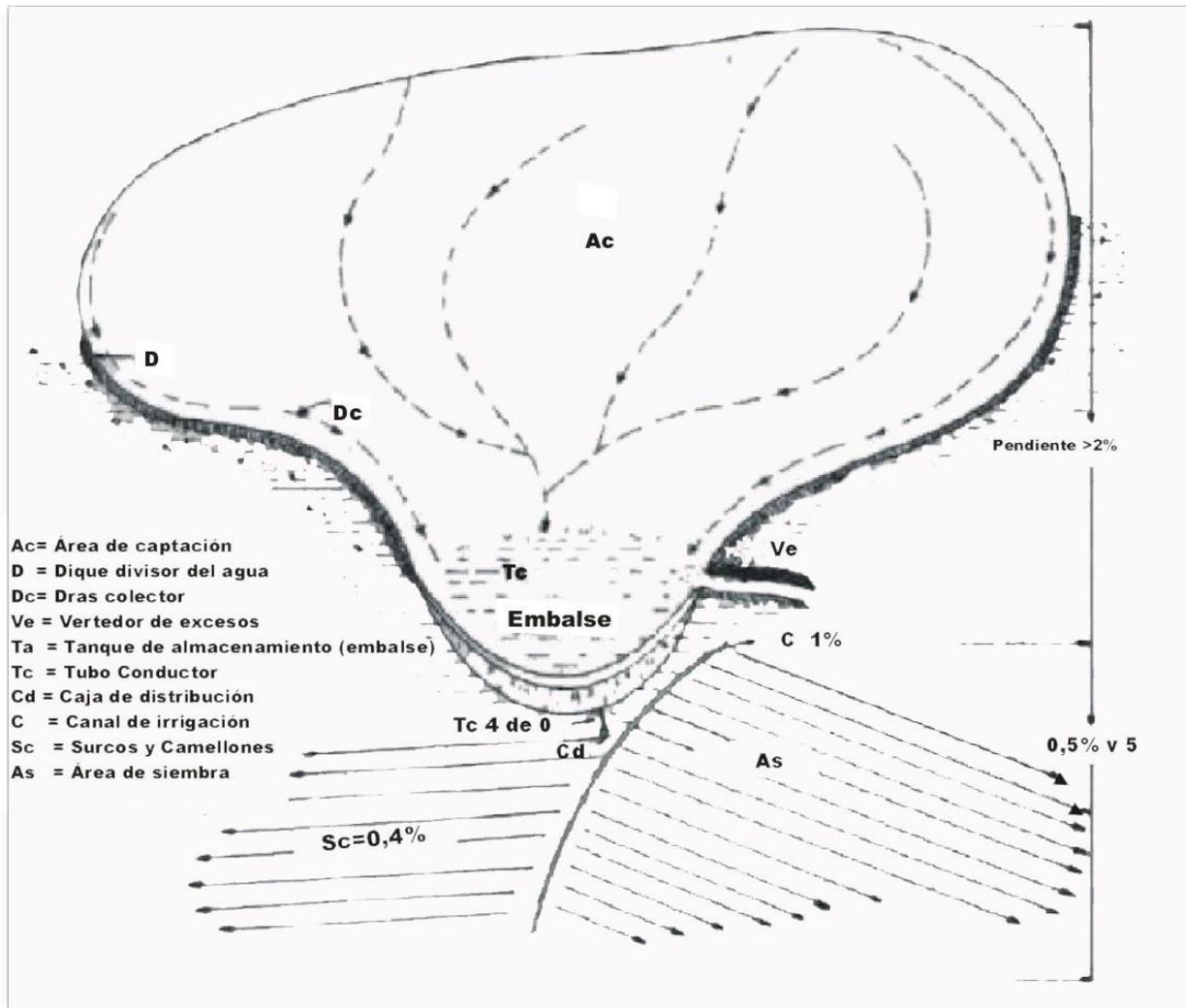


Figura 3. Canal de riego desde el reservorio hasta el cultivo.

Fuente: FAO 2000.

4. TECNOLOGÍAS PARA LA APLICACIÓN DE LA CAPTACIÓN EXTERNA

4.1 Clasificación de experiencias por topografía

No todas las técnicas de cosecha de agua de lluvia son aplicables de manera efectiva para diferentes condiciones de terreno. En este apartado fueron agrupadas las experiencias según su aplicación en pendientes pronunciadas, laderas suaves o planicie.

4.1.1 Experiencias para pendientes pronunciadas

Andenes, surcos interceptados y terrazas son algunas de las técnicas utilizadas para lograr el objetivo de la cosecha de agua de lluvia (Cajina 2006, FAO 2000; Bocek 1996). Todas las anteriores buscan hacer uso de los sitios empinados capturando el agua de manera perpendicular al flujo con el fin de redireccionar el líquido hacia otro sitio o sostenerla en esa posición.

Ejemplo de aplicación de concepto: Agricultura de laderas a través de andenes, caso de Perú. (FAO 2000)

La agricultura en los sistemas de terrazas o andenes, es una tecnología agrícola ancestral que se ha desarrollado en muchos lugares del mundo como respuesta económica, social y técnica a un medio adverso, encontrándose particularidades de acuerdo al lugar y al nivel de desarrollo de las culturas.

Con los andenes se logra utilizar racionalmente las laderas, minimizar el riesgo de heladas, lograr una mayor exposición al sol, controlar la escorrentía del agua, incrementar la infiltración, mantener un buen drenaje y mejor aireación del suelo agrícola.

La agronomía en andenería es un sistema de cultivo en terrazas, que se aplica en laderas con pendientes del 4 al 60%; se caracteriza por la construcción de plataformas continuas escalonadas en las laderas de los cerros y superficies inclinadas de las quebradas, logrando así el aprovechamiento óptimo del agua.

La agricultura en andenería es muy diversificada. Actualmente se conducen cultivos de papa en rotación con maíz, del mismo modo se producen flores y frutales como manzanos, aguacates y chirimoyas en andenes de dos metros de ancho que sólo admiten un surco.

Los andenes generalmente tienen una longitud que oscila entre 4 y 100 m, por un ancho que va desde 1,5 a 20 m; la terraza se encuentra sostenida normalmente por tres muros de piedra, de los cuales el de mayor longitud tiene la sinuosidad de la curva de nivel de la ladera y los otros dos en los extremos del andén, van paralelos con la máxima pendiente adyacente a la acequia y el camino empedrado o sólo a la acequia. Los muros miden normalmente entre 0,5 y 2 m de altura llegando ocasionalmente a 3 m. La estructura interna del andén consta de tres estratos, donde la capa del fondo es de piedras grandes, seguido de una capa intermedia de gravas y una capa superficial de hasta 0,7 m de tierra agrícola (ver figura 4).

Los andenes se ubican en laderas de montañas desde los 300 msnm hasta los 4200 msnm y pueden ser irrigados con agua canalizada de ríos, lagunas manantiales, nieblas y lluvias estacionales sobre los 200 mm/año.

Para el establecimiento de un sistema de andenes hay que tener en cuenta lo siguiente:

- La pendiente de la ladera debe estar comprendida entre 4 y 60%, preferentemente por razones de costo.
- La disponibilidad y caudal de las fuentes de agua para riego (manantiales, ríos, lagunas, lluvias, neblinas, etc.).

- La precipitación estacional anual en zonas de secano no debe ser menor a los 200 mm.
- Obtener y analizar los registros hidrológicos de la máxima precipitación y máxima avenida para el cálculo de caudales máximos y problemas de erosiones.
- Estudio geológico y edafológico de la zona para la descripción del perfil de la ladera.

- Largo de la terraza.
- Ancho y pendiente de los caminos.
- Riego del andén.

Los principales parámetros a considerar en el diseño de un andén son (ver Figura 5):

- Pendiente longitudinal de la terraza.
- Pendiente transversal de la terraza.
- Talud del muro de contención.
- Altura del muro (H).
- Ancho del andén.

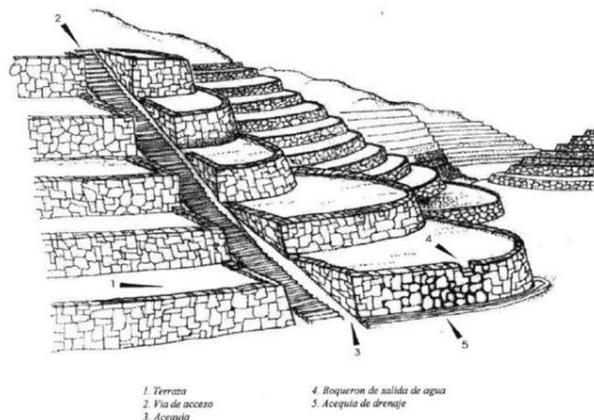


Figura 4. Sistema de andenes.
Fuente: FAO 2000.

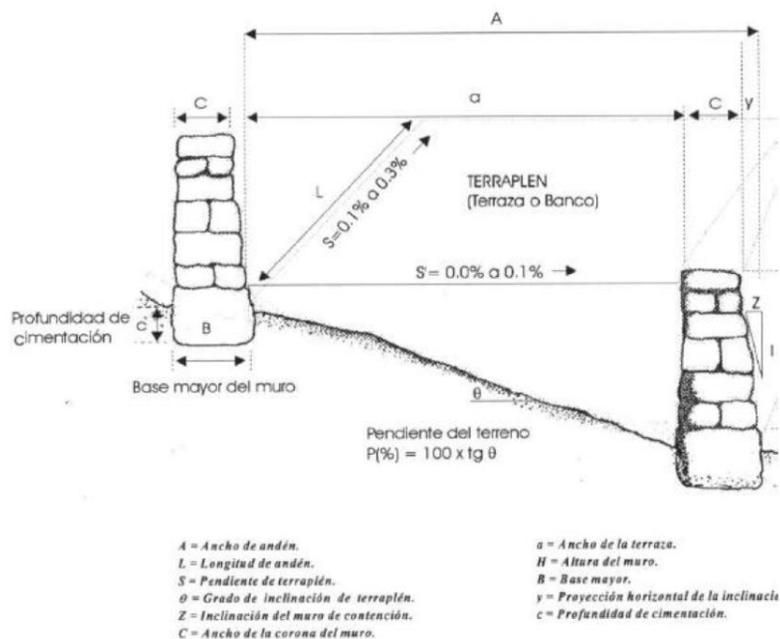


Figura 5: Parámetros de diseño de un andén.
Fuente: FAO 2000.

4.1.2 Experiencias para laderas suaves

Las experiencias en laderas suaves son las más diversas ya que ahí se pueden aplicar la mayoría de las técnicas de cosecha de agua tanto de microcaptación como en captación externa, donde es posible un mayor almacenamiento del agua de lluvia por el uso de reservorios y tanques (UNEP 2008).

Las características del terreno facultan mayor almacenamiento en laderas suaves si es comparado con pendientes pronunciadas, además el almacenamiento del agua puede realizarse en un solo embalse, como es el ejemplo que presenta Nestor Cabas para la región de Chile (FAO 2000) donde hace uso de estructuras para retener una pequeña porción de los 600 mm de agua de lluvia que caen en el sitio mediante el embalse representado en la Figura 6.

También pueden hacerse uso de varios reservorios de manera escalonada en caso de ser necesario (Salinas 2009) y así lograr una reducción en el costo de movimiento de tierras (ver Figura 9).

Ejemplo de aplicación:

1. Reservorios de agua como mecanismo para asegurar la cosecha de arroz, en pequeños períodos secos de la estación lluviosa, Finca La Cueva, San Lázaro de Nicoya, Guanacaste. (Salinas 2009).

Ubicación: Finca La Cueva en Nicoya, Costa Rica.

Tipo de sistema: Captación externa que captura aguas llovidas e intercepta una parte del agua que escurre por un río aledaño con el fin de dotar un sistema de reservorios escalonados por niveles a fin de disminuir costos de movimiento de tierra.

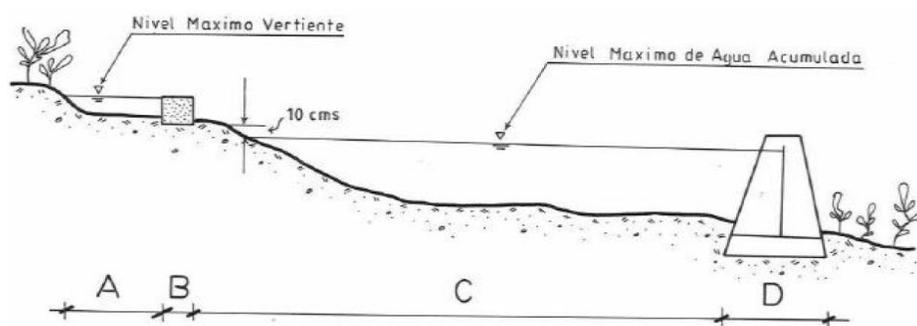


Figura 6: Esquema longitudinal del sistema. (A: Zona vertiente; B: Filtro de arena; C: Zona acumulación de agua; D: Ubicación de la estructura).

Fuente: FAO 2000.

Descripción: El reservorio logra abastecerse con el agua proveniente de precipitaciones tempranas en la zona, las cuales se canalizan y escurren en el río San Lázaro, ahí una obra derribadora permite que ingresen 100 l/s hasta los canales internos de conducción de agua para riego de arroz existentes, con el fin de dotar de agua al cultivo durante los frecuentes veranillos que acontecen después de la siembra del arroz (figura 7 y 8).

Observaciones: el área del reservorio está ubicada en suelos arcillosos (vertisoles) los cuales fueron vitales para disminuir costos de impermeabilización.

Cultivo: Prioritariamente para uso del arroz.

Área de captación: cuenca del río San Lázaro.

Capacidad del reservorio: 140.000 m³.

Lluvia promedio anual: 1.856 mm.

2. Derivación y distribución de torrentes, México (Hugo A. Velasco Molina)

Para el aprovechamiento de torrentes ocasionales, con propósitos de producción agrícola, se pueden utilizar los sistemas que a continuación se mencionan y describen:

Bordos Interceptores: Con este sistema se maneja el esparcimiento controlado de aguas de torrentes con bordos interceptores y almacenadores construidos sobre la pendiente natural del terreno.



Figura 7. Canal de riego desde el reservorio hasta el cultivo.

Fuente: Salinas (2009).

Este sistema consta de una presa de retención, construida sobre el cauce de un arroyo ocasional o cárcava y sobre uno de los márgenes del arroyo, a una distancia conveniente aguas arriba del sitio destinado a la presa, se iniciará un canal derivador, o un dique derivador, que conduzca las aguas de escorrentía hacia los bordos de desviación, los cuales tienen por objeto distribuir el torrente de

agua, restándole velocidad, antes de llegar al primer bordo de retención. Una vez lleno el primer bordo de almacenamiento, el agua saldrá por uno de los extremos de éste con dirección a un segundo; esta operación se repetirá tantas veces como lo permitan los volúmenes de agua de escorrentía (Figura 9 y 10).



Figura 8: Vista aérea del reservorio y áreas adyacentes con agricultura

Fuente: Google Earth.

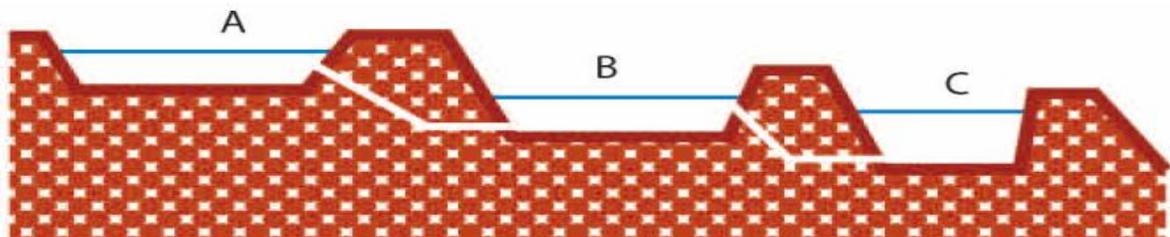


Figura 9: Vista lateral del diseño de un reservorio en diques escalonados

Fuente: Salinas (2009).

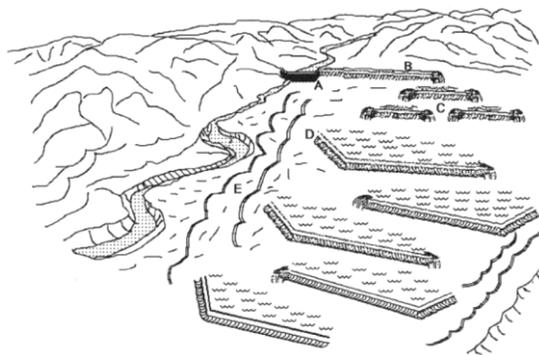


Figura 10 . Aspecto general de un sistema de esparcimiento controlado de aguas torrenciales del tipo bordos interceptores
Fuente: FAO (2000).

Áreas niveladas: En este sistema se maneja el esparcimiento y almacenamiento de aguas torrenciales mediante el establecimiento de áreas con superficie y pendiente controladas. Consta

de un bordo de recepción, que se construye donde el cauce de un arroyo ocasional o cárcava principia a perder su definición.

El bordo de recepción deberá tener suficiente altura y consistencia para lograr un almacenamiento temporal del agua y en algún lugar apropiado de éste, se instalará una compuerta a través de la cual se hará desalojar toda el agua almacenada. Pendiente abajo del bordo de recepción se ubica una serie de áreas niveladas, circundadas por bordos que permiten almacenar el agua.

Una vez estimada la superficie susceptible de regar, se procede a escoger cualquiera de los dos sistemas mencionados para el aprovechamiento de aguas (Figura 11).

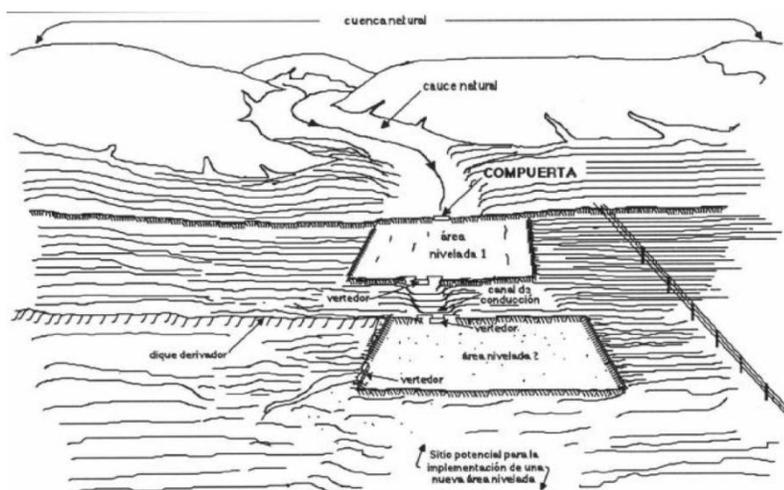


Figura 11: Representación esquemática de un sistema de "Áreas Niveladas" para el esparcimiento y almacenamiento de aguas de escurrimiento.

Fuente: Colegio de Recursos Naturales Renovables de la Universidad de Arizona, EE.UU. citado por FAO (2000).

4.1.3 Experiencias para la llanura

Para que pueda ser efectiva la cosecha de agua de lluvia resulta importante que discurra el agua por el campo, (Frasier y Myers 1983) en sus publicaciones recomienda que las pendientes deben ser al menos de 3%.

En la Figura 12 aparece representada un sistema en toda la superficie aprovechable para la captación es totalmente plana, una opción factible puede encontrarse al hacer uso de la infraestructura de la finca como área de captación para luego hacer llegar esta agua ya sea a un reservorio o a tanques de captación.

El ejercicio también podría ser efectuado haciendo uso del techo de un invernadero, bodegas de maquinaria, casa de peones, techo de los corrales, viveros, planta empacadora, entre otros.

El Centro Internacional de Demostración y Capacitación en el Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALL) ha presentado varias opciones para hacer uso del agua de lluvia para abastecer pequeñas explotaciones ganaderas, invernaderos, pequeñas granjas de conejos, etc. (ver Figura 13) (Anaya y Martínez 2007).

La versatilidad del método para la captura del agua de lluvia de techos hace posible que ésta también sea considerada para abastecer las necesidades de los pobladores.

A continuación se presentan algunas experiencias acontecidas en diferentes sitios del orbe.

Captar el agua en los techos lleva diversos nombres, Cajina (2006) hace referencia a los Sistemas SCAPT (Sistema de Captación de Agua Pluvial en Techo), como medio para obtener agua para consumo humano.



Figura 12. Cosecha de agua de techos.
Fuente: Clemson University (2005).



Figura 13. Captación de agua de lluvia de invernaderos. Fuente: Anaya y Martínez (2007).

Dentro de las variantes de almacenamiento son posibles de utilizar cisternas, piletas, zanjas de almacenamiento y pequeñas lagunas. En la Figura 14 se aprecia un sistema SCAPT a manera de esquema indicando sus distintos componentes.

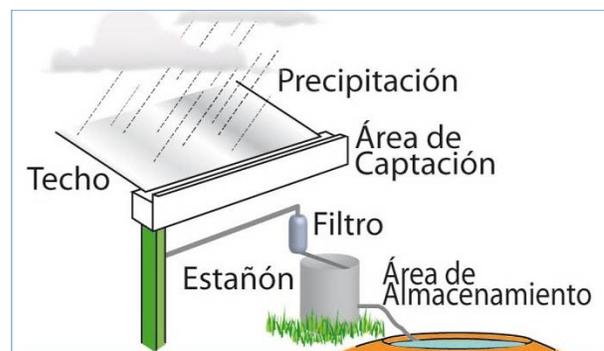


Figura 14: Elementos que componen el sistema SCAPT.

**Experiencias en el ámbito internacional:
Estudios de caso (Anaya y Martínez 2007)**

Estados Unidos:



Figura 15: Sistema de captación de agua de lluvia, Texas, Estados Unidos.

Fuente: <http://rainwaterharvesting.tamu.edu/>

Los sistemas de captación del agua de lluvia son utilizados en 15 estados de Estados Unidos, se estima que más de medio millón de personas utilizan sistemas del aprovechamiento de agua de lluvia abasteciéndose de agua para consumo doméstico, propósitos agrícolas, comerciales o industriales. Texas es el estado donde más se utilizan los sistemas de aprovechamiento del agua de lluvia. Una casa típica de Texas tiene un área de 200 m² de techo y puede producir más de 150,000 litros de agua al año con una precipitación anual media de 850 mm. El costo de los sistemas depende básicamente del tamaño de la cisterna de almacenamiento (ver Figura 15). El sistema para una casa puede

variar entre US \$ 5.000 y 8.000, incluyendo las canaletas, tuberías para conducir el agua a la cisterna, la cisterna, bomba y el sistema de tratamiento para la potabilización y purificación del agua de lluvia.

Canadá:

Canadá destina un subsidio para la compra de barriles para el aprovechamiento del agua de lluvia, como parte de un programa piloto para la conservación del agua. Los barriles son tanques plásticos de 75 galones (284 litros) que tienen un costo subsidiado. El barril se utiliza para recolectar el agua de lluvia proveniente de los techos, siendo utilizada para regar los jardines y el césped, estas actividades demandan más del 40% del total del agua que llega a las viviendas durante el verano.

Brasil:

En 1983 el gobierno de Sergipe, inició un programa con el objetivo de llevar agua a las comunidades rurales, por medio de pequeñas represas de captación y la construcción de 12,000 cisternas rurales con capacidad total de almacenamiento de 360,000 m³ de agua. Los modelos de cisterna se construyeron de acuerdo al material de la región, el tipo de suelo, costos y factores que influyeran en el mejor tipo de cisterna. El costo promedio por cisterna es de US \$ 1000 (Figura 16).



Figura 16: Cisterna familiar hecha con placas de ferrocemento prefabricadas en Brasil.

Fuente: Anaya y Martínez (2007).

Honduras:

En Honduras se diseñaron sistemas basados en cisternas recolectoras para almacenamiento del agua de lluvia. Estas se presentan como una alternativa útil para almacenar agua de lluvia captada por el techo de la casa, consisten de una estructura sencilla construida con materiales factibles de obtener en la finca o cerca de ella. Para colectar el agua de lluvia se instalaron canaletas en el techo de la vivienda (Figura 17).



Figura 17: Captación de agua de lluvia en Honduras.
Fuente: Anaya y Martínez (2007).

Nicaragua:

En Nicaragua se han establecido cisternas rectangulares con un volumen de 36 m³, las cuales fueron techadas con paja seca, con zinc o teja de barro, para la captación del agua de lluvia (Figura 18).

Otros sistemas están integrados por equipos más sofisticados como canaletas, bajadas con trampas para sedimentos y cisternas circulares de 10 a 30 m³ contruidos de concreto. Este sistema redujo el empleo de mano de obra para acarreo del agua, lo cual representa un ahorro económico. El agua almacenada es útil para el consumo humano y doméstico.



Figura 18: Captación del agua de lluvia en techos de lámina y conducción con canaletas en Nicaragua.

Fuente: Anaya y Martínez (2007).

México:

Son diversos los sistemas de captación que se utilizan en México. En el Estado de México, a través del CIDECALLI, se construyó un sistema que captará agua de lluvia para almacenarla y purificarla con un sistema de tratamiento acorde a la calidad de la fuente.

En algunas comunidades de Michoacán se establecieron tres sistemas de captación y purificación de agua de lluvia almacenada en tres cisternas revestidas con geomembranas de PVC para abastecer con agua en cantidad y calidad a una población de 4,000 a 6,000 habitantes, con una inversión per cápita de US\$35. Para ello se utilizaron los techos de las instituciones educativas con el objeto de fomentar y reforzar la cultura sobre la captación y aprovechamiento eficiente del agua de lluvia.

En Puebla y Guanajuato se han construido cisternas de ferrocemento que son alimentadas con agua que se recoge de los techos. Los costos son bajos en comparación con otros materiales. El agua de lluvia se almacena y se aprovecha para regar hortalizas y frutales, para animales, entre otros usos.

4.2 Capacidad de almacenamiento del agua de lluvia

La micro captación y la captación externa de agua de lluvia (explicados en apartados anteriores) permiten hacer uso de ésta antes de que siga su camino al mar haciendo uso de diversas metodologías para poder ser adaptado a condiciones propias del sitio y del uso que se busca para el agua captada.

Por ser la captación externa la técnica idónea para almacenar el líquido en mayores lapsos de tiempo es de esperar que ésta se subdivida en categorías por la envergadura de su alcance.

Prinz y Singh (1996) diferencia la captación externa en micro y macro cómo es posible observar en la Figura 19.

Los mismos autores presentan la microcaptación considerando:

- Tamaño: áreas de 1.000 a 2.000 m².
- Cercanía entre el área de captación y la actividad donde se usa el agua.
- El desplazamiento del agua: flujo mediante canales y bordos.
- La relación de tamaño entre el área de captación y el área del cultivo es: 1 : 1 hasta 25 : 1.

Para el caso de la macrocaptación, Prinz y Singh (1996) apuntan:

- Tamaño: áreas de 0,1 a 200 hectáreas.

- El desplazamiento del agua: flujo mediante canales y bordos.
- La relación de tamaño entre el área de captación y el área del cultivo es: 10 : 1 hasta 100 : 1.
- La inclinación del terreno donde se capta el agua de lluvia: 5 – 60 %.

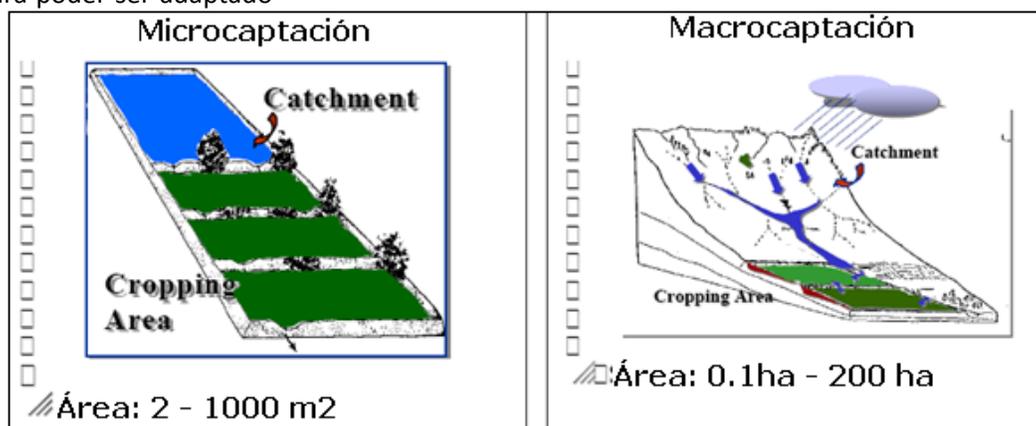


Figura 19: Características generales de ejemplos de técnicas de cosecha de agua de lluvia
Fuente: Prinz y Singh (1996).

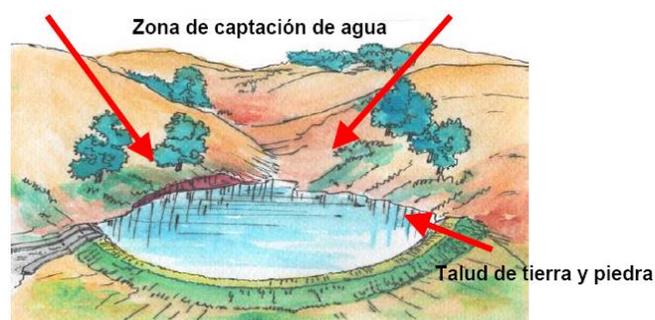


Figura 20: Mini represas en cárcavas.
Fuente: Cajina (2006).

Deepesh *et al* (2004) sugiere en sus publicaciones la instalación de diques que permitan anegar hasta 30 ha para áreas donde varía la pendiente entre 5% y 10%.

En otras latitudes como Perú y Argentina, Santa Cruz *et al.* (2008) y Perotti (2004) promueven la creación de microrrepresas para contener el agua suficiente para dotar a más de un agricultor de agua aprovechándose de condiciones muy específicas para llevar a cabo la labor, la Figura 21 presenta una esquematización de lo planteado.

Cajina (2006), Pizarro *et al.* (2004) y Pizarro *et al.* (2008), presentan el uso de cárcavas para atrapar agua de lluvia en pequeños almacenadores construidos utilizando la forma natural que toman las cárcavas durante su proceso erosivo. Se construyen con un dique de tierra o piedra, para esto se requiere que los suelos sean impermeables. Si los suelos son muy permeables que facilitan la rápida infiltración, estos pueden impermeabilizarse con materiales como plástico (Figura 20).

También, es recomendable suavizar los taludes y establecer una cubierta vegetal para controlar la erosión. En sus alrededores deben plantarse árboles de sombra para disminuir los porcentajes de evaporación. Los tamaños están

en dependencia del potencial de precipitación característicos del área de captación y de la demanda de agua (Figura 21).

Ejemplo de aplicación de concepto: implementación de estanques en Ruanda

Ubicación: Ruanda.

Tipo de sistema: micro captación externa.

Descripción: Proyecto realizado en respuesta a una visión del gobierno de Ruanda para mejorar la seguridad alimentaria y transformar la agricultura de subsistencia a una producción de alto valor, orientada al mercado y la agricultura (Figura 22).

Observaciones: Se construyeron Treinta y cuatro (34) estanques estandarizados y diseñados por ICRAF en forma trapecial (Figura 24), para la agricultura se utiliza el sistema de riego por goteo.

Uso del agua: Parcelas agrícolas.

Capacidad del reservorio: 120 m³ para los tanques y 1000 m³ para los estanques.

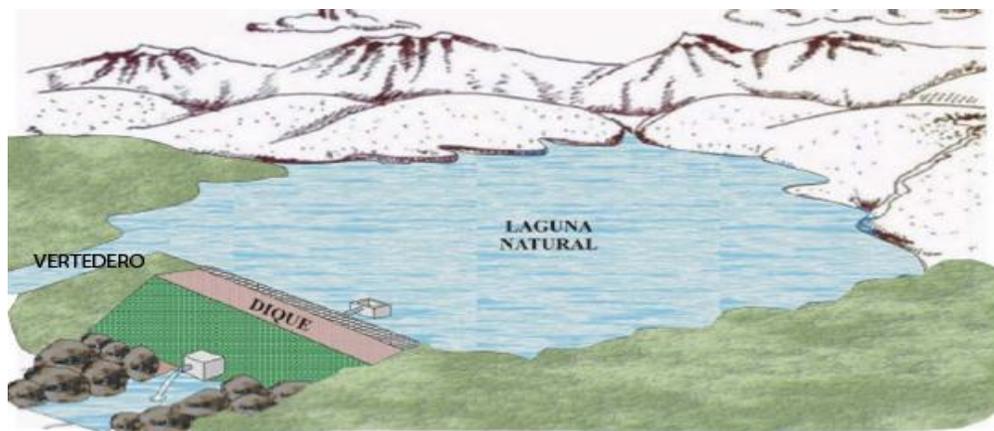


Figura 21: Gráfico de una microrrepresa. Fuente: Cajina (2006).



Figura 22: Reservorio hecho para capturar aguas precipitadas en Ruanda.

Diques de piedra en quebradas y ojos de agua

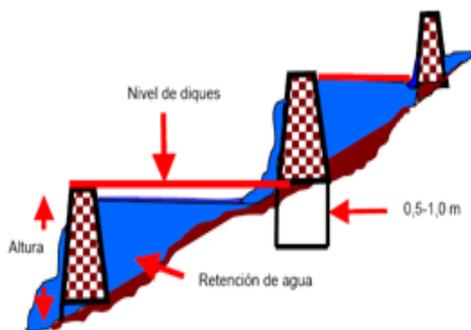


Figura 23: Vista lateral de diques de piedra ubicados según la pendiente. Fuente: Cajina (2006).

Son muros de piedra acomodada, una sobre otra, en sentido perpendicular a la pendiente de terreno o curso de las aguas. Para su construcción hay que considerar la selección de la zona con pendientes no mayores a 15 grados. Dependiendo de la longitud de la pendiente debe decidirse si se construirán uno o más diques. Los diques además de permitir la retención de agua, también controlan la pendiente o inclinación del fondo de la cárcava, por lo que se recomienda establecerlos de manera que la altura útil del dique más bajo, coincida con el inicio del dique situado aguas arriba (Figura 23).

Tanques revestidos con ladrillo y concreto

Consiste en cavar un hueco en el suelo generalmente en la parte más baja, que facilite el escurrimiento del agua hacia el tanque (Figura 24). El tamaño está en correspondencia

a la cantidad de precipitación, el área de captación y demanda de agua. En suelos francos arenosos el fondo y las paredes se recubren con material impermeable como ladrillo o bloques, unidos con mezcla de arena, cemento y agua. Los tanques pueden tener tapa para mantener la calidad del agua almacenada. En ellos se puede almacenar agua captada de techo de las viviendas, de arroyos, conducida por cañerías hasta el lugar de uso en donde se construye el tanque. También puede captarse agua de cerros con pendientes pasando primero por desarenadores o sedimentadores para evitar la menor contaminación del agua y garantizar la protección del tanque.



Figura 24: Construcción de tanque revestido con concreto. Fuente: Cajina 2006.

Pequeña lagunas revestidas con polietileno

Este tipo de tecnología se ubica en los suelos más bajos con mayor posibilidad de escurrimiento superficial. En lugares con pendientes menores al 7%, la excavación se realiza a una profundidad máxima de 1,0 m para

evitar derrumbes de la parte alta de las paredes, las cuales se construyen con talud de 45° de inclinación. En suelos arcillosos donde hay posibilidades de piedra las paredes pueden reforzarse con un enchapado de piedra y pegadas con la misma arcilla; posteriormente se compacta el fondo de la pequeña laguna (Figura 25 y 26).

Las dimensiones dependen de las demanda de agua y uso que se le dé al reservorio. Debido a que la lámina de polietileno es de 246 cm (98") de ancho, es necesario pegar las láminas. En la experiencia del estudio resultó muy económico adherir las láminas con calor, las cuales se unen como si fuera una sola lámina.

En los extremos superiores de los cuatro lados de la pequeña laguna se realizan bordes de tierra, para que el polietileno pase por encima de estos y el extremo quede más bajo que el borde. El objetivo de eso es evitar que entre agua a la pequeña laguna por la parte no deseada debido a que puede levantar el polietileno y erosionar las paredes de la pequeña laguna. Posteriormente se instala el polietileno, el cual debe quedar muy uniforme con 1,0 m en los bordes. Las orillas del polietileno se cubren con tierra para sujetarlo, sobre esta tierra puede sembrarse pasto, para evitar que la tierra pueda deslizarse con el tiempo hacia dentro de la pequeña laguna. Alrededor de la misma es importante sembrar árboles, para evitar los efectos de la evaporación, también tiene que protegerse con una cerca, más aún si hay animales domésticos que pueda dañar el material de revestimiento.

El agua captada se puede utilizar para uso de pequeñas áreas de producción o para abrevadero de animales domésticos. Las pequeñas lagunas y/o zanjas se revisten con plástico negro. El tamaño depende de la oferta hídrica, el área de captación y las necesidades hídricas.

Sacos llenos de arena se pueden ubicar a doble fila situando el polietileno entre las dos filas de

sacos para retener el agua después de las lluvias (Figura 27).

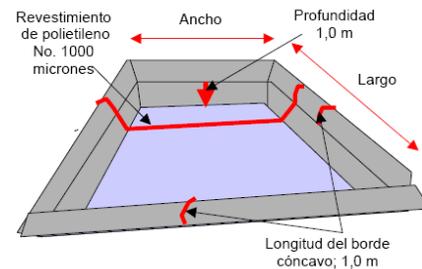


Figura 25: Pequeña laguna revestida con polietileno. Fuente: Cajina 2006.

SCAPT con pequeñas lagunas o zanjas revestidas con plástico



Figura 26: Sistema SCAPT con almacenamiento en pequeñas lagunas revestidas con plástico. Fuente: Cajina (2006).

Diques de sacos de arena y polietileno

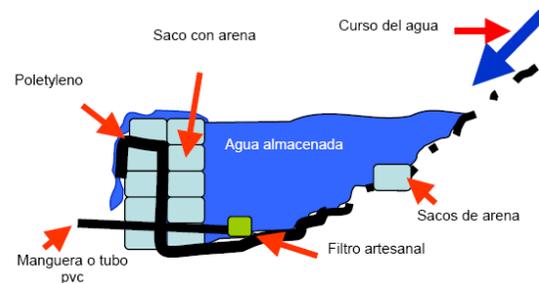


Figura 27: Vista lateral de un dique de sacos con arena y plástico. Fuente: Cajina 2006.

Se usan en pendientes de cauces menores a 15% y en lugares donde otro tipo de material como piedra o madera es la limitante para construir diques. En donde las corrientes son muy fuertes se recomienda poner los diques en el periodo de las últimas lluvias con ubicación de diques en series.

5. TIPOS DE TECNOLOGÍAS DISPONIBLES EN EL MEDIO

5.1 Tecnologías apropiadas

La Organización Panamericana de la Salud denomina como tecnologías apropiadas a la aplicación de tecnologías alternativas que cumplan con las funciones que podrían dar soluciones convencionales pero a un menor costo, considerando las posibilidades y limitaciones locales, buscando que éstas sean compatibles con las costumbres y habilidades de la gente.

Definido de esta manera, las tecnologías apropiadas permiten ser aplicadas en zonas rurales de difícil acceso, en comunidades indígenas o en áreas con bajos recursos económicos ya que demandan menos recursos, se mantiene con los materiales existentes en el sitio y al ser compatibles con el entorno tienden a tener una mayor duración.

Algunas de las experiencias para la cosecha de agua de lluvia presentadas en este compendio aplican el concepto de tecnologías apropiadas.

Por ejemplo ACICAFOC (2009) ha desarrollado en Nicaragua un tanque de almacenamiento de aguas que utiliza como insumos una tapa de barril, una calza de madera, alambre galvanizado, láminas de zinc; al igual que arena cemento y grava. De esta manera y haciendo uso de mucho recurso humano, pueden construir tanques semienterrados que van desde los 16 metros cúbicos a los 50 metros cúbicos (ver Figura 28).

Otro ejemplo de aplicación de tecnologías apropiadas lo encontramos en Kenia (De Buck *et al.* 2006) y Tanzania (Hatibu y Mahoo 1999), donde utilizan diversos sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico, los cuales consisten en tres componentes: área de

captación, sistema de conducción y almacenamiento (Figura 29).



Figura 28: Diferentes etapas de construcción de tanque de almacenamiento de agua de lluvia. Fuente: Cajina 2006.

Diversos proyectos se han abocado a la construcción de cisternas, utilizando diseños locales.



Figura 29: Cisternas de ferrocemento, Kenia. Fuente: www.unep.or.pi.

La construcción de cisternas es económica ya que los materiales (con excepción del cemento) se encuentran disponibles en la zona y la construcción la realizan los beneficiarios.

Las cisternas tienen una capacidad de 10 a 30 m³ para uso doméstico, con un costo aproximado de US \$1000 cada una.

No sólo en la fabricación de tanques se hace uso primordial de materiales presentes en la zona, también se puede tener en mente al concebir un sistema de cosecha de agua como un todo. En la Figura 30 se presenta una solución descrita por UNEP (2008) que permite el almacenamiento de agua de bajo costo y alto impacto.

En Honduras para superar los amplios periodos de sequía, la organización hondureña COSECHA, trabajan técnicas de cosecha, conservación y aprovechamiento de agua y humedales para los municipios de Alubarén, Curarén y Reitoca (departamento de Francisco Morazán). Entre otros componentes. Como se muestra en la figura 31 se hace uso de materiales recuperados.

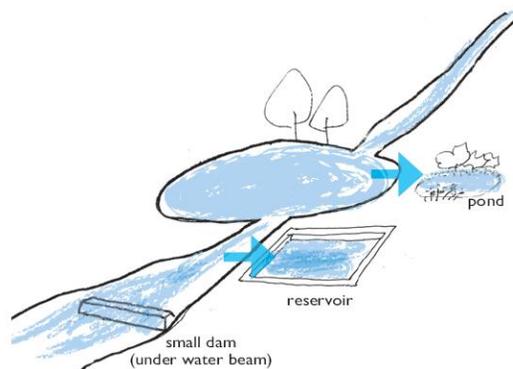


Figura 30: Lagunas, reservorios y pequeñas represas. Fuente: UNEP 2008.

5.2 Tecnologías convencionales

Las tecnologías convencionales son aplicables en cualquier sitio y permiten hacer uso de todo tipo materiales, no se restringe el uso de equipos. La principal diferencia radica en que las tecnologías convencionales se dice que son intensivas en el uso de capital, mientras que las tecnologías apropiadas son intensivas en el uso de recurso humano.



Figura 31: Cosecha de agua en Honduras.

Como se puede observar en la

Figura 32 correspondiente a la Escuela de Agricultura Ein Karem en Israel, capturan el agua para uso del invernadero con el que cuentan.



Figura 32: Cosecha de agua modular en Ein Karem para uso del invernadero. Fuente: Multilateral Working Group on Water Resources (2005).

Los sistemas diseñados considerando tecnologías convencionales permiten hacer uso de los materiales disponibles en el mercado, mediante técnicas como la impermeabilización de los suelos haciendo uso de geomembranas, plástico, entre otros materiales (Figuras 33 y34).

El uso de tanques plásticos posibilita generar proyectos modulares donde se adiciona almacenamiento cada vez que se agrega un tanque nuevo.



Figura 33: Diferentes tipos de tanques para el almacenamiento del agua de lluvia.



Figura 34: Impermeabilización de reservorio haciendo uso de geomembranas.
Fuente: Anaya 2007.

Además de tanques, se puede considerar el uso de bombas para desplazar el agua, sistemas de riego por goteo, automatización de los sistemas de captura y/o limpieza, incluir herramientas de monitores como pluviómetros, entre otros.

6. RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN COSTA RICA

El agua de lluvia es una fuente de líquido de alta calidad y contenido bajo de minerales, resulta idónea para el uso de cultivos ya que no es necesario sobre irrigar para desplazar sales en la zona radicular de los cultivos, ni se espera la disminución de la efectividad de los sistemas de riego por la precipitación de minerales en tuberías, aspersores o mangueras de riego. Dicho de otra manera, las condiciones del agua de lluvia permiten hacer un uso más eficiente del recurso hídrico siempre y cuando ésta sea almacenada de una manera adecuada.

Se debe enfatizar que no existe una receta para elegir un lugar determinado y construir un reservorio. Se debe hacer primeramente un análisis de diferentes variables como tipo de suelo, pendiente, condiciones climáticas, entre otras, para poder de esta forma establecer en forma más apropiada al tipo de estructura o reservorio a utilizar.

Sin embargo, el uso de técnicas de microcaptación solas o en compañía de otras técnicas de control de la erosión en las áreas definidas para la captación de agua de lluvia podrían restringir la cantidad de sedimentos que lleguen al reservorio, o disminuir la dimensión del sedimentador en caso de que ésta obra fuese utilizada.

Igualmente el uso de métodos de captación externa permite almacenar gran cantidad agua para poderla usar en otro tiempo o cuando no llueve, razón por la cual es precisamente la técnica que se debe de aplicar si se busca contar con agua para cultivos en tiempo de verano o si piensa en una garantía para lograr finalizar el ciclo de un cultivo sin que sufra estrés.

Para establecer un sistema de cosecha de agua de lluvia la principal limitante a resolver será el establecimiento del reservorio o tanque de captación, principalmente por ser el componente que normalmente más espacio requiere y también por ser el de mayor valor. Por esta razón es importante que el diseñador a cargo de la labor de dimensionamiento y ubicación del almacenamiento este consciente de las diversas opciones geométricas de construcción e impermeabilización de éstas estructuras antes de realizar la inspección en campo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se presentan los tipos de reservorios que se considera pueden servir para alguna o varias de las regiones dentro del área de estudio de la consultoría SP-016-2009.

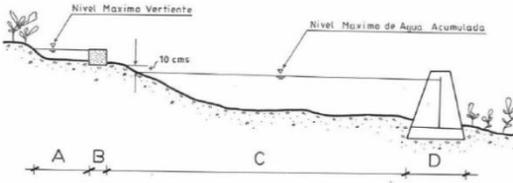
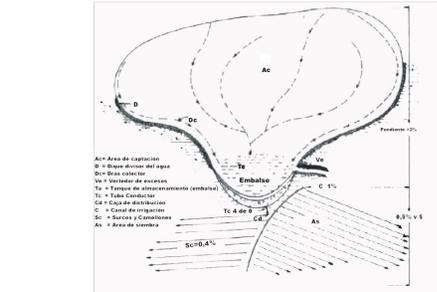
Estos corresponden a estructuras de tipo macrocaptación, por ser los que mejor se ajustan a las necesidades de captación de agua que se tiene en las regiones definidas (ver Cuadro 2).

6.1 Consideraciones para el diseño del reservorio

- La cantidad de precipitación no es limitante para el país en general.
- Las diferencias en tipo de reservorio que se recomiendan estarán principalmente dadas por las condiciones de suelo y topografía.
- En aquellos lugares donde los suelos sean francos o arenosos es necesario diseñar reservorios que contemplen revestimientos, para evitar pérdidas muy grandes de agua por infiltración
- En aquellos lugares con suelos arcillosos (como mínimo 35% de arcilla) es posible utilizar reservorios sin revestimiento.

6.2 Tipos de tecnologías sugeridas

Cuadro 4: Opciones técnicas para la cosecha de agua de lluvia que se consideran apropiadas para algunas de las regiones en Costa Rica.

Tipo de tecnología	Zona para la que se recomienda	Referencia	Ilustración
Reservorio Dique - Represa.	Zonas con pendientes no muy pronunciadas, haciendo uso de partes de la finca de bajo o nulo rendimiento.	FAO (2000), Barron y Noel (2008)	
Reservorio Dique - Represa.	<p>Para fincas grandes que preferiblemente tengan control sobre el área donde se capta el agua.</p> <p>Para sector capacitado para realizar inversiones importantes para captar agua de lluvia.</p>	FAO (2000)	
Reservorio Dique - Represa revestido.	Es una variación del tipo anterior. El revestimiento es necesario cuando los suelos no son arcillosos y se tiene alta infiltración del agua	CEMEDE y UNED (2009)	

Cuadro 5: Opciones técnicas para la cosecha de agua de lluvia que se consideran apropiadas para algunas de las regiones en Costa Rica (Continuación).

Tipo de tecnología	Zona para la que se recomienda	Referencia	Ilustración
Reservorio excavado revestido con concreto.	Como método para disminuir costos en el sistema de almacenamiento en lugares de difícil acceso o por contar con un suelo	Cajina (2006)	
Reservorio excavado revestido geomembranas de PVC.	<p>Para sitios donde se conforme un reservorio y se busque evitar la pérdida del agua en el suelo.</p> <p>Para suelos de muy alta conductividad hidráulica.</p> <p>La geomembrana de PVC permite la aplicación de pegamento para unir los paños a diferencia de otros plásticos que se unen mediante usando una máquina para hacer una termofusión.</p>	Anaya y Martínez (2007)	

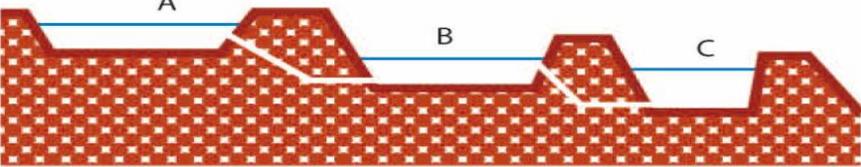
Cuadro 6: Opciones técnicas para la cosecha de agua de lluvia que se consideran apropiadas para algunas de las regiones en Costa Rica (Continuación).

Tipo de tecnología	Zona para la que se recomienda	Referencia	Ilustración
Reservorio Estanque Revestido con concreto.	<p>Para zonas donde otros materiales de construcción no se encuentren disponibles.</p> <p>Para productores familiarizados con estos materiales.</p>	Cajina (2006)	
Reservorio Estanque Revestido con plástico.	Para sitios donde se conforme un reservorio y se busque evitar la pérdida del agua en el suelo.	CEMEDE y UNED (2009)	

Cuadro 7: Opciones técnicas para la cosecha de agua de lluvia que se consideran apropiadas para algunas de las regiones en Costa Rica (Continuación).

Tipo de tecnología	Zona para la que se recomienda	Referencia	Ilustración
Reservorio tipo envase.	<p>Ideal para terrenos planos</p> <p>Donde existe infraestructura con techos en buena calidad.</p> <p>Para cualquier tipo de topografía</p>	Multilateral Working Group on Water Resources (2005).	

Cuadro 8: Opciones técnicas para la cosecha de agua de lluvia que se consideran apropiadas para algunas de las regiones en Costa Rica (Continuación).

Tipo de tecnología	Zona para la que se recomienda	Referencia	Ilustración
Sistemas artesanales para captura de agua.	<p>Para pequeñas huertas escolares y caseras</p> <p>Cuando se cuente con pocos recursos para inversión.</p> <p>Para economías de subsistencia</p> <p>Ideal para zonas de difícil acceso o en territorio indígena</p>	Cajina (2006)	 <p>Elementos que componen el sistema SCAPT.</p>
Reservorio diques escalonados.	<p>Con el fin de evitar un alto costo por movimiento de tierras</p> <p>Para zonas con pendientes bajas y suelos estables.</p>	Salinas (2009)	<p>Vista lateral del diseño de un reservorio en diques escalonados</p> 

7. REFERENCIAS

- ACICAFOC (Asociación Coordinadora Indígena y Campesina de Agroforestería Comunitaria Centroamericana) 2009. Guía para construir una cisterna doméstica: captación de agua de lluvia. Programa de capacitación regional sobre cosecha de agua de lluvia. Asociación Coordinadora Indígena y Campesina de Agroforestería Comunitaria Centroamericana – ACICAFOC. San José, Costa Rica.
- Alfaro CW. 2009. Adaptación a los impactos en desertificación y sequía por efecto del cambio climático en Chile, mediante sistemas de cosecha de aguas lluvias. Punto Focal Nacional. Convención UNCCD. Chile.
- Anaya M, Martínez J. 2007. Manual sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano en América Latina y El Caribe. Colegio de Postgraduados. Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia – CIDECALLI -, México. 156 pp.
- Barron J., Noel S. 2008. Agricultural water management in smallholder farming systems: the value of soft components in mesoscale interventions. Stockholm Environment Institute. Stockholm, Sweden, 44 p.
- Bocek A. S.f. Introducción a la captación del agua. Acuicultura y aprovechamiento del agua para el desarrollo rural. International Center for Aquaculture, Auburn University, United States.
- Cajina M. 2006. Alternativas de captación de agua para uso humano y productivo en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua. Tesis, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE - Turrialba, Costa Rica.
- Casanova M., *et al.* 2000. Cosecha de agua asociada a un sistema *Acacia saligna*/pradera en el secano semiárido interior de la Zona Central de Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Ingeniería y Suelos. Santiago, Chile.
- CEMEDE (Centro Mesoamericano de Desarrollo Sostenible del Trópico Seco) y UNED (Universidad Nacional a Distancia). (2009). Informe de labores del proyecto Fortalecimiento de la Seguridad Alimentaria mediante la implementación de cosecha de agua en la región Chorotega. Sede Regional Chorotega, Universidad Nacional de Costa Rica. Documento Interno no publicado. Guanacaste, Costa Rica.
- Clemson University. 2005. Operating Instructions and Manual . Calhoun Fields Learning lab. Rainwater harvesting System. USA.
- De Buck, *et al.* 2006. Rainwater harvesting by a Maasai Community. An evaluation report of a project in Talek of Masai Mara, Kenya. Technical Report No. 31. Regional Land Management Unit RELMA-in-ICRAF World Agroforestry Centre ICRAF. Kenya.
- Deepesh M, *et al.* 2004. Planning and design of cost-effective water harvesting structures for efficient utilization of scarce water resources in semi-arid regions of Rajasthan, India. In Water Resource Management 18, Kluwer Academic Publishers. India 219-235 pp.
- Desrochers A. 2004. Water Harvesting Through Ponds in the Arco Seco Region of the Republic of Panama. Decision support System for Pond Storage Capacity Estimation. Thesis. Department of

- Bioresource Engineering Macdonald Campus of McGill University Montreal, Canada.
- FAO 2000. Manual de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Experiencias en América Latina. Serie Zonas Áridas y Semiáridas No. 13. FAO, Santiago (Chile). Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago, Chile.
- Frasier G, Myers LI. 1983. Handbook of Water Harvesting. Agriculture handbook number 600, United States Department of Agriculture.
- Fox P. 2001. Supplemental irrigation and soil fertility management for yield gap reduction: On-farm experimentation in semi-arid Burkina Faso. Licentiate in Philosophy Thesis 2001:5 in Natural Resources Management. Department of Systems Ecology, Stockholm University, Sweden.
- Hatibu N, Mahoo H. 1999. Rainwater harvesting technologies for agricultural production: A case for Dodoma, Tanzania. In: Kaumbutho PG and Simalenga TE eds, 1999. Conservation tillage with animal traction. Animal Traction Network for Eastern and Southern Africa ATNESA. Harare. Zimbabwe.
- Martínez, A. 1998. Desarrollo de un modelo sobre recolección de agua aplicable a la restauración forestal. Revista Ecología, Volumen 12. España. pp 93-104.
- Middle East Peace Process. 2005. Rain Catcher Project. Multilateral Working Group on Water Resources
- Moges Y. 2004. Water Harvesting Techniques: Training and Construction Manual (en línea). Consultado el 10 de Enero del 2010. Disponible en www.pfmp-farmsos.org/Docs/waterharvesting_manual.pdf.
- Mongil MJ, Martínez de Azagra PA. 2007. Técnicas de recolección de agua y de oasisificación para el desarrollo de la agricultura y la restauración forestal en regiones desfavorecidas. Cuadernos Geográficos, semestral no 040. Universidad de Granada, España, pp 67-80.
- Multilateral Working Group on Water Resources. 2005. RainCather Project. Middle East Peace Process.
- Narayan SL, Nath PS; Parshuram PL. 2008. On-Farm reservoirs for integrated farming system with different water Management strategies in Eastern India: a field experiment. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan.
- Nasr M. 1999. Assessing Desertification and Water Harvesting in the Middle East and North Africa: Policy Implications. ZEF – Discussion Papers on Development Policy Bonn, Germany.
- Oweis T, Hachum A. 2004. Water Harvesting and Supplemental Irrigation for Improved Water Productivity of Dry Farming Systems in West Asia and North Africa. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sep – 1 Oct 2004, Brisbane, Australia.
- Oweis T, Hachum A.; Kijne J. 1999. Water Harvesting and Supplemental Irrigation for Improved Water Use Efficiency in Dry Areas. SWIM Paper, System Wide Initiative on Water Management. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Perotti L. 2004. Construcción de un reservorio de agua. Proyecto de Mejoramiento Poroto Pallar en fincas de pequeños productores de los Valles Calchaquíes de Salta. Proyecto de Investigación Adaptativa PROINDER – INTA. Cartilla de Difusión INTA. Argentina.

- Pizarro TR, *et al.* 2004. Zanjás de infiltración. Proyecto marco: 00C7FT-08 "Determinación de estándares de ingeniería en obras de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos para la mantención e incremento de la productividad silvícola" CORFO, Chile.
- Pizarro TR, *et al.* 2008. Diseño hidrológico de zanjás de infiltración en el secano costero e interior de las regiones semiáridas de Chile. En revista Bosque Valdivia, Vol. 29 No. 2. Chile.
- Prinz D, Singh A. 1996. Technological Potential for Improvements of Water Harvesting. Contributing Paper to the World Commission on Dams. Prepared for Thematic Review IV.2: Assessment of Irrigation Options
- Prinz D. 1994. Water harvesting – Past and future. Universität Karlsruhe TH Institut für Wasserbau und Kulturtechnik. Karlsruhe, Germany.
- Prinz D; Malik AH. S.f. Runoff farming. Institute of Water Resources Management, Hydraulic and Rural Engineering, Department of Rural Engineering, University of Karlsruhe, Karlsruhe, Germany.
- Salinas A. 2009. Reservorios de agua como mecanismo para asegurar la cosecha de arroz, en pequeños períodos secos de la estación lluviosa, Finca La Cueva, San Lázaro de Nicoya. Guanacaste. In. Morales *et al.* 2010. Memoria del I Seminario Internacional Cosecha de agua de lluvia como mecanismo para fortalecer la seguridad alimentaria en la región Chorotega, Costa Rica. 16 de septiembre, 2009. Universidad Nacional, Sede Regional Chorotega, Campus Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.
- Santa Cruz Y, *et al.* 2008. Cosecha de agua, una práctica ancestral: manejo sostenible de las praderas naturales. Centro de estudios y promoción del desarrollo. Perú.
- Stockholm International Water Institute. 2001. Water Harvesting for Upgrading of Rainfed Agriculture. Problem analysis and Research Needs. Report 11.
- Texas Water Development Board 2005. The Texas Manual on Rainwater Harvesting. Third Edition. Austin, Texas. United States.
- UNEP (United Nations Environment Programme).2008. Every drop counts. Environmentally Sound Technologies for Urban and Domestic Water Use Efficiency. In collaboration with Environmental Management Center. Tudelf, Delf University of Technology.
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2003. Water for people, water for life. Executive Summary of the UN World Water Development Report. UNESCO, Paris, France.