

# SISTEMAS DE CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA PARA USO DOMESTICO EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

MANUAL TECNICO



AGENCIA DE COOPERACION TECNICA IICA-MEXICO  
1998

## **¿QUE ES EL IICA?**

*El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) es el organismo especializado en agricultura del Sistema Interamericano. Sus orígenes se remontan al 7 de octubre de 1942, cuando el Consejo Directivo de la Unión Panamericana aprobó la creación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, con sede en Costa Rica.*

*Fundado como un ente dedicado a la investigación agronómica y a la enseñanza de postgrado para los trópicos, el IICA se convirtió progresivamente, ante los cambios y las nuevas necesidades del Continente Americano, en un organismo de cooperación técnica para la agricultura. Estas transformaciones fueron reconocidas formalmente con la ratificación, el 8 de diciembre de 1980, de una nueva Convención, la cual estableció como fines del IICA estimular, promover y apoyar la cooperación entre sus Estados Miembros, para lograr el desarrollo agrícola y el bienestar rural.*

*Los órganos de gobierno en que participan los Estados Miembros son la Junta Interamericana de Agricultura y el Comité Ejecutivo, de los cuales emanan los lineamientos políticos que ejecuta la Dirección General. El IICA hoy posee gran alcance geográfico que le permite responder a las necesidades de cooperación técnica en los países, a través de sus Agencias de Cooperación Técnica y de cinco Centros Regionales desde los cuales se coordina la implementación de estrategias adecuadas a las características de cada área.*

*El Plan de Mediano Plazo (PMP) 1998-2002 constituye el marco orientador estratégico de las acciones del IICA para el periodo de referencia.*

*Su objetivo general es apoyar a los Estado Miembros para lograr la sostenibilidad agropecuaria, en el marco de la integración hemisférica, y como contribución al desarrollo rural humano.*

*El IICA fija sus actividades técnica en cuatro Areas Estratégicas:*

- *Políticas Socioeconómicas, Comercio e Inversiones;*
- *Ciencia y Tecnología, Recursos Naturales y Producción Agropecuaria;*
- *Sanidad Agropecuaria;*
- *Desarrollo Rural Sostenible.*

*La acción del IICA se apoya en dos servicios Especializados:*

- *Capacitación, Educación y Comunicación;*
- *Información, Documentación e Informática.*

*Los Estados Miembros del IICA son: Antigua y Barbuda, Argentina, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, Dominica, Ecuador, El Salvador, Estados Unidos de América, Granada, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, St. Kitts y Nevis, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, Suriname, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela.*

*Los Observadores Permanentes son: Alemania, Austria, Bélgica, Comunidades Europeas, España, Federación de Rusia, Francia, Hungría, Israel, Italia, Japón, Portugal, Reino de los Países Bajos, República Arabe de Egipto, república de Corea, República de Polonia y Rumania.*

MEXICO 553.7 A536s 1998



# **SISTEMAS DE CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA PARA USO DOMESTICO EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE**

Manual Técnico

Autor: Dr. Manuel Anaya Garduño

Colaboradores: Dr. Juan José Salazar Cruz

M. Sc. Victor Tunarosa Murcia

Ing. Jaime Trejo Mancillas

México, 1998



This One



UXHG-N48-BE7Y

IZCA  
#2.875  
MFN-5250  
7998

## PREFACIO

Las diversas sociedades humanas han luchado por su sobrevivencia durante varios milenios en ambientes áridos, semiáridos y subhúmedos secos, es decir, donde hay carencia de agua. Los sistemas de **Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia**, han ayudado a resolver los problemas de abastecimiento de agua para uso doméstico y representan opciones reales para incrementar los volúmenes disponibles para consumo animal y uso doméstico.

En América Latina y el Caribe se encuentran diversos países donde la precipitación media anual varía entre 500 y más de 1,500 mm; en algunos de ellos, localizados en las islas del Caribe con bajos niveles de precipitación, el **Agua de Lluvia** se capta y almacena para uso doméstico, por ley. Actualmente más de 600,000 habitantes de las islas del Caribe y otros países utilizan sistemas de **Captación de Agua de Lluvia**, sobre todo en aquellas localidades donde no llega la red de agua potable.

América Latina y el Caribe cuentan con tecnología **autóctona y tradicional** sobre **Sistemas de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia** para uso doméstico; sin embargo, su utilización aún es limitada. Los gobiernos y las comunidades buscan estrategias y unifican esfuerzos para hacer frente a la creciente demanda de agua para uso doméstico; por ello, la urgente necesidad de reforzar la cultura del aprovechamiento del agua mediante campañas masivas, utilizando todos los medios de comunicación y estableciendo programas y proyectos que conduzcan a mejorar el abastecimiento de agua para uso doméstico en las diversas comunidades.

Considerando que, el agua como elemento fundamental para la vida del hombre, plantas y animales se hace cada vez más escasa y costosa, el IICA ha apoyado la elaboración de este manual, para lo cual se contó con la colaboración del Doctor Manuel Anaya Garduño, profesor del Colegio de Posgraduados, y estudioso conocedor del tema, con la intención de ofrecer a profesionales, técnicos, productores y para todas aquellas personas involucradas en la planeación y desarrollo integral sostenible, guías básicas para el establecimiento de sistemas de **Captación de Agua de Lluvia** para uso doméstico.

Dr. Juan José Salazar Cruz  
Representante IICA/México







# INDICE GENERAL

	<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>i</b>
	<b>INDICE DE CUADROS</b>	<b>ii</b>
<b>CAPITULO I.</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO II.</b>	<b>EL AGUA, RECURSO NATURAL RENOVABLE, BASICO PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE</b>	<b>4</b>
2.1.	Agua y sostenibilidad	4
2.2.	Reservas de agua en el mundo	5
2.3	Ciclo hidrológico	10
2.4.	Importancia del consumo de agua en las diversas especies animales	12
<b>CAPITULO III.</b>	<b>EJEMPLOS DE CALCULOS UTILES PARA LA CONSTRUCCION DE ALMACENAMIENTOS DE AGUA</b>	<b>15</b>
3.1.	Factores asociados con la precipitación pluvial	15
3.1.1.	Intensidad y duración de las lluvias	15
3.1.2.	Frecuencia de las lluvias	15
3.1.3.	Curvas de intensidad-duración.frecuencia	19
3.1.4.	Lluvia máxima en 24 horas	19
3.2.	Consideraciones generales para la realización de los cálculos	20
3.2.1.	Zonas semiáridas	23
3.2.2.	Zonas áridas	26

3.2.3.	Zonas subhúmedas	29
3.2.4.	Zonas templadas	31
<b>CAPITULO IV.</b>	<b>SISTEMAS DE CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA DE LOS TECHOS Y DE LOS PISOS</b>	<b>36</b>
4.1.	Descripción general	36
4.2.	Especificaciones	37
4.3.	Ventajas	39
4.4.	Deventajas	39
4.5.	Costos	40
4.6.	Eficiencia de la tecnología	40
4.7.	Niveles de participación	40
4.8.	Aceptación cultural	41
<b>CAPITULO V.</b>	<b>ESTUDIOS DE CASO SOBRE LA UTILIZACION DE CISTERNAS</b>	<b>42</b>
<b>5.1.</b>	<b>México</b>	<b>42</b>
5.1.1.	Las fuentes de agua de consumo en el medio rural semidesértico de México	42
5.1.1.1.	Sistemas de captación de agua de lluvia	42
5.1.1.2.	Resultados y discusión	53
5.1.1.3.	Conclusiones	54
5.1.2.	Alternativas para la captación de agua de lluvia para consumo humano en el estado de Oaxaca	56
5.1.2.1.	Introducción	56
5.1.2.2.	Problemática	58
5.1.2.2.2.	Objetivos	59
5.1.2.2.3.	Metas del proyecto	60

5.1.2.3.	Metodología	60
5.1.2.3.1.	Area de estudio	60
5.1.2.3.2.	Ejecución en campo	63
5.1.2.3.3.	Capacitación y divulgación	64
5.1.2.3.4.	Evaluación	64
5.1.2.3.5.	Características de los sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano	65
<b>5.2.</b>	<b>Brasil</b>	<b>74</b>
5.2.1.	Introducción	74
5.2.1.1.	Cisterna de ferrocemento	75
5.2.1.2.	Cisterna de cal	77
5.2.1.3.	Las cisternas rurales en el nordeste	78
5.2.1.3.1.	Características técnicas de una cisterna para consumo humano y animal	78
5.2.1.3.2.	Presentación técnica de diferentes tipos de cisternas, construidas en comunidades rurales del medio semiárido brasileño	83
5.2.1.4.	Cisterna de placas de cemento	83
5.2.1.5.	Cisterna de tela-cemento	85
5.2.1.6.	Cisterna de tejos (tabiques)	88
<b>5.3.</b>	<b>Honduras</b>	<b>89</b>
<b>5.4.</b>	<b>Nicaragua</b>	<b>95</b>
<b>5.5.</b>	<b>Colombia</b>	<b>101</b>
<b>5.6.</b>	<b>Tailandia</b>	<b>105</b>
<b>5.7.</b>	<b>Kenya</b>	<b>112</b>
<b>5.8.</b>	<b>Singapur</b>	<b>115</b>

<b>CAPITULO VI</b>	<b>PROGRAMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA USO DOMESTICO</b>	<b>117</b>
6.1.	Problemática	117
6.2.	Programas y proyectos	118
6.3.	Acciones prioritarias	119
<b>CAPITULO VII</b>	<b>FUENTES DE INFORMACION</b>	<b>121</b>
7.1.	Bibliografía consultada	121
7.2.	Bibliografía adicional	124
7.3.	Contactos personales	128
7.4.	Direcciones internet	131

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Cisterna para abrevadero y para uso doméstico.	2
Figura 2.	Ciclo hidrológico sobre una área de captación de agua.	11
Figura 3.	Curvas de intensidad-duración-frecuencia de las lluvias.	19
Figura 4.	Area efectiva de captación.	30
Figura 5.	Captación de lluvia en los techos de las industrias.	35
Figura 6.	Potencial de captación de lluvia en granjas avícolas.	35
Figura 7.	Sistema de captación de agua de lluvia.	38
Figura 8.	Componentes de una cisterna.	39
Figura 9.	Captación de agua en estanques.	44
Figura 10.	Papalotes o molinos de viento.	45
Figura 11.	Trampas de agua.	47
Figura 12.	Techos cuenca para abrevaderos.	48
Figura 13.	Aljibe.	49
Figura 14.	Plantas solares del Programa "Tonatiuh".	51
Figura 15.	Sobrepastoreo de hatos mixtos.	59
Figura 16.	Construcción de una cisterna de ferrocemento en Sergipe, Brasil.	76
Figura 17.	Esquema de una cisterna de tela-cemento	86
Figura 18.	Pilas recolectoras de agua de lluvia en el municipio de Orocuina, Honduras.	90
Figura 19.	Almacenamientos de agua por escorrentía superficial en la comunidad de El Llano, Nicaragua.	95
Figura 20.	Sistema de captación de los techos.	112
Figura 21.	Captación en presas de mampostería.	112
Figura 22.	Sistemas de captación en áreas tratadas con pavimento u otros materiales.	113



## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Distribución de las reservas de agua dulce sobre el globo terrestre.	6
Cuadro 2.	Contribución de los continentes al flujo de agua dulce.	8
Cuadro 3.	Recursos hídricos de agua dulce natural y renovables en el mundo.	9
Cuadro 4.	Composición porcentual de la carne de diversas especies.	12
Cuadro 5.	Requerimientos de agua de algunas especies ganaderas bajo condiciones normales (Diversas fuentes de información).	14
Cuadro 6.	Resumen de intensidades máximas de lluvia en mm/hr.	16
Cuadro 7.	Cálculo de frecuencias e intensidades de las lluvias para una duración de cinco minutos.	18
Cuadro 8.	Volumen de agua captado en litros con relación al área de captación y a la precipitación pluvial promedio.	21
Cuadro 9.	Volumen de agua captado y dimensiones internas de las cisternas.	22
Cuadro 10.	Precipitación promedio mensual para zonas semiáridas de México.	24
Cuadro 11.	Precipitación promedio mensual para zonas áridas de México.	27
Cuadro 12.	Precipitación promedio mensual para zonas subhúmedas de México.	29
Cuadro 13.	Precipitación promedio mensual para zonas templadas.	32
Cuadro 14.	Balance de captación de agua de lluvia.	34
Cuadro 15.	Datos generales sobre las 16 plantas solares construidas en México de 1974 a 1977.	52
Cuadro 16.	Presupuesto de materiales que intervienen para la opción 1 de adquisición.	67
Cuadro 17.	Necesidades de agua para consumo y/o animales pequeños (en litros).	80
Cuadro 18.	Costos unitarios por m <sup>3</sup> de agua almacenada en diferentes tipos de cisterna rural.	82
Cuadro 19.	Dimensiones de cisterna de tela-cemento de aproximadamente	87
Cuadro 20.	Materiales y cantidades necesarias para construir un tanque de 2 m de diámetro y 3.6 m de altura.	107





## CAPITULO I. ANTECEDENTES

En el oriente, actual Jerico, antes del surgimiento de las primeras ciudades en el período, anterior a 8,000 a 4,000 a.c., en el Valle del Río Jordán se establecieron grandes comunidades para desarrollar una arquitectura en sus construcciones de piedra. En estos primeros sitios habitados estuvo el origen del trigo y la cebada; cuya característica fué el crítico rango de precipitación, el cual era de 300 mm/año, justo lo necesario para la agricultura, aunque menos comunes fueron las planicies aluviales y oasis donde era posible el establecimiento de cultivos. Pero el área cultivada del Oriente estuvo restringida a la presencia de lluvias y nacimientos de agua natural. Cambios importantes como el desarrollo de técnicas eficaces de irrigación permitieron la expansión de la población ahí asentada. En el quinto milenio, con el surgimiento y asentamiento de pueblos cercanos a los ríos que atravesaban la planicie, con simples presas transversales desviaban el curso del agua para conducirlo al campo de cultivo. Esta irrigación en pequeña escala fue usada contra la sequía. Esto permitió que en los años siguientes se colonizaran regiones áridas (UNEP, 1983).

Como consecuencia del uso racional del agua surgieron las primeras civilizaciones en los valles fértiles de aluvión a donde llegaban las aguas de los ríos que nacían en las montañas y esas aguas también se usaban para abastecer a la población.

Con esto se ilustra que la captación de agua para consumo humano data de tiempos muy remotos y como ejemplo se puede citar que el escritor J.J.Benítez en su libro Caballo de Troya relata que "... Jesucristo antes de ser apresado por los romanos hablaba a sus seguidores sentado sobre una piedra la cual servía como tapa de una cisterna que almacenaba agua de lluvia para consumo familiar...".

Los primeros almacenamientos de agua de lluvia que fueron construidos en Europa durante el imperio romano, mediante el uso de pequeñas presas de tierra y de mampostería, no eran solamente para almacenar el escurrimiento superficial, sino también para elevar el nivel freático; algunos ejemplos de estas estructuras se construyeron en los alrededores del lago

Balaton, en Hungría en la era del emperador Galerio (305-311 años d.c.); además utilizaron la captación y almacenamiento del agua de lluvia proveniente de los techos y patios de las casas. Los sistemas de captación de agua de lluvia eran considerados al diseñar y construir las casas-habitación los cuales se complementaban con la construcción de cisternas para el almacenamiento de agua con fines de uso doméstico (UNEP, 1983).

Otro testimonio se observa en el desierto de Negev, Israel, en cuyas laderas se colectaba y conducía la escasa precipitación de los pequeños lomeríos hasta un recipiente construido con arcilla, el cual funcionaba como filtro de basuras y sedimentos que el agua arrastraba a su paso; posteriormente el líquido caía en cisternas de capacidades de 200 a 300 m<sup>3</sup>, donde se almacenaba para ser utilizado por el ganado y en las labores domésticas. (Figura 1).



**Figura 1. Cisterna para abrevadero y para uso doméstico. (Foto: M. Anaya).**

El desarrollo de estas tecnologías se remontan a épocas prehistóricas en las ruinas del palacio de Knossos (1710 a.c.) en Creta, donde se han encontrado sofisticados sistemas de captación de agua de lluvia, mediante la utilización de los techos y la construcción de

cisternas. Se usaban pequeñas piscinas para almacenar el agua en el interior de los palacios y de las casas-habitación y también para establecer un sistema de aire acondicionado. Al construirse las ciudades, siempre se consideraba el abastecimiento de agua con fines de uso doméstico de las familias. Otro ejemplo se encuentra en el palacio de Alhambra en Granada, España donde se observan cisternas, piscinas y fuentes.

A principios de este siglo, los sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico perdieron su importancia debido al rápido crecimiento de las ciudades y a los sistemas de distribución del agua a nivel domiciliario.

En algunos países de América Latina y el Caribe, desde hace más de tres siglos se han practicado los sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico, donde la recolección del agua proveniente de los techos se almacenaba en cisternas de diferentes tipos donde el manejo y almacenamiento de escurrimientos superficiales se realiza en presas de tierra, estanques, jagüeyes y aljibes, que aún representan la fuente principal de agua para uso doméstico en ejidos y ranchos. En el estado de Campeche, México es común la utilización de agua de lluvia para consumo humano ya que el agua potable de las ciudades tiene altas cantidades de sales, lo cual produce cálculos renales. En muchos lugares aún se observa el sistema de carretas-tanque y tanques cisterna que reparten agua a pequeños núcleos de población que se encuentran aislados. En la época colonial era común observar los diversos sistemas de captación de agua de lluvia en las haciendas, en los conventos y en las casas-habitación; aún se observan vestigios de estas tecnologías en los conventos de Santo Domingo, en Oaxaca; en Acolman, en el Estado de México y en el convento de Zacatecas, Zacatecas.

Otro sistema de almacenamiento de agua de lluvia para uso doméstico se refiere a la construcción de pozos donde la profundidad de bombeo es alrededor de 10 m y se conocen como norias.

## **CAPITULO II. EL AGUA, RECURSO NATURAL RENOVABLE, BASICO PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE**

### **2.1. Agua y sostenibilidad**

El agua, ha sido, es y seguirá siendo uno de los recursos naturales renovables más importantes para el desarrollo de la humanidad. El agua es el elemento fundamental en las funciones metabólicas que realizan los seres vivos del planeta y llega a constituir hasta el 95% del protoplasma celular en el cual ocurren reacciones físico-químicas de diversa índole.

El agua de lluvia representa un regalo de la madre naturaleza que debe aprovecharse integralmente, es el componente más importante en el ciclo hidrológico. Así, un milímetro de lluvia equivale a un litro por metro cuadrado, lo cual indica el enorme potencial que el hombre tiene en este recurso natural para su desarrollo integral y sostenible.

Sin embargo, lo errático y escaso de la precipitación pluvial esta afectando a más de 100 países del mundo, y a más de 1,000 millones de personas que empiezan a sufrir hambre y falta de agua, lo cual traerá en un futuro cercano mayores problemas de tipo social y económico.

Es preocupante observar como el agua de lluvia en lugar de beneficiar, perjudica al ocasionar la erosión del suelo, un milímetro de suelo perdido equivale a 10-15 toneladas por hectárea, las cuales forman parte de la capa superficial del suelo, es decir, la más productiva. Lo anterior se origina por los procesos inducidos por el hombre de deforestación, sobrepastoreo y alteración del ciclo hidrológico. El hombre esta cavando su propia tumba, al eliminar la cubierta vegetal que representa el mejor aliado para prevenir la erosión del suelo por la lluvia.

Es necesario y urgente hacer que estos procesos de creciente deterioro, inducidos por el hombre se detengan, de otra forma la supervivencia en el planeta estará en peligro. El

problema más dramático que afrontan los habitantes de las áreas rurales, localizadas en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, es la carencia del vital líquido para consumo humano y animal.

La utilización del agua de lluvia no provoca conflictos a nivel de comunidad, representa tecnologías de bajas inversiones, no genera problemas de contaminación y está al alcance de todos. Con la activa presencia de la Asociación Internacional sobre Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (IRCISA) se ha despertado interés, en los últimos 20 años, de gobiernos y organismos no gubernamentales sobre el buen aprovechamiento del agua de lluvia.

Lo anterior indica la necesidad de establecer programas masivos de concientización que conlleven a la humanidad a la cultura del agua, mediante el establecimiento de planes, programas y proyectos a todos los niveles para lograr una utilización integral del agua de lluvia, base para el desarrollo sostenible.

## **2.2. Reservas de agua en el mundo**

Las principales fuentes de agua para la utilización por la población se encuentra en lagos, ríos y el agua de la atmósfera en forma de vapor, lo cual equivale a menos del 1% del total. La energía solar provoca la evaporación del agua, equivalente a 500,000 km<sup>3</sup> de agua, que va de la superficie de la tierra a la atmósfera, la cual se distribuye alrededor del planeta y regresa en forma de lluvia, hielo y nieve. De ellos, 430,000 km<sup>3</sup> (86%), vienen de los océanos y los 70,000 km<sup>3</sup> restantes (14%), de los continentes, es decir, que los continentes pierden por evaporación 70,000 km<sup>3</sup> y reciben 110,000 km<sup>3</sup>.

Habría en el planeta más de 1,300 millones de km<sup>3</sup> de agua de los cuales, el agua salada constituye el 97%. La reserva de agua dulce se estima en 35 millones de km<sup>3</sup> y en función del modo de almacenamiento, estas aguas están distribuidas como se muestra en el Cuadro 1.

Estas cifras muestran, que los volúmenes "visibles" de agua líquida constituyen una proporción insignificante de esa reserva, y que la mayor parte del agua dulce está almacenada, en las áreas continentales del Antártico y Groenlandia, en forma de hielo. Las aguas subterráneas forman el segundo yacimiento en orden de importancia. La reserva promedio de agua, en los lechos de los ríos es irrisoria, mientras que las aguas de todos los lagos y pantanos representan solamente el 0.3% del total.

**Cuadro 1. Distribución de las reservas de agua dulce sobre el globo terrestre.**

Tipo de reserva	% de la reserva en agua dulce	Detalle	% de la reserva de agua dulce
<b>Hielo y nieve</b>	69,6	Antártico	61,70
		Groenlandia	6,68
		Ártico	0,24
		Otros (montañas, permafrost)	0,98
<b>Aguas subterráneas</b>	30,15	Acuíferos	30,10
		Agua contenida en el suelo	0,05
<b>Lagos y pantanos</b>	0,29		
<b>Agua contenida en la atmósfera</b>	0,04		
<b>Ríos</b>	0,006		

Fuente: Shiklomanov (1996).

Lo anterior indica que a pesar de las enormes cantidades de agua en el mundo, ésta no está disponible para muchos pueblos sedientos del vital líquido. Se estima que de 6,000 millones de habitantes en el mundo, cerca de una tercera parte carecen de agua potable. El agua no potable es la causa de que más de 1,000 millones de personas por año sufran diarreas. Cada día mueren más de 30,000 personas como resultado del mal manejo del agua para consumo humano. La diarrea mata cada año, a más de 5 millones de niños menores de 5 años (Shiklomanov, 1996).

Para el año 2000, la demanda total de agua en el mundo, será de 6,000 km<sup>3</sup>. Debido a la limitación de agua dulce en el mundo, deberán buscarse nuevas alternativas tecnológicas para abastecer del vital líquido a las poblaciones.

Se estima que un abastecimiento de 30 m<sup>3</sup>/persona/año sería necesaria para una calidad de vida aceptable. Existen países como la República de Malasia donde la disponibilidad de agua es menor a 1 m<sup>3</sup>/persona/año, se pagan USD 20 por metro cúbico. Mientras que en los Estados Unidos de América recibe un promedio de 180m<sup>3</sup>/persona/año y pagan solamente USD 0.10 a USD 0.25 por metro cúbico. Si se contara con un volumen disponible de agua dulce de 9,000 km<sup>3</sup>/ año, se podía tener el abasto para una población de 20,000 a 25,000 millones de habitantes, es decir alrededor de cuatro veces la población actual.

La distribución de flujos por continentes se presenta en el Cuadro 2 y muestra una gran diversidad hidrológica: en términos de caudal, Asia es el primer "proveedor" de agua dulce hacia los océanos, seguido por América del Sur columna 2. Ahora, si se convierten esos volúmenes en mm, por continente columna 4, resalta Sudamérica, con 661 mm de flujo anual, es dos veces más activa en el campo hidrológico que Asia (332 mm). Esto es normal si se tiene en cuenta el gigantismo del sistema hidrológico del río Amazonas, que contribuye, él sólo, con cerca de 7,000 km<sup>3</sup>, o sea el 15% del flujo global y el endorreísmo desarrollado en Asia.

**Cuadro 2. Contribución de los continentes al flujo de agua dulce.**

<b>Territorio</b>	<b>Flujo anual (km<sup>3</sup>)</b>	<b>% del flujo mundial</b>	<b>Flujo anual (mm)</b>
<b>Asia</b>	14,410	31	332
<b>América del Sur</b>	11,760	25	661
<b>América del Norte y Central</b>	8,200	17	339
<b>África</b>	4,570	10	151
<b>Europa</b>	3,210	7	306
<b>Antártico</b>	2,230	5	160
<b>Oceanía</b>	2,040	4	1,610
<b>Australia</b>	348	1	45
<b>Total tierra firme</b>	46,770	100	314

Fuente: Shiklomanov I. (1993).

Existen muchos países de América Latina y el Caribe donde la precipitación pluvial sería suficiente para satisfacer plenamente las necesidades de agua para uso doméstico, industrial y agrícola; así se tiene que en México con una superficie del territorio de 2 millones de km<sup>2</sup> y una precipitación media anual de 700 mm se tiene un volumen de agua de lluvia de 1,400,000,000,000 m<sup>3</sup> que divididos entre 100 millones de habitantes da un promedio de 14,000 m<sup>3</sup>; sin embargo, la utilización del agua de lluvia es deficiente y esta causa más problemas que beneficios al erosionar los suelos y azolvar los almacenamientos de agua.

En el Cuadro 3, se muestran los recursos hídricos de agua dulce naturales y renovables en el mundo (flujos medios) repartidos por espacios geopolíticos (grupos de países).



**Cuadro 3. Recursos hídricos de agua dulce natural y renovables en el mundo.**

Espacios geográficos (grupos de países)	Recursos interiores medios en km <sup>3</sup> /año*	Recursos de origen exterior al grupo de país en km <sup>3</sup> /año	Parte relativamente regular (superficial y subterránea) en km <sup>3</sup> /año	Proporción actual disponible dado las tomas brutas en %
Europa Occidental, nórdica y mediterránea (Unión Europea + E.F.T.A. y Chipre)	1,750	20	600	85
Europa Oriental (con Rusia de Asia)	4,720	290	1,200	94.5
América del Norte (EE.UU. y Canadá)	6,750	0	1,800	92.5
América Central (con el Caribe)	1,200	3	700	90
América del Sur	11,740	0	3,500	98.7
Mundo Árabe, África del Norte (con Sudán), Cercano y Medio Oriente (con Israel)	140	190	100	30
África al Sur del Sahara (con Madagascar)	3,910	0	1,400	98.5
Asia Central y Occidental (con Turquía, Transcaucasia y Irán)	660	27	200	53
Subcontinente indio y Asia del Sudeste	7,700	1,000	1,800	87.5
China (con Mongolia y Corea del Norte)	2,900	0	1,000	82
Japón y "dragones"	590	0	200	76
Australasia y Oceanía	1,690	0	500	98
Mundo entero	43,750	-	13,000	92

\* Una parte puede ser común a varios países del grupo y una parte puede ser proveída a un grupo vecino.

Fuente: Shiklomanov I. (1993).

### 2.3. Ciclo hidrológico

Es importante señalar que las actividades del hombre en relación al manejo de los recursos naturales (agua, suelo, flora y fauna) están induciendo procesos de desertificación tales como: deforestación, sobrepastoreo, erosión del suelo, disminución de la materia orgánica, encostramiento, compactación, ensalitramiento y contaminación, los cuales influyen en el ciclo hidrológico y por ende en la distribución y calidad del agua. (Figura 2).

Cada día se toman decisiones en varios niveles para establecer programas y proyectos de desarrollo urbano, agrícola e industrial que afectan la disponibilidad del recurso agua en forma contundente. Así, una hectárea que produce alfalfa para la producción de leche necesita un volumen anual de agua de 25,000 m<sup>3</sup> para producir 100 ton/ha de forraje verde, es decir 250 litros de agua por un kilo de alfalfa verde o 1,250 litros para producir un kilogramo de alfalfa seca, lo que repercute drásticamente en el continuo abatimiento de los mantos acuíferos.

Otro ejemplo surge cuando se deforesta una hectárea para fines pecuarios o agrícolas, al eliminar la cubierta vegetal del bosque, el coeficiente de escurrimiento aumenta, lo cual induce a la erosión hídrica. Lo anterior afecta la recarga de los manantiales de agua dulce que abastecen a las comunidades e induce el azolve de lagos, presas y mares creando la urgente necesidad de establecer medidas preventivas para evitar la disminución y la contaminación del agua.

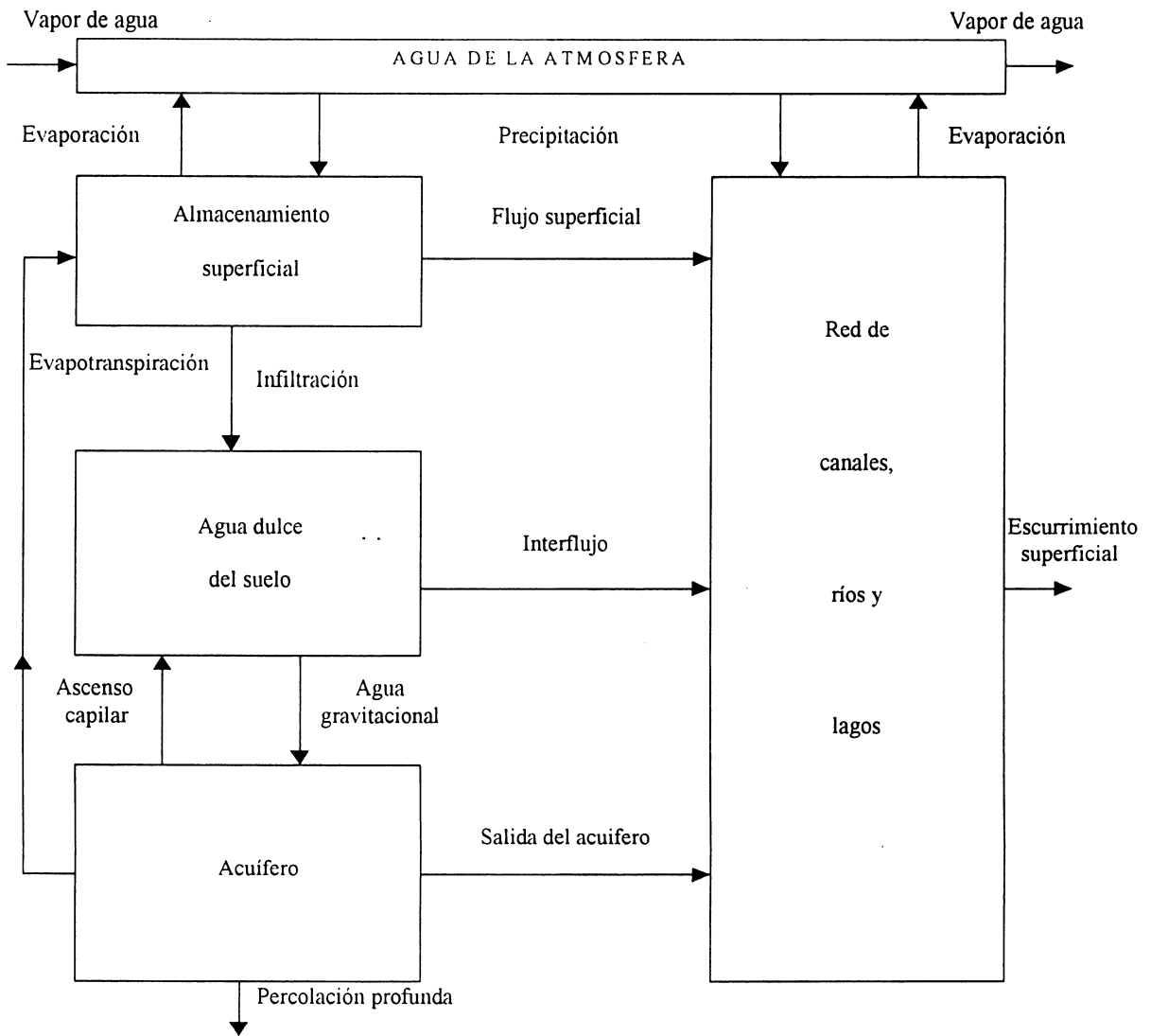


Figura 2. Ciclo hidrológico sobre un área de captación de agua. (FAO, 1973).

## 2.4. Importancia del consumo de agua en las diversas especies animales

El agua forma parte de todos los seres vivos y se encuentra dentro de los organismos en proporciones considerables; así, al ingerir alimentos frescos se está ingiriendo una cantidad abundante de agua. En el Cuadro 4 se muestra la composición porcentual de algunos tipos de carne, donde se pueden observar las altas cantidades de agua en la carne de vaca, ternera y caballo (72, 73 y 75%, respectivamente).

**Cuadro 4. Composición porcentual de la carne de diversas especies.**

<b>Especie</b>	<b>Agua</b>	<b>Proteína</b>	<b>Lípidos</b>	<b>Glúcidos</b>
<b>Buey</b>	68	20	10.0	0
<b>Vaca</b>	72	21	6.0	0
<b>Ternera</b>	73	19	5.5	0
<b>Cerdo</b>	53	15	30.0	0
<b>Pollo</b>	58	27	12.0	0
<b>Caballo</b>	75	20	2.2	3

Fuente: Biblioteca de Veterinaria y Zootecnia (1976).

De acuerdo con el "Nutrient Resource Council" (NRC, 1989), el agua es un elemento esencial para el mantenimiento de los fluidos del cuerpo así como para mantener el balance de iones y permitir el intercambio catiónico. El agua dentro del organismo de los animales cumple un papel fundamental al facilitar la digestión, la absorción y metabolización de los nutrientes, además de la eliminación de los residuos y ayudar a mantener la temperatura del cuerpo. El agua que los animales necesitan la obtienen de los alimentos, del agua metabólica que resulta de la oxidación de los nutrientes orgánicos y de los bebederos donde se les proporciona el líquido. Las pérdidas de agua se dan a través de la saliva, la orina, las heces, la leche y por la sudoración y evaporación de agua en la superficie del cuerpo y del tracto respiratorio. La cantidad de agua consumida depende de varios factores entre los que se encuentran la actividad diaria del animal, su edad y estado fisiológico, la raza, el agua

que tenga en su organismo y su velocidad de respiración, de la temperatura y humedad del ambiente y de la composición de la dieta, entre otros.

El agua representa el 66% del peso vivo de las aves y el 65% del peso total del huevo, lo cual explica que el consumo de agua requerida por estas especies es de aproximadamente dos a tres veces más que el alimento seco consumido (Biblioteca de Veterinaria y Zootecnia. 1976).

En el caso de los cerdos, Escamilla (1960), menciona que consumen tres litros de agua por cada kilogramo de materia seca consumido y 100 kg de peso vivo por lo que el consumo de agua puede llegar hasta los 50 litros diarios por animal, con lo que el 38% del peso vivo de un cerdo gordo se refiere al agua que contiene en su organismo, y en el caso de cerdos magros, este parámetro representa el 55%.

De acuerdo con la Dirección General de Educación Técnica Agropecuaria (SEP-DGETA, 1982), las cabras necesitan cuatro litros de agua por cada kilogramo de materia seca consumido, cuyo volumen alcanza el 2.5-3% del peso vivo de los animales para el caso del sistema de producción de carne y hasta el 8% para el sistema leche.

Orcas (1983), estudió la influencia de la temperatura en el consumo de agua en ovinos determinado una relación directa al encontrar que en ovinos en crecimiento, el consumo de agua es de 2 litros/día a una temperatura de 15°C, el consumo aumentó medio litro cuando la temperatura subió cinco grados y alcanzó un máximo de tres litros cuando la temperatura rebasó los 20°C.

Portsmouth (1988), analizó la eliminación del agua consumida a través de la orina en conejos encontrando que orinan de 20 hasta 30 cm<sup>3</sup> de agua al día.

En ese sentido existe dificultad para determinar los requerimientos específicos de agua para las diversas especies; sin embargo, como se muestra en el Cuadro 5, se pueden considerar los siguientes volúmenes de agua consumidos para algunas de las especies ganaderas.

**Cuadro 5. Requerimientos de agua de algunas especies ganaderas bajo condiciones normales (Diversas fuentes de información).**

Especie	Requerimientos de agua por día (litros)
Vacas adultas secas (Córdoba, 1967)	57
Vacas adultas grandes productoras (Córdoba, 1967)	80 a 130
Lechones de 1.0 Kg PV* (Escamilla, 1960)	0.25 a .50
Cerdos en crecimiento de 13.6 Kg PV (Escamilla, 1960)	2 a 6
Cerdos en la última etapa de crecimiento de 54.5 Kg PV (Escamilla, 1960)	6 a 8
Cerdos en finalización de 100 Kg PV (Escamilla, 1960)	8 a 12
Ovinos en crecimiento (Orcas, 1983)	3.0
Ovinos a 1 mes de gestación (Orcas, 1983)	3.0
Ovinos a 2 meses de gestación (Orcas, 1983)	4.2
Ovinos a 3 meses de gestación (Orcas, 1983)	4.5
Ovinos a 4 meses de gestación (Orcas, 1983)	5.4
Ovinos a 5 meses de gestación (Orcas, 1983)	6.6
Cabras productoras de carne (SEP-DGETA, 1982)	4.2
Cabras productoras de leche (SEP-DGETA, 1982)	11.2
Conejas a 8 semanas del parto (Portsmouth, 1988)	4.5
Conejos a 8 semanas de edad (Portsmouth, 1988)	0.5
Conejos machos adultos (Portsmouth, 1988)	0.5
Conejas preñadas (Portsmouth, 1988)	0.5
Pollos de 0.40 Kg PV (Biblioteca de veterinaria y zootecnia, 1976).	0.58
Pollos de 1.30 Kg PV (Biblioteca de veterinaria y zootecnia, 1976).	1.57
Gallinas de 1.30 Kg PV (Biblioteca de veterinaria y zootecnia, 1976).	3.25
Gallinas de 2.20 Kg PV (Biblioteca de veterinaria y zootecnia, 1976).	5.50
Gallinas de 4.0 Kg PV (Biblioteca de veterinaria y zootecnia, 1976).	10
Pavos de 1 semana de edad (Biblioteca de veterinaria y zootecnia, 1976).	0.34
Pavos de 10 semanas de edad (Biblioteca de veterinaria y zootecnia, 1976).	4 a 5
Pavos de 20 semanas de edad (Biblioteca de veterinaria y zootecnia, 1976).	6 a 8

\*PV = Peso vivo.

## **CAPITULO III. EJEMPLOS DE CALCULOS UTILES PARA LA CONSTRUCCION DE ALMACENAMIENTOS DE AGUA**

### **3.1. Factores asociados con la precipitación pluvial**

Como el escurrimiento es una función de la precipitación, es necesario conocer su intensidad, duración y frecuencia, o bien la lluvia máxima en 24 horas, para determinar los escurrimientos máximos superficiales.

#### **3.1.1. Intensidad y duración de las lluvias**

La intensidad es la altura de la precipitación expresada en milímetros para un intervalo dado, la intensidad de la lluvia generalmente se calcula para varios intervalos y diferentes períodos.

Estos datos son de importancia, ya que las lluvias con altas intensidades en cortos períodos, presentan una mayor actividad erosiva en los suelos e incrementan los volúmenes escurridos.

Para conocer la intensidad y la duración de la lluvia, se utiliza el pluviógrafo que registra las intensidades en mm, para diferentes períodos (5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 100 y 120) minutos para cualquier tormenta.

En el Cuadro 6, aparece un ejemplo de los datos de intensidades máximas de las lluvias en 15 años de observación registrada para la estación de Telpatlán, Puebla, México.

#### **3.1.2. Frecuencia de las lluvias**

Es la periodicidad media estadística en años, con que pueden presentarse las tormentas de características similares en intensidad y duración. Para calcular la frecuencia, se utiliza la siguiente fórmula:

$$F = \frac{t}{m}$$

**Donde:**

- F = Frecuencia o período de retorno
- t = Número total de años de registro
- m = Número de orden de la lluvia

**Ejemplo:**

Se tienen 15 observaciones de intensidades máximas de las lluvias para una duración de 5 minutos, en la estación de Telpatlán, Puebla, México. (Ver Cuadro 6). Calcular los valores de intensidad para los períodos de retorno de 5, 10 y 15 años.

**Cuadro 6. Resumen de intensidades máximas de lluvia en mm/hr.**

Fechas	Minutos									
	5	10	15	20	30	40	60	80	100	120
Telpatlan, Pue.	Latitud: 18° 30'			Longitud: 97°09'			Altitud: 2,460 m			
<b>1956</b>										
- Jun. 15	120.0	81.5	54.8	41.7						
- Ago. 20					36.0	34.8	25.7	21.5	18.2	16.8
<b>1957</b>										
- Feb. 23										
- Jun. 27	84.0	51.0	36.0	28.8	20.4	16.1	12.7	12.3	10.9	
- Jul. 26										9.5
<b>1958</b>										
- Jun. 16						20.7				
- Ago. 1										
- Sep. 11	116.4	58.2							11.6	10.1
- 15			40.4	30.3	23.4		16.5	13.7	11.6	
<b>1959</b>										
- Jun. 7							48.1	38.0	32.2	27.6
- Sep. 26	240.0	162.0	128.0	111.0	84.0	67.5				



**Cuadro 6. Continuación...**

<b>1960</b>										
-	Ago. 18	122.4								
-	Sep. 9				42.6	31.4				
-	20							23.0	18.0	17.3
-	Oct. 28	122.4	69.0	52.0			30.0			15.5
<b>1961</b>										
-	May. 23						15.8	13.9		
-	Jul. 30	48.0							11.8	11.7
-	31			25.6	21.9	18.2				10.3
-	Sep. 10		30.0							
<b>1962</b>										
-	Abr. 11	120.0	120.0	84.0	82.8	60.0	48.9	32.7	24.5	19.6
<b>1963</b>										
-	Ago. 10									10.1
-	Nov. 26	116.4	58.2	51.6	44.7	36.4	29.0	19.3	14.5	11.6
<b>1964</b>										
-	Jun. 15	36.0	27.0	26.0	24.0	16.6	12.8			
-	Ago. 22							9.5	8.1	7.1
<b>1965</b>										
-	Oct. 6	78.0	55.2	48.0	48.0	41.8	34.2	29.5	22.9	18.7
<b>1966</b>										
-	Oct. 18	78.0	60.0	52.0	47.4	46.0	40.5	29.2	22.9	18.9
<b>1967</b>										
-	Jun. 17	54.0		34.0		23.4	18.8	14.0	11.6	11.6
-	22		45.0		28.5		18.8			10.6
<b>1968</b>										
-	Jun. 29	84	48.0	32.0	24.0	16.0	12.0	8.0	6.0	
-	Jul. 2								6.0	
-	Oct. 12									5.3
<b>1969</b>										
-	Abr. 7	54.0	54.0	45.2	41.7	31.8	25.1	17.8	13.4	
-	Ago. 19									10.0
-	29								12.0	10.0
<b>1970</b>										
-	Jun. 25	120.0	84.0	72.0	57.6	41.0	31.1	25.5	17.0	13.7
-	Ago. 4									12.0

Nota: Del 1° de enero al 19 de abril y del 18 de julio al 13 de agosto no trabajó el pluviógrafo por descompostura.

Fuente: Colegio de Postgraduados (1991).

**Procedimiento:**

- a. Se tabulan los valores anuales de intensidad máxima de la lluvia desde 1956 hasta 1970, y se colocan en las columnas 1 y 2 del Cuadro 7.
- b. Se ordenan los valores de intensidad mayor a menor en las columnas 3 y 4.
- c. Se aplica la fórmula anterior y se calculan las frecuencias o períodos de retorno de 5, 10 y 15. Estos valores se colocan en las columnas 5, 6 y 7, respectivamente.

**Cuadro 7. Cálculo de frecuencias e intensidades de las lluvias para una duración de cinco minutos.**

Año (1)	Intensidad máxima (mm) (2)	Número de orden (3)	Intensidad máxima ordenada (4)	F 5 años (5)	F 10 años (6)	F 15 años (7)
1956	120.0	1	240.0			
1957	84.0	2	122.4	$F = n/m$	$F = n/m$	$F = n/m$
1958	116.4	3	120.0	$m = 15/5$	$m = 15/10$	$m = 15/15$
1959	240.0	4	120.0			
1960	122.4	5	120.0	$m = 3$	$m = 1.5$	$m = 1$
1961	48.0	6	116.4	$F_5 = 120.0$	$F_{10} = 181.2$	$F_{15} = 240.0$
1962	120.0	7	116.4			
1963	116.4	8	84.0			
1964	36.0	9	84.0			
1965	78.0	10	78.0			
1966	78.0	11	78.0			
1967	54.0	12	54.0			
1968	84.0	13	54.0			
1969	54.0	14	48.0			
1970	120.0	15	36.0			
		n = 15				

Fuente: Colegio de Postgraduados (1991).

### 3.1.3. Curvas de intensidad-duración-frecuencia

Con los datos de intensidad-duración de la lluvia y la frecuencia esperada, se obtienen las curvas que por el método racional permiten calcular los escurrimientos máximos (ver Figura 3).

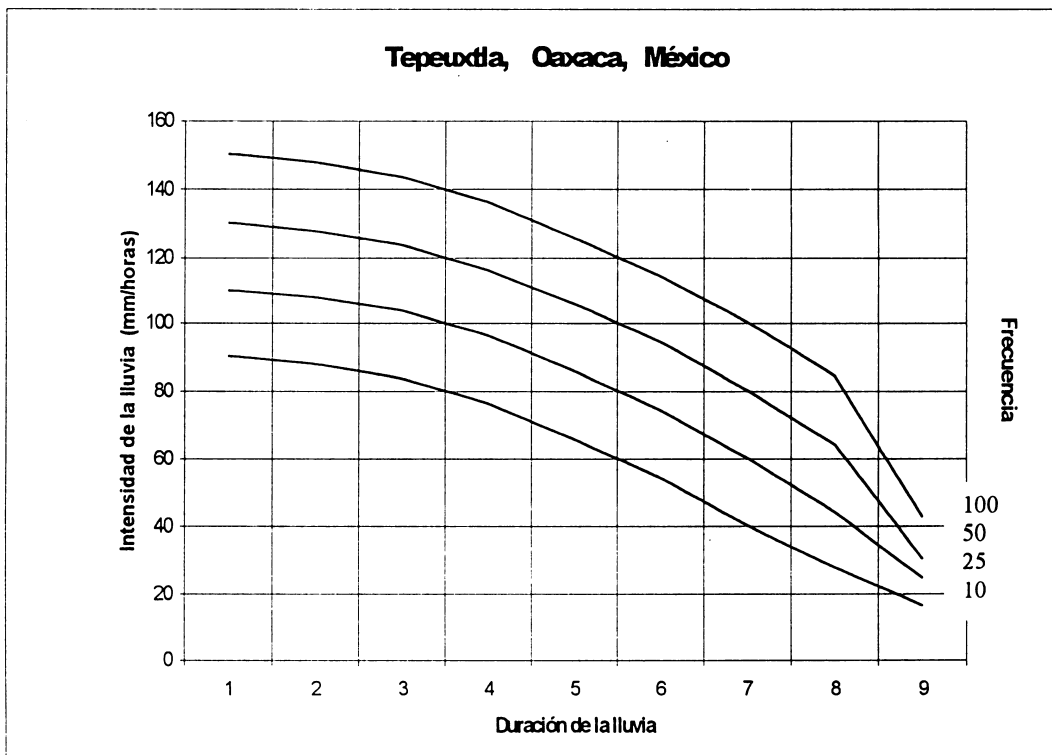


Figura 3. Curvas de intensidad-duración-frecuencia de las lluvias. (Colegio de Postgraduados, 1991).

### 3.1.4. Lluvia máxima en 24 horas

Este dato puede obtenerse en las estaciones meteorológicas que cuentan con registros pluviográficos y permiten calcular los escurrimientos máximos, ya que al ser mayor la lluvia en 24 horas, es de esperarse un mayor escurrimiento.

### 3.2. Consideraciones generales para la realización de los cálculos

La información más útil que el técnico puede usar en el cálculo del área de captación de agua de lluvia es que por cada milímetro de agua de lluvia que cae sobre un metro cuadrado, se obtendrá la cantidad de un litro de agua. No obstante, existen coeficientes de ponderación que modifican el enunciado anterior debido a las pérdidas en las superficies de captación causadas por el rebote del agua al caer, la absorción y evaporación del agua y la pendiente de las superficies, entre otros. En este apartado se les ha asignado valores a dichos coeficientes, pero dado que su influencia depende de las condiciones de cada lugar en particular, los valores pueden ser modificados a criterio del técnico según los estudios previos al cálculo con que cuente.

En el Cuadro 8 se muestra un análisis del volumen de agua captado en litros con relación al área de captación y precipitación pluvial promedio, donde se ilustra el enunciado anterior. Se han hecho algunas consideraciones para su utilización, tomando en cuenta precipitaciones pluviales promedio de 1, 10, 100 y 1,000 mm y áreas de captación de 1 m<sup>2</sup> hasta 1,000 m<sup>2</sup> de área de captación en múltiplos de 50 m<sup>2</sup>.

De esta forma, se puede obtener el volumen de agua de lluvia captado para cualquier condición, mediante las sumas correspondientes a las intersecciones de precipitación contra el área de captación. Si por ejemplo, se tiene una área de captación de 1 m<sup>2</sup> y se cuenta con una precipitación de 110 mm, el volumen de agua captado es de 110 l, que se obtiene de sumar el valor correspondiente a las intersecciones de la hilera del área de captación correspondiente a 1 m<sup>2</sup> con la precipitación de 10 mm (10 l) más la de 100 mm (100 l). Como se explica más adelante, para encontrar el volumen real de agua captada, el valor que se ha determinado debe ponderarse con el coeficiente de eficiencia del área de captación.

**Cuadro 8. Volumen de agua captado en litros con relación al área de captación y a la precipitación pluvial promedio.**

Area de captación (m <sup>2</sup> )	Precipitación pluvial promedio (mm)			
	1	10	100	1,000
1	1	10	100	1,000
10	10	100	1,000	10,000
50	50	500	5,000	50,000
100	100	1,000	10,000	100,000
150	150	1,500	15,000	150,000
200	200	2,000	20,000	200,000
250	250	2,500	25,000	250,000
300	300	3,000	30,000	300,000
350	350	3,500	35,000	350,000
400	400	4,000	40,000	400,000
450	450	4,500	45,000	450,000
500	500	5,000	50,000	500,000
550	550	5,500	55,000	550,000
600	600	6,000	60,000	600,000
650	650	6,500	65,000	650,000
700	700	7,000	70,000	700,000
750	750	7,500	75,000	750,000
800	800	8,000	80,000	800,000
850	850	8,500	85,000	850,000
900	900	9,000	90,000	900,000
950	950	9,500	95,000	950,000
1,000	1,000	10,000	100,000	1,000,000

A su vez, la capacidad de la cisterna debe estar diseñada acorde al área efectiva de captación. El volumen total de la cisterna se determinará por la cantidad de agua a almacenar tomando en cuenta el volumen que ocuparán las estructuras que se instalen en el interior de ella. La construcción de la cisterna puede hacerse con diversos materiales y formas geométricas, se recomienda emplear la mayor parte de los materiales disponibles en la localidad y construirla de la manera más simple a fin de reducir los costos.

En el Cuadro 9 se muestra un análisis del volumen captado de agua de lluvia y dimensiones internas de la cisterna bajo dos formas geométricas: cúbica y cilíndrica. La mecánica para la utilización de este cuadro es similar a la utilizada en el Cuadro 6. Si por ejemplo, se tiene un volumen de agua captado 11,000 l, equivalen a 11 m<sup>3</sup>; las dimensiones de una cisterna cúbica serán de aproximadamente 3.15 m por lado. Dichas dimensiones se obtienen de la suma de las dimensiones necesarias para 1,000 l (1 m), más 10,000 l (2.15 m).

**Cuadro 9. Volumen de agua captado y dimensiones internas de las cisternas.**

Volumen de agua captado		Dimensiones internas de la cisterna	
(Litros)	(m <sup>3</sup> )	Cúbica Lado (m)	Cilíndrica Diámetro/Altura (m)
1	0.001	0.10	0.05
10	0.01	0.22	0.12
50	0.05	0.37	0.20
100	0.1	0.46	0.25
1,000	1	1	0.54
10,000	10	2.15	1.17
100,000	100	4.64	2.52
1,000,000	1,000	10.00	5.42
10,000,000	10,000	21.54	11.68

A continuación se presentan algunos casos hipotéticos, los cuales tienen como objetivo ilustrar el procedimiento para calcular las necesidades de agua para uso doméstico, el área de captación y el volumen necesario de la cisterna para mantener el agua captada.

La metodología utilizada está basada en matemáticas simples comprensibles para cualquier persona con educación media básica. Cabe mencionar que en la actualidad se cuenta con sofisticados métodos para determinar con extrema exactitud los parámetros en cuestión. A pesar de esto, se espera que los cálculos aquí presentados tengan el grado de aproximación suficiente, los cuales se verán reforzados por la documentación disponible de las condiciones del lugar y la experiencia del técnico. Para mayor seguridad se recomienda considerar cierta holgura en el área de captación necesaria así como en el volumen de la cisterna.

Para fines didácticos, se presentan casos desde el más sencillo hasta el más complejo, sin que esto signifique que las condiciones a las que se hace mención se mantengan estrictamente en las situaciones reales.

### **3.2.1. Zonas semiáridas**

Supongamos una situación de un lugar de una ciudad en las zonas semiáridas de México donde se necesita calcular el volumen total de las necesidades básicas de agua para una familia de 7 integrantes, las cuales según la Organización Mundial de la Salud ascienden a 5 litros por día por persona para consumo y preparación de alimentos, más 25 litros para higiene y buena salud; además, se debe contar con 60 litros para aseo del hogar, lavado del auto y riego del jardín. También hay que diseñar una cisterna para almacenar el líquido durante 6 meses. En el Cuadro 10 se muestra el reporte de la precipitación promedio mensual y anual.

**Cuadro 10. Precipitación promedio mensual para zonas semiáridas de México.**

<b>Mes</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
<b>Enero</b>	25
<b>Febrero</b>	15
<b>Marzo</b>	10
<b>Abril</b>	20
<b>Mayo</b>	70
<b>Junio</b>	90
<b>Julio</b>	130
<b>Agosto</b>	150
<b>Septiembre</b>	90
<b>Octubre</b>	70
<b>Noviembre</b>	20
<b>Diciembre</b>	10
<b>Total</b>	700

**a. Procedimiento para cálculo de necesidades efectivas de agua**

Se supone que el consumo/persona/día es de 25 litros de agua, de tal manera que para una familia de 7 personas durante 6 meses la cantidad de agua requerida se calcula de la siguiente manera:

$$7 \text{ personas} \times 90 \text{ litros / persona / día} \times 180 \text{ días} = 113,400 \text{ litros}$$

Considerando el 10% de pérdidas de agua durante su almacenamiento por evaporación e infiltración a través de las paredes de la cisterna, entre otras, el volumen total efectivo de agua se debe compensar con el porcentaje que se pierde:



$$113,400 \text{ litros} + (113,400 \text{ litros} \times 10\%) = 124,740 \text{ litros}$$

**b. Cálculo para el área efectiva de captación**

Suponemos que durante las lluvias los pozos y fuentes de bombeo de agua potable se encuentren operando en condiciones adecuadas por lo que no hay necesidad de utilizar el agua lluvia para consumo. Pero al acercarse la época seca el abastecimiento del líquido proveniente de estas fuentes mermar debido a lo cual es importante llenar la cisterna durante el mes de agosto para protegerse durante la época seca que comienza, en este mes la precipitación es del orden de 150 mm.

Sin embargo, hay que considerar que del total del agua de lluvia que cae sobre la superficie de captación solo una parte de ella llega a la cisterna debido a que existen ineficiencias en la conducción del agua por evaporación y absorción, entre otras. Por lo que se considera una eficiencia promedio de captación del 70%; la cantidad de agua efectiva captada se traduce en:

$$105 \text{ mm} \times 70\% = 73.5 \text{ mm} \text{ ó } 0.735 \text{ m}$$

Para calcular el área efectiva de captación se divide el volumen efectivo a captar por la cantidad de agua efectiva que se va a consumir. Considerando que  $1 \text{ m}^3 = 1,000 \text{ litros}$ ; los 124,740 litros a consumir equivalen a  $124.74 \text{ m}^3$ . De esta forma:

$$124.74 \text{ m}^3 / 0.735 \text{ m} = 169.71 \text{ m}^2$$

Dicha área puede obtenerse de la proyección horizontal del techo de la casa, patios, techo de la cisterna, de la cancha de tenis y demás áreas susceptibles a captar agua de lluvia.

**c. Cálculo para las dimensiones internas de la cisterna**

La forma geométrica de la cisterna dependerá de las condiciones particulares del lugar, la disponibilidad de recursos y en general de las fronteras de la ingeniería civil. Sus dimensiones externas dependerán de los materiales que se utilicen para su manufactura y del sistema de construcción siendo lo más importante que las dimensiones internas sean adecuadas para almacenar el volumen del agua a consumir.

Asumiendo que se dejan 25 cm de borde superior con la finalidad de proporcionar holgura al almacenamiento de agua, las dimensiones internas de la cisterna rectangular serán:

Largo	5 m
Ancho	8 m
Altura	3.27 m

**3.2.2. Zonas áridas**

En este caso se considera un lugar con precipitación pluvial promedio anual de 400 mm, donde es necesario calcular las necesidades de agua para una familia de cinco personas, que además cuenta con una ganadería de traspatio compuesta por dos vacas, cinco cerdos y diez gallinas. Se plantea la necesidad de captar agua para 3 meses.

Se supone un consumo de agua por persona de 30 litros/día. El consumo diario aproximado de agua por el ganado esta compuesto de la siguiente manera:

Vaca	100 l/día
Cerdo	15 l/día
Gallina	3 l/día

La distribución de los 400 mm de precipitación pluvial promedio anual se expone en el cuadro 11.

**Cuadro 11. Precipitación promedio mensual para zonas áridas de México.**

<b>Mes</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
<b>Enero</b>	20
<b>Febrero</b>	10
<b>Marzo</b>	5
<b>Abril</b>	7
<b>Mayo</b>	10
<b>Junio</b>	70
<b>Julio</b>	100
<b>Agosto</b>	90
<b>Septiembre</b>	60
<b>Octubre</b>	10
<b>Noviembre</b>	8
<b>Diciembre</b>	10
<b>Total</b>	400

**a. Procedimiento para calculo de necesidades efectivas de agua**

Los requerimientos de agua se calculan como se muestra a continuación:

5 personas x 30 litros/persona/día x 180 días	27,000 litros
+ 2 vacas x 100 litros/vaca/día x 180 días	36,000 l
+ 5 cerdos x 15 litros/cerdo/día x 180 días	13,500 l
+ 10 gallinas x 3 litros/gallina/día x 180 días	5,400 l
<b>TOTAL</b>	<b>81,900 litros</b>

De esta manera el total de agua requerida es de 81,900 litros, que se traducen en 81.9 m<sup>3</sup>. Considerando que un 15% de agua se pierde en la cisterna (quizá por la utilización de materiales de poca eficiencia en el almacenamiento del agua), el total efectivo de agua requerida es:

$$81.19 + (81.9\text{m}^3 \times 15\%) = 94.19 \text{ m}^3$$

**b. Cálculo para el área efectiva de captación**

Se propone completar el volumen requerido en los meses de julio a octubre, donde la precipitación alcanza los 260 mm, ó 0.26 m, tomando en cuenta que la eficiencia del área de captación es del 80%, el agua captada será de 0.21 m. Por lo tanto, el área de captación será:

$$94.19 \text{ m}^3 / 0.21 \text{ m} = 448.53 \text{ m}^2$$

**c. Cálculo para las dimensiones internas de la cisterna**

Suponiendo que se desea dejar un espacio de 10 cm para considerar un volumen extra para neutralizar los riesgos de problemas por la dilatación del agua y los materiales, el volumen de 94.19 m<sup>3</sup> se puede alcanzar en una cisterna rectangular con las siguientes dimensiones internas:

Largo	10 m
Ancho	3.7 m
Altura	2.7 m

### 3.2.3. Zonas subhúmedas

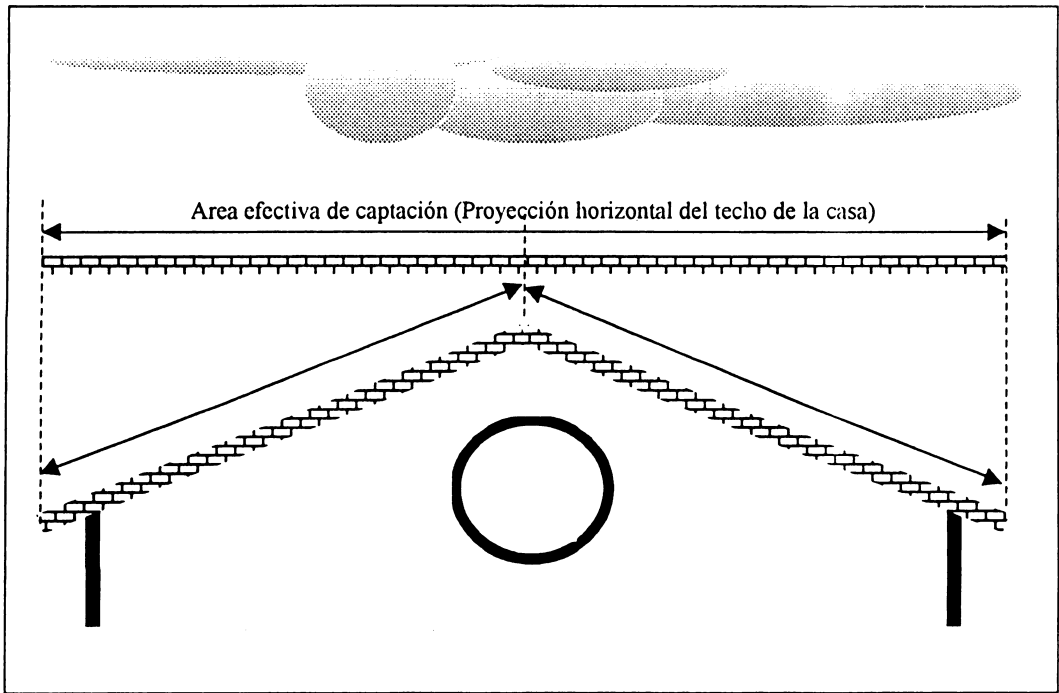
En una zona con precipitación de 1,200 mm se necesita calcular el potencial para captación de agua de lluvia de una área de captación en un techo “dos aguas” que tiene una pendiente de 8%, con las dimensiones de 20 m de ancho por 10 m de largo en cada una de las partes del techo. La distribución de la precipitación pluvial se muestra en el Cuadro 12.

**Cuadro 12. Precipitación promedio mensual para zonas subhúmedas de México.**

Mes	Precipitación (mm)
Enero	60
Febrero	30
Marzo	15
Abril	15
Mayo	150
Junio	400
Julio	260
Agosto	10
Septiembre	60
Octubre	50
Noviembre	20
Diciembre	40
Total	1,200

#### a. Cálculo para el área de captación

El volumen del agua captado depende de la proyección horizontal del techo de la casa, considerando la pendiente del 8% que tiene y 20m de largo, se puede obtener el área efectiva de captación al multiplicar por 10 m de ancho disponibles. (Figura 4).



**Figura 4. Area efectiva de captación.**

La pendiente indica que en 100 m de techo se alcanzará una altura de 8 m respecto al punto inicial, de esta manera:

$$100 \text{ m} : 8 \text{ m}$$

$$20 \text{ m} : X \text{ m}$$

$(20 \text{ m} \times 8 \text{ m}) / 100 \text{ m} = 1.6 \text{ m}$  de altura en una distancia de 8 m, utilizando el teorema de Pitágoras se puede determinar la proyección horizontal del techo.

$$C^2 + C^2 = H^2$$

$$C^2 + 1.6^2 = 20^2$$

$$C^2 = 20^2 - 1.6^2$$

$$C = 19.93 \text{ m de proyección horizontal.}$$

De esta manera, por las dos partes del techo se obtiene una superficie de:

$$19.93 \text{ m de ancho} \times 10 \text{ m de largo} \times 2 \text{ superficies} = 398.6 \text{ m}^2$$

Si se captara agua en los tres meses más lluviosos (mayo, junio y julio) el agua de lluvia es de 810 mm, ponderados por un 80% de eficiencia en la captación serán:

$$810 \text{ mm} \times 80 \% = 648 \text{ mm} \text{ ó bien } 0.648 \text{ m}$$

Por lo tanto, el potencial de captación de agua de lluvia se obtendrá de multiplicar el volumen del agua que cae por el área efectiva de captación:

$$0.648 \text{ m} \times 398.6 \text{ m}^2 = 258.29 \text{ m}^3$$

**b. Cálculo para las dimensiones internas de la cisterna**

Para el volumen captado y considerando que se dejen 30 cm en el borde superior, se puede construir una cisterna circular con las siguientes dimensiones internas:

Radio	4.1 m
Altura	5.0 m

**3.2.4. Zonas templadas**

Un caso interesante es aquel donde se requiere el uso del agua de lluvia durante todo el año para lo cual los cálculos deberán realizarse considerando que el déficit causado por la época de sequía se compensa con el exceso de agua captada en la época de lluvia.

Supongamos un lugar con precipitación media anual de 800 mm cuya distribución mensual se muestra en el Cuadro 13. Además, consideramos una familia de cinco integrantes con un consumo diario de 30 litros por persona para la preparación de los alimentos, beber e

higiene personal. Además, se cuenta con una pequeña granja de pollos que consume 150 litros al día y un huerto familiar que es necesario regar cada mes aplicando 4,750 litros.

Por último, tome en cuenta que se tiene un área de captación de agua de lluvia de 400 m<sup>2</sup> entre los techos de la casa y el patio cuya eficiencia de captación es de 75%.

**Cuadro 13. Precipitación promedio mensual para zonas templadas.**

Mes	Precipitación (mm)
Enero	15
Febrero	15
Marzo	20
Abril	30
Mayo	100
Junio	150
Julio	200
Agosto	100
Septiembre	70
Octubre	60
Noviembre	30
Diciembre	10
Total	800

**a. Cálculo para las necesidades de agua**

La metodología es similar a la de los casos anteriores, pero en esta situación es necesario calcular las necesidades de agua por mes. Se debe considerar un promedio de días por mes de 365 días al año/12 meses = 30.42 días/mes, así el consumo total por mes es:



Familia:	150 l/día X 30.42 días/mes =	4,562.5 l
+ Granja:	=	562.5 l
+ Huerto:	=	875.0 l
Total:		15,000 l/mes

**b. Cálculo del área efectiva de captación**

Debido a que se cuenta con una superficie de 400 m<sup>2</sup> para captar agua de lluvia y el coeficiente de eficiencia es del 75%, el área efectiva de captación es:

$$400 \text{ m}^2 \times 75\% = 300 \text{ m}^2$$

**c. Cálculo del balance de disponibilidad de agua**

Utilizando los datos de precipitación mensual (cuadro anterior) y área efectiva de captación (300 m<sup>2</sup>), se obtendrá el volumen de agua captado, al que se le restará el consumo mensual (15 m<sup>3</sup>) para obtener el balance de disponibilidad de agua. Durante la época de secas se espera un déficit en la captación de agua de lluvia respecto al consumo, este debe compensarse con el superávit de los meses lluviosos (Cuadro 14).

**Cuadro 14. Balance de captación de agua de lluvia.**

<b>Mes</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Volumen captado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Balance (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Enero</b>	15	4.5	-10.5
<b>Febrero</b>	15	4.5	-10.5
<b>Marzo</b>	20	6.0	-9.0
<b>Abril</b>	30	1.8	-13.2
<b>Mayo</b>	100	30.0	+15.0
<b>Junio</b>	150	45.0	+30.0
<b>Julio</b>	200	60.0	+45.0
<b>Agosto</b>	100	30.0	+15.0
<b>Septiembre</b>	70	21.0	+6.0
<b>Octubre</b>	60	18.0	+3.0
<b>Noviembre</b>	30	9.0	-6.0
<b>Diciembre</b>	10	3.0	-12.0

+ Indica un exceso o superávit en la captación de agua de lluvia.

- Indica una falta o déficit en la captación de agua de lluvia.

**d. Cálculo para las dimensiones internas de la cisterna**

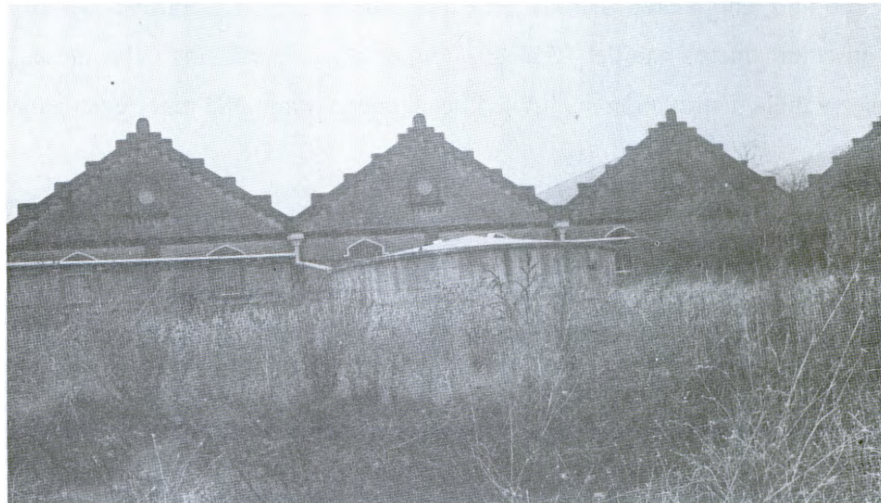
Por lo tanto, el volumen de la cisterna debe ser suficiente para almacenar el déficit al que da origen la época seca, cuyo volumen asciende a 61.2 m<sup>3</sup>.

Considerando un coeficiente efectivo de conservación del agua en la cisterna del 80%, la capacidad total será de:

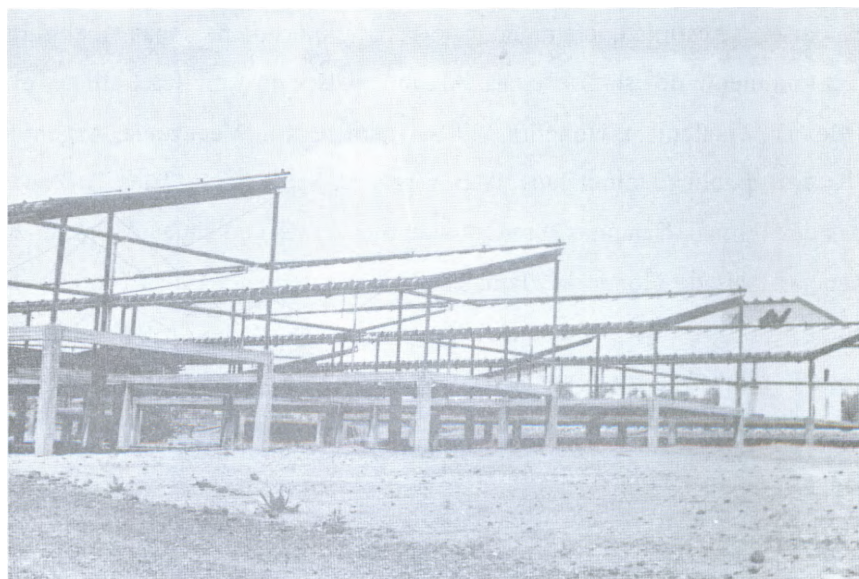
$$61.2 \text{ m}^3 + 15 \text{ m}^3 = 76.2 \text{ m}^3$$
$$76.2 \text{ m}^3 + (76.2 \text{ m}^3 \times 20 \%) = 91.44 \text{ m}^3$$

Dado que el uso de la cisterna será continuo, se propone construir dos depósitos conectados por un conducto nivelador, lo que facilitará el mantenimiento de uno de los tanques cuando el otro contenga agua. Así, las dimensiones efectivas de dos cisternas cúbicas serán: Lado = 3.58 m.

En las Figuras 5 y 6, se ilustran ejemplos de captación de agua de lluvia en zonas industriales y en zonas rurales.



**Figura 5. Captación de agua de lluvia en los techos de zonas industriales. (Foto: M. Anaya).**



**Figura 6. Potencial de captación de lluvia en granjas avícolas. (Foto: M. Anaya).**

## CAPÍTULO IV. SISTEMAS DE CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA DE LOS TECHOS Y DE LOS PISOS\*

### 4.1. Descripción general

La precipitación media anual en América Latina y el Caribe varía de menos de 500 a más de 1,500 mm; en general la lluvia tiene una mala distribución a través del año y se observa que en cuatro meses cae del 70 al 80% del total, quedando los ocho meses restantes con escasez y mala distribución de lluvia, lo cual puede originar la muerte del ganado.

Durante más de tres siglos la captación de agua en los techos y en cisternas ha sido la base para el abastecimiento de agua en muchas islas del Caribe. Durante la segunda guerra mundial, algunas pistas de aeropuertos se utilizaron como áreas de captación. Se estima que más de 500,000 personas en las islas del Caribe utilizan estos sistemas

En los últimos tres siglos, los sistemas de captación de agua de lluvia construidos con canaletas en las orillas de los techos y el almacenamiento en cisternas han sido la base para el abastecimiento de agua de uso doméstico en muchas islas pequeñas y en varios lugares del mundo. Aunque estos sistemas de captación de agua de lluvia están desapareciendo en muchos países, se estima que alrededor de 100 millones de personas en el mundo dependen parcial o totalmente de estos sistemas. Algunos países de América Latina y el Caribe, tales como México, Guatemala, Honduras, El Salvador, Brasil, Venezuela, Argentina, Paraguay, Costa Rica, República Dominicana, Islas Vírgenes, Santa Lucía, Islas Turkos y Caicos (con cisternas de 400 m<sup>3</sup>), Bahamas (predominando cisternas con capacidades de 70 m<sup>3</sup>), Nueva Providencia, Islas de Honduras, Jamaica, Monserrat, Santa Lucía (donde usan bolsas de plástico de 1,300 y 2,300 , así como cisternas con capacidades de 100 a 150 m<sup>3</sup>), Barbados, entre otros, utilizan estos sistemas de captación de agua de lluvia como una fuente importante de abastecimiento de agua para uso doméstico, principalmente en las áreas rurales.

---

\* Fuente: UNEP y OEA. (1997).

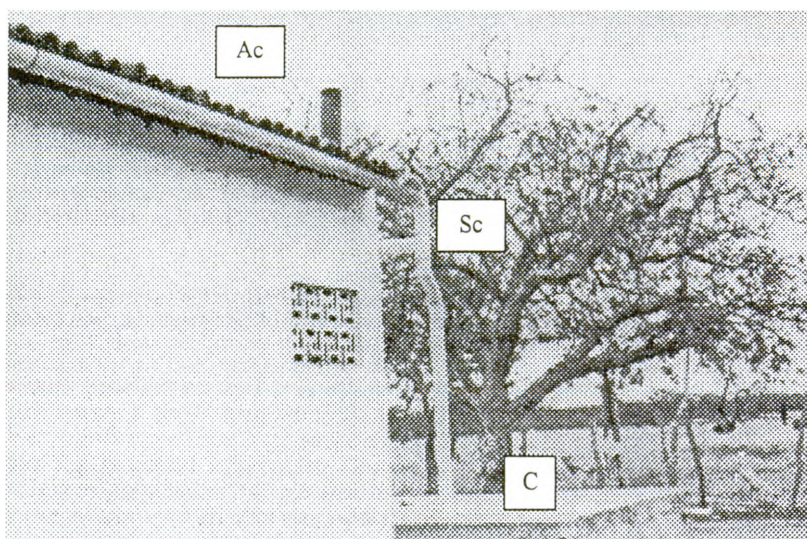
Los cuatro factores importantes para el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia en cisternas, son los siguientes: precipitación pluvial (cantidad, frecuencia y distribución), área de captación, capacidad de almacenamiento y demanda de agua. De estos factores solamente la precipitación pluvial queda fuera de control por parte del hombre.

Se considera la urgente necesidad que en las futuras construcciones de casas habitación se establezca desde el diseño, la necesidad de contar con un sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico.

Actualmente existen muchos casos en los cuales se establecen sistemas de captación de agua de lluvia de carácter comunal y llegan a abastecer a poblaciones de varios miles de personas. Las cisternas o almacenamientos varían en cuanto a materiales para su construcción, sus tamaños y formas. Las cisternas pueden estar bajo el nivel del suelo, semi enterradas o arriba de la superficie del suelo.

#### **4.2. Especificaciones**

Los sistemas de captación de agua de lluvia deben considerar una área de captación, un sistema de conducción, el cual puede ser a través de lámina galvanizada, una canaleta la cual capta y conduce el agua de lluvia a la cisterna ó a otros sistemas de almacenamiento, tales como tanques, bolsas de polivinilo y tinacos. Los techos o áreas de captación deben ser contruidos de materiales inertes tales como madera, aluminio o fibra de vidrio con el objeto de evitar la contaminación del agua. En la Figura 7 se muestran los elementos de un sistema convencional de captación de lluvia, el área de captación esta conformado por el techo de la casa (Ac), el sistema de conducción de la canaleta de lámina galvanizada que se encuentra colocada sobre el borde del techo (Sc) y la cisterna (C) que se encuentra conectada al área de captación a través de la canaleta.



**Figura 7. Sistema de captación de agua de lluvia. (EMBRAPA-CPATSA, 1984).**

Los materiales utilizados para la construcción de las cisternas o almacenamientos pueden ser de los materiales siguientes: concreto reforzado, fibra de vidrio, acero inoxidable, ferrocemento y polivinilo. Las cisternas o almacenamientos pueden construirse como parte de las casas de habitación o edificios y pueden estar junto ó a cierta distancia de ellos.

Como se muestra en la Figura 8, los almacenamientos de agua deben considerar los siguientes requerimientos:

- Una cubierta sólida y segura (Tapa).
- Un filtro de grava, arena y carbón (Filtro).
- Tubería conductora del agua (Tubo).
- Una llave de paso (Toma).
- Un sistema de extracción del agua que no la contamine (Toma).
- Un sistema para eliminar demasías (Rebalse).
- Un sistema para limpieza del área de captación y del área de almacenamiento (Desagüe).

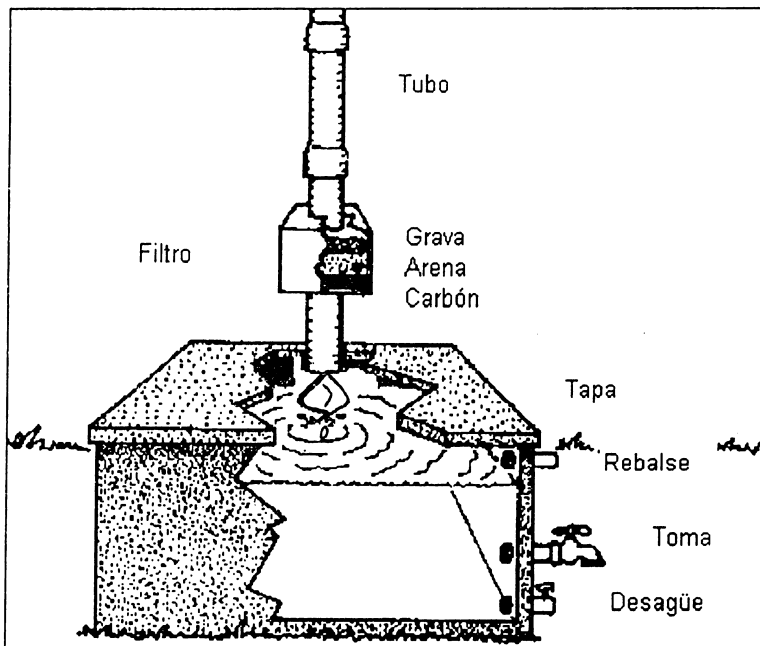


Figura 8. Componentes de una cisterna. (Radulovich y Karremans, 1993).

#### 4.3. Ventajas

- Los techos de las casas de habitación o de los edificios forman parte de ellas por lo que su costo no es significativo, en algunas ocasiones.
- Los techos permiten coleccionar agua y su abastecimiento en épocas de emergencia.
- La calidad del agua de lluvia llega a ser de mejor calidad que otras fuentes de agua.
- El agua de lluvia es una fuente de agua limpia, de bajo contenido de sales, de bajo costo y no contaminada.

#### 4.4. Desventajas

- El agua de lluvia no es controlable durante las épocas de sequía.
- El agua de lluvia puede llegar a contaminarse por los animales y por la materia orgánica.
- Las cisternas aumentan los costos de construcción y puede ser limitante para muchas familias de bajos recursos.

- El almacenamiento de agua en la cisterna puede inducir la presencia de mosquitos los cuales pueden producir algunas enfermedades en el hombre.
- En algunas ocasiones puede ser que el tamaño de la cisterna este limitado por el costo de construcción y que el agua disponible para el uso doméstico no sea suficiente para la familia.

#### **4.5. Costos**

Los costos estarán en función de los materiales de construcción de los techos, las canaletas, las tuberías y las cisternas. Los costos pueden variar de USD 2 a USD 5 por cada mm<sup>3</sup> de agua colectada; en Brasil, el costo de una cisterna de 30 m<sup>3</sup> varía de USD 900 a 1,000, dependiendo de los materiales utilizados. En Santa Lucía, el costo promedio de un tanque con capacidad de 1,500 l es de USD 125. Además, se tendrán algunos costos adicionales relativos a limpiezas periódicas, a tratamiento del agua y a reparación de fisuras en la cisterna.

#### **4.6. Eficiencia de la tecnología**

Los sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico son utilizados en muchos países de América Latina y el Caribe y representan una excelente fuente de agua en casos de emergencia. Sin embargo, debe considerarse una eficiencia de 70 a 90% en el diseño y construcción de las cisternas, esto es debido a que las lluvias escasas y de baja intensidad producen un bajo escurrimiento; en otras ocasiones, la alta energía cinética de las gotas de agua de lluvia hace que mucha agua rebote de los techos y caiga fuera del área de captación. También en la canaleta de conducción puede haber pérdidas considerables del agua por rebote, sobretodo cuando ocurre una lluvia de alta intensidad.

#### **4.7. Niveles de participación**

La participación de los gobiernos varía en los diferentes países de América Latina y el Caribe. Sin embargo, existen países donde el gobierno establece legislación y normatividad



para que la población considere la construcción de cisternas. Es importante contar con la participación entusiasta y organizada de la comunidad en los aspectos de planeación, implementación y mantenimiento de las cisternas. En muchas ocasiones el costo de las cisternas puede llegar al 30-40% del costo total de la construcción, por ello deberá considerarse la posibilidad de subsidios por parte de los gobiernos.

#### **4.8. Aceptación cultural**

Los sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico son ampliamente aceptados, como se mostrará en los estudios de caso que se citan a continuación en este manual. En diversas regiones del mundo, donde existe el problema de escasez de agua, se generan problemas de índole político, económico y social ocasionados por la insuficiencia del vital líquido, que requiere de la implementación de apoyos oficiales para construir sistemas de captación de agua de lluvia.

La sobrevivencia y las condiciones de vida de los pueblos se han visto sustancialmente superadas con la intervención del estado en la dotación de los recursos, capacitación y divulgación de los sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico.

## **CAPITULO V. ESTUDIOS DE CASO SOBRE LA UTILIZACION DE CISTERNAS**

### **5.1. México**

#### **Introducción**

El problema más dramático que sigue afrontando el habitante del medio rural de la zona árida-semiárida de México, es la carencia del agua para consumo humano y consumo animal. Más de la mitad del agua potable producida, se consume en menos de 100 ciudades grandes y medianas, el resto en las otras 156,502 localidades del país. En las ciudades de más de 50,000 habitantes, por lo general, las coberturas del servicio de agua potable son cercanas al 100% (Ortiz, 1998).

A continuación se mencionan las fuentes de agua actualmente en uso, más otras que han sido utilizadas: los estanques o presas de tierra, los aljibes, las ollas de agua, los papalotes o molinos de viento, las bombas reciprocantes de pistón (más bien conocidos como pumping-jacks o guimbaletes), los pozos ademados y equipados con bomba, el transporte de agua en camiones cisterna, los manantiales canalizados o entubados, las trampas de agua de lluvia, los techos cuenca, las plantas desaladoras y las plantas solares. De lo anteriormente mencionado, poco, realmente muy poco, ha podido adaptarse para mantener en forma sostenida el abastecimiento de agua para consumo humano de los habitantes del medio rural en los semidesiertos mexicanos (Velasco, 1995).

#### **5.1.1. Las fuentes de agua de consumo en el medio rural semidesértico de México\***

##### **5.1.1.1. Sistemas de captación de agua de lluvia**

A continuación se describen algunos de los sistemas de captación de agua de lluvia actualmente en uso en las zonas áridas y semiáridas de México.

---

\* Fuente: Velasco, (1995).

**a. Estanques o presas de tierra.** Sin duda, el estanque o presa de tierra, es el más primitivo de los sistemas recolectores de agua de lluvia, pero también el más común de todos los dispositivos utilizados para este propósito. Por lo menos un estanque se encuentra en cada núcleo de población ejidal de la zona árida-semiárida del país, en algunos casos puede haber más de 15.

Este tipo de recolección, ordinariamente no puede contener agua durante los 12 meses del año, en la mayor parte de los casos el campesino solamente puede disponer de agua de estanque durante 4 a 6 meses. Lo anterior no precisamente se debe a que no se llene, lo cual acontece 2 ó 3 veces al año, sino a las enormes pérdidas por infiltración y evaporación a que está sujeta el agua almacenada en estos recipientes y, también, a la gran reducción que sufren en su capacidad de almacenamiento debido a la acumulación de sedimentos, lo cual puede ser una capa de 25 a 30 cm de espesor por año de cada 35 ó 40 ha de área de escurrimiento.

El sitio para la construcción del bordo (única estructura de un estanque), generalmente es seleccionado por algún miembro de la autoridad ejidal, mientras que sus dimensiones siempre están en función de las horas de trabajo autorizadas para el operario de la máquina y no con base en las especificaciones de trabajo de campo elaboradas por algún ingeniero.

El ingeniero, generalmente un agrónomo, sólo se concreta a mostrar al operario el sitio escogido por los campesinos para la construcción del bordo y a abastecerlo del combustible para que no pare la máquina.

Sin duda, el conocimiento que los campesinos tienen del terreno es un factor importante, dado que conocen perfectamente bien los sitios del agostadero por donde bajan los escurrimientos, pero ¿Cuál es el volumen de éstos? y ¿En cuánto tiempo se registrarán?, son cosas que ellos no pueden decir, sino más bien el ingeniero tiene que medir. También la experiencia del operario de la máquina es valiosa, pero es recomendable que siga las

especificaciones del ingeniero para construir el bordo y la compactación en capas del citado bordo.

Es lamentable ver a menudo bordos con la apariencia de una pared, en cuya sección aguas arriba no existe la capacidad de almacenamiento correspondiente a las dimensiones del bordo construido. En otros lugares se observan bordos reventados, seguramente porque el volumen de agua fue superior del esperado, por falta de compactación del bordo, por la ausencia de un vertedor de demasías o por la combinación de las tres causas, siendo este último lo más usual.

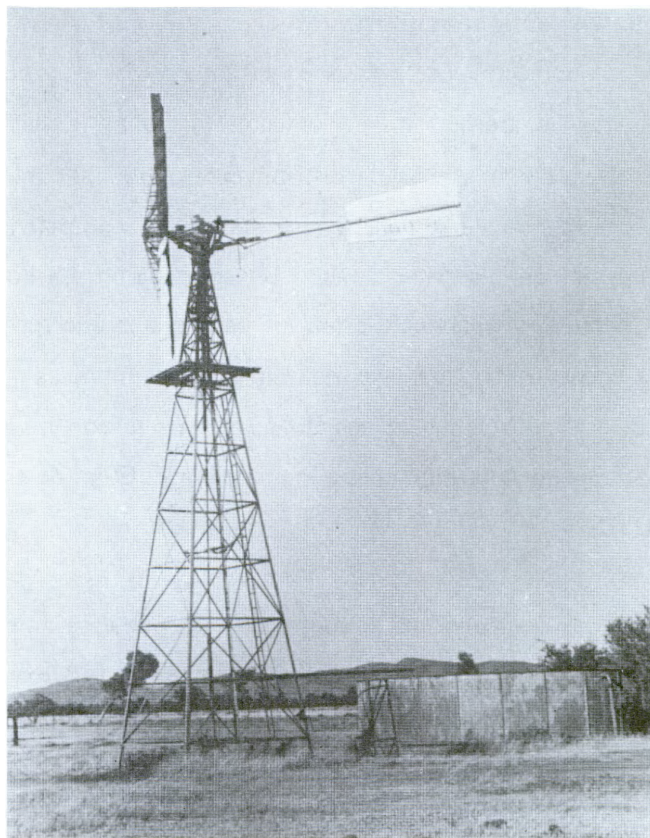
Finalmente, es importante mencionar que el agua concentrada en un estanque es de la más ínfima calidad como agua potable y representa la causa principal de mortalidad, sobre todo en los primeros años de vida de los niños que habitan los núcleos de población. En el estanque abreven toda clase de animales y, al hacerlo, defecan y se orinan en las aguas allí concentradas. Análisis bacteriológicos de agua de estanque reportan incontables colonias de microorganismos. (Figura 9).



**Figura 9. Captación de agua en estanques. (Foto: M. Anaya).**

**b. Papalotes o molinos de viento.** Son aparatos mecánicos accionados por el viento, algunos de fabricación nacional muy apropiados para nuestras regiones de escasa precipitación pluvial, se clasifican por números 15, 20, 25, 30, 35 y 40 cm. Estas medidas

se refieren a la carrera o magnitud de desplazamiento del pistón; en este tipo de aparatos, el diámetro de la rueda de aspas es proporcional a la carrera de desplazamiento del pistón y ésta, a su vez, a la profundidad de extracción del agua. Por ejemplo, para bombear agua a 25 m de profundidad, se utilizaría un papalote número 15, es decir aquel cuyo pistón tiene una carrera de 15 cm y una rueda de aspas de 180 cm de diámetro; mientras que para bombear agua a 100 m de profundidad se utilizaría un papalote número 35, es decir con 35 cm de desplazamiento de pistón y una rueda de aspas de 426.3 cm de diámetro. (Figura 10)



**Figura 10. Papalotes o molinos de viento. (Foto: M. Anaya).**

**c. Bombas reciprocantes de pistón ("pumping jacks o guimbaletes").** Son aparatos de fabricación nacional, utilizados para extraer agua del subsuelo hasta de una profundidad de 350 m. Pueden ser eléctricos o de combustión interna y su capacidad de extracción, ordinariamente fluctúa entre 0.5 y 1 l/s.

**d. Pozos ademados y equipados con bomba.** Generalmente pueden fluctuar desde aquellos que producen de 1 a 2 l/s, de mantos freáticos con profundidades de 30 a 40 m, para consumo humano y animal, con bombas de 15 a 20 caballos de fuerza, hasta los que producen 120 l/s, de profundidades de 150 m para riego agrícola, utilizando bombas de 350 caballos de fuerza.

**e. Transporte de agua en camiones cisterna.** El agua en el medio rural se transporta a innumerables núcleos de población enclavados en la zona árida-semiárida del país. El mayor volumen de agua lo transporta la Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA), a través de su "Plan Acuario", distribuyendo 1,300,000 m<sup>3</sup> de agua en 15 entidades federativas del país donde se benefician 1,200 núcleos de población ejidal. En segundo término, se cuenta con el servicio de agua transportada por La Forestal F.C.L. en la región Ixtlera de Coahuila, y finalmente están los particulares que recogen el agua de donde buenamente la encuentran y la transportan en viejas camionetas y camiones o en modestos vehículos de tracción animal y, cuando no se cuenta con ninguna de las dos cosas, se transportan sólo pequeños volúmenes a lomo de burro. El m<sup>3</sup> de agua transportada cuesta de USD 12 a USD 24.

**f. Manantiales canalizados o entubados.** Son ojos de agua que escasamente aparecen en los piamontes de lomas o cerros de las zonas áridas y semiáridas de México, hay casos en los que el agua que fluye del manantial se concentra en una pila y de allí se conduce por un pequeño canal o por tubería hasta algún sitio cercano al poblado.

**g. Trampas de agua de lluvia.** Son sistemas recolectores de agua pluvial, básicamente consistentes en una área de captación que conecta con una cisterna de almacenamiento. El agua almacenada en la cisterna se distribuye por gravedad, entubándola hasta el centro de los agostaderos, cuando se trata de consumo animal o hasta las cercanías de un núcleo de población cuando se va a utilizar para consumo humano. El área de escurrimiento y la cisterna de almacenamiento que se encuentra dentro de una superficie cercada, deben quedar totalmente impermeabilizadas. Además, la cisterna debe contar con un retardador de evaporación. (Figura 11).

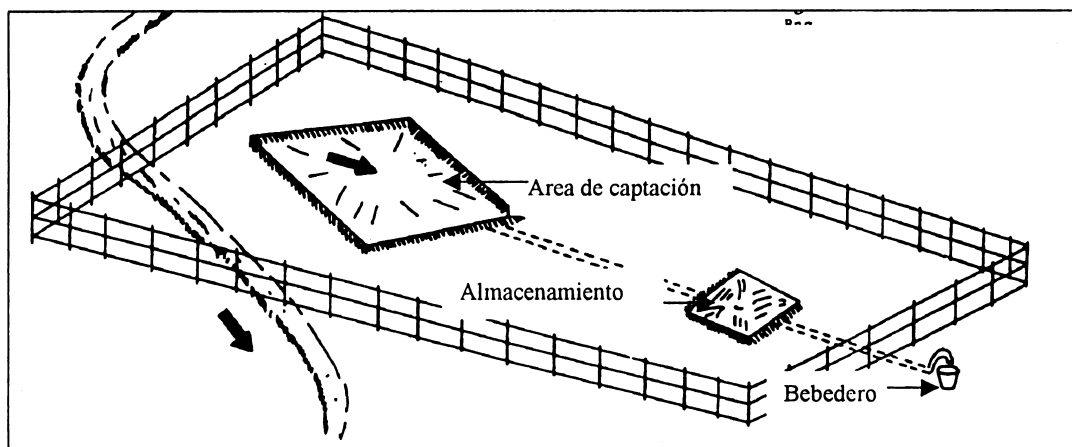
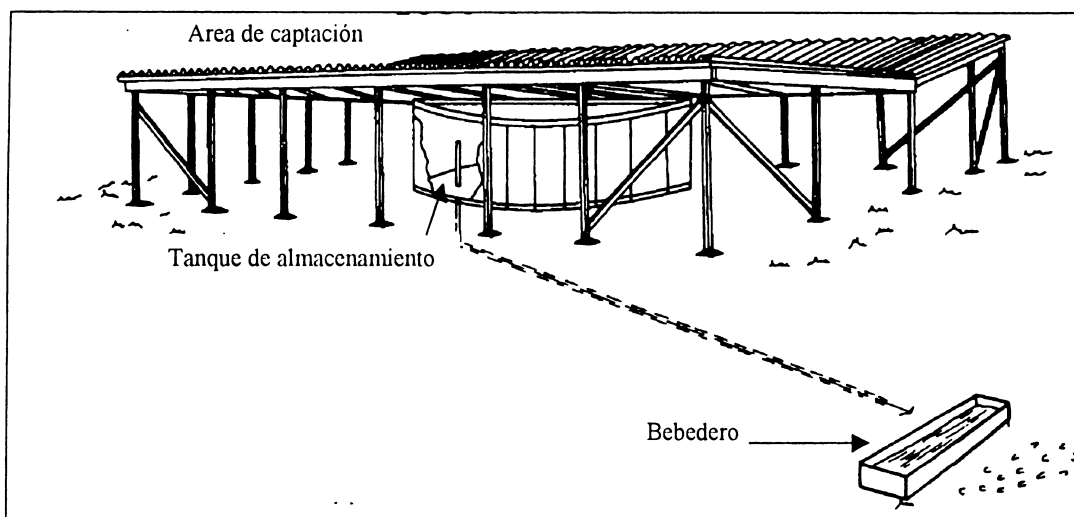


Figura 11. Trampas de agua. (Anaya, 1977).

**h. Techos cuenca.** Son estructuras diseñadas para recolección directa del agua de lluvia. Estos dispositivos constan básicamente de dos secciones: el techo, que funciona como un área de contribución y retardador de evaporación simultánea e inmediatamente abajo de éste, se encuentra el tanque o cisterna de almacenamiento. El techo está formado por dos superficies que convergen en un canal central, lo cual permite al agua de lluvia recibida por el techo caer por gravedad a la cisterna, a través de unas cajas de tamiz. Colocado sobre la pared externa del tanque, se ubica un piezómetro, el cual permite observar el volumen del agua almacenada. El sistema de conducción del agua consiste de una válvula de salida, continuada por una tubería para terminar en una llave para consumo humano. (Figura 12).



**Figura 12. Techos cuenca para abrevaderos. (Velasco, 1977).**

**i. Aljibes.** Son recolectores de aguas pluviales de escurrimiento que representan una versión más avanzada que la del estanque. El principio es el mismo, es decir, aguas de escurrimiento procedentes de los terrenos de agostadero almacenadas en un recipiente.

Prácticamente, la única diferencia entre estanque y aljibe es que en el segundo, la cisterna es una cavidad excavada a flor de tierra, de dimensiones regulares, revestida interiormente con piedra y cemento, características de construcción que en condiciones normales eliminan las pérdidas de agua por infiltración. Sin embargo, el agua almacenada sigue totalmente expuesta al proceso de evaporación y el recipiente, que básicamente constituye el aljibe, reduce drásticamente su capacidad de almacenamiento por la acumulación anual de sedimentos, como sucede en el caso del estanque (Figura 13).

El agua del aljibe podría considerarse de calidad menos mala que el agua de estanque, puesto que el aljibe generalmente lo mantienen cercado, no tanto para que no penetren los animales a abrevar sino por el temor de que al caerse a éste se ahoguen.

Finalmente, debe mencionarse que el aljibe es un sistema recolector de aguas pluviales menos común que el estanque, porque en la construcción de un aljibe va incluido su



recubrimiento interno con mampostería, renglón que representa la mayor inversión de este tipo de obra.



**Figura 13.** Aljibe. (Foto: M. Anaya).

**j. Ollas de agua.** Este tipo de recipientes cosechadores de agua de lluvia fue originado dentro del programa nacional para la construcción de hornos forrajeros. El programa, como muchos otros, nació y murió en poco tiempo; su tecnología era raquítica porque su tipo de impermeabilización era vulnerable y por tener como área de escurrimiento el campo abierto se concentraban grandes cantidades de sedimento, al igual que en los dos casos anteriores.

**k. Plantas desaladoras.** Probablemente estén operando en muchos otros lugares pero aquí únicamente se harán algunos comentarios de las pocas plantas que el autor de este trabajo tiene conocimiento.

Aparentemente estas plantas fueron instaladas por la Secretaría de Obras Públicas (SOP), a partir de 1972 y después de su establecimiento las han mandado otras dependencias; la Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA), a la que fueron asignadas las de Zacatecas.

Las plantas desaladoras instaladas en los ejidos Tanque de Hacheros y Majona, municipio de Mazapil, Zacatecas, fueron puestas en operación en 1983, y en ambos casos el agua de

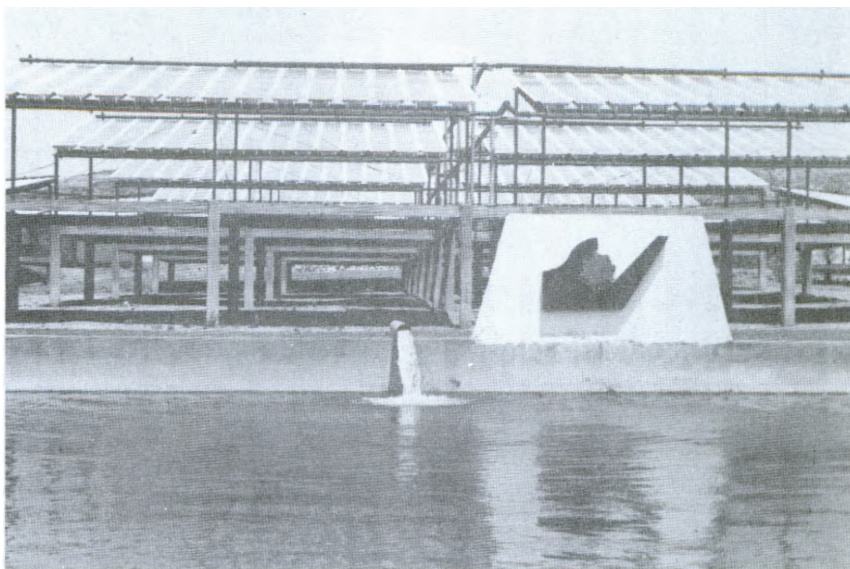
las perforaciones era muy salada y según los campesinos entrevistados en uno y otro lugar, el agua después de tratada por las plantas, era buena y de buen sabor.

En el estado de Coahuila existe una planta desaladora en el ejido Estanque de Palomas del municipio de Cuatro Ciénegas, la cual también tiene varios años de estar inactiva, sin embargo, en el mismo estado de Coahuila existen cinco plantas de este tipo trabajando satisfactoriamente.

Estas plantas se encuentran ubicadas en los ejidos 28 de Agosto, San Rafael de los Milagros, El Sol y 4 de Marzo, todos dentro del municipio de Cuatro Ciénegas, y una más en el ejido Villa Progreso del municipio del mismo nombre.

En el ejido 28 de Agosto, el reparto del agua se hace dos veces al día, de 7 a 10 de la mañana y de 4 a 7 de la tarde, acuden de 100 a 125 personas en dos turnos, a las que se entregan 30 l de agua diarios por familia.

**I. Plantas solares.** Durante el período de 1974 a 1977, se instalaron en México 16 plantas solares. La instalación de estas plantas fue hecha por técnicos franceses, dentro del programa "Tonatiuh", financiado por el Gobierno Federal, a través de la Secretaría de Salubridad y Asistencia. (Figura 14).



**Figura 14. Plantas solares del Programa "Tonatiuh". (Foto: M. Anaya).**

**m. Sistemas de compartimentos.** Este tipo de sistema fue originalmente ideado por el Dr. C. Brent Cluff, asesor de la FAO, quién durante su estancia en México en 1976, dirigió la construcción de un sistema de dos compartimentos en el ejido "Tanque de Menchaca" del municipio Fondo Candelillero y además se contó con la participación de especialistas en zonas áridas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

**Cuadro 15. Datos generales sobre las 16 plantas solares construidas en México de 1974 a 1977.**

Ciudad y estado	Año	Area del colector	Capacidad de extracción	Profundidades de extracción	Horas de operación	Agua	Usos Cubierta
Caborca, Son	1974	90	3	45	5 a 6	C. Humano	Escuela
Ceballos, Dgo.	1974	90	4	40	5 a 6	C. Humano	Dispensario
Cedral, S.L.P.	1975	80	4	20	5 a 6	Irrigación	Médico
Mexicali, B. C.	1975	80	7	20	5 a 6	C. Humano	Colectores
La Cruz, Chih.	1975	80	7	30	5 a 6	C. Humano	s/Suelo
Escarcega, Camp.	1975	70	4	25	5 a 6	C. Humano	Restaurant
San Luis de la Paz, Gto.	1975	1500	150	54	5 a 6	C. Humano	Escuela
Las Canas, Zac.	1976	90	4	30	5 a 6	C. Humano	Institución
Todos Santos, B.C.	1976	90	4	30	5 a 6	C. Animal	Científica
Tolosa, Zac	1976	90	4	30	5 a 6	C. Humano	Dispensario
David Gtz. Q.R.	1976	90	4	30	5 a 6	C. Humano	Escuela
Yanhuitián, Oax.	1976	90	4	22	5 a 6	Irrigación	Instituto
Ixtacuixtla, Tlax.	1976	90	4	30	5 a 6	C. Humano	Almacén
Jaumave, Tamps.	1976	90	4	13	5 a 6	C. Animal	Escuela
Nocan, Yuc.	1976	90	4	50	5 a 6	C. Humano	Colector sin suelo
Paso Guayabal	1977	90	4	35	5 a 6	C. Humano	

### 5.1.1.2. Resultados y discusión

Los habitantes del medio rural de la zona árida-semiárida de México siguen padeciendo el problema ancestral de la falta de agua para consumo humano.

Se han detectado 13 formas o sistemas que los habitantes de estas regiones han utilizado como fuentes de agua de consumo. Sin embargo, el estanque o presa de tierra, que es el más rudimentario y menos higiénico de todos, sigue siendo la fuente más usada y la más segura.

Los aljibes, por su recubrimiento interno de mampostería, ofrecen la garantía de no perder agua por infiltración, pero al igual que los estanques, están totalmente expuestos, con lo cual la concentración de impurezas alcanza niveles intolerables. Además, tanto en un caso como en otro, constantemente se está abatiendo la capacidad de almacenamiento por la acumulación de sedimentos. Las ollas de agua presentan todos los inconvenientes de los estanques y los aljibes.

Los papalotes y los quimbaletes son dispositivos sencillos y eficientes que se han establecido en muchas propiedades.

Los pozos equipados con bomba se utilizan para agricultura irrigada y, donde existen, el problema de agua de consumo queda plenamente satisfecho. Sin embargo, si el acuífero se seca, la agricultura desaparece y surge de inmediato la carencia del agua para consumo humano.

El transporte de agua cumple una función humanitaria en nuestro medio rural semidesértico pero nunca dejará de ser una medida de emergencia y no una solución definitiva.

Casi considerado como algo espectacular, todavía se pueden encontrar lugares dentro de la zona árida-semiárida del país donde existen manantiales, lo cual es algo enteramente fortuito por lo que nunca podrían considerarse como fuentes regulares de agua de consumo.

Las trampas de agua de lluvia y los techos cuenca, han sido útiles solamente durante un corto lapso después de terminadas, como otros tantos dispositivos llevados al campo. El campesino ha podido apreciar los beneficios de esta tecnología. Sin embargo, al iniciarse el lógico decaimiento de los materiales, o al sufrir los sistemas algunos deterioros o tener que corregirles algunas imperfecciones, los campesinos, que son quienes reciben el beneficio, ordinariamente nunca intervienen y las dependencias que los construyeron tampoco, lo cual trae como resultado la no utilización de la tecnología introducida.

En lo que se refiere a las plantas desaladoras o desalinizadoras y a las plantas solares, podría opinarse que son instalaciones muy útiles, que han servido eficientemente en tantas regiones áridas del mundo y que en México podrían ser igualmente útiles. Sin embargo, el mantenimiento de estos dispositivos es mucho más especializado y requieren de una continua supervisión.

La asesoría internacional para la realización de proyectos en el medio rural ejidal semidesértico de México, no ha tenido el éxito esperado. Tal es el caso de varios sistemas de compartimientos construidos en el ejido Tanque de Menchaca del municipio de Cuatro Ciénegas, Coah. y en una huerta de pistacho y vid, con bordos cuenca, que con una superficie de 20 ha se construyó en San Francisco del Barrial, del mismo municipio y estado.

#### **5.1.1.3. Conclusiones**

1. El estanque, el más rudimentario de los sistemas recolectores de aguas de escurrimiento, es la fuente más común pero menos higiénica en los núcleos de población ejidal del semidesierto mexicano.
2. Todos los dispositivos que reciben aguas broncas están totalmente expuestos al proceso de evaporación y a la acumulación de sedimentos, lo que produce una alta

concentración de impurezas y un abatimiento en la capacidad de almacenamiento, respectivamente.

3. Los dispositivos mecánicos como papalotes y quimbaletes son inoperantes en nuestro medio rural ejidal por la negligencia de los usuarios.
4. El transporte de agua en camiones cisterna puede considerarse como una medida de emergencia pero no como una solución definitiva.
5. Los pozos equipados con bomba en predios ejidales trabajan ineficientemente por falta de mantenimiento del equipo, mientras que en las propiedades rurales particulares, solucionan el problema de agua potable. De seguirse propagando en forma irrestricta, muchos acuíferos serán irreversiblemente agotados.
6. Los manantiales son fuentes de agua totalmente fortuitas que han venido desapareciendo con el avance de la desertificación.
7. Las trampas de agua de lluvia y los techos cuenca pueden ser la respuesta como fuentes de agua de consumo si su construcción se acompaña de un eficiente programa de mantenimiento.
8. Todo lo concerniente con implantación de nuevas tecnologías, tales como sistemas de desalinización, empleo de energía solar y cisternas de optimización de escurrimientos, deberán hacerse en centros de investigación, donde se lleven a cabo demostraciones y cursos de adiestramiento con respecto a su funcionamiento, manejo y mantenimiento, para luego lanzar programas masivos al medio rural campesino.

## **5.1.2. Alternativas para la captación de agua de lluvia para consumo humano en el estado de Oaxaca\***

### **5.1.2.1. Introducción**

Ante el problema del deterioro de los recursos naturales, que se presenta en el Estado de Oaxaca, en especial el agua, el suelo y la vegetación, la Gerencia Estatal de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en coordinación con dependencias del gobierno estatal e instituciones federales. A partir de 1996 iniciaron un proyecto de manejo integral de microcuencas en donde se han considerado como componentes estratégicos la construcción de diversas obras de captación de agua de lluvia, para resolver el problema de abastecimiento para riego agrícola y consumo humano, iniciándose el proyecto en la comunidad de San Bartolomé Quialana del Distrito de Tlacolula, ubicada en la subcuenca del Río Atoyac. En 1997 se adicionaron bajo este esquema dos comunidades más (San Bernardo Mixtepec y Santo Tomás Mazaltepec) aprovechando el financiamiento, que proporcionó el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el proyecto denominado "Participación Comunitaria en el Manejo y Conservación de los Recursos Naturales en la Cuenca del Río Atoyac, Oaxaca". Colaboran también en este proyecto: el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional (IPN), el Instituto Estatal de Ecología, la Unidad de Capacitación para el Desarrollo Rural de la Secretaría de Educación Pública (SEP) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

En 1997, en coordinación con el Instituto para el Desarrollo Integral para la Familia (DIF) se puso en marcha el Programa Piloto de abastecimiento de agua potable a comunidades rurales, por medio de la captación de agua en los techos de las viviendas y almacenamientos en cisternas. El abastecimiento de agua a comunidades presenta la problemática que éstas están dispersas, carecen de fuentes de abastecimiento cercanos, es demasiado costoso los sistemas de abastecimiento o bien presentan problemas sociales para aprovechar en forma comunal una fuente de abastecimiento.

---

\* Fuente: Ríos (1997).



Los proyectos mencionados promueven a los habitantes de las comunidades para que participen activamente en la identificación y evaluación en campo de alternativas técnicas para el manejo integral de los recursos naturales, aportando su mano de obra, materiales de la región y adaptándolas a las condiciones locales con el apoyo técnico de las dependencias estatales e instituciones federales y centros de educación superior e investigación, teniendo en cuenta las decisiones de consenso comunitario.

Para lo anterior se ha utilizado una estrategia participativa en las comunidades elegidas, se identifican además las características sociales de los usuarios del agua, mediante técnicas de investigación social que posibilitan evaluar la factibilidad de los proyectos de captación de agua de lluvia y garantizan su plena utilización, asegurando una mejor participación y evitando conflictos por el uso del agua en algunas otras fuentes de abastecimiento.

Dentro de la cuenca del Río Atoyac, en San Bartolomé Quialana se ha avanzado en trabajos de construcción de bordos de almacenamiento de agua, muros de contención y represas de gaviones, a partir de los cuales se establecen proyectos productivos para diversificar el tipo de cultivos tradicionales y mejorar el ingreso de los productores. Otras dos comunidades realizan los diagnósticos participativos y han establecido ensayos sobre abonos verdes y terrazas de muro vivo para disminuir erosión en suelos agrícolas y al mismo tiempo incrementar su fertilidad.

Además, se desarrollan cuatro prototipos para captación de agua de lluvia en techumbres para consumo humano en nueve localidades de los municipios de Coatecas Altas, Santa Inés del Monte, Santiago Tilantongo, Santa María Peñoles. Santa María Apazco y San Juan Nuxaa. Se tiene programado construir 197 sistemas mediante la dotación de lámina galvanizada, canaleta y tubos recolectores de lluvia, así como apoyar la construcción de cisternas almacenadoras.

El proyecto pretende beneficiar a 1,182 habitantes con un costo total de \$1,400,000.00 (USD 175,000.00).

### 5.1.2.1.1: Problemática

El Estado de Oaxaca cuenta con una superficie total cercana a 9.3 millones de hectáreas, se estima que el 11.4% se destina a la agricultura, el 38.9% es de uso forestal y el 49.7% a las actividades pecuarias, a través de las áreas de pastizales y agostaderos. Respecto a la cubierta vegetal, el 40.3% cuenta con bosques u otro tipo de vegetación, el 31% tiene otros usos del suelo y el 28.6% se trata de zonas forestales perturbadas. La erosión del suelo está presente en el 57.2% de la superficie total estatal, es decir, en más de 5.3 millones de hectáreas. De la tierra erosionada, el 26.5% se considera leve, el 35.4% es severa y el 38.1% muestra niveles de erosión muy severa.

Se presenta una dispersión poblacional de cerca de 9,681 localidades rurales y lo abrupto de su territorio dificulta el abastecimiento de agua por medios convencionales, por carecer en muchos de los casos de fuentes de abastecimiento cercanas a los núcleos de población, situación que hace necesaria la búsqueda de alternativas de captación de agua de lluvia que garanticen, al menos, el volumen de agua para satisfacer las necesidades básicas para consumo humano.

Con base en lo anterior, se decidió iniciar un programa de rescate de microcuencas dentro de la cuenca del Río Atoyac-Verde, la cual abarca una superficie total de 20,097 kilómetros cuadrados, representando el 30.3% de la superficie estatal.

El aumento en la densidad demográfica en la región agudizó el uso intensivo del suelo y de los mantos freáticos, aunado al efecto de la presión sobre los recursos naturales que empieza desde la deforestación de las laderas de las zonas montañosas para obtener madera para construcciones rurales y leña para uso doméstico, hasta los aprovechamientos forestales contemporáneos, lo cual propició una escasez de residuos orgánicos que pudieran incorporarse al suelo y una evaporación acelerada de la humedad proveniente de las lluvias, lo que acelera la erosión hídrica, disminuye la capa fértil del suelo y la capacidad para la regeneración natural de la vegetación.

El pastoreo de hatos mixtos en los agostaderos desmontados con un manejo comunal del recurso, también contribuye en la reducción de la vegetación ya perturbada. Esta problemática incide directamente en una disminución creciente de la productividad agrícola tanto en la planicie como en las partes altas de las cuencas y en el valle, adicionándosele que la Ciudad de Oaxaca se ha convertido en un polo de atracción para la migración regional. (Figura 15).



**Figura 15. Sobrepastoreo de hatos mixtos. (Foto: M. Anaya).**

#### **5.1.2.1.2. Objetivos**

- 1. Conocer las limitantes y potencialidades para recuperar y conservar en el corto, mediano y largo plazo, los recursos naturales entre los que destaca el agua a nivel de microcuencas, como unidad de atención interinstitucional, teniendo como eje de las decisiones al municipio.**
- 2. Generar un proceso de participación comunitaria y de autogestión para buscar alternativas viables que permitan conservar sus recursos naturales y mejorar su medio ambiente en las zonas urbanas.**

3. Evaluar en condiciones de campo y capacitar a los pobladores, acerca de las alternativas técnicas de solución más apropiadas para hacer un uso racional de los recursos naturales.

#### **5.1.2.1.3. Metas del proyecto**

- Concluir en el primer semestre de 1997 el diagnóstico rural participativo y la identificación y priorización de las alternativas en cada comunidad elegida en la propuesta de manejo integral.
- Al finalizar el segundo semestre de 1998, contar con tecnologías adaptadas a las condiciones locales y manejadas por los propios campesinos y que impacten, en al menos, el 50% de las 1,160 unidades de producción localizadas en las microcuencas, con actividades agropecuarias y forestales en 927 ha.
- Durante la ejecución de los trabajos de campo, capacitar por lo menos a 120 productores por comunidad en distintos aspectos relacionados con el manejo y conservación de los recursos naturales que fomenten una cultura ecológica.
- Consolidar un modelo de manejo integral de los recursos naturales a nivel de microcuencas que sirva como área demostrativa para orientar a nivel regional la conservación y uso racional de los recursos naturales disponibles.
- Proveer de sistemas de abastecimiento de agua potable a 1,182 habitantes, mediante el apoyo para captación de agua de lluvia en techumbres.

#### **5.1.2.2. Metodología**

##### **5.1.2.2.1. Area de estudio**

#### **Programa de manejo integral de microcuencas:**

Las comunidades piloto elegidas son San Pablo Huitzo (Etna), San Bartolomé Quialana (Tlacolula) y Magdalena Mixtepec (Zimatlán). Estas tres comunidades cuentan en total con una población de 7,907 habitantes que ocupan una superficie de 12,500 ha, de las cuales

solamente el 15% son tierras de labor. Sin embargo, de la PEA ocupada (1,612 personas) el 68% trabajan en el sector primario, por lo que será prioritario el tratamiento de los problemas productivos en el manejo de los recursos. Se consideran representativas de la región por presentar problemas notables de deterioro de sus recursos, predominancia de tierras de lomerío y de montaña y una presencia fuerte de las actividades agropecuarias y forestales como sustento económico de sus familias.

### **Programa piloto de abastecimiento de agua potable a comunidades rurales por medio de la captación de agua de lluvia en los techos de las viviendas y almacenamientos en cisternas**

Se desarrolla en los Municipios de Santa María Apazco, Santiago Tilantongo, Santo Domingo Nuxaa localizados en la Región Mixteca, Distrito de Nochixtlán; en la Región de los Valles Centrales: Santa María Peñoles Distrito de Etna; Santa Inés del Monte Distrito de Zaachila y el Municipio de Coatecas Altas, Distrito de Ejutla. Para alcanzar los objetivos y metas planteados se consideran cuatro etapas principales de trabajo en el manejo integral de microcuencas: **I)** Diagnóstico rural participativo; **II)** Ejecución en campo; **III)** Capacitación y divulgación, y; **IV)** Evaluación de resultados.

### **Manejo integral de microcuencas**

#### **Diagnóstico rural participativo**

- a. Se iniciará con un reconocimiento regional del problema del deterioro a partir de recorridos y consulta de material cartográfico. Se han seleccionado San Bartolomé Quialana para el área del Río Salado, San Pablo Hitzo para la porción norte del Río Atoyac y Magdalena Mixtepec para la zona de Zaachila-Zimatlán. En éstas comunidades ya se tienen contactos previos de trabajo por parte de los investigadores participantes.
- b. Diseño del diagnóstico rural participativo por comunidad. Con la autorización y apoyo de las autoridades locales, se formarán grupos de trabajo comunitario que

incluya toda la diversidad de actores posibles: por sexo (hombres y mujeres), por la distribución de sus parcelas (zonas agroecológicas), o por sus actividades económicas, etc. Se les instruirá acerca de la metodología del diagnóstico rural participativo y su importancia para la planeación.

- c. Sondeo de los sistemas de producción. Mediante transectos, entrevistas individuales y grupales, consulta de la cartografía, entre otras técnicas, se obtendrán datos espaciales, temporales, sociales y técnicos relacionados con el manejo de los recursos naturales a nivel comunidad. Se hará énfasis en los ecosistemas naturales presentes, los sistemas de producción, las relaciones sociales internas, y el contexto institucional con el que se relacionan. Se identificarán problemas relacionados con el saneamiento ambiental en la zona urbana y las posibles soluciones en el corto y mediano plazo.
- d. Identificación de problemas y oportunidades. A través de técnicas grupales e individuales, cuya eficacia ha sido probada, se identificarán y jerarquizarán las aspiraciones y demandas de los productores, se hará la validación ante los grupos y la sistematización de las demandas finales.
- e. Finalmente, se definirá un plan rector comunitario para el manejo y conservación de los recursos naturales, el cual incluye la formación de grupos de trabajo y comisiones, formación de una base de datos, un inventario estratégico de los recursos. Mediante el uso de un sistema de información geográfica se determinará el mejor uso de los recursos naturales con que cuenta la comunidad para definir políticas comunitarias de manejo y proyectos específicos a desarrollar en el corto plazo, procurando que sean de carácter productivo y que contribuyan a generar excedentes económicos.

### 5.1.2.2.2. Ejecución en campo

- a. Preparación del equipo técnico comunitario. Se efectúa mediante talleres en donde se definen las acciones, los calendarios de trabajo, los requerimientos de mano de obra y materiales para apoyar los trabajos de campo.
- b. Selección de sitios de trabajo. Los sitios o parcelas son elegidas con todo cuidado para cubrir las zonas ecológicas más importantes en el territorio de la comunidad y que garanticen la obtención de datos que sean pertinentes al problema que se trata de resolver a nivel de cuenca. En estos sitios se harán seguimientos por lo menos durante un año y medio, por lo que se pondrá especial cuidado en el tipo de productor participante y el grado de compromiso que se requiere.
- c. Establecimiento de los trabajos de campo. Se evaluarán en campo tecnologías existentes de conservación, obras físicas de conservación, reforestación, almacenamiento de agua, etc. según las demandas y prioridades detectadas.

Para el caso de la cuenca del área que nos ocupa los ensayos agrícolas se establecieron con apoyo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) a partir del ciclo Primavera-Verano de 1997 (tres por comunidad) según las fechas que manejan los agricultores, usando materiales y genotipos locales y únicamente se variarán los tratamientos que incluyan prácticas de conservación de suelos, tales como: leguminosas de cobertura (frijol terciopelo, canavalia, dolichus, chepil, etc.), cultivos en callejones en donde se podrían usar como fuente de mantillo a *Leucaena*, *Gliricidia*, *Erythrina*, etc.), y se evaluará el pasto Vetiver como alternativa para retener suelos de ladera asociados con cultivos anuales.

En los ensayos se cuenta con la aportación de la mano de obra de los agricultores cooperantes y medios disponibles como materiales de la región, yuntas, herramientas, entre otros. Para el establecimiento y conducción de los trabajos, el proyecto solamente aporta

insumos como semillas, agroquímicos y materiales de medición, análisis de suelos, asistencias de rendimientos y realización de eventos demostrativos.

#### **5.1.2.2.3. Capacitación y divulgación**

- a. Con la formación de grupos de productores participantes en los trabajos descritos, se cuenta con un mecanismo apropiado para difundir hacia otros campesinos de la región los resultados que se obtengan en el proyecto.
- b. El intercambio de experiencias entre los grupos de productores de las comunidades participantes, o de proyectos similares en otras entidades del país, también es un medio que servirá para divulgar las experiencias y revalorar los errores y aciertos.
- c. Con los trabajos de campo establecidos, se harán recorridos y demostraciones con productores y técnicos de la región. Estos mismos sitios servirán para realizar cursos cortos de capacitación en distintos aspectos relacionados con la conservación de recursos naturales, los cuales serán la base de conocimientos y reflexiones, mismos que deben influir en un mayor arraigo del proyecto entre los campesinos. Se pretende organizar talleres de educación ambiental para promover una conciencia ecológica, que resulte en acciones específicas de saneamiento ambiental, adopción de tecnologías para la conservación del agua y mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad.
- d. Con los resultados y experiencias obtenidas, se espera producir información escrita y material audiovisual que podrá ser divulgado entre los productores y comunidades participantes.

#### **5.1.2.2.4. Evaluación**

La evaluación de los resultados servirá para determinar en qué medida se están consiguiendo los objetivos y metas planeadas, por lo tanto deberá cubrir el período en que



se ejecute el proyecto. Para ello se harán evaluaciones de seguimiento durante los ciclos de cultivo y de las actividades colaterales, así como una evaluación final al término del proyecto, incluyendo los resultados técnicos, económicos y aspectos organizativos y de coordinación de los grupos participantes. Se tomará como base la información de los libros de campo, los recorridos técnicos, los eventos demostrativos y entrevistas específicas.

#### **5.1.2.2.5. Características de los sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano**

El abastecimiento de agua potable requiere de una planeación en la que se desarrollen diseños tipo, soluciones de menor costo, utilización de los recursos disponibles y tecnologías apropiadas.

Por las características socioeconómicas y las condiciones ambientales de los sitios donde se ubican las comunidades seleccionadas, se diseñaron tres prototipos para captación de lluvia en techumbres. Sus componentes son: una área de captación (techumbre), una conducción vertical de tubo PVC; un almacenamiento que incluye su llave de salida. Las características de los componentes descritos son las siguientes:

- a. **Area de captación (techumbre):** Se identificaron como materiales idóneos para la techumbre los existentes en la región, tales como teja o madera y lámina galvanizada acanalada calibre 26 de 3.05 x .082 m. Se excluyeron las techumbres de paja y lámina de asbesto, la primera debido a que contamina el agua en su descomposición y la segunda por el desprendimiento de fibras a altas concentraciones puede afectar la salud. La superficie del área de captación es importante puesto que de ella dependerá el volumen de agua a captar, conducir y almacenar, considerándose idónea una superficie mínima de 36 m<sup>2</sup>.
- b. **Conducción lateral perimetral:** Consiste en una canaleta de lámina galvanizada calibre 26 de 0.10 m las longitudes son variables y depende del área de captación,

- c. **Conducción vertical de PVC:** Consiste en tubería hidráulica de PVC de 2 pulgadas de diámetro RD 41 que se une a una trampa de sedimentos, que consiste en una caja de muros de tabique de 1.20 x 1.0 x 60 m de altura, el cual contiene vertedores y filtros agregados pétreos como grava y arena. La caja tiene una válvula de desfogue para su limpieza y mantenimiento, así como una tapa de concreto.
  
- d. **Distribución:** Consiste en tubería con un diámetro de 2.5m y llave de campo.

**Cuadro 16. Presupuesto de materiales que intervienen para la opción 1 de adquisición. (1 USD = \$ 7.80 ).**

N°	Material	Unidad	Cantidad	Unitario (\$)	Total (\$)
----	----------	--------	----------	------------------	---------------

**Techumbre**

1	Lamina galvanizada acanalada calibre 26 3.05x0.82	Pza.	16.48	13.99	2,006
2	Canaleta galvanizada cal. 26 ancho 0.10 m.	Ml	8.03	16.66	28
3	Elementos de sujecion-pilas para lamina galvanizada	Pza	98.88	0.48	300.30
4	174x1" elementos de sujecion para canaleta-soportes	Pza.	10.30	8.00	47.46
5	Cubierta de parteaguas hecho a base de lámina galvanizada. Acanalada	Pza.	2.06	121.7	82.40
					250.78

**Conducción**

1	Tubería hidráulica P.V.C. 2.0" diám RD 41	Ml	6.59	10.05	66.25
2	Pzas. Especiales P.V.C., codos, adaptador campana, tee	Pza	6.00	5.50	33.00

**Almacenamiento**

1	Malla electrosoldada 6.0x6.0 cm.	m <sup>2</sup>	28.84	7.56	218.03
2	Cemento	Kg	412.00	1.05	432.60
3	Arena	m <sup>3</sup>	0.88	45.00	39.60
4	Calhidra	Kg	0.36	0.34	0.12
5	Grava graduada de 1/4 a 1/2" tipo granzon	m <sup>3</sup>	0.42	45.00	18.95
6	Impermeabilizante propio para cisternas inmerso en mezcla	Kg	10.00	5.00	50.00

**Sistema de protección contra sedimentos**

1	Rejilla de 0.5x0.5 cm cuadro galvanizado en inicio	Pza.	1	3.23	3.32
2	de Tubería				

2.1	Trampa de sedimentos a la llegada de cisterna	Pza.	125.00	0.50	62.50
2.2	Tabique rojo recocido 14x7x25	Kg	206.00	1.05	216.3
2.3	Cemento	m <sup>3</sup>	0.43	45.00	0
2.4	Arena	m <sup>3</sup>	0.89	45.00	19.35
3	Grava	m <sup>3</sup>	1.00	104.3	40.05
	Válvula de desfoque vástago fijo de 2.0" de diám	Pza.			104.3

#### Extracción de agua-hidratante

1	Tubería de 1/2" de diám.	MI	2.50	21.00	52.50
2	Llave de nariz de cobre	Pza	1.00	18.45	18.45

Total con propuesta de trampa de sedimentos: \$ 3,887.20 (USD 446.8)

Total con propuesta de instalación de válvula desfogue : \$ 3,693.44 (USD 424.533)

#### Techumbre

1	Lamina galvanizada acanalada calibre 26 3.05x0.82 m.	Pza.	16.48	121.74	2,006.2
2	Canaleta galvanizada cal. 26 ancho 0.10 m.	MI.	18.03	16.66	300.30
3	Elementos de sujecion-pijas para lamina galvanizada 1/4x1"	Pza.	98-88	0.48	47.46
4	Elementos de sujecion para canaleta-soportes l	Pza.	10-30	8.00	82.40
5	Cubierta de parteaguas hecho a base de lamina galvanizada acanalada	Pza.	2-06	121.74	250.78

#### Conducción

1	Tubería hidráulica P.V.C. 2.0" diam. rd 41	MI	6.59	10.05	66.25
2	Pzas. Especiales P.V.C. codos. Adaptador campana, tee	Pza.	6.00	5.50	33.00

### Almacenamiento

1	Tabique rojo recocido 14x7x25	Pza.	840.00	0.50	420.00
2	Cemento	Kg	725.00	1.05	761.25
3	Arena	m <sup>3</sup>	1.75	45.00	78.75
4	Grava	m <sup>3</sup>	2.12	45.00	95.40
5	Impermeabilizante propio para cisternas inmerso en mezcla	Kg	17.00	5.00	85.00

### Sistema de protección contra sedimentos.

1	Rejilla de 0.5x0.5 cm cuadro galvanizado en inicio de tubería.	Pza.	1.00	3.23	3.23
2	Trampa de sedimentos a la llegada de cisterna.	Pza.	125.00	0.50	62.50
1	Tabique rojo recocido 14x7x25.	Kg	206.00	1.05	216.3
2.	Cemento.	m <sup>3</sup>	0.43	45.0	19.3
2	Arena.	m <sup>3</sup>	0.89	45.0	40.05
2	Grava.	m <sup>3</sup>		104	104.34
3	Válvula de desfoque vástago fijo de 2.0" de diam.	Pza.		34	

### Extracción de agua-hidrante

1	Tubería de 1/2" de diam.	MI	2.50	21.00	52.50
2	Llave de nariz de cobre	Pza.	1.00	18.45	18.45

### Techumbre

1	Lamina galvanizada acanalada calibre 26 3.05x0.82 m.	Pza.	16.48	121.74	2,006
2	Canaleta galvanizada cal. 26 ancho 0.10 m.	MI.	18.03	16.6	300.3
3	Elementos de sujecion-pijas para lamina galvanizada 1/4x1"	Pza.	98.88		47.46
4	Elementos de sujecion para canaleta-soportes l	Pza.	10.30	0.48	82.40

5	Cubierta de parteaguas hecho a base de lamina galvanizada acanalada.	Pza.	2.06	8.00	250.7
---	--	------	------	------	-------

### Conducción

1	Tubería hidráulica P.V.C. 2.0" diam. Rd 41	Ml	6.50	10.0	66.2
2	Pzas. Especiales P.V.C., Codos, adaptador campana, tee	Pza.	6.00	5.50	33.0

### Almacenamiento

1	Tinaco cisterna de polietileno de alta densidad cap. 15,000 l.	Pza.	1.00	7031	7031
---	--	------	------	------	------

### Sistema de protección contra sedimentos

1	Rejilla de 0.5x0.5 cm cuadro galvanizado en inicio de Tubería	Pza.	1.00	3.23	3.23
2	Trampa de sedimentos a la llegada de cisterna	Pza.	125.00	0.50	62.5
2	Tabique rojo recocido 14x7x25	Kg.	206.00	1.05	216
1	Cemento	m <sup>3</sup>	0.43	45.00	19.3
2	Arena	m <sup>3</sup>	0.89	45.00	40.0
2	Grava	m <sup>3</sup>	1.00	104.34	104.
3	Válvula de desfogue vástago fijo de 2.0" de diam.	Pza.			34

### Extracción de agua-hidrante

1	Tubería de 1/2" de diámetro.	Ml	2.50	21.0	52.5
2	Llave de nariz de cobre	Pza.	1.00	18.4	18.4

**Catálogo de conceptos para captación de agua de lluvia cisterna de polietileno  
(opción 1)**

	Concepto	Unidad	Cantidad	Prec. Unitario	Importe
1	Excavación Excavación de 2.7 de ancho para tanque de polietileno de 15 m <sup>3</sup> con diámetro. de 2.4 m.en terreno tipo a; para suelo plástico, prof. de.3.0 m, considerando un talud de 3 <sup>0</sup> en terreno tipo b; para suelo estable, prof. de 1.5 m.en terreno tipo c; en roca, prof. De 0.5 m.	m <sup>3</sup>	14.8		
		m <sup>3</sup>	7.25		
		m <sup>3</sup>	2.4		
2	Excavación de 2.5 de ancho para tanque de polietileno de 10 m <sup>3</sup> con diámetro. de 2.2 m.en terreno tipo a; para suelo plástico, profundidad de 3.0 m.considerando un talud de 3 <sup>0</sup> en terreno tipo b; par suelo estable, prof. de 1.5 m en terreno tipo c; en roca, prof. de 0.5 m.	m <sup>3</sup>	11.3		
		m <sup>3</sup>	5.05		
		m <sup>3</sup>	1.83		
3	Suministro y colocación de tanque de polietileno prefabricado.	Lote	1		
4	Suministro y colocación de tubería y accesorios de P.V.C. Tramo de tubería de 2" de diámetro. Rd 26 Reducción de 4" a 2" de diámetro. Tee de 2" de diámetro. X 90 <sup>0</sup> Codo de 2" de diámetro. X 90 <sup>0</sup> Válvula para desfogue de 2" de diámetro.	Lote	1		
		Pza.	2		
		Pza	1		
		Pza	8		
		Pza	1		
		Pza	2		
5	Suministro y colocación de soporte de madera para tubería	Pza	2		

6	Suministro y colocación de rejilla o mampara de alambre De 15x15 cm.	Lote	1		
7	Techumbre Maniobras de sustitucion de techumbre Suministro y colocacion de techumbre galvanizada	Lote	1		
8	Canaletas Suministro y colocación de canaleta galvanizada de 10x10 cm incluye mensuales y remaches.	Lote	1		

Nota.- La cisterna de polietileno tiene las siguientes ventajas: se puede enterrar o dejar en la superficie, son fabricadas de una sola pieza, son impermeables, resistentes, mantienen el agua limpia y no generan olor ni sabor, son flexibles, en asentamientos diferenciales no se producen grietas ni fisuras.

#### **Cisterna de polietileno con trampa (opción 2)**

3	Suministro y colocación de tubería y accesorios de P.V.C. Tramo de tubería de 2" de diámetro. Reducción de 4" a 2" de diámetro Tee de 2" de diámetro. X 90 <sup>0</sup> Codo de 2" de diámetro. X 90 <sup>0</sup> Válvula para desfogue de 2" de diámetro	Lote	1		
		Pza.	2		
		Pza.	1		
		Pza.	2		
		Pza.	1		
8	Trampa de concreto armado con mampara y volumen de 0.43 m <sup>3</sup>	Lote	1		



### Cisterna de ferrocemento (opción 3)

A	Excavación				
	Excavación de 2.30 de ancho para cisterna de ferrocemento cilíndrica de 2 m. de diámetro y capacidad de 10 m <sup>3</sup> en terreno tipo a.	m <sup>3</sup>	10.4		
	Para suelo plástico, profundidad de 2.9 m considerando un talud de 3 <sup>0</sup> en terreno tipo b; para suelo estable, prof. de 1.7 m	m <sup>3</sup>	5.95		
	En terreno tipo c; para suelo rocoso, prof. de 0.7 m.	m <sup>3</sup>	2.45		
B	Fabricación de mortero cemento-calhidra e=.07 m.	m <sup>3</sup>	1.96		
C	Malla electrosoldada	m <sup>2</sup>	28		
D	Impermeabilizante				
	En interior del tanque	m <sup>3</sup>	28		
	En exterior para terreno tipo b	m <sup>3</sup>	16		
	En exterior para terreno tipo c	m <sup>3</sup>	8		
E	Cimbra de madera	m <sup>2</sup>	56		

Nota: Para la construcción de una cisterna de ferrocemento cilíndrica se necesitaría mano de obra especializada; además, los materiales deberán ser de muy buena calidad, para que el sistema funcione en condiciones físicas normales y lograr una buena vida útil.

## 5.2. Brasil\*

### 5.2.1. Introducción

En la región semiárida brasileña más de 15,000,000 de personas están afectadas por falta de agua, esto se presenta en las prolongadas temporadas de sequía. En el medio rural se comparte la misma fuente de agua para consumo animal y para consumo doméstico lo cual agrava el problema de escasez debido a la competencia por el vital líquido.

En 1983, el gobierno de Sergipe con apoyo técnico del Centro de Pesquisa Agropecuaria del Trópico Semiárido (CPATSA), inició un programa llamado "Proyecto Sombrero de Cuero" el cual tenía como objetivo llevar agua a las comunidades rurales. Este proyecto desarrolló el sistema de abastecimiento de agua, barreras de salvación de pequeñas represas de captación y la construcción de aproximadamente 12,000 cisternas rurales con capacidad total de almacenamiento de alrededor de 360,000 m<sup>3</sup> de agua (30 m<sup>3</sup> c/u). Los modelos de cisternas se construyeron considerando el material de la región, el tipo de suelo, costos y factores que influyeran en el mejor tipo de cisterna.

En las localidades donde no se contaba con pozo, como el caso de construcciones aisladas en pequeñas propiedades, o en localidades donde los pozos son salinos, la única alternativa fue construir una cisterna para aprovechar el tejado como área de captación y conducir el agua de lluvia a la cisterna. La falta de concientización de la comunidad, sobre la utilidad de las cisternas para mejorar su calidad de vida, hizo que se cayera en el descuido y 14 años después, menos del 70% de las cisternas construidas están en operación.

Los tipos de cisternas instaladas son rebocadas (aplanadas) de ambos lados y la cara interna es "pulida" con cemento. Para asegurar una mayor elasticidad, la argamasa (mezcla) debe ser hecha con cal y cemento. El techo de la cisterna es de concreto con armazón simple o con vigas de madera.

---

\* Fuente: Gnallinger (1997), Montciro (1997) y EMBRAPA-CPATSA (1984, 1988).

## **Ventajas**

- Es la más adecuada para construcciones individuales y para las comunidades rurales.
- Además de cemento y de un poco de hierro, todos los materiales están disponibles en la localidad.
- La cisterna se torna, muy barata, si hay materiales en el lugar y el trabajo es aportado por los beneficiarios.
- El agua permanece fresca.

## **Desventajas**

- Si todo tiene que ser comprado, la cisterna se torna cara.
- Tarda mucho tiempo en su construcción.
- El riesgo de hundimiento entre el fondo de cemento y la pared es grande.
- Exige trabajo de excavación adicional.
- En cisternas mayores el techo de concreto es relativamente caro debido al gran diámetro.

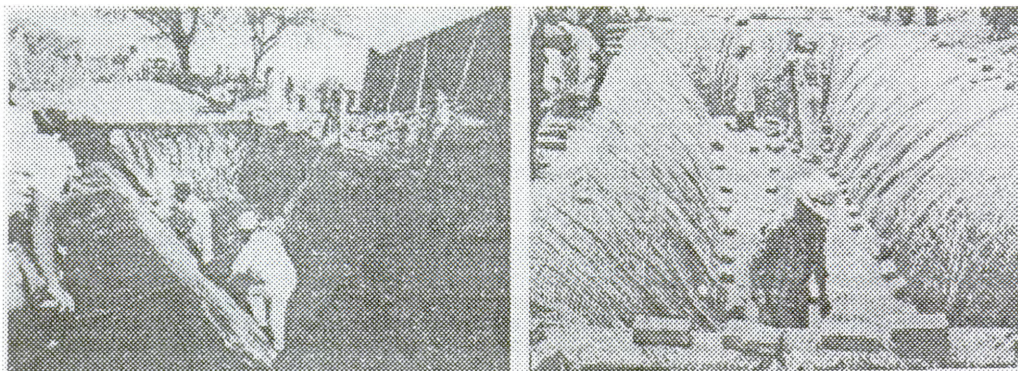
**Observación:** Para prevenir hundimientos entre el fondo y la pared, se debe colocar una tela de alambre de 1 m. de ancho de modo que cubra 50 cm del piso y 50 cm de la pared antes de rebocarla (aplanarla). La pared externa debe ser forrada con alambre galvanizado. El material adicional que se necesita son 8 m de tela de alambre y 135 m de alambre galvanizado para una cisterna de 16 m<sup>3</sup>, lo que representa un costo de R\$15.60, equivalente a USD 15.60.

### **5.2.1.1. Cisterna de ferrocemento**

La cisterna de ferrocemento es adecuada para las construcciones individuales. Sobre un fondo cementado, se construye un armazón (estructura) de alambre de acero (diámetro del alambre 5 mm). Este armazón se enrolla varias veces con tela de alambre. Una vez que se tiene esa estructura "tipo jaula", casi esférica, se le aplica una primera capa de mezcla de

cemento para dar "cuerpo" a la estructura y para que vaya sellando. Esto debe realizarlo cuando menos dos trabajadores, uno aplica la mezcla a la armazón y el otro asegura con una tabla o algo parecido el otro lado de la pared que esta siendo cubierta.

La proporción exacta entre cemento, arena y agua es muy importante, así como el uso de lonas, para evitar el resecamiento de las paredes antes de 1 hora, pues esto provocaría mala calidad del trabajo. (Figura 16).



**Figura 16. Construcción de una cisterna de ferrocemento en Sergipe, Brasil. (EMBRAPA-CPATSA, 1984).**

### **Ventajas**

- Es adecuada para construcciones individuales.

### **Desventajas**

- Es muy pesada, debido a la gran cantidad de acero que requiere, supera en mucho la cantidad realmente necesaria, lo cual indica que es poco manejable; además, requiere grandes cantidades de materiales, como cemento y acero y su construcción es muy tardada.
- Exige mano de obra calificada (albañil especializado) tanto para levantar la estructura de acero como para la aplicación de la mezcla cementante (concreto).

### **5.2.1.2. Cisterna de cal**

La cisterna de cal prácticamente está construida bajo el nivel del suelo, por lo que solamente se ve su parte superior, (techo).

La excavación que se hace es exactamente al tamaño de la cisterna. El fondo de la cisterna es cóncavo, por dentro tiene forma de un cascarón de huevo. Se comienza a construir en el centro del fondo de la cisterna, las paredes de tijolos (tabiques) son de más de 20 cm de espesor y están directamente incrustados a la tierra. Para la construcción de las paredes la mezcla en general es de cal pura y el rebocado (aplanado) interior es aplicado en dos o tres capas de mezcla de cal con poco cemento y acabado (pulido) con pasta de cemento.

El techo de la cisterna puede ser hecho con tablas o puede ser un tejado común pero bien sellado para evitar la entrada de pequeños animales.

#### **Ventajas**

- Excepto el cemento, todo el material de construcción está disponible en prácticamente todo el medio rural y puede ser construida por los propios agricultores.
- La técnica de construcción es muy conocida pues de la misma forma se construyen los hornos de carbón y de cal.
- La cisterna puede construirse totalmente sin financiamiento externo.
- Las paredes construidas con cal son más resistentes a tensiones, porque la mezcla de cal es más elástica que la mezcla (argamasa) de cemento.

#### **Desventajas**

- Se necesitan trabajos de excavación.
- La tecnología de construcción con cal, casi no es conocida debido al uso generalizado del cemento.

### **5.2.1.3. Las cisternas rurales en el nordeste**

El trópico semiárido brasileño con una área de 1,150.00 km<sup>2</sup>, abarca el 70% de la región Nordeste y 13% del total del país; se caracteriza por poseer gran diversidad biológica, con 170 unidades geoambientales. Presenta diferencias de orden físico, biológico y socioeconómicas. Su inestabilidad climática está más influenciada por la irregularidad de las lluvias que por la escasez de precipitaciones, las que ocurren durante 3 a 5 meses con grandes variaciones que van de 250 a 800 mm/año.

En el aspecto geológico, en la región predominan suelos de origen cristalino (ígneo) rasos y pedregosos con baja capacidad de infiltración y de retención de agua, con un potencial de escurrimiento superficial de 31 l/m<sup>2</sup>.

En esta región más de 15 millones de personas son afectadas por la falta de agua para consumo humano, principalmente durante la temporada seca.

Por otro lado, en las zonas rurales se encuentran varias especies compartiendo la misma fuente de agua, por lo cual se afecta la calidad del agua para consumo familiar, como también se agrava el problema de escasez por la competencia que se establece.

La cisterna se conocía, desde hace miles de años por diferentes pueblos y se utiliza para la captación y almacenamiento de agua para proveer de agua a la familia, principalmente en la temporada de sequía.

#### **5.2.1.3.1. Características técnicas de una cisterna para consumo humano y animal**

La cisterna rural es conocida como un reservorio para almacenar agua de lluvia para consumo humano. Está formada por un tanque almacenador (Ta), sistema de filtrado (Sf) y el área de captación (Ac).

El tanque de almacenamiento (Ta) puede estar semi-enterrado o totalmente subterráneo en caso de que el área de captación este en el suelo.

Para medir la cisterna rural más viable en lo económico, se compararon varios materiales de construcción, entre ellos: Lonas de PVC, de polietileno con argamasa armada, placas premoldeadas en ferrocemento, comparados con la albañilería tradicional.

Algunas de esas cisternas que utilizaron esos materiales alternativos están en operación desde 1982, unas con características propias en aspectos constructivos, condiciones de suelo, grado de aceptación de la tecnología y compromiso del usuario al mantenimiento y conservación de la cisterna.

El sistema de filtración (Sf) tiene la función de mejorar la calidad del agua almacenada en el tanque. Se recomienda también un sistema de filtración doméstico.

El área de captación (Ac) tiene la función de captar un volumen de agua necesario para la familia, escuela o comunidad por lo menos en el período de sequía en el trópico semiárido brasileño, este período es de 8 meses en promedio. Esta área (Ac) normalmente es el tejado de las casas rurales y se requiere que sea suficiente el tamaño y que no arrastre impurezas y basura gruesa para no contaminar el agua y aprovecharla en el consumo doméstico.

Los primeros estudios realizados por Embrapa a finales de los 70's, señalan que la mayoría de los tejados en el medio rural no tenían esas características, por lo que decidió utilizar el propio suelo como área de captación de agua y así aumentar el área de captación total.

Se pueden utilizar diversos materiales para impermeabilizar el área de captación, los más utilizados y que presentan más eficiencia y mejor calidad del agua son: piso impermeabilizado, piedras colocadas con cemento y arena (empedrado) esto da más eficiencia en el escurrimiento del agua y mayor durabilidad, el suelo compactado y cubierto con lona de polietileno. Los dos primeros tipos dan la alternativa de usarlos como secadores (asoleaderos) de granos en la época de cosecha.

## Dimensiones

### a. Dimensión del volumen total de agua: $V_t$

La dimensión del volumen total ( $V_t$ ) de agua está en función del número de personas y/o animales ( $N$ ); del consumo por persona o animal en litros y del período de uso del agua almacenada ( $U$ ); esto es, el tiempo que tardan en comenzar las lluvias.

$$V_t = \frac{(N \times 5 \times U)}{1000} = 1.1 \text{ (m}^3\text{)}$$

**Cuadro 17. Necesidades de agua para consumo y/o animales pequeños (en litros).**

Descripción	Diario	Anual	Mínimo	Máximo
Hombre	14	28	5.110	10.220
Bovino	53	83	19.345	30.295
Equino	41	68	14.965	24.820
Caprino/ovino	6	11	2.190	4.015
Suino	6	16	2.190	5.840
Aves (gallinas)	0.20	0.38	71	139

Fuente: Silva, et al. (1984).

### b. Dimensiones del tanque almacenador: $T_a$

Conocido el volumen total necesario de agua, se procede a diseñar el tanque de almacenamiento, lo cual va a depender del tipo de material que se va a utilizar y de las condiciones del suelo, para excavar a la profundidad necesaria en caso de que el tanque vaya a estar enterrado o a nivel del suelo.



**c). Dimensiones del área de captación: A**

Para determinar el área de captación es necesario conocer la precipitación media anual, con una probabilidad de ocurrencia determinada, que normalmente es del 50% y la eficiencia de escurrimiento del área de captación depende del tipo de recubrimiento de ésta área.

$$A_c = \frac{V_t}{C \times P} \text{ (m}^2\text{)}$$

Donde  $A_c$  = Área de captación.

$V_t$  = Volumen total de agua.

$C$  = Probabilidad de ocurrencia de la precipitación.

$P$  = Precipitación

**Manejo**

El éxito de cualquier obra hidráulica, como lo es una cisterna rural, está muy relacionado con los cuidados y manejo que el productor le tenga a su infraestructura. En algunas ocasiones, pequeños detalles como pueden ser una fractura en la pared o una pieza que no fue bien sustituida puede causar daños irreparables y a partir de ahí generar una serie de problemas a la cisterna. Todos los elementos en conjunto deben ser bien conservados y darles un mantenimiento adecuado.

**a. Bomba manual**

Toda cisterna debe contener una bomba manual para evitar el contacto directo de objetos sucios que pudieran contaminar el agua almacenada.

## b. Pavimentación

Alrededor del tanque de almacenamiento se recomienda pavimentar con una mezcla de cemento-arena y grava (piso) con una pendiente de 5% para evitar que el agua sucia pudiera llegar al interior de la cisterna durante el período de lluvias.

## c. Area de captación

Cuando el área de captación está en el suelo ésta debe tener una pendiente del 3% en sentido al filtro exterior del tanque de almacenamiento (Tal) y deberá estar limitada por una pared periférica de 0.30 m para evitar el desbordamiento del agua. Otro factor indispensable es mantenerla siempre limpia y evitar la entrada de animales domésticos y cualquier otro organismo.

## d. Sistema de filtración

El material filtrante debe estar siempre limpio y sus capas deben ser removidas y lavadas periódicamente por lo menos a intervalos de 5 años o en su caso ser sustituidas.

## Costos

Los costos de la construcción de la cisterna se presentan en el cuadro 18.

**Cuadro 18. Costos unitarios por m<sup>3</sup> de agua almacenada en diferentes tipos de cisterna rural.**

Tipo	Costo m <sup>3</sup> de agua (USD)	Area de captacion del techo en el suelo
Alvenaria	34.98	50.98
PVC (0.6 mm)	33.95	30.71
Argamasa	33.95	37.73
Placas premoldeadas	34.98	-

#### **5.2.1.3.2. Presentación técnica de diferentes tipos de cisternas, construidas en comunidades rurales del medio semiárido brasileño**

Actualmente, las cisternas para captar agua de lluvia, que se usan en la época seca, son más comunes en las zonas rurales semiáridas brasileñas: Se da una descripción técnica de dos tipos de cisternas que son de las más usadas, así como sus ventajas y desventajas en su construcción y uso de las mismas.

La ocupación del nordeste brasileño es reciente, solo hace 100 años todo Brasil tenía 14 millones de habitantes. Por lo que los reservorios naturales de agua eran suficientes como fuentes de agua para el pequeño número de habitantes. El abastecimiento de agua de la región semiárida brasileña nunca fue realizado con obras de ingeniería civil. Cuando mucho se mejoraba un poco lo que la naturaleza ofrecía.

#### **5.2.1.4. Cisterna de placas de cemento**

El modelo de cisterna de placas de cemento se encuentra en todo el Nordeste y continúa siendo construido con éxito. Estas cisternas fueron usadas originalmente en comunidades de pequeños agricultores y se están construyendo también en pequeñas prefecturas. La cisterna de placas de cemento esta enterrada  $\frac{2}{3}$  de su altura y consiste en placas de concreto (mezcla cemento-arena de 1:4) de mas o menos 50X60 cm. y 3 cm. de espesor, están curvadas de acuerdo con el radio proyectado de la pared de la cisterna, dependiendo de la capacidad prevista. Estas placas pueden variar sus medidas y son fabricadas en el mismo lugar en sencillos moldes de madera. La pared de la cisterna es levantada con esas placas a partir de la base ya cimentada.

Para evitar que las placas se caigan son sujetadas con una argamasa. Después de eso con alambre de acero galvanizado (No. 12 ó 2.77 mm) se sujeta en la parte externa (a manera de aros) en tres o más puntos si es necesario y es rebocada ("aplanada"). Enseguida la parte interna de la pared y el piso son rebocados y "pulidos" con cemento. El tejado de la

cisterna es cónico y también de placas de cemento, un rebocado solo en la parte externa es suficiente para dar firmeza.

El espacio vacío al rededor de la cisterna es cuidadosamente cubierto con tierra, así se da apoyo a la cisterna.

### **Ventajas**

- Las herramientas necesarias, inclusive la madera para hacer los moldes, están disponibles en todas las comunidades rurales.
- La extracción de agua es muy fácil por la parte superior, sin necesidad de ninguna polea o torno.
- Es muy adecuada para proyectos pequeños de construcción de cisternas que prevén la construcción de un número limitado de cisternas en cierto tiempo.
- Bajo costo de construcción.
- El agua se mantiene fresca ya que las dos terceras partes de la cisterna están bajo la tierra.

### **Desventajas**

- La construcción exige constructores calificados.
- La adherencia entre las placas de concreto es insuficiente, principalmente en sentido horizontal. Las tensiones pueden provocar fisuras por donde el agua se va.
- La parte subterránea no puede ser examinada para detectar asentamientos.
- La excavación donde se va a construir la cisterna debe tener 0.6 m más del diámetro que tiene la cisterna, esto para facilitar el trabajo de rebocado (aplanado) en la cara exterior de la pared.

Entre la fabricación de las placas y el inicio del levantamiento de las paredes es preciso esperarse cerca de tres semanas para que el concreto desagüe (endurezca) lo suficiente.

### 5.2.1.5 Cisterna de tela-cemento

Este tipo de cisterna normalmente se construye sobre la superficie del suelo. Tiene una altura de 2 m. Antes de compactar el fondo es preciso quitar la tierra suelta o floja hasta una profundidad de 20 cm., ahí se agrega cascajo y arena gruesa, se compacta por vibro-compresión ("apisonado") y posteriormente se agrega el piso de concreto.

Para la construcción de esta cisterna es preciso contar con chapas (madera) en forma de arco, las cuales se colocan una al lado de la otra hasta lograr formar un cilindro. El cilindro es envuelto primero con tela de alambre y enseguida una tela de acero galvanizado de 2 ó 4 mm de grosor (según sea la capacidad de 10 ó 20 m<sup>3</sup>, respectivamente).

La tela de alambre debe pasar por debajo de la estructura y cubrir una área de aproximadamente 50 cm del fondo de la cisterna. Después de colocadas las capas de argamasa (mezcla de mortero y cemento) en la parte externa, la estructura (cimbra) de madera es refinada. El interior es rebocado, aplanado dos veces y después se "pule" con una capa de cemento.

Entre las diversas etapas de trabajo y durante la noche, la cisterna tiene que cubrirse con una lona para evitar el resecamiento prematuro del concreto, lo que provocaría una baja resistencia (Figura 17).

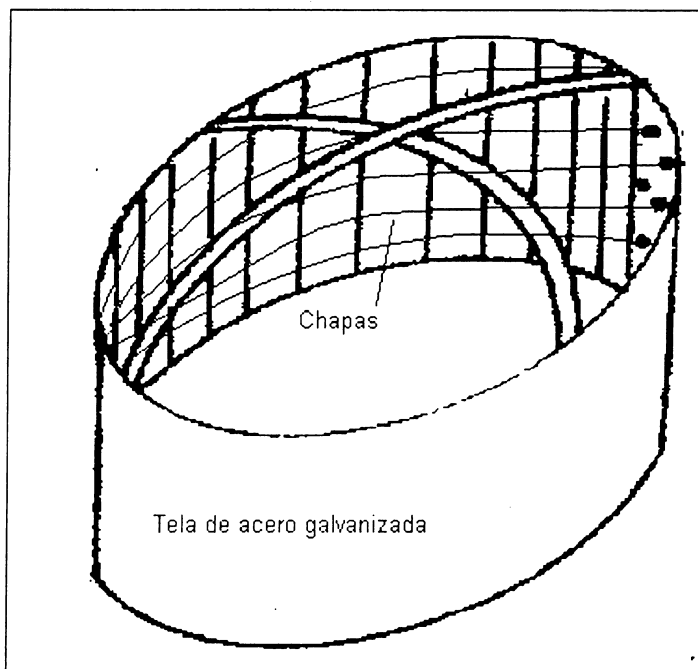


Figura 17. Esquema de una cisterna de tela-cemento. (Radulovich, et al, 1994).

### Ventajas

- Este tipo de construcción se asemeja a la manera de construir una casa de "taipa", un proceso muy conocido por la población donde las paredes de madera entrelazada ("varas") son cubiertas por los dos lados con barro.
- Esta tecnología es fácilmente asimilada por la población.
- Es apropiado tanto para pequeños como para grandes proyectos de construcción de cisternas.
- Con pequeñas modificaciones a la estructura de la cisterna este tipo puede ser adoptada para ser transportada a grandes distancias por lo cual podrían ser construidas en un patio central.
- Tarda poco su construcción.
- Se necesita poca materia prima.
- No exige trabajos pasados de excavación pues la cisterna queda encima de la tierra.
- Son prácticamente a prueba de hundimientos.
- Los eventuales hundimientos son fácilmente reparados.

## Desventajas

- Las chapas (tablero contrachapado) en forma de arco no siempre existen en algunos lugares del interior.
- La proporción entre cemento agua y arena se deben respetar estrictamente.
- El agua se calienta con facilidad por lo que la cisterna siempre tiene que ser pintada de blanco.
- La extracción de agua es más complicado pues se hace por encima de la cisterna con ayuda de una escalera o una polea o "torno", lo que aumenta el riesgo de un accidente.
- La obra no puede ser interrumpida pues las capas subsecuentes del rebocado ("aplanado") no se adhieren suficientemente entre sí, lo cual podría ocasionar pérdidas de agua por filtración.

**Cuadro 19. Dimensiones de cisternas de tela-cemento.**

<b>Volumen</b>	<b>10,000 l</b>	<b>20,000 l</b>	<b>40,000 l</b>
<b>Diámetro</b>	2.50 m	3.60 m	5.20 m
<b>Radio</b>	1.25 m	1.80 m	2.55 m
<b>Altura</b>	2.0 m	2.0 m	2.0 m
<b>Circunferencia</b>	11.3 m	16.0 m	7.85 m
<b>Grueso de paredes</b>	4.0 cm	5.0 cm	6.0 cm

## Recomendaciones

- Retirar la tierra suelta de una capa de 10 a 15 cm y sustituirla por una base de arena y grava.
- Construir una capa de concreto de 7.5 a 10 cm de espesor.

#### **5.2.1.6.Cisterna de tejos (tabiques)**

Al igual que la cisterna de placas de cemento, la cisterna de tabiques tiene que estar enterrada aproximadamente  $\frac{2}{3}$  de su altura total, por lo que se debe escarbar 50 ó 60 cm. por cada metro de altura.

La pared en forma circular de tabiques es levantada sobre una base de concreto (trave). El espesor a considerarse es de al menos 20 cm.

La pared es rebocada (aplanada) por ambos lados y la cara interna es "pulida" con cemento.

Para asegurar una mayor elasticidad de la argamasa (mezcla), esta debe ser hecha con cal y cemento.

El techo de la cisterna es de concreto con armazón simple o con vigas de madera.

#### **Ventajas**

- Es la más adecuada para construcciones individuales y en muchas comunidades rurales.
- Todos los materiales se encuentran disponibles en la región.



### 5.3. Honduras\*

En coordinación con el Departamento de Infraestructura de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, se diseñaron cinco sistemas basados en "pilas recolectoras" para almacenamiento de agua de lluvia, las que se instalaron durante 1992 en igual número de fincas de pequeños productores asociados al Proyecto Agrosilvopastoril (coejecutores). Todas las estructuras se localizaron en el municipio de Orocuina, por ser ésta una de las áreas que presenta los más agudos problemas de desabastecimiento de agua. Un ejemplo de ello es que los habitantes de comunidades enteras como Gualiqueme, El Jazmín, Los Araditos y Las Chilcas, entre otras, se ven precisados a desplazarse diariamente distancias hasta de 2.5 km para abastecerse de agua (de dudosa calidad) o abrevar el ganado, debido a la disminución de caudales, lo cual se agudiza en la estación seca. En esa labor, uno o dos miembros de la familia invierten de cinco a seis horas cada día.

Las pilas recolectoras se presentan como una alternativa muy útil para almacenar agua de lluvia captada por el techo de la casa, reduciendo de esa forma el tiempo que la familia dedica a esas labores especialmente en la estación de lluvia y, por lo tanto, liberan el uso de mano de obra familiar para destinarlo a otras actividades.

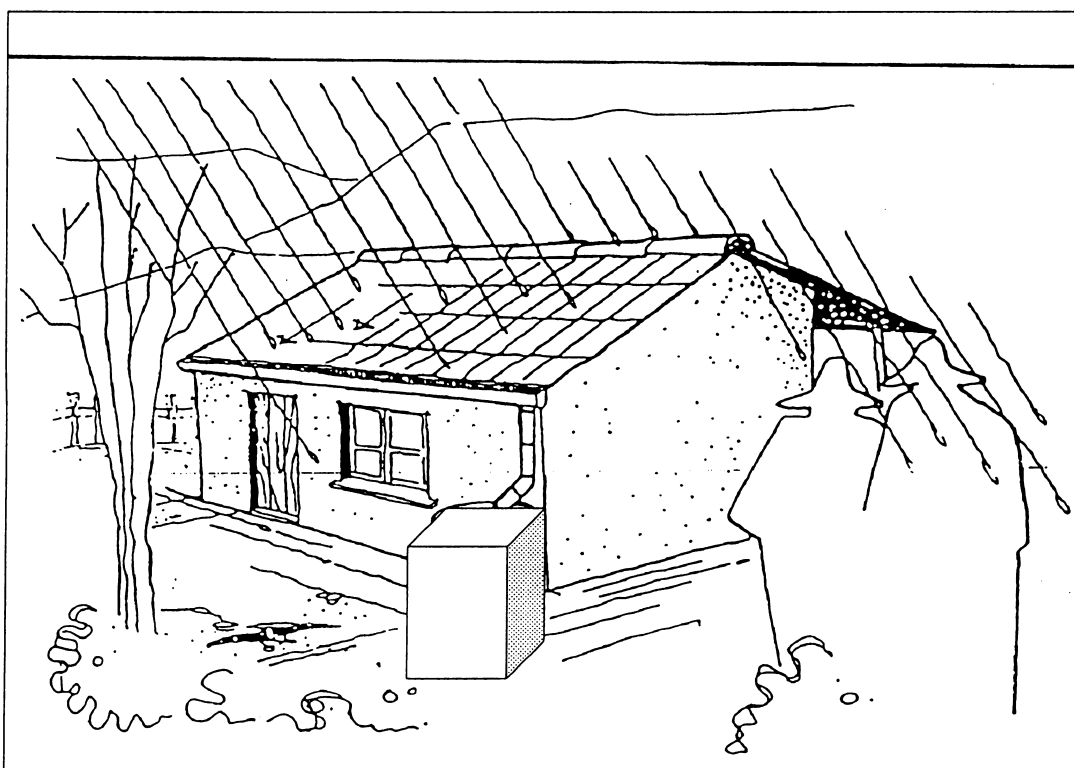
Las pilas recolectoras establecidas consistieron de una estructura rectangular sencilla construida con materiales factibles de obtener en la finca o cerca de ella, tales como arena, grava y piedra; los únicos insumos externos requeridos son cemento y varilla de hierro. La varilla de hierro se utilizó ocasionalmente dependiendo del tamaño de la pila. La grava, arena y cemento se usaron en proporciones de 4:2:1, respectivamente. Las dimensiones de las pilas (ancho, longitud y profundidad) fueron variables y dependieron de las posibilidades económicas del coejecutor, ya que no se llegó a utilizar toda el área de captación existente (menos del 20% en todos los casos).

---

\* Fuente: Radulovich, et al. (1994).

Para coleccionar el agua de lluvia se instalaron canaletes alrededor del techo de la vivienda. Todas las viviendas poseian techos de teja, la cual fue ordenada en sus extremos inferiores para permitir la colocación de los canaletes, los materiales del canaleta variaron entre lámina de zinc y madera (coyol). Se registraron datos relacionados con costos de los insumos, materiales y mano de obra utilizados en la construcción de las pilas recolectoras, ahorro de mano de obra en labores de acarreo de agua y utilización del agua almacenada.

La capacidad de almacenamiento de las pilas varió de 1.03 m<sup>3</sup> a 4.40 m<sup>3</sup>. Los tamaños de las estructuras dependieron de las posibilidades económicas de los coejecutores y en cierta medida de sus necesidades de agua para diversos usos, en función del tamaño del grupo familiar (Figura 18).



**Figura 18.** Pilas recolectoras de agua de lluvia en el municipio de Orocuina, Honduras. (UNEP y OEA, 1997).

## Costos

Los costos de construcción de las pilas recolectoras incluyen costos de los insumos como piedra, arena y grava (que podrían conseguirse sin necesidad de compra), así como de los insumos externos que se requieren comprar, tales como el cemento. También se incluye el costo de la mano de obra familiar o contratada. Evidentemente, solo la compra de insumos que no se puede conseguir en o cerca de la finca y la mano de obra contratada significan una erogación de dinero por parte de la familia. También, y salvo la necesidad de conocimientos básicos de albañilería, la mano de obra contratada puede ser sustituida parcial o totalmente por mano de obra familiar. Evidentemente, a mayor tamaño de la estructura mayores son los requerimientos de conocimiento sobre albañilería así como la necesidad de insumos externos como varilla de hierro y tubería para desagüe.

En las fincas 2 y 5 no se utilizó mano de obra familiar para construir las pilas, pero sí lo hicieron las demás. Dependiendo del tamaño de la pila se notan incrementos en las necesidades de contratar mano de obra, los cuales variaron de L 153 (USD 12.70) a L 372 (USD 46.50), y se debe en gran medida a la contratación de mano de obra calificada. En una área en la cual los materiales se encuentren disponibles en la finca o cerca de ella el costo de las estructuras se reduciría considerablemente, ya que muchos de los gastos de mano de obra fueron por concepto de acarreo de materiales.

El costo de los insumos también varió en función del tamaño de la pila de L 310 (USD 25.83) a L 507.00 (USD 42.25). Solamente en la finca 2 se utilizaron algunos insumos provenientes de la misma (postes para el sostenimiento de los canaletes). La mayoría de los insumos utilizados por los coejecutores fueron externos; es decir, en las fincas donde se establecieron las estructuras no se encontraron los materiales necesarios, a excepción de la piedra y postes, aunque sí se corroboró su disponibilidad en la zona. Los costos variables totales de construcción de las pilas fluctuaron de L 520.00 (USD 43.33) a L 841.50 (USD 70.13). Aunque la información no es concluyente, se aprecia que el costo por metro cúbico es más elevado en el tanque más pequeño y menor en el de mayor tamaño, lo cual es esperable.

Solamente la estructura en la finca 2 requirió reparaciones ligeras, lo cual puede considerarse como gastos de mantenimiento. Los valores anuales de la depreciación variaron de L 31.20 (USD 2.6) a L 50.49 (USD 4.21) y fueron calculados usando el método de línea recta y estimando una vida útil de 15 años para cada pila y un valor de rescate de 10%.

### **Usos y beneficios**

La duración en días del agua captada en las pilas, de acuerdo al estudio, se atribuye a cuatro factores principalmente:

- Tamaño de la pila.
- Número de miembros de la familia.
- Tamaño del hato ganadero.
- Usos adicionales que se le dé al agua almacenada.

El período de utilización del agua varió de 5 a 12 días en 1992, cuando las familias empezaban a hacer uso de las pilas. Sin embargo, los datos de 1993 indican que las mismas familias aprendieron a utilizar más racionalmente el agua de las pilas, resultando en una duración de hasta 40 días, lo cual indica que se puede reducir aproximadamente a 25 litros/persona/día el consumo de agua en verano. Durante la estación de lluvias las pilas se llenan totalmente de agua de ocho a nueve veces.

Todos los coejecutores y sus familias indicaron estar utilizando el agua para lavado de ropa (35%), aseo personal (24%), uso doméstico en la cocina (21%), consumo animal (11%) y riego suplementario (4%) especialmente de pequeños huertos hortícolas. Los coejecutores 1 y 5 no usaron la pila para irrigación y este último tampoco la utilizó para consumo del ganado por poseer otras fuentes de agua dentro de su finca para esos propósitos. Se estimó apenas un 5% de pérdida debido a infiltración y evaporación.

Además de los diversos usos que la familia da a las pilas de captación de agua, se destaca un beneficio económico adicional, representado por el ingreso neto o ahorro de dinero al interior de la finca, durante el período de utilización (duración) del agua que varía de L 25 (USD 2.08) a L 312 (USD 26) por cada evento de uso de la pila calculado con base en la duración del agua captada (según datos de 1992), y es en otras palabras la suma de dinero que la familia ahorra al reducir o eliminar la contratación de mano de obra para acarreo de agua o, por otro lado, representa una liberación de mano de obra dentro de la finca, especialmente de niños, la cual puede ser aprovechada para realizar otras actividades productivas. En total, por año, se estima que el ahorro en mano de obra de recolección de agua (asumiendo que tuviese un costo de oportunidad), va de L 200 (USD 16.67) a más de L 2,000 (USD 166.67).

La calidad del agua almacenada en las pilas no se evaluó excepto por apreciación, y es alta; sin embargo, en algunas se observaron larvas de zancudos porque no se había construido la cubierta protectora, la cual es necesaria.

### **Otras consideraciones**

Después de más de un año de uso, todos los coejecutores manifestaron estar muy satisfechos con los beneficios de las pilas, las cuales siguen utilizando y además existe interés en ampliar la capacidad o número de pilas en la finca. El único problema que se presentó hasta el momento con una de las estructuras fue de filtración hacia adentro de las paredes de la casa; sin embargo, ello fue debido a deficiencias en el pulido de las paredes, situación que se superó haciendo un nuevo pulido, cuyo costo fue de únicamente L 16.50 (USD 1.38).

Respecto a otros criterios de la validación de una tecnología se considera el nivel de aceptación pues, tras una breve explicación, los cinco coejecutores decidieron implementar, costeados ellos totalmente todos los gastos. Durante la implementación se brindó asesoría gratuita. La adopción de la tecnología es muy alta, pues tras más de un año

de uso no solo continúan las pilas en uso sino que los productores desean ampliarlas o aumentar su número (uno lo hizo por iniciativa en 1992).

Sobre la difusión de la tecnología, durante 1993 se implementaron tres sistemas similares en fincas de la vecindad, por propia iniciativa de los vecinos. Otros cinco vecinos han indicado que implementarán sistemas similares en la estación seca de 1993-1994. A pesar de este relativamente alto grado de difusión espontánea, la difusión facilitada podría acelerar enormemente el proceso de adopción masiva de esta tan necesitada y simple tecnología.

#### 5.4. Nicaragua\*

Mediante la asesoría de W. Santos (1992), se construyó un reservorio de concreto en la finca de un productor asociado al Proyecto Agrosilvopastoril, en la comunidad de Llano Largo, municipio de La Trinidad, Nicaragua. En esta zona la población hace uso de agua almacenada por escorrentía superficial en lagunas cavadas manualmente, la cual es a veces consumida sin ningún tratamiento previo (Figura 19).

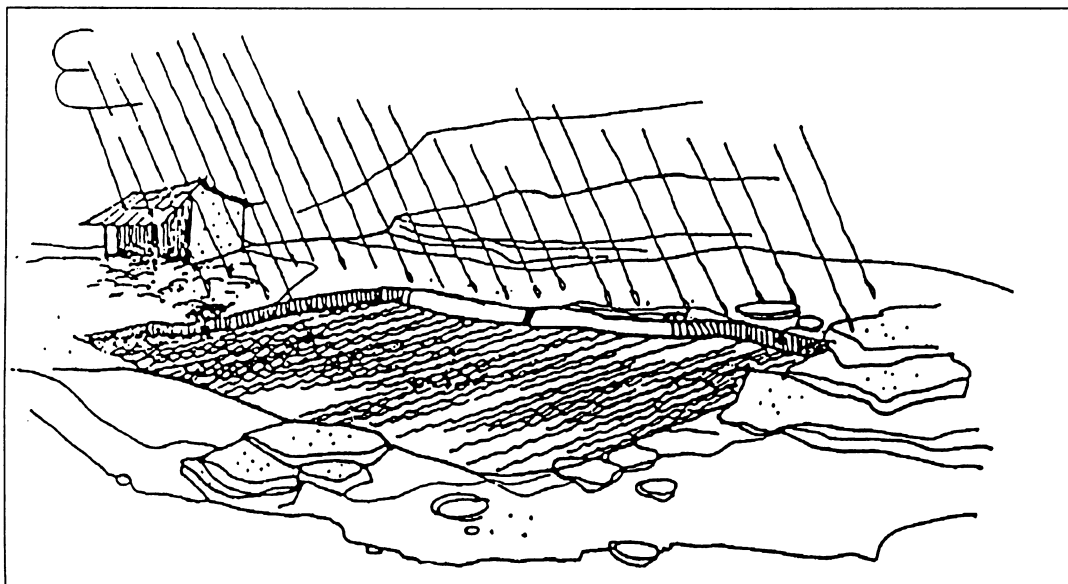


Figura 19. Almacenamientos de agua por escorrentía superficial en la comunidad de El Llano, Nicaragua. (UNEP y OEA, 1997).

La precipitación promedio anual donde se ubicó el reservorio de concreto es de 800 mm, el área de captación de agua de lluvia corresponde a 108 m<sup>2</sup> de superficie techada de la casa. El reservorio de concreto que se construyó, para investigar la tecnología en la región, es una pila rectangular de 4 m de ancho, 9 m de largo y 1 m de profundidad, para un volumen total de 36 m<sup>3</sup> con las siguientes estructuras:

---

\* Fuente: Sharma. (1990).

- 1 Muro para piso de arena, cemento, piedrín (piedra triturada) y bolón (piedra procedente de ríos).
- 1 Paredes (arena, cemento, hierro 1/4' y ladrillos de barro).
- 1 Vigas y columnas (arena, cemento, piedrín, hierro de 3/8' y 1/4' y alambre de amarre).
- 1 Piso o loza (arena, cemento, hierro 3/8' y 1/4' y alambre de amarre).
- 1 Repello (arena y cemento).
- 1 Afinado (arena y cemento).
- 1 Filtros interno y externo (arena, piedrín, carbón vegetal, cemento y ladrillo de barro, instalados en la entrada de agua al tanque y a la salida).
- 1 Canales (de madera, zinc o tubos para riego).

El reservorio de concreto fue techado con paja seca, aunque posteriormente se techará con zinc o teja de barro, para usarlo para captación, ampliando el área de captación en 36 m<sup>2</sup>. Así, con un área de captación de 144 m<sup>2</sup>, se consideró que un tanque de 36 m<sup>3</sup> no está sobredimensionado, al menos para los años con lluvia normal o superior.

### **Costos**

Debido a que representa la primera experiencia en este tipo de obras, hubo exigencia por el coejecutor para asegurar la estructura, mediante el uso de lozas sobredimensionadas (una base fuerte de hierro, cemento, arena y piedra); como consecuencia, los costos se incrementaron y fueron asumidos por el coejecutor, quien recibió financiamiento externo al Proyecto. El costo total incluyendo materiales, mano de obra y transporte de materiales fue de C\$ 5,470,00 (USD 869.63).

### **Usos**

El volumen almacenado durante las lluvias de postrera de 1992 fue de 4,54 m<sup>3</sup> de agua (con área de captación de solo 108 m<sup>2</sup>), la cual fue utilizada por una familia de 5 miembros durante 3.7 meses (8.2 litros/persona/día), reduciendo el empleo de mano de obra (familiar



o contratada) en 170 jornales para acarreo de agua, lo cual representa un ahorro de C\$ 1,021 (USD 162.32) durante el periodo de aprovechamiento del agua de la pila (asumiendo la existencia de un costo de oportunidad para dicha mano de obra).

El agua almacenada fue usada para el consumo humano y labores de cocina. Se usó un promedio de 40 litros por día durante 3,7 meses, aún habiendo captado solamente 4,54 m<sup>3</sup> en el reservorio.

En 1993, a pesar de la capacitación que se dio a la familia respecto al uso eficiente del agua almacenada y a que no se repararon algunas fugas, al 30 de noviembre se contaba con un volumen de agua almacenada de 14,5 m<sup>3</sup>. Asumiendo pérdidas normales de un 10%, 13,000 litros de agua a 75 litros/familia/día (casi el doble de lo que se consumió durante la estación seca 1992-93) alcanzarán para 173 días, prácticamente lo requerido durante la estación seca. Sin embargo, estos resultados enfatizan la necesidad de capacitar bien a las familias sobre el uso del agua y la necesidad de reparar los tanques cuando hay fugas evidentes.

### **Análisis de agua**

Durante el mes de diciembre de 1992 y enero de 1993 se hicieron los análisis bacteriológicos y físico-químicos del agua en el reservorio y después de filtrada. Los análisis fueron realizados por el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), Región I. Las muestras de agua filtrada (provenientes del grifo) se encontraron libres de contaminación fecal, las cuales obviamente se eliminaron a través del filtro, pues las muestras no filtradas presentaron, aunque bajos, niveles de contaminación de coliformes fecales. Esta contaminación es normal por exponerse el agua al medio ambiente, lo cual puede evitarse con un mejor techo (el techo de paja construido deja amplias entradas para contaminación); sin embargo, el agua filtrada se considera apta para el consumo, pues cumple con las especificaciones de la Organización Mundial de la Salud.

## Otras consideraciones

Años después de construido el reservorio, la familia manifiesta plena satisfacción por la tecnología, pues para ellos representa la posibilidad de dedicar a otras actividades el tiempo destinado al acarreo de agua y contar con agua de calidad y relativamente abundante.

Respecto a la difusión de la tecnología, por ser esta forma de implementarla de alto costo, su difusión se logrará solamente con financiamiento. De hecho, con apoyo del MAG (Región 1), se han construido otros tres sistemas similares en la Comunidad de Llano Largo, Municipio La Trinidad (Esteli), con tanques o reservorios de 246 y 80 m<sup>3</sup>. En particular, para la construcción del tanque de 80 m<sup>3</sup> se utilizó piedra local en vez de ladrillo, lo cual bajó el costo de construcción de C\$ 125.80/m<sup>3</sup> (USD 20.00/m<sup>3</sup>) a C\$ 81.77/m<sup>3</sup> (USD 13.00/m<sup>3</sup>), influyendo también probablemente un factor de economía de escala.

## Conclusiones y recomendaciones

1. La captación de agua por medio de techos y su almacenamiento es una tecnología de gran pertinencia y aceptación en el medio rural de bajos y medianos ingresos, particularmente en la región semiseca de Centroamérica. Su implementación cubre el rango desde tener la capacidad de almacenar algunos cientos de litros en estañones o recipientes para cubrir las necesidades de unos pocos días, hasta el poder captar y almacenar agua para cubrir las necesidades de una familia y otros usos durante todos los meses de la estación seca. Su implementación es factible también en zonas de mayor cantidad de lluvia, distribuida mejor a lo largo del año, aunque en esas condiciones no sería necesario construir grandes estructuras de almacenamiento.
2. La tecnología es de muy fácil implementación y su aplicación va desde diseños muy sencillos o rústicos hasta aquellas situaciones en que se construye un tanque de gran

capacidad, que utiliza gran parte o toda el área de captación disponible. En estos últimos casos es crítico el realizar un adecuado ejercicio de dimensionamiento, para no incurrir en errores. En la medida que el promotor o investigador de esta tecnología se familiarice con los procedimientos de cálculo y dimensionamiento, así aumentará su eficiencia y capacidad de innovar.

3. Existen varias consideraciones respecto a la implementación y manejo de la tecnología que deben ser conocidas y adaptadas a las condiciones imperantes por toda persona o institución que desea transferirla; en particular resalta las consideraciones sobre higiene y calidad de agua, críticas si se quieren lograr plenamente las mejorías en calidad de vida que se busca.
4. Aunque en el documento se presentan algunos de los beneficios económicos que reporta la tecnología, por ejemplo, una considerable reducción de mano de obra en acarreo de agua, alguna disponibilidad de agua para actividades productivas en el hogar, los beneficios de ésta son mayormente en el campo de elevar la calidad de vida de los individuos, lo cual es sumamente difícil de cuantificar aunque sus beneficios son múltiples e innegables.
5. Hay varios aspectos de la implementación de la tecnología que requieren de investigación, aunque sea de manera empírica, sobre todo para abaratar los costos de construcción de los tanques de almacenamiento y para afinar la implementación de los filtros. Los resultados de estas investigaciones deben ser dados a conocer a la comunidad interesada, para evitar duplicación de esfuerzos y demoras en la implementación de alternativas viables.
6. La difusión espontánea de la tecnología se da al menos en aquellos casos en que la inversión es baja y la implementación es rústica (ver caso de pilas pequeñas). Sin embargo, debido sobre todo a los detalles de un buen manejo, y para lograr una difusión más rápida, es conveniente que la tecnología sea difundida por

organizaciones que cuenten con capacidad de asesorar y supervisar la implementación.

7. Sobre todo considerando el caso presentado para Honduras y teniendo en mente que en sus aspectos más rústicos de implementación prácticamente no se requieren gastos, la tecnología tiene un rango de implementación en el cual los pequeños y medianos productores no requieren de ninguna ayuda económica para establecerla en sus casas. Esto es de suma importancia en el diseño de un plan de difusión masiva, pues el único costo es el de la extensión misma, necesario solamente mientras se establece la tecnología y se afianza su manejo. Para reducir los costos de la extensión, se recomienda utilizar dos sesiones grupales: una para explicación de la tecnología/observación de los beneficios y otra de construcción de cada sistema individual; esto puede realizarse dentro del esquema de sesiones grupales, o utilizando la modalidad de productores enlace o representantes agropecuarios (personas particularmente entrenadas con ese fin en cada comunidad, que brindan asesoría sin costo a sus vecinos), con el fin de abaratar los costos de extensión.

## 5.5. Colombia\*

En la Comisaría Especial del Vaupés de la República de Colombia la población se estima en 22,500 habitantes, presentándose la densidad de población por hectárea más baja del país con un 95% constituida por indígenas. La única vía de acceso desde el centro del país hasta la Comisaría Especial del Vaupés es la aérea, utilizando aviones DC4 y casa bombarderos de la línea Satena, los cuales demoran un tiempo de dos horas desde Bogotá, capital de la República, hasta Mitu, capital de la Comisaría.

Abarca una extensión de 50,000 Km<sup>2</sup>, con una temperatura promedio de 30°C, presentándose descensos nocturnos de consideración. El régimen de lluvias en la región va de los meses de abril a noviembre con precipitaciones anuales medias de 2,179.2 mm, con un máximo en el mes de septiembre de 481.2 mm y un mínimo en el mes de diciembre de 2.0 mm.

### **Demanda**

La demanda mínima de agua en las comunidades indígenas es de 15 l/hab/día para cocinar los alimentos y 20 l/hab/día para el aseo personal (sin baño).

Los parámetros que condicionan el abasto de agua de lluvias para la Comisaría del Vaupés son:

- Índice de pluviosidad anual: 2,179.2 mm
- Consumo promedio anual para una población equivalente a 25 personas: 319.0 m<sup>3</sup>.

---

\* Fuente: Mancilla (1991).

### **Area de captación**

A partir de los parámetros anteriores se determinó que se requiere una área de captación de 154 m<sup>2</sup>. Además, se recomendó la escogencia de dos sitios o construcciones donde se instalaron los tanques, dado que el promedio de las cubiertas en la región es de 80m<sup>2</sup>.

### **Almacenamiento**

Considerando la prioridad del programa, se utilizaron tanques de fibra de vidrio con capacidad de 500 l, en número adecuado a la demanda correspondiente y por presentar las condiciones óptimas para su transporte.

### **Distribución**

La distribución de las pilas se proyectó mediante cisternas públicas y acometidas individuales teniendo en cuenta que la vivienda más alejada de la fuente de abasto estaría a 100 m.

### **Magnitud del programa**

La solución (paquete) unitaria de abasto de lluvia se recomienda solo para poblaciones dispersas menores o iguales a 100 habitantes. La razón para no encausar la solución a poblaciones mayores, se debe al alto costo, que desvirtuaría la bondad del programa requiriendo de soluciones más complejas como un sistema de acueducto.

El paquete para el abasto de agua de lluvia para 25 personas se compone de ocho tanques de fibra de vidrio de 500 l de capacidad, canaletas de recolección de PVC o zinc con sus respectivos accesorios de instalación, tuberías y accesorios de distribución.

## **Costos**

El costo del paquete es de USD 180 que incluye materiales, transporte desde el centro de acopio a las diferentes localidades de la región y los gastos de viáticos del personal de promotores de saneamiento del Servisalud.

Además, se adicionan los costos originados por el acopio de los materiales de la región utilizados para la instalación de las cisternas, de lo cual es responsable la comunidad favorecida.

## **Ejecución del programa**

El programa se llevó a cabo con la participación comunitaria en la Comisaría Especial del Vaupés en coordinación con la Oficina de Saneamiento Ambiental del Servicio Seccional de Salud.

Reconociendo la realidad etnográfica de la región y su economía autosuficiente que exige la capacitación de promotores y auxiliares indígenas y proyectos salidos de la propia concepción de los indígenas, el gobierno apoyó sus proyectos hasta su implementación, sin imponerles soluciones de comunidades no indígenas.

## **Conclusiones y recomendaciones**

1. Durante el recorrido realizado por las localidades en el programa de Abastos de Aguas de Lluvias se observó que no se aprovecha la totalidad del techo para la captación, haciendo que el agua se agote en pocas horas por el consumo de los indígenas, quienes recogen en tinajas de barro su almacenamiento domiciliar.
2. Es necesario contemplar la implementación de un sistema hidráulico para complementar el abasto en época seca de agua proveniente de caños aledaños a cada vereda sin demandar un consumo de combustible, ya que este es escaso y de alto costo.

3. La poca disponibilidad de dichos materiales dificulta la construcción de algún almacenamiento para la época de verano, obligando a utilizar el abastecimiento superficial.
4. La solución de abastos de lluvia en la época de invierno es utilizar otros sistemas como arietes y bombas de camisa
5. El costo del programa puede disminuir significativamente si se utilizan los materiales disponibles en la localidad, tales como la madera, la cual abunda, además de ser de buena calidad y de fácil manejo por los indígenas.



construyeron un total de 53 tanques para recolectar lluvia, 45 en casas particulares y 8 en edificios públicos. Los volúmenes de los tanques utilizaron eran de 3.4 m<sup>3</sup> a 11.3 m<sup>3</sup>.

Del estudio se concluyó que es factible la utilización de tanques de almacenamiento para abastecerse de agua limpia; además, que el tipo de tanque más aceptable es el de concreto reforzado con bambú, debido a su facilidad para construirse y su bajo costo.

### **Proceso de ejecución**

La ejecución del programa se llevó a cabo a través de la organización de la ADPC con funcionarios de gobierno, autoridades de las aldeas seleccionadas y líderes de dichas aldeas, quienes formaban un comité por medio del cual se eligieron las familias beneficiadas. Estas son asignadas a un grupo de construcción, formado por 8 a 15 familias, donde cada familia coopera con un trabajador.

Una vez establecida la brigada, en la fecha programada, la ADPC entrega el equipo y los materiales necesarios, además pone a disposición un técnico que asesora y supervisa diariamente el proceso de ejecución del proyecto. En el caso de que alguno de los trabajadores resulte hábil para la construcción de los sistemas de captación de agua de lluvia, se le capacita y contrata como técnico.

Mientras que el pago completo de los aldeanos cubre solamente alrededor del 70% del costo de cada tanque para la ADPC, alrededor de un 60% de los fondos originales son recuperados. Esto constituye el Fondo Rotativo que se usa para financiar más tanques para la siguiente temporada.

### **Construcción del sistema de captación en techos**

El tipo de tanque que se usó en el programa es el fabricado de concreto reforzado con bambú y que tiene una capacidad de 11.3 m<sup>3</sup>. Los materiales y la cantidad necesaria para la

## 5.6. Tailandia\*

En Tailandia la población de las zonas rurales representa cerca del 80%, repartidos en aproximadamente 51,000 aldeas. Por otra parte, en los últimos años el desarrollo económico de este país ha sido impresionante, pero la riqueza se ha distribuido de manera desigual.

Además de la gran pobreza, la región del noreste es la parte más seca de Tailandia. Más del 90% de la precipitación promedio anual, que es de 1,250 mm, cae entre mayo y octubre.

Bajo estas condiciones, sólo una cuarta parte de la población cuenta con sistemas públicos de abastecimiento de agua, el resto depende de las fuentes de agua de dudosa calidad por lo que las enfermedades principales que aquejan a los tailandeses son las relacionadas con el agua y su saneamiento

### **La Asociación de Desarrollo de Población y Comunidades (ADPC) y su papel en el abastecimiento rural de agua**

La Asociación de Desarrollo de Población y Comunidades (ADPC) fue instituida en 1974, aunque inicialmente se dedicó a dar información sobre la planificación familiar en las comunidades rurales y algunas urbanas, impulsada por el éxito de sus campañas, en 1978 consolidó la Oficina de Servicios Comunes de Desarrollo y Tecnología Apropriada (OSCDTD), para afianzar y extender los esfuerzos en la organización.

Ante la urgente necesidad de agua limpia para la población rural de Tailandia, que se acentúa en la parte nororiental, la OSCDTD realizó un análisis de posibles programas para llevar a cabo la captación y almacenamiento de agua de lluvia.

Se implementó un programa piloto donde se escogieron dos aldeas en el distrito de Ban Pai de la provincia de Khon Kaen y una aldea de Mahasarakam, en el noreste donde se

---

\* Fuente: Yenprasitti y McGarry (1988).

construcción de cada tanque se dan en el cuadro siguiente. Los tanques se conectan a cada casa particular, pero alrededor de un 20% debieron ser compartidos entre dos familias.

El costo de la construcción para los aldeanos es de unos 4,500 bath. No hay costos por mano de obra, puesto que el trabajo lo hacen los propios aldeanos. La ayuda financiera para cubrir los costos de construcción es realizada en forma de préstamos. El préstamo no se hace en efectivo, sino con los materiales necesarios para la construcción del tanque de agua.

**Cuadro 20. Materiales y cantidades necesarias para construir un tanque de 2 m de diámetro y 3.6 m de altura.**

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Cemento</b>	24 sacos
<b>Piedra (grava) de 1"</b>	4 m <sup>3</sup>
<b>Roca quebrada (cascajo)</b>	2 m <sup>3</sup>
<b>Arena</b>	4 m <sup>3</sup>
<b>Bambú</b>	
- 1.5 cm ancho por 7.5 m largo	13 piezas
- 1.5 cm x 4.2 m	20 piezas
- 1.5 cm x 2.5 m	50 piezas
<b>Alambre de acero para amarrar el bambú</b>	1.5 Kg
<b>Gasfitería</b>	
- Niple de acero de 3/4" diámetro	30 cm
- Unión de acero de 3/4"	1 pieza
- Grifo o válvula de 3/4"	1 pieza
<b>Tubería de drenaje</b>	
- Tubo de acero de 1 1/2" diámetro	50 cm
- Unión de acero de 1 1/2"	1 pieza
- Tapón de acero de 1 1/2"	1 pieza
<b>Componentes de desvío</b>	
- Tubo PVC de 3" diámetro	2 m
- Codo de PVC, 3" diámetro	1 pieza

- Tee de 3" diámetro	1 pieza
- Tubo PVC de 2" diámetro	50 cm
- Tapón para tubo PVC de 2" diámetro	1 pieza
- Tee de PVC de 3" diámetro	1 pieza
- Pegamento PVC	1 lata
Aceite lubricante usado	2 litros

El refuerzo de bambú, una malla de tiras entrelazadas de bambú crudo cortado longitudinalmente, aumenta la resistencia a la tensión del concreto durante la fragua y reduce el esfuerzo tangencial y de flexión en la base y paredes de los tanques cilíndricos. La mayor parte de la resistencia a la tensión la da el concreto por sí mismo. Las investigaciones y experiencias han demostrado que la vida útil del concreto reforzado con bambú es de 15 a 20 años. El bambú se parte a lo largo, con un ancho de 1.5 cm y con la longitud y el número de piezas necesarias. Las piezas de bambú se usan como armazón para la base, la pared y la parte superior del tanque. Las piezas se ponen a secar por un día o más. Cuando están secas, las piezas de bambú se colocan verticalmente en un círculo para formar la pared del tanque. Entonces las piezas de bambú se amarran entrelazándolas hasta formar una malla.

## Construcción

### a. Base del tanque

- 1) Excave un pozo de 2.5 m de largo, 2.5 m de ancho y 30 cm de profundidad.
- 2) Compacte el área excavada apisonando el suelo.
- 3) Coloque una capa de cascajo de 5 cm. Rocíe un poco de agua para hacer la capa más comprensible. Rellene la capa excavada hasta unos 20 cm y luego llegue al nivel superior del suelo con una capa de arena. Compacte y alise la superficie.
- 4) Coloque unos tablones en los cuatro lados del pozo.
- 5) Vierta la primera capa (7.5 cm) de concreto para hacer el piso. El concreto debe tener una proporción de 1:2:3 (cemento:arena:piedra).

- 6) Coloque la malla de bambú tejida en el área excavada.
- 7) Coloque el tubo de acero para el drenaje con su unión de acero sobre la malla de bambú, en posición inclinada hacia fuera.
- 8) Vierta la segunda capa de concreto.
- 9) La base de concreto debe quedar con un declive, correspondiendo el punto más bajo al tubo de drenaje.
- 10) Deje secar la base de concreto por 24 horas.

**a. Pared del tanque**

- 1) Aceite los moldes de metal para evitar que se adhieran al concreto.
- 2) Limpie la base de concreto ya dura y seca.
- 3) Coloque los moldes sobre la base de concreto.
- 4) Asegúrese de que los listones de bambú estén bien colocados entre los moldes interno y externo. El espacio entre los dos moldes formará la pared del tanque.
- 5) Deje previsto el agujero para el tubo del agua.
- 6) Use una manguera de hule a manera de nivel para comprobar la inclinación y altura de los moldes.
- 7) Vacíe el concreto en el espacio formado por los moldes.
- 8) Apisone bien el concreto conforme se vaya vaciando.
- 9) Tan pronto como la primera sección de moldes esté completamente llena de concreto, coloque y amarre el bambú vertical para la segunda hilera y ponga la siguiente sección de moldes sobre la primera.
- 10) Vacíe el concreto en la segunda sección.
- 11) Este proceso se repite hasta que se hayan llenado 5 ó 6 secciones del molde con concreto.
- 12) El borde superior de la pared deberá tener 6 espacios vacíos en forma de U.
- 13) Después de 24 horas de vaciado el concreto, retire primero el molde interno y luego el externo.
- 14) Los moldes deberán retirarse con cuidado para evitar quebrar o agrietar la pared del tanque.

- 15) Cubra la parte interna y externa de la pared del tanque usando una mezcla de cemento puro y agua.

**c. Techo del tanque**

- 1) El techo del tanque debe tener un ingreso que mida 45 x 50 cm.
- 2) Coloque tres vigas de madera en los 6 espacios en forma de U que se hicieron en el borde superior de la pared.
- 3) Coloque tablas para hacer la base que sostendrá el techo.
- 4) Cuando la base este lista, ponga la malla de bambú encima de ella.
- 5) Haga un molde de alambre para la boca de ingreso (7 cm de espesor).
- 6) Vacíe el concreto para hacer el techo.
- 7) Cuando el techo de concreto con el ingreso este seco, retire las vigas de madera, las tablas del encofrado y el alambre.
- 8) Limpie cuidadosamente el interior del tanque.
- 9) Haga una tapa de concreto para el ingreso.
- 10) Haga un apoyo de concreto para el grifo.
- 11) Instale el desvío de PVC con su filtro y tapón.
- 12) Arme los componentes del desvío.
- 13) Conecte el tubo PVC con la canaleta del techo de la casa.
- 14) Conecte el tubo de rebose de PVC al techo del tanque.

**d. Otros detalles de construcción**

- 1) Coloque el grifo al tubo que se instaló en la pared del tanque.
- 2) Coloque el tapón de acero a la unión de acero (desagüe).
- 3) Coloque el tapón de acero de manera que pueda desatornillarse para permitir la salida del agua cuando se necesite lavar y limpiar el tanque.
- 4) Cuando se termine la construcción, el tanque deberá dejarse secar por lo menos 7 días, aunque sería mejor tres o cuatro semanas. Mientras se deja secar, es deseable rociarlo con agua dos o tres veces al día.

- 5) El tanque no debe llenarse hasta su borde superior la primera vez, se debe llenar poco a poco. Debe hacerse así para proteger la pared de concreto. Con frecuencia es necesario descargar "la primera llenada" de agua para eliminar el sabor a cemento fresco.

### **Manera de llenar el tanque**

Cuando se inician las lluvias se debe retirar el tapón del desvío de PVC de las primeras aguas. Esto permite que toda suciedad del techo caiga en el piso. Cuando se esté seguro de que el agua de lluvia que está llegando al desvío está limpia, se coloca el tapón. Entonces el agua limpia empezará a fluir al tanque.

### **Mantenimiento**

La ADPC tiene la responsabilidad en el control de la forma del pago, la durabilidad del tanque y en la calidad del agua almacenada en cada uno de ellos. La ADPC reparará cualquier tanque defectuoso sin cobro alguno, pero se estimula y capacita a los aldeanos para que mantengan debidamente su tanque y se hagan cargo de las reparaciones menores.

## 5.7. Kenya\*

En Kenya, los sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico tienen tres componentes: área de captación, sistema conductor y almacenamiento. Además, existen tres tipos de captación de agua de lluvia:

1. Captación de los techos (Figura 20).
2. Presas de mampostería (Figura 21).
3. Captación en áreas tratadas con pavimento u otros materiales (Figura 22).

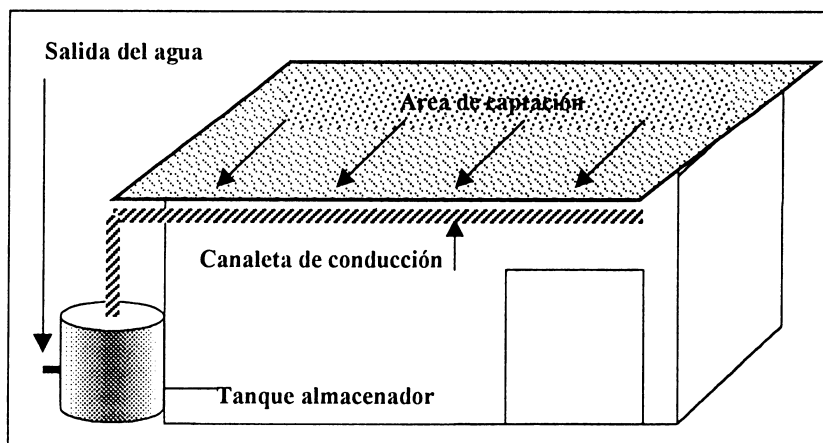


Figura 20. Sistema de captación de los techos.

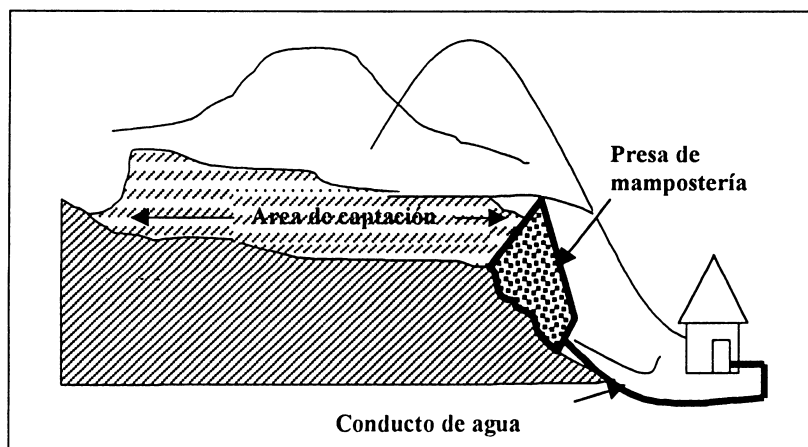
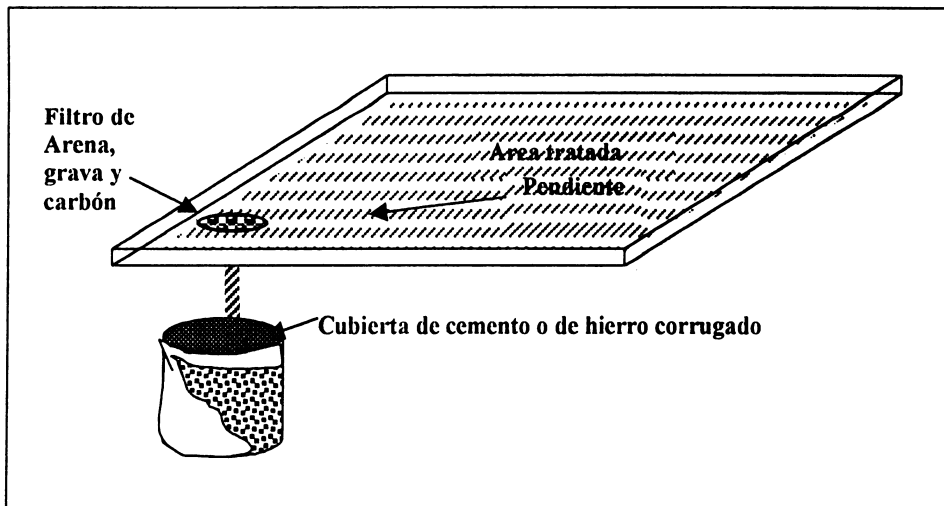


Figura 21. Captación en presas de mampostería.

\* Fuente: McPherson (1985).





**Figura 22. Sistemas de captación en áreas tratadas con pavimento u otros materiales.**

La demanda de agua para uso doméstico se incrementa al aumentar la población, sobre todo en las zonas rurales.

### **Objetivo**

El objetivo de los sistemas de captación de agua de lluvia se refiere a satisfacer las demandas de agua para uso doméstico en la forma más eficiente, de acuerdo a las posibilidades de las diversas comunidades. Se estima un consumo per capita de 7 l/persona/día como un mínimo en las zonas rurales. En otros países el consumo varía entre 20 y 30 l/persona/día, lo cual indica mejores condiciones de vida.

### **Volúmenes almacenados y costos**

Los diversos sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico indican una variación en el almacenamiento desde  $1\text{m}^3$  (tinacos) hasta  $200\text{ m}^3$  (cisternas de ferrocemento). El costo del agua por  $\text{m}^3$  varía desde USD 13 hasta USD 60.

## Conclusiones

1. Los sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico deben considerar en primer instancia, la calidad del agua con el objeto de evitar enfermedades en la población.
2. Existe una gran variación en los costos de construcción de los diversos sistemas de almacenamiento, lo cual indica la necesidad de buscar sistemas eficientes y de bajo costo por m<sup>3</sup> de agua.

## 5.8. Singapur\*

Singapur cuenta con una superficie territorial de 631 km<sup>2</sup> y una población de 3.04 millones de habitantes, de los cuales el 80% vive en edificios. La precipitación pluvial es de 1,942 mm; sin embargo, debido al progresivo aumento de la población y rápido desarrollo industrial, el aumento en la demanda de agua se tuvo que compensar con la utilización de sistemas de captación de agua de lluvia en áreas pavimentadas, techos de industrias y edificios.

Actualmente, el 25% del agua potable se utiliza en los sanitarios por lo que uno de los propósitos de los sistemas es ahorrar agua mediante la utilización de agua de lluvia en dichas labores.

Se diseñó un modelo computacional llamado "Rain Water Cistern Systems" (RWCS), para establecer la relación que existe entre los parámetros como áreas de captación, tamaño de los tanques o cisternas y porcentaje de utilización del agua basados en los parámetros de precipitación pluvial.

El modelo permite determinar el tamaño óptimo de las cisternas y el volumen de agua de lluvia que debe colectarse para disminuir la utilización de agua potable; además, determinar el lugar óptimo técnica y económicamente para la construcción de los sistemas.

El principio del modelo es el siguiente: el agua de lluvia es colectada y conducida hasta la cisterna, si la cantidad colectada supera el volumen de la cisterna, el agua se escurre por el área de captación, si el agua almacenada en la cisterna es insuficiente, se utiliza un suministro de agua potable para llenarla.

El modelo usado es el siguiente:

$$Q_i = Ar_i - ((E_i + b_i) + D_i)$$

---

\* Fuente: Appan (1997).

Donde:

$Q_i$  = Cantidad de agua al final del tiempo  $i$ .

$A$  = Area de captación.

$r_i$  = Intensidad de lluvia en el tiempo  $i$ .

$D_i$  = El consumo en el tiempo  $i$ .

$b_i$  = La tasa de consumo en el tiempo  $i$ .

### 5.8.1. Conclusiones

1. El tamaño óptimo determinado para la cisternas fue de dos tanques de 11 m X 4.8 m X 1.7 m, que consideran un volumen de 146 m<sup>3</sup>, el cual utiliza el 21.2% de su volumen de agua de lluvia y 78.8% de agua potable para completar el 80% de su capacidad total (volumen inicial).
2. Los costos de operación del sistema fueron de S\$ 8,700 (USD 6,170.21) causados cuando el agua potable se tuvo que agregar en un 34% del volumen total de la cisterna
3. Se determinó más viable construir la cisterna en el último piso donde el costo del agua es de S\$ 0.96/m<sup>3</sup> (USD 0.68/m<sup>3</sup>).
4. Considerando el volumen de agua de lluvia utilizada en comparación con el volumen total del agua consumida, el ahorro es del 4%.

## CAPITULO VI. PROGRAMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA USO DOMESTICO

### 6.1. Problemática

El agua dulce es esencial para la vida y para el desarrollo sostenible, es un recurso natural que tiene dimensiones sociales, económicas, culturales y ambientales las cuales son interdependientes y complementarias.

En la Declaración de París, generada en la Conferencia Internacional "Agua y Desarrollo Sostenible", que tuvo lugar del 19 al 21 de marzo de 1998, se establece que la cuarta parte de la población mundial no tiene acceso al agua potable, más de la mitad de la humanidad carece de un saneamiento adecuado del agua, su mala calidad y la falta de higiene figuran entre las principales causas de enfermedad y muerte, así como la escasez de agua, las inundaciones y las sequías, la pobreza, la contaminación, el tratamiento inadecuado de los desechos y la insuficiencia de infraestructuras plantean serias amenazas al desarrollo económico y social, la salud humana, la seguridad alimentaria mundial y el medio ambiente. El acceso limitado al agua, en términos de cantidad y calidad, puede frenar considerablemente el desarrollo sostenible.

De acuerdo al inventario de los recursos mundiales de agua dulce, examinado en Nueva York en junio de 1997, durante la sesión extraordinaria de la Asamblea General de las Naciones Unidas, confirman que si se mantienen los planes actuales de utilización de los recursos, casi las dos terceras partes de la humanidad corren el peligro de sufrir una escasez de agua antes del año 2005.

El agua es fuente de vida; sin embargo, esta fuente se va agotando cada día ya que mares interiores, lagos, lagunas y ríos se van secando. El consumo de agua aumenta a un ritmo dos veces más rápido que el crecimiento demográfico, su volumen se duplica cada veinte años. Al terminar este siglo, la cantidad de agua dulce disponible por habitante solo será un

cuarto de lo que era en 1950 en Africa y un tercio de lo que era entonces en Asia o en América Latina.

A pesar de que el agua es fuente de vida, por falta de higiene, el agua es responsable de millones de muertes, centenares de millones de hombres, mujeres y niños están gravemente debilitados por la malaria, las parasitosis, el cólera y muchas otras patologías asociadas al agua. La mitad de la población mundial todavía no posee redes de saneamiento, una cuarta parte de la humanidad ni siquiera tiene acceso al agua potable. El agua puede ser en un futuro próximo causa de serios conflictos sociales.

## **6.2. Programas y proyectos**

Para prevenir y combatir los efectos de la escasez de agua dulce, es necesario elaborar lineamientos y estrategias concretas que ayuden a mejorar la gestión y la preservación de los recursos de agua dulce. Es necesario reconocer la necesidad de enfoques integrados que vinculen el desarrollo a la protección del medio ambiente, considerar la participación de todos los actores, tanto mujeres como hombres y reconocer el valor social y económico del agua.

El agua es uno de los mayores vectores del desarrollo sostenible para el cual la comunidad internacional se dio cuenta de los problemas existentes, tanto en Río en 1992 como en Noodwijk en 1996. Se trata más precisamente:

- De satisfacer de modo fiable las necesidades de agua potable de las poblaciones urbanas y rurales, con el fin de mejorar la salud y prevenir las grandes epidemias.
- De asegurar la autosuficiencia alimentaria de las poblaciones a nivel local, regional y mundial mediante un desarrollo sostenible de las producciones agrícolas, basándose en particular en un riego apropiado.
- De incrementar la producción piscícola destinada a la alimentación.
- De prevenir y combatir la contaminación de toda índole y origen, con el fin de asegurar la reutilización óptima de los recursos y preservar la biodiversidad de los ecosistemas.

- De combatir las catástrofes naturales y los riesgos de erosión, inundación o sequía, teniendo en cuenta la administración del agua y los ecosistemas.

### **6.3. Acciones prioritarias**

- Dentro de las acciones prioritarias destacan las necesidades de agua, para consumo humano y consumo animal. Es necesario el manejo y utilización de las diversas fuentes de agua, entre las que predominan agua de lluvia, ríos, lagos, manantiales y acuíferos.
- Establecer y mejorar los sistemas de observación integrados de los recursos de agua dulce, a través de redes climatológicas y meteorológicas con el objeto de establecer adecuadamente los diversos sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para uso doméstico.
- Establecer y fortalecer programas y proyectos a nivel nacional, estatal, municipal y comunitario sobre sistemas de aprovechamiento de agua dulce.
- Inducir y favorecer el desarrollo de las capacidades institucionales y humanas en relación al manejo y aprovechamiento del agua de lluvia para uso doméstico. Es necesaria la intervención de los gobiernos a los diferentes niveles para apoyar los proyectos que hagan disponible el agua para uso doméstico, sobre todo en las zonas rurales.
- Establecer y reforzar los programas de capacitación a todos los niveles sobre el diseño, construcción y mantenimiento de los diversos sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico, dando especial atención al tratamiento del agua con el objeto de prevenir las diversas enfermedades.
- Inducir y reforzar la participación de la sociedad civil considerando la participación de asociaciones y de organismos no gubernamentales, dando especial atención al papel que desempeñan las mujeres y los jóvenes desde la edad escolar con el objeto de establecer una verdadera cultura del agua.
- Involucrar no solamente a los profesionales relacionados con las técnicas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia sino también considerar a la totalidad de los usuarios y a las comunidades.

- Establecer un programa permanente de abastecimiento de agua potable para las comunidades con el apoyo recurrente del gobierno, a través de subsidios para la construcción de los diversos tipos de cisternas ya que el acceso al agua potable reviste un carácter de servicio público.
- Establecer campañas masivas de concientización y sensibilización de la comunidad para el establecimiento de cisternas a nivel familiar y a nivel comunitario, no solamente en las áreas rurales, sino también en las áreas urbanas.



## CAPITULO VII. FUENTES DE INFORMACION

### 7.1. Bibliografía consultada

- Anaya, G. M. (1977). Technology and desertification. In: "Desertification, it causes and consequences". Pergamon, Press. Oxford, England. pp 319 - 448.
- Appan., A. et al. (1997). Alternative dual - mode working systems for the collection and use of rainwater in high -rise buildings for non - potable purposes. En: Proceedings of the 8<sup>th</sup> international conference on rainwater catchment systems. April 25 - 29. Tehran, I.R. Iran. pp 3 - 9.
- Biblioteca de Veterinaria y Zootecnia. (1976). Cría del pollo de carne. Ed. AEDOS. Barcelona, España. 284 p.
- Colegio de Postgraduados. (1991). Manual de conservación del suelo y del agua. Tercera Edición. Chapingo, México. pp 23-30.
- Córdova, B. J. (1967). Infraestructura de operación para ganado lechero. Banco Agropecuario de Occidente. Jalisco, Méx. 68 p.
- EMBRAPA-CPATSA. (1988). Captacão e conservação de água de chuva no semi-árido brasileiro. Cisternas rurais-II. Água para consumo humano. Circular técnica N° 16. Petrolina, PE. pp 10-33.
- EMBRAPA-CPATSA.(1984). Captacão e conservação de água de chuva para consumo humano. Cisternas rurais. Dimensionamiento, construção e manejo. Circular técnica N° 12. Petrolina, PE. pp 14.
- Escamilla, A. L. (1960). Cría y explotación del cerdo. México, D.F. Ed. Trillas. pp 10-39.
- FAO. (1973). Man's influence on the hydrological cycle. Irrigation and drainage paper. Especial issue 17. Rome, Italy. pp 2-9.
- Gnadlinger, J. (1997). Presentación técnica de diferentes tipos de cisternas construidas en comunidades rurales del semi-árido brasileño. En: I Simpósio sobre captacão de água de chuva no semi-arido brasileiro. Petrolina, P.E. Pernambuco, Brasil.
- Gutiérrez, M. y Delgadillo, A.J. (1993). Informe de análisis físicos y químicos de agua. Laboratorio de control de calidad de agua. Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), Nicaragua.

- Jordano, B. D. (1980). Cría del pollo. Ed. Aribia. Barcelona, España. 282 pág.
- Leonor, S. M. (1987). Cría casera de pavos. Ed. CECSA. México, D.F. 131 p.
- Mancilla, C. J. L. (1991). Abastos veredales de aguas lluvias. Lotería de los territorios nacionales. Departamento Administrativo de intendencias y comisarias. Servicio seccional de salud del Vaupes, Colombia. 25 p.
- McPherson, H.J. (1985). Experience with rainwater catchments in Kenya and Botswana. Department of geography, university of Alberta, Edmonton, Canada. 16 p.
- Monteiro, R. H. (1997). Viabilidad técnica y económica de pequeñas adutoras en el programa de cisternas rurales en el estado de Sergipe. En: I Simpósio sobre captação de água de chuva no semi-arido brasileiro. Petrolina, P.E. Pernambuco, Brasil.
- Myers, L.E. (1987). Recent advances in water harvesting Journal of soil and water conservation, 22 (3): 95-97.
- Nutrient Resource Council. (NRC). (1989). Nutrients requeriments of dairy cattle. National Academy Press. Washignton, D.C. USA. Pág 49.
- Orcas, B. R. (1983). Apuntes sobre nutrición de ovinos. UACH-Zootenia, Chapingo, Méx. 85 p.
- Ortíz, R. G. (1998). Aspectos relevantes de la política del agua en México, en el medio del desarrollo sustentable. Conferecia Internacional "Agua y Desarrollo Sostenible". París, Francia. 19 - 21 de marzo.
- Pond, W. G. (1981). Biología del cerdo. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 327 p.
- Portsmouth, I.J. (1988). Producción comercial de conejos para carne. Ed. Manuales de técnica agropecuaria. Zaragoza, España. 210 p.
- Radulovich, R. Et. al. (1994). Captación de agua de lluvia en el hogar rural. Serie técnica. Informe técnico N° 220. CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp 1-25.
- Radulovich, R. Y J. Karremans. (1993). Validación de tecnología en sistemas agrícolas. Serie Técnica, Informe Técnico No. 212, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Ríos, A. J. R. (1997). Alternativas de Agua de lluvia para consumo humano. En: IV Reunión nacional sobre sistemas de captación de lluvia. 6 al 9 de octubre. Torreón, Coah. México. pp 18 - 33.

- Santos Walter Wil. (1992). Informe de asesoría técnica. Proyecto Agrosilvopastoril de Nicaragua, MAG/CATIE/ACDI. Nicaragua, 23 p.
- SEP-DGETA. (1982). Manuales para la educación agropecuaria. Cabras. Ed. Trillas. México, D.F. 108 p.
- Sharma, P. (1990). Manual on soil conservation by agro-forestry methods, for the uplands of the Maribios Mountains of Nicaragua. IRENA/FAO, León, Nicaragua.
- Shiklomanov, I. (1993). World Freshwater Resources. In: Water in Crisis, P. Gleick ed., Chapter. 2, pp 1-24, Oxford University Press.
- Shiklomanov, I.A. (ed.). (1996). Evaluación de los recursos y agua disponible, en el mundo. State Hydrological Institute. San Petersburgo. Documento técnico anexo de Evaluación exhaustiva de las existencias de agua dulce en el planeta. Informe del Secretario General a la quinta sesión de la Comisión de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas. Nueva York. Abril 1997. 64 pp.
- Silva A. de S., Brito, L.T. de L. & Rocha, H.M. (1988). Captacão e conservação de água de chuva no semi-árido brasileiro; cisternas rurais II: Agua para consumo humano. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPAF. (EMBRAPA-CPATSA. Circular técnica, 16).
- UNEP. (1983). Rain and stormwater harvesting in rural areas. Water Resources Series, Vol. 5, Tycooly International, Dublin.
- UNESCO-ROSTLAC. (1991). Agua, vida y desarrollo. Manual de uso y conservación de agua en zonas rurales de América Latina y el Caribe. Tomo 3, Técnicas. UNESCO, ORCY, Montevideo.
- UNEP Y OEA. (1997). Source book of alternative technologies for freshwater augmentation in Latin America and the Caribbean. Washignton, D.C. EUA. pp 33-38 y 223.
- Velasco, M. H. A. (1995). Fuentes de agua de consumo en el medio rural de los semidesiertos mexicanos. En: Revista Terra. Vol. 13. Nº 4. Octubre - diciembre. pp 400 - 426.
- Yenprasitti, A y McGarry M. (1981). Sistemas de captación de aguas pluviales en techos. En: Banco Mundial. Información y capacitación en abastecimiento de agua y saneamiento de bajo costo. Sistemas de captación de aguas pluviales en techos. Washington, D.C. E.U.A. pp 50 - 61.

## 7.2. Bibliografia adicional

- Anon. (1982). Proceedings of the First International Conference on Rainwater Cistern Systems. Water Resources Research Center, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, U.S.A.
- Anon. (1984). Proceedings of the Second International Conference on Rainwater Cistern Svstems. Caribbean Research Institute and the Virgin Islands Branch of the American Society of Civil Engineers, St. Thomas, U.S. Virgin Islands.
- Anon. (1987). Proceedings of the Third International Conference on Rainwater Cistern Svstems. Khon Kaen University, Thailand.
- Anon. (1989). Proceedings of the Fourth International Conference on Rainwater Cistern Systems. International Development Research Centre, Canadian International Development Agency and the Philpippine Water Works Association., Manila, The Philippines.
- Barbados Water Authority. (1984). Report on Supply-Use of Roof and Parking Lot Catchments. Sub- Committee on Water Resources, Barbados.
- Bernat, C., Courcier, R. e Sabourin, E. A. (1993). Cisterna de Placas; Técnicas de Construção. Massagano, Recife. 74 p.
- Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, ESCAP. (1989). Rainwater Harvesting Techniques and Prospects for their Application in Developing Island Countries Water Resources Development in Asia and the Pacific: Dam Safety Evaluation and Monitoring, Water Tariffs and Rainwater Harvesting. ESCAP, United Nations Water Resources Series No 63, 101-118.
- Edwards, D. and Keller, K. (1984). A Workshop Design for Rainwater Roof Catchment Systems (Training Guide) and Appendix - Rainwater Harvesting for Domestic Water Supplies in Developing Countries. UNESCO/ROSTLAC, UNICEF, Instituto de Hidráulica e Hidrología, La Paz, Bolivia.

- Edwards, D., Keller, K. and Yohalem, D. (1984). A Workshop Design for Rainwater Roof Catchment Systems: A Training Guide. Water and Sanitation for Health, Technical Report No 27.
- EMBRAPA-CPATSA. (s.d.) Captación y Conservación de Agua de Lluvia para Consumo Humano. EMBRAPA-CPATSA Circular Técnica No 12.
- Final Report of the Workshop on Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in the Caribbean. Barbados, 24-27 October, (1995).
- Gonguez, P. (1980). Water Supplies in Off-shore Islands and Coastal Communities. United Nations/Commonwealth Science Council (CSC) Seminar on Small Island Water Problems. Barbados.
- Gould, J.E. (1990). Development in Rainwater Catchment Systems: Technology and Implementation Strategies in the 1980's and Lessons for the 1990's. Experiences in the Development of Small-Scale Water Resources in Rural Areas. In: Proceedings of the International Symposium on Development of Small-Scale Water Resources in Rural Areas. Bangkok, Thailand. p. 95-105.
- Hadwen, P. (1987). Caribbean Islands: A Review of Roof and Purpose Built Catchments. Non- Conventional Water Resources Use in Developing Countries, United Nations Natural Resources/Water Series No 22, 455-468.
- Hadwen, P. and de Jong, A. (1984). Improvement of Water Supplies in St. Vincent Grenadines. UNDP Project RLA/82/023, Informal Report 17.
- Hadwen, P., ed. (1980). Proceedings of the United Nations Seminar on Small Island Water Problems. UNDP, Barbados.
- Haebler, R.H. and Waller, D.H. (1987). Water Quality of Rain Water Collection Systems in the Eastern Caribbean. In: Proceedings of the Third International Conference on Rainwater Cistern Systems, Khon Kaen, Thailand.
- Heggen, R.J. (1984). Rainwater Catchment Systems: A Review. In: Proceedings of the Second International Conference on Rainwater Cistern Systems (Smithe, H.H., ed.), St. Thomas, U.S. Virgin Islands. p. A3.1-A1-13.
- Informe Final del Seminario-Taller sobre Tecnologías Alternativas para Aumentar la Disponibilidad de Agua en América Latina. Perú, 19-22 September, (1995), Organization of American States (OAS)/UNEP.

- Janssens, L. (1978). Preliminary Assessment of Rainwater Catchment Possibilities at Nassau International Airport. UNDP Project BHA/73/004, Technical Report 3.
- Junker, M. (1995). Abastecimiento de Agua Potable en los Asentamientos Indígenas de Diez Leguas. Cooperación Hidrogeológica Paraguay - Alemana, Dirección de Recursos Hídricos - Paraguay / Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales -Alemania, Informe Técnico N° 11. Filadelfia, Paraguay. 22 p.
- Keller, S. (1995). Posibilidades de Desarrollo del Chaco Paraguayo por el Control del Consumo de Agua Subterránea y el Aprovechamiento de las Precipitaciones. Cooperación Hidrogeológica Paraguay - Alemana., Dirección de Recursos Hídricos - Paraguay/Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales - Alemania, Informe Técnico No 14. Filadelfia, Paraguay/Hannover, Alemania. 28 p.
- Leung, Ping-Sun and Fok, Yu-Si. (1982). Determining the Desirable Storage Volume of a Rainwater Cistern System: A Stochastic Assessment. In: Proceedings of the First International Conference on Rainwater Cistern Systems, Water Resources Center, University of Hawaii, Hawaii, U.S.A. p. 233-244.
- Lorenzo, Nieves. (1988). Proyecto de Presupuesto para la Construcción de Cisternas Rurales en los Caseríos Corozalito y el Guanábano del Distrito Zamora Estado Falcón. FUDECO-PIDZAR. Coro. Venezuela.
- Maraven. (1987). Tecnología Alternativa Cosechando la Lluvia. Gerencia de Relaciones Públicas, Gerencia de la Faja Petrolífera del Orinoco. Venezuela.
- Myers, L.E. (1974). Water Harvesting, 2000 BC to 1974 AD. Proceedings of the Water Harvesting Symposium. Phoenix, Arizona, U.S. Department of Agriculture Report No. ARS-W. 22, 1-7.
- Nova Scotia Department of Health. (s.d.). The Use of Rainwater for Domestic Purposes in Nova Scotia. Halifax, N.S., Canada.
- Oliveira, A.M. e Martinez, J.V. (1987). Tecnologías Simples para Aproveitamentos de Pequeno Porte dos Recursos Hídricos do Semi-Arido Nordeste. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia Artigo Técnico 14, 54 p.

- Oosterbaan, A.W.A. y Martínez, J.Z. (1987). Cisternas Rurales Tipo CPATSA. Un Manual para su Dimensionamiento, Construcción y Mantenimiento en el Chaco Central, Paraguay (inédito). PNUD Proyecto PAR/86/003. Filadelfia, Paraguay. 21 p.
- Penn, Gary. (1986). The Present State of Water Supply in the British Virgin Islands. Chief Engineer, Water and Sewerage Department from a paper presented at the Fifteenth Caribbean Water Engineers Conference in Tortola, 25-28 November.
- Pérez Hernández, David. (1994). Aprovechamiento del Embalse San Francisco y otras Fuentes Alternas de Agua en Macanao. Estado Nueva Esparta. MARNR Caracas, Venezuela. Mayo.
- Pescatore, Italia y Lorenzo, Nieves. (1987). Captación y Conservación de Agua de Lluvia para Consumo Baño. Cisternas Rurales. Dimensionamiento, Construcción y Manejo. FUDECO-PIDZAR Barquisimeto, Venezuela.
- Pizarro, Emérito T. (1991). Manual de Cisternas Rurales. Guatemala.
- Reller, R. (1982). Rainwater Harvesting for Domestic Water Supplies in Developing Countries. United States Agency for International Development, Water and Sanitation for Health Project, Working Paper No. 20, Washington, D.C., U.S.A.
- Rinehart, F. (1983). Water Quality of Cistern Water in St. Thomas, United States Virgin Islands. Caribbean Research Institute, College of the Virgin Islands, Technical Report No. 15.
- Ruskin, R., et al. (1988). Maintenance of Cistern Water Quality in the Virgin Islands. Water Resources Research Institute, University of the Virgin Islands, Technical Report No. 30.
- Santos, Walter W. (1992). Cosechas de Aguas de Lluvias Para Uso Doméstico. Honduras.
- Schiller, E.J. y Latham, B.G. (s.d.) Sistemas de Captación de Aguas Pluviales. OPS/CEPIS, Santiago, Chile.
- Silva, A. de Souza e Porto, E. Rocha. (1982). Utilização e Conservação dos Recursos Hídricos en Areas Rurais do Tropico Semi-Arido do Brasil. EMBRAPA-CPATSA Documentos No 14, 128 p.
- Silva, A. de Souza, Brito, L. T. de L. e Rocha, H. M. (1988). Captação e Conservação de Agua de Chuva no Semi-árido Brasileiro: Cisternas Rurais II; Agua para Consumo Humano. EMBRAPA-CPATSA Circular Técnica N° 16.

- Silva, A. de Souza, Porto, E. Rocha, Lima, L. Teixeira de Gomez, P.C. Farias. (1984). Cisternas Rurales. Dimensionamiento, Construcción e Manejo. EMBRAPA-CPATSA-SUDENE Circular Técnica N° 12,. 101 p.
- Smith, Henry H. (1983). Effects of Various Factors on the Sizing of Rain Water Cistern Systems. Caribbean Research Institute, College of the Virgin Islands, Technical Report No. 19.
- Source book of alternative technologies for freshwater augmentation in latin america and the caribbean. (1996). Unep/oas. in press
- Thomas, E.N. (1980). The Artificial and Roof Rainwater Catches of Bermuda. UN / CSC Seminar on Small Islands Water Problems. Barbados.
- UNDTCD. (1989). Roof Catchments, Roof Coverings, Guttering and Downpipes. United Nations Water Resources Assessment and Planning in Pacific Islands, UNDP Project RAS/87/009, 49p.
- UNEP. (1983). Rain and Stormwater Harvesting in Rural Areas. United Nations Environment Programme, Water Resources Series, 5, 92-113.
- Waller, D.H. (1982). Rainwater as a Water Supply Source in Bermuda. In: Proceedings of the International Conference on Rain Water Cistern Systems. Water Resources Research Center, University of Hawaii, Hawaii, U.S.A., p. 184-193

### 7.3. Contactos personales

- Adhityan Appan. Presidente de la Asociación Internacional de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (IRCSA). Escuela de Ingeniería Civil. Universidad Tecnológica de Nayang. Singapur. Tel. 7995325. fax. 7921650. E-mail: cappan@ntu.ntu.ac.sg.
- Basil Fernandez, Managing Director, Underground Water Authority, Hope Gardens, Post Office Box 91, Kingston 7, Jamaica, Tel. (809)927-1878, Fax (809)977-0179.
- Bernardine Georges, Chief of the Hidrology Section of the Water Resources National Services/Ministry of Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural, Av. Lamartivière 56, Port-au-Prince, Haiti, Tel. (509)22-4057 / 45-4113, Fax (509)22-3591.



Bwalya John Mwansa, Project Manager, Barbados Water Resources Management & Water Loss Studies, Barbados Water Authority, Invermark, Hastings, Christ Church, Barbados, Tel. (809)430-9373, Fax (809)430-9374.

Eduardo Torres, Investigador, Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Aridas (IADISA), Bajada del Cerro de la Gloria s/n, Parque General San Martín, Casilla de Correo 507, 5500 Mendoza, Argentina, Tel. (54-1) 28-7995, Fax (54-1) 28-7995, E-mail: ntricyt@criba.edu.ar.

Elizabeth (Beth) Szilassy. Associação Menonita de Assistência Social - AMAS. Construção de Cisternas ou Pocos Amazonas redondas utilizando formas de metal.

Ernesto Bond Reyes, Director General, Dirección General de Recursos Hídricos - DGRH/Ministerio de Recursos Naturales, 100 metros al sur Campo Birichiche, Tegucigalpa, Honduras, Tel. (504)32-6250 / 32- 1386, Fax (504)32-1828.

Eugenio Godoy Valdovinos, Comisión Nacional de Desarrollo Regional Integrado del Chaco Paraguayo, Dirección de Recursos Hídricos, Casilla de Correo 984 / 273, Filadelfia, Paraguay, Tel. (595)91-275, Fax (595)91-493.

Haroldo Schistek. Eng. Agr. Coordenador do IRPAA - Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada Juazeiro-BA. Cisterna-Cacimba.

Henry H. Smith, Director Water Resources Research Institute, University of the Virgin Islands, #2 John Brewers Bay, St. Thomas, U.S. Virgin Islands 00802-9990, Tel. (809)693-1063, Fax (809)693-1074, E-mail: hsmith@uvi.edu.

Hugo A. Velasco Molina. Profesor titular e investigador de ciencias del suelo. Dpto. de Ingeniería Agrícola. División de agricultura y tecnología de alimentos. ITESM Campus Monterrey. Ave. Eugenio Garza Saca 2501 Sur Co. Tecnológico Monterrey, N. L. C. P. 54849 Tel (8) 358-18-73.

Joao Gnadlinger. Diretor da América do Sul da Associação Internacional de Sistemas de Captação de Água de Chuva - IRCSA; Setor de Clima e Água do Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada. - IRPAA. Juazeiro - BA. Apresentação técnica de diferentes tipos de cisternas, construídas em comunidades rurais do semi-árido brasileiro. Tel. 0055-74-811-6481. Fax

Jorge Faustino Marco, Líder, Proyecto RENARAN/Cuencas, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE, Apartado 7170, Turrialba, Costa Rica, Tel.

(506)556-6279 / 556- 7830, Fax (506)556-1576 / 556-1533, E-mail:

jfaustin@catie.ac.cr.

José Payero, Profesor, Investigador Departamento de Recursos Naturales, Instituto Superior de Agricultura - ISA, Apartado 166, La Herradura, Santiago, República Dominicana, Tel. (809)247-0082 / 247-2000, Fax (809)247-2626 / 247-0085

Joseph E. Williams, Chief Environmental Health Officer, Environmental Health Department Ministry of Health and Social Security, Duncombe Alley, Grand Turk, Turks and Caicos Islands, BWI, Tel. (809)946- 2152 / 946-1335, Fax (809)946-2411.

Julián Rubén Ríos Angeles. Gerente regional pacífico sur de la Comisión Nacional del Agua, Reforma 905 Colonia centro, C.P. 68000. Oaxaca, Oax. Tel 901 (951) 3-31-80, 5-41-29.

Luis Alfredo Ochoa, Engineer, Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH/Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas, 7ª Avenida 14-17, Zona 13, Guatemala, Tel. (502-2)31-4967 / 31-9163, Fax (502-2)31-5005.

Luiza Teixeira de Lima Brito, Pesquisadores, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Arido - CPATSA, BR-428 km 152 - Zona Rural, Caixa Postal 2356, 300-000 Petrolina, Pernambuco, Brasil, Tel. (55-81) 862-1711, Fax (55-81) 862-1744, E- mail: Luizatl@cpatsa.embrapa.br.

Margaret Dyer-Howe, General Manager, Montserrat Water Authority, Post Office Box 324, Church Road, Plymouth, Montserrat, BWI, Tel. (809)491-8440, Fax (809)491-4904.

Martha Pinedo-Medina, Coordinator, Water and Soil Section, Department of Agriculture, Animal Husbandry and Fisheries, Klein Kwartier N. 33, Curacao, Netherlands Antilles, Tel. (599-9)37-6170, Fax (599-9)37-0723.

Martin Satney, Senior Agricultural Engineer, Ministry of Agriculture, Lands., Fisheries and Forestry, NIS Building, 5<sup>th</sup> Floor, Castries, St. Lucia, Tel. (809)450-2337, Fax (809)453-6314.

Milagros Martínez Esquea, Ingeniero Agrónomo, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos -INDRH, Programa de Manejo de Agua a Nivel de Finca, Av. Jiménez

Moya, Centro de los Héroes, Apartado Postal 1407, Santo Domingo, República Dominicana, Tel. (809)533-5804 / 532-4863, Fax (809)532-5889.

Moekiran Amatali, Director, Hydraulic Research Division, Magnesium Street 41 (Duisburglaan), Post Office Box 2110, Paramaribo, Suriname, Tel. (59-7)49-0963, Fax (59-7)46-4901 / 49-0627.

Pierre Micael Merisier, Engineer, Department du Sud, Service National d'Eau Potable - SNEP, Delmas 45 #1, Post Office Box 13431, Port-au-Prince, Haiti, Tel. (509)46-2927, Fax (509)46-0881.

Rajkumar Ropchand, Head Engineer of the Operations and Maintenance Division of the Water and Sewerage Department/Ministry of Communications and Works, Post Office Box 130, Road Town, Tortola, British Virgin Islands.

Richar Heggen. Profesor de Ingeniería Civil. Universidad de Nuevo México. E.U.A.

Vincent Sweeney, Sanitary Engineer, Caribbean Environment and Health Institute - CEHI, Post Office Box 1111, The Horne, Castries, St. Lucia, Tel. (809)452-1412, Fax (809)453-2721, E-mail: cehi@isis.org.lc.

#### **7.4. Direcciones internet**

[http://agrolink.moa.my/jps/e\\_papers.html](http://agrolink.moa.my/jps/e_papers.html)

<http://fadr.msu.ru/rodale/agsieve/txt/vol2/8/art1.html>

<http://gopher.undp.org/unconfs/habitat/conf/165-5a1>

<http://oneworld.org/ircwater>

<http://polyglot.lss.wisc.edu/afirst/water.html>

<http://techware.vub.ac.be>

<http://twri.tamu.edu/twri/twripubs/NewWaves/v9n1/study-1.html>

<http://vwww.netcom.net.uk/~n/nri/profiles/prof288.htm>

<http://www.arij.org/water/pub/evaluatn/evaluate.htm>

<http://www.awwa.org>

<http://www.bower.co.uk/sx070008.htm>

<http://www.cciw.ca/gems>

<http://www.cemagref.fr>

<http://www.cenargen.embrapa.br/embrapa/general/reg.html>  
<http://www.crest.org.efficency/strawbale-list-archive/9612/msg00283.html>  
<http://www.cwmb.sa.gov.au/torrens/plan/>  
<http://www.cybercomm.nl/~wbdwing/rain.html>  
<http://www.deb.uminho.pt/fontes/enviroinfo/water.htm>  
<http://www.eaufrance.tm.fr>  
<http://www.envirolink.org/seel/rodale/ag-sieve/vol4no3.html>  
<http://www.environnement.gouv.fr/>  
<http://www.epa.gov/owow>  
[http://www.eren.doe.gov/femp/greenfed/4.0/4\\_6\\_graywater\\_rainwater\\_har.htm](http://www.eren.doe.gov/femp/greenfed/4.0/4_6_graywater_rainwater_har.htm)  
<http://www.great-lakes.net>  
<http://www.greenbuilder.com/sourcebook/Rainwater.html>  
<http://www.gwp.sida.se>  
<http://www.gwpforum.org>  
<http://www.idrc.ca/books/reports/1997/21-01e.html>  
<http://www.iica.org.br/AguaTrab/Nelson%20da%20Franca/SUMMARY.html>  
<http://www.inrs-eau.quebec.ca>  
<http://www.metla.fi/publish/acta/abs/aa253.htm>  
<http://www.minvenw.nl/rws/riza/riza.htm>  
<http://www.nal.usda.gov/wqic/dbases.html>  
<http://www.oas.org/EN/PROG/srcecont.htm>  
<http://www.oas.org/L/IWRN.htm>  
<http://www.oas.org/SP/PROG/srcean3.htm>  
<http://www.oieau.fr>  
<http://www.pub.gov.sg/w3apply.html>  
<http://www.rio.net/hycosaoc>  
<http://www.rolac.unep.mx/>  
[http://www.rolac.unep.mx/recnat/esp/recmar/recmar\\_e.htm](http://www.rolac.unep.mx/recnat/esp/recmar/recmar_e.htm)  
<http://www.sei.se/cse3.html>  
<http://www.simposio/pal01.html>  
<http://www.state.sc.us/energy/water.ht>

<http://www.unep.or.jp/ietc/ESTdir/tech/iett0001.html>

<http://www.uswaternews.com/links.html>

<http://www.worldwatercouncil.org>

<http://www.wrcplc.co.uk>









