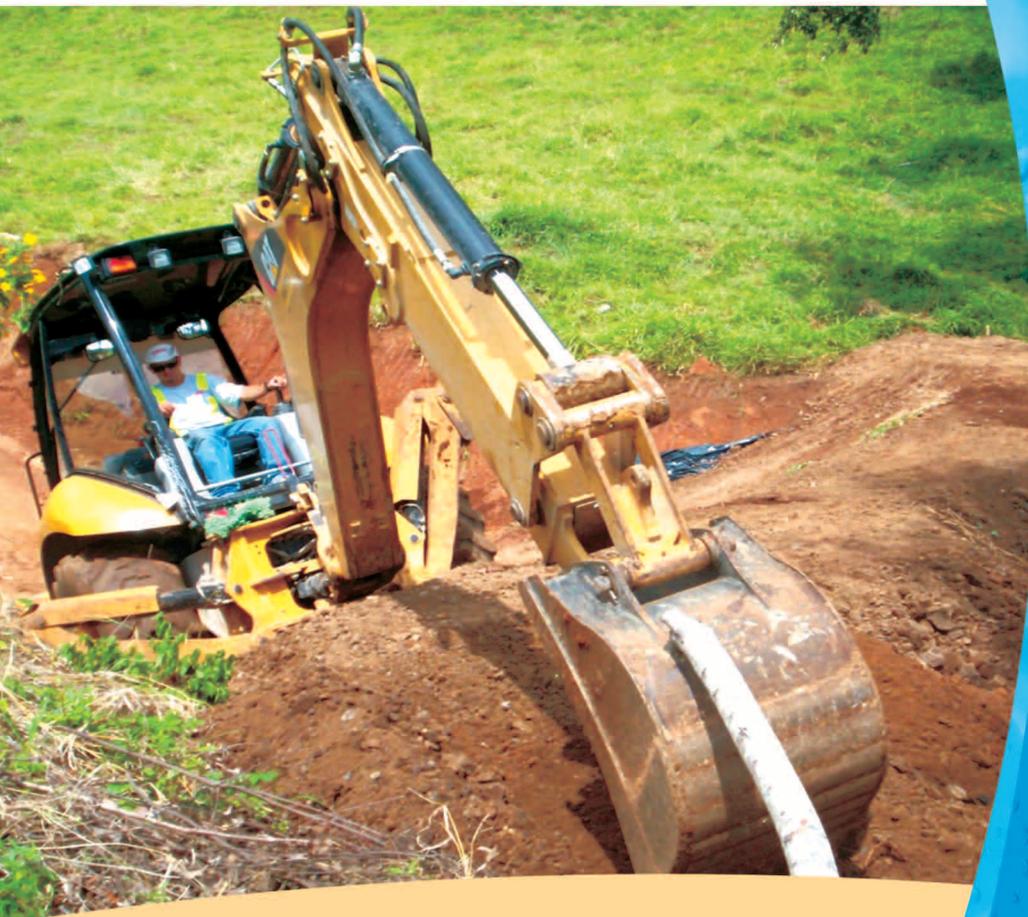


ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL DESARROLLO DE OPCIONES DE COSECHA DE LLUVIA Y MANEJO ADECUADO EN SISTEMAS DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA.



Documento: D-O6.

“MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BÁSICAS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (SCALL) EN EL SECTOR AGROPECUARIO DE COSTA RICA Y RECOMENDACIONES PARA SU UTILIZACIÓN”.

CONSULTORÍA SP-16-2009.

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL DESARROLLO DE OPCIONES DE COSECHA DE LLUVIA Y MANEJO ADECUADO EN SISTEMAS DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA.

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

CONVENIO 1436/OC-CR-BID.

PERIODO DE REALIZACIÓN NOVIEMBRE 2009-JUNIO 2010.

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA
PARA EL DESARROLLO DE OPCIONES DE COSECHA DE
LLUVIA Y MANEJO ADECUADO EN SISTEMAS DE RIEGO
EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA



SENARA



PFPAS

Convenio 1436/OC-CR-BID



Documento: D-06.

**“MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
BÁSICAS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTRUCTURAS
DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (SCALL)
EN EL SECTOR AGROPECUARIO DE COSTA RICA Y
RECOMENDACIONES PARA SU UTILIZACIÓN”.**

CONSULTORÍA SP-16-2009
REALIZADA PARA EL MINISTERIO DE AGRICULTURA
Y GANADERÍA EN EL MARCO DEL PROGRAMA DE
FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
SOSTENIBLE.
CONVENIO 1436/OC-CR-BID.
PERIODO DE REALIZACIÓN NOVIEMBRE 2009-JUNIO 2010.

UNA
UNIVERSIDAD
NACIONAL
COSTA RICA



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

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

APORTES TÉCNICOS

Hubert Morris Grainger.

David Morales Hidalgo.

Jaime Arrieta Quesada.

Rubén Medina Carrillo.

333.91

S165m Salinas Acosta, Adolfo.

Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia (SCALL) en el sector agropecuario de Costa Rica y recomendaciones para su utilización / Adolfo Salinas Acosta, Rigoberto Rodríguez Quirós, David Morales Hidalgo. -- Nicoya: Universidad Nacional, CEMEDE, 2010.

96 p. : il. ; 24 cm.

ISBN 978-9968-638-02-9.

1. Abastecimiento de agua. 2. Recursos hídricos. 3. Sistemas de riego. 4. Lluvia. 5. Estructura agrícola. I. Rodríguez Quiros, Rigoberto. II. Morales Hidalgo, David. III. Título.

Diseño y diagramación: Érick Quirós Gutiérrez.

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

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

© MAG 2010.

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

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	V
PREFACIO	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. RESERVORIOS PARA ALMACENAR AGUA	3
2.1. TIPOS DE RESERVORIOS	4
2.1.1 Reservoirios Dique-Represa	5
2.1.2 Reservoirios Excavados	5
2.1.3 Reservoirio Estanque	5
2.1.4 Reservoirio Envase	6
2.1.5 Reservoirio Dique Escalonado	6
2.2. ELEMENTOS POR CONSIDERAR PARA LA CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIOS	7
2.2.1. Selección del sitio	7
2.2.2. Capacidad de almacenamiento	14
2.2.4. Tubería de conducción del reservorio a la zona de cultivo	16
2.2.5. Evaporación	18
2.2.6. Infiltración	19
2.2.7. Agua de reserva	19
2.2.8. Sedimentador	20
2.2.9. Requerimientos Hídricos de los Cultivos	22
2.2.10. Radiación solar y su importancia en los cultivos	28
3. CONSTRUCCIÓN DE UN RESERVORIO	29
3.1 TALUDES PARA PRESAS DE MATERIAL HOMOGÉNEO	32
3.2 CALIDAD DE LOS MATERIALES EMPLEADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS	34
3.3. CÁLCULO DE ESTIMACIÓN DE MOVIMIENTO DE TIERRAS PARA UN RESERVORIO TIPO REPRESA	34
3.3.1 Reservoirio Dique-Represa	35
3.3.2 Reservoirio Excavado revestido con concreto	36
3.3.3 Reservoirio tipo Dique-Represa con revestimiento plástico	37

3.3.4	Reservorio tipo Dique-Represa con gaviones	40
3.3.5	Reservorio tipo estanque revestido con plástico	42
3.3.6	Reservorio Tipo Envase	44
3.3.7	Reservorio Tipo Dique Escalonado	45
4.	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO	47
4.1.	RIEGO POR GOTEO	47
4.1.1	Características	48
4.1.2	Ventajas	49
4.1.3	Inconvenientes	50
4.2.	RIEGO POR ASPERSIÓN	50
4.2.1	Características	51
4.2.2	Ventajas	51
4.2.3	Inconvenientes	52
4.3	RIEGO POR MICRO-ASPERSIÓN	52
5.	METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE SITIOS ADECUADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIOS	53
6.	SISTEMAS DE BOMBEO	54
6.1	GENERALIDADES	54
6.2	CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO	56
6.3	SELECCIÓN DE BOMBAS	56
6.4	CARGA DINÁMICA TOTAL	57
6.5	COSTO DE BOMBEO	58
6.6	GOLPE DE ARIETE	58
6.7	SELECCIÓN DE CABLE PARA MOTORES ELÉCTRICOS	59
6.8	CÁLCULO DE LA CAÍDA DE VOLTAJE	59
	Ejemplo: cálculo de la caída de voltaje	61
	Ejemplo: selección de bomba eléctrica	61
	Ejemplo de selección de bomba de combustible (gasolina)	64
7.	REFERENCIAS	67
8.	ANEXOS	69

AGRADECIMIENTO

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

Región Chorotega:

Ing. Oscar Vásquez Rosales, Director Regional.

Ing. Norma Salazar Ruiz, Unidad de Proyectos.

Ing. Juan Manuel Benavides Pérez, Unidad de Proyectos.

Ing. Omar Campos Duarte, Coordinador de Producción Sostenible.

Región Huetar Norte:

Ing. Javier Ávila Vega, Director Regional.

Ing. Allan Alfaro Alfaro, Coordinador de Producción Sostenible.

Ing. Luis Fernando González Chinchilla, Jefe de Extensión.

Región Pacífico Central:

Ing. Juan Carlos Moya Lobo, Director Regional.

Ing. Amalia Venegas Porras, Coordinadora de Producción Sostenible.

Ing. Luis Umaña Rodríguez, Técnico agrícola.

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

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

PREFACIO

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

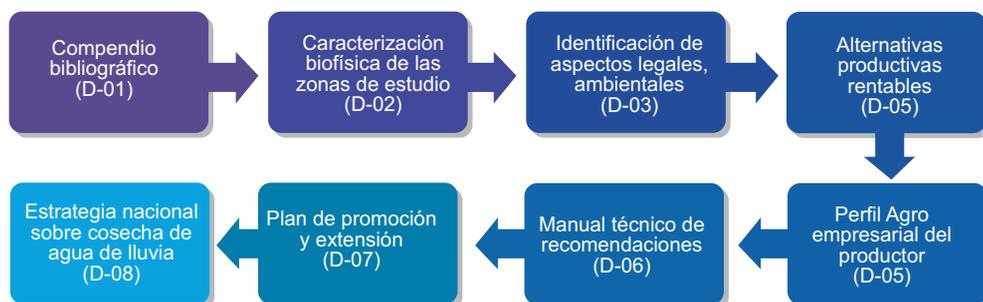
Dicha consultoría tenía como fin primordial la elaboración de una Estrategia Nacional para la implementación de la tecnología de cosecha de agua de lluvia en el país.

Los productos de la consultoría incluyen los siguientes documentos:

- **Documento 1 (D-01):** *Compendio con información de las opciones técnicas de cosecha de agua aplicables a nuestro medio.*
- **Documento 2 (D-02):** *Caracterización biofísica de las zonas definidas para la implementación de las opciones de cosecha de agua de lluvia.*
- **Documento 3 (D-03):** *Identificación de los aspectos ambientales, legales, sanitarios que establezcan regulaciones en cosecha de agua.*
- **Documento 4 (D-04):** *Alternativas productivas rentables por región.*
- **Documento 5 (D-05):** *Perfil agro empresarial de los posibles beneficiarios de la tecnología de cosecha de lluvia.*
- **Documento 6 (D-06):** *Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia (SCALL) en el sector agropecuario de Costa Rica y recomendaciones para su utilización.*
- **Documento 7 (D-07):** *Plan de promoción, extensión y capacitación de las innovaciones tecnológicas para la implementación de la cosecha de agua de lluvia en seis regiones de costa rica.*
- **Documento 8 (D-08):** *Propuesta de estrategia nacional de desarrollo de las opciones técnicas para la cosecha de lluvia y su utilización en sistemas de riego.*

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

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



Es decir, es apropiado iniciar la lectura de los diferentes documentos, con el denominado “*Compendio bibliográfico de las opciones técnicas de cosecha de agua aplicables a nuestro medio (D-01)*”, para considerar un panorama general del tema de la cosecha de agua de lluvia y de las diferentes estructuras que pueden funcionar en las áreas seleccionadas para el estudio.

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

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

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

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

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

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

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

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

1. INTRODUCCIÓN

Diversas sociedades humanas han luchado por su sobrevivencia durante varios milenios en ambientes áridos, semiáridos y secos, donde hay carencia de agua. Los sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia ayudan a resolver los problemas de abastecimiento para uso doméstico y riego, asimismo, representan opciones reales para incrementar los volúmenes disponibles de agua.

Lamentablemente, en América Latina y el Caribe, su utilización aún es limitada. Debido a esto, los gobiernos y comunidades buscan estrategias y unifican esfuerzos para enfrentar la creciente demanda, de ahí la urgencia de masificar la cultura del buen aprovechamiento del agua, mediante campañas masivas, utilizando todos los medios de comunicación y estableciendo programas y proyectos que conduzcan a mejorar el nivel de vida de los vecinos de zonas rurales (Anaya 1994).

En ese sentido, producir agua es un término poco familiar por tratarse de un recurso que hasta hace poco era de fácil acceso, pero su escasez como problema global nos obliga a comprender que se corre el riesgo de su inminente agotamiento. Producir agua debe entenderse como las acciones encaminadas a proteger y recuperar las áreas vitales para la existencia del agua, como son las zonas de filtración, áreas de recarga acuífera, nacientes, ríos y quebradas.

La cosecha de agua de lluvia puede entenderse como una forma de producir agua. Así, el almacenamiento de agua en reservorios es de suma importancia para la producción de cultivos rentables en una región donde hay escasez de agua. Además, la represa tiene su utilidad en el uso doméstico o como abrevadero para el ganado, pues reduce la inundación y sedimentación de la parte inferior de la represa, entre otros beneficios (Cubero 1996).

Es así que la utilización de reservorios en donde se almacene agua de lluvia puede ayudar a reducir la explotación de aguas superficiales y subterráneas, a la vez, permite el aumento de producción, mediante la implementación de nuevas áreas de cultivo que utilicen el riego.

En Costa Rica, esta práctica puede beneficiar en forma positiva algunas regiones en donde se presenta escasez de agua, especialmente en verano. Se

puede mencionar, por ejemplo, las regiones Chorotega, Huetar Norte y algunas zonas del Pacífico Central, entre otras.

Con el fin de establecer una estrategia nacional para la cosecha de agua de lluvia, se firma entre el Ministerio de Agricultura y Ganadería en el marco del Programa de Fomento de la Producción Agropecuaria Sostenible, convenio 1436/OC-CR-BID y el Centro Mesoamericano de Desarrollo Sostenible del Trópico Seco (CEMEDE) la consultoría SP-016-2009 denominada “*Estudio de viabilidad técnica y económica para el desarrollo de opciones de cosecha de lluvia y manejo adecuado en sistema de riego en la producción agropecuaria*”.

Uno de los productos de la consultoría es el manual técnico para la elaboración de estructuras de captación de agua de escorrentía para uso agropecuario, el cual se presenta en este documento.

Dicho manual está orientado a pequeños y medianos productores agropecuarios e, incluye, el diseño de las estructuras que se considera pueden ser utilizables en las distintas regiones del estudio, a saber:

- Reservorio dique-represa.
- Reservorio excavado.
- Reservorio estanque.
- Reservorio envase.
- Reservorio dique-escalonado.

Además, algunos de estos tipos de reservorios incluyen también algunas variaciones, por ejemplo, la adición de plástico o geomembrana para reducir la infiltración.

En general, no se puede hablar de un reservorio específico para cada región, ya que los que se desarrollan como ejemplos podrían funcionar en distintas partes. Las diferencias se pueden dar en la necesidad de utilizar materiales de revestimiento, concreto, piedra, entre otros, dependiendo del tipo de reservorio y la disponibilidad de materiales.

Además de los pasos para la construcción de los reservorios, con sus respectivos costos (de acuerdo con las medidas de los ejemplos), el manual incluye, también, un capítulo sobre los sistemas de riego, entre los que destacan el riego por goteo, por aspersión y por microaspersión. Por las ventajas y características, en este manual se recomienda el riego por goteo.

El capítulo final del documento habla del bombeo, por ser una parte de gran importancia a la hora de establecer sistemas de riego de aguas en reservorios, especialmente, para aquellas zonas donde las características geográficas no permiten trasladar el agua por gravedad.

El manual se presenta en un lenguaje sencillo y práctico. Sin embargo, algunos temas requieren conocimientos técnicos, en ocasiones complicados, (tal es el caso de cálculos de voltajes en bombeo). Por lo tanto, se recomienda consultar a un técnico especialista en la materia, en aquellos casos de cierta complejidad.

2. RESERVORIOS PARA ALMACENAR AGUA

El almacenamiento de agua en reservorios permite tener, al productor agropecuario, un suministro de agua de buena calidad en el verano o durante las sequías o veranillos que se presentan en invierno.

Los reservorios se pueden construir para almacenar aguas de escorrentía provenientes de quebradas y ríos, o para capturar aguas llovidas, lo que se puede definir como cosecha de agua de lluvia. En ese sentido, Nasr (1999) define la cosecha de agua como *“la recolección del agua de escorrentía para su uso productivo”*, mientras que, según la FAO (2000), la captación de agua de lluvia está definida como *“la recolección de escorrentía superficial para su uso productivo, y que puede lograrse de las superficies de tejados, así como de corrientes de agua intermitentes o efímeras”*.

Tomando en cuenta la relación entre el área de recolección y el área de depósito del agua se pueden anotar las siguientes categorías para cosecha de lluvia: (1) Cosecha de agua en techos, (2) Cosecha de agua para consumo animal, (3) Cosecha de agua inter-lineal (4) Microcaptación, (5) Captación de mediana escala o macrocaptación, (6) Captación de gran escala (áreas de captación con muchos kilómetros cuadrados, necesitan estructuras muy complejas y grandes redes de distribución).

En este manual se incluye ejemplos de construcción de estructuras que pueden ubicarse en la categoría de macrocaptación o captación de mediana

escala, por ser las que se pueden adaptar mejor a las necesidades de los pequeños y medianos productores agropecuarios. También, se incluye un ejemplo de captación de agua de techos, puesto que es una posibilidad para abastecer de agua actividades agrícolas a pequeña escala como huertas.

Las características principales de los sistemas de macrocaptación son:

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

Los principales componentes de un sistema de macrocaptación son:

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

2.1. Tipos de reservorios

Los principales tipos de reservorios aplicables a las diferentes zonas de Costa Rica son:

- Reservorios Dique – represa, con las siguientes variantes:
 - Reservorios Dique – Represa.
 - Reservorios Dique – Represa con revestimiento.
 - Reservorios Dique – Represa con gaviones.
- Reservorios Excavados, con las siguientes variantes:
 - Reservorio Excavado.
 - Reservorio Excavado con revestimiento.

- Reservoirio Estanque, con las siguientes variantes:
 - Reservoirio Estanque.
 - Reservoirio Estanque con revestimiento.
 - Reservoirio Envase.
 - Reservoirio Dique Escalonado.

2.1.1 Reservoirios Dique – Represa

Los embalses de represa almacenan gran parte del agua por encima de la superficie original del terreno. Se construyen en áreas con pendientes suaves a moderadas y donde la represa se puede levantar transversalmente a una depresión. El embalse se llena con agua de escorrentía.

Se considera que un estanque es de represa, cuando la profundidad del agua embalsada encima de la superficie sobrepasa 90 cm.

El reservoirio Dique-represa con revestimiento es necesario cuando los suelos no son arcillosos y se tiene alta infiltración del agua. Los principales tipos de revestimiento son plástico y geomembrana de PVC.

La variante con gaviones se puede utilizar donde hay suficiente piedra para armar el dique. En este caso, no es necesario hacer movimientos de tierra en la depresión natural donde se construye el reservoirio.

2.1.2 Reservoirios Excavados

Los reservoirios excavados almacenan gran parte del agua debajo del nivel original del suelo. Se construye en terrenos relativamente planos y donde hay sitios adecuados para construir una represa. Se puede llenar, tanto con el agua de escorrentía como por la infiltración de agua subterránea en la excavación.

2.1.3 Reservoirio Estanque

Este tipo de reservoirio es muy similar al excavado, con la diferencia que el nivel del agua se puede llevar por encima del suelo, mediante la construcción de paredes, principalmente de concreto. Se recomienda para zonas donde otros materiales de construcción no se encuentren disponibles. Cuando



*Figura 1: Reservorio Escavado.
Cerro Negro de Nicoya.*

los suelos no son arcillosos, el piso se puede revestir con concreto, plástico o geomembrana de PVC.

2.1.4 Reservorio Envase

Son envases de diferentes tipos y tamaños. Pueden ser, por ejemplo, envases plásticos, estañones de metal o cisternas construidas de concreto. Normalmente, este tipo de reservorio se utiliza para capturar aguas de techos. Puesto que la capacidad de almacenaje no es grande, el agua se utiliza, principalmente, para regar huertas caseras, escolares, entre otros.

2.1.5 Reservorio Dique Escalonado

Es una variación del reservorio dique – represa con el cual se aprovecha la pendiente del terreno para construir diques en serie y, de esta forma, rebajar costos por movimientos de tierra.

Los tipos de reservorios aludidos son desarrollados con mayor detalle en secciones posteriores de este manual.

2.2. Elementos por considerar para la construcción de reservorios

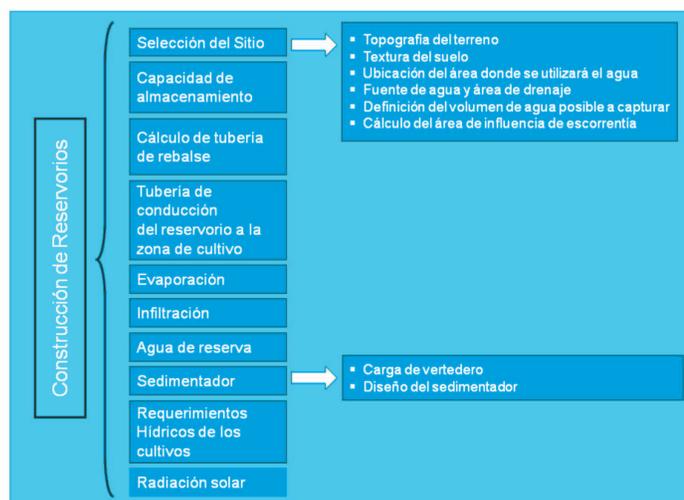
Los elementos básicos por ser tomados en cuenta a la hora de construir un reservorio son (ver Figura 2).

2.2.1 Selección del sitio

El diseño y construcción adecuados de los reservorios son indispensables para asegurar el éxito de estas obras, además de hacerlos más fáciles de cuidar, más seguros y económicos.

De acuerdo con Peroto (2004) es ideal considerar en los aspectos constructivos del reservorio el punto más alto de la finca, de modo que el agua pueda llegar desde este punto hasta cualquier lugar de la propiedad. Sin embargo, no siempre es posible tener las condiciones adecuadas para lograr lo anterior. Si la estructura solo puede ubicarse en un punto muy bajo, será necesario considerar la implementación de bombeo.

La selección del sitio adecuado es clave para el éxito del reservorio. Debe tomarse en cuenta la topografía del terreno, la textura del suelo, el destino donde se usará el agua y la disponibilidad de la fuente de agua; estos factores se detallan a continuación.



*Figura 2:
Elementos
necesarios por
considerar para
construir un
reservorio.*

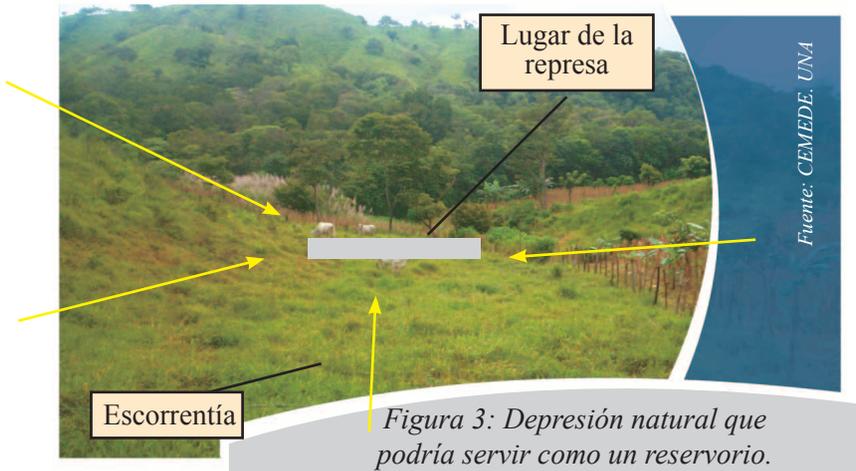
Fuente: Elaboración propia

Topografía

La ubicación ideal para un reservorio es una depresión natural ancha y plana con una garganta estrecha en el extremo inferior, que permita embalsar el agua con una represa transversal.

El sitio más económico es el que permite represar la mayor cantidad de agua, con profundidad suficiente, usando la represa de menor tamaño y con el mínimo movimiento de tierra.

Deben evitarse sitios poco profundos, donde sea difícil controlar malezas, que podrían perjudicar la calidad del agua, debido a la descomposición de las malezas, así como áreas con nacientes de agua, quebradas o ríos permanentes.



Para estanques excavados se escogen áreas planas, tomando en cuenta que por cada metro cúbico de agua almacenada, es preciso excavar y retirar un metro cúbico de tierra.

Una alternativa para aumentar la capacidad de almacenamiento sin incrementar la excavación, es usar la tierra removida para construir diques laterales, debidamente compactados, que permitan almacenar agua por encima del nivel natural del terreno.

También, es importante considerar la presencia de piedras, especialmente para el caso de la construcción de un reservorio tipo dique-represa con gaviones.

Textura del suelo

Es preferible construir los estanques en suelos de texturas arcillosas, que al compactarse adquieren cierta impermeabilidad y estabilidad; sin embargo, si se emplean geomembranas de PVC o plástico, pueden construirse en suelos de texturas francas y arenosas.

Los afloramientos de rocas, grava o arena, pueden causar problemas por la excesiva infiltración y por el debilitamiento de las estructuras, por lo que deben evitarse en lo posible, o bien, recubrirse con materiales impermeables y resistentes antes de construir el embalse.

Ubicación

Debe procurarse la ubicación más ventajosa, de acuerdo con el uso del agua, para evitar la necesidad de bombeo. Si el estanque es para abastecer abrevaderos o agricultura, es ideal utilizar la gravedad para el transporte del agua, por lo que conviene ubicarlo en una zona elevada de la finca, pero con suficiente área de captación para llenarlo en invierno. En fincas extensas y en áreas planas es inevitable el uso de bombas.

En caso de querer utilizar un reservorio, cuya fuente de agua sea un techo, es conveniente ubicarlo cerca de la construcción, para reducir costos en las tuberías de transporte del agua. De igual forma, el reservorio debe estar ubicado lo más cerca posible del lugar donde se utilizará el agua.

Fuente de agua y área de drenaje

Si el estanque se llena con agua de escorrentía, es preferible que ésta provenga de pastizales cercados, con buena cobertura, para reducir el arrastre de sedimentos. En caso que la cantidad de sedimentos arrastrados sea alta, puede construirse una caja de sedimentación a la entrada del embalse.

Otra manera de contener los sedimentos es realizando prácticas de control de erosión en el terreno, como es el establecimiento de barreras de contorno, montículos en contorno o medias lunas, barreras vivas, entre otros.

Para evitar la contaminación, debe evitarse el ingreso de agua proveniente de corrales y alcantarilla, así como la entrada de animales.



Figura 4: Posible ubicación de un sitio para un reservorio.

Definición del volumen de agua posible de capturar

La posibilidad de capturar agua de lluvia combina muchas variables. Destacan la pendiente del terreno, que idealmente no debe ser menor de 3 ó 5 por ciento, la precipitación acumulada anual caída en el sitio, el área de captación de aguas y la posibilidad de almacenamiento.

Preliminarmente, se puede determinar el área de captación requerido por una actividad dada mediante la ecuación:

Ecuación 1	A = 0,03 U/Pma
	Donde:
	A: Área de captación en metros cuadrados.
	U: Requerimiento de agua anual en litros. Pma: Precipitación anual en milímetros.

Esta estimación preliminar permite conocer el posible volumen por almacenar para tiempos cortos de uno a tres meses (Frasier y Myers 1983).

Para conocer la precipitación media mensual y la precipitación media anual acumulada, es necesario consultar las bases de datos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) o cualquier otro ente afín. Se presenta algunos ejemplos sobre el tema.

No toda la lluvia que cae en un área determinada puede ser capturada y almacenada, debido a pérdidas por infiltración, según el tipo de suelo y la evaporación. Teniendo en consideración este fenómeno, en el Cuadro 1 se presenta valores de eficiencia del escurrimiento del agua en distintas coberturas de suelo.

Cuadro 1. Eficiencia de escurrimiento estimado en superficies.

Eficiencia de escurrimiento estimado	
Eficiencia de escurrimiento estimado	Tipo de superficie
90%	Para superficies lisas, impermeables como techos en metal, en teja asfáltica, de concreto, entre otros.
80%	Para superficies en grava o pavimentadas.
60%	Para suelos tratados.
30%	Suelo en su estado natural.

Fuente: Frasier y Myers (1983).

Entonces, el volumen de agua posible por utilizar está dado por:

Ecuación 2	Vol = E x Pma x A
	Donde:
	E: eficiencia de escurrimiento.
	Pma: Precipitación anual en metros.
	A: Área de captación en metros cuadrados.

Cálculo del Área de Influencia de Escorrentía

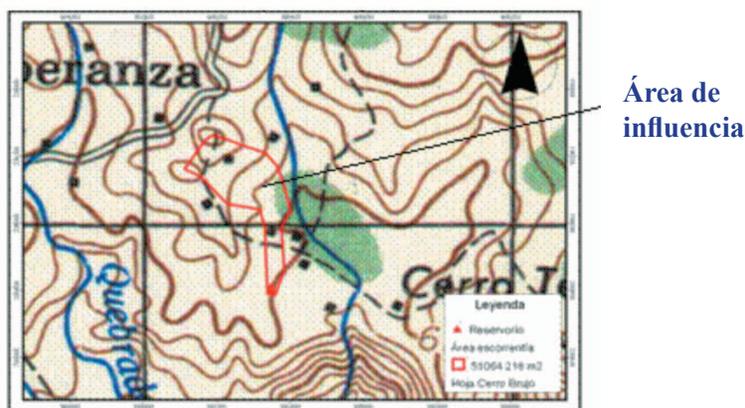
El área que se requiere para lograr llenar el reservorio o área de influencia debe contar con al menos 3 ó 5 % de pendiente para que sea posible el

escurrimiento del agua; ésta consiste en el área en la cual toda el agua de lluvia tiene un punto común de salida y que será aprovechada para llenar el reservorio.

En muchos de los casos, esta área puede ser identificada en campo, pero si la extensión o la cobertura no lo permiten, puede utilizarse el método del parte aguas¹ para lograr identificarla.

El cálculo del área de influencia se determina marcando el punto central donde se va a realizar el reservorio, luego, éste se ubica en la hoja cartográfica correspondiente, y se traza el área al chequear las curvas de nivel de manera manual, de modo que se dibuja la minicuenca de escorrentía. Para estimar el área con precisión, se puede utilizar un planímetro o ser asistido con programas de dibujo o sistemas de información geográfica como AUTOCAD o ArcGIS.

Figura 5: Área de influencia para captación de agua por escorrentía.



Fuente: Elaboración propia basado en IGN (1971).

Para áreas de captación mayores a 10 hectáreas² y con varios usos del suelo, se recomienda utilizar el **método racional** (ver Anexo 2 y 3) para estimar la cantidad de agua que puede llegarse a aprovechar.

- 1 Es la línea divisoria de aguas de un cerro o colina, normalmente se toma como parte aguas la cresta de los cerros. En este caso, esa sería la zona para determinar el área de captación para el reservorio.
- 2 La definición del área mayor a 10 hectáreas se debe a que puede haber muchos usos de suelo y se puede llegar a manejar muchísima agua en una sola avenida.

Ejemplo 1: Determinación del volumen de agua por aprovechar.

Se va a realizar un reservorio de 400 m³ de capacidad en la finca de los hermanos Briceño en la comunidad de Colas de Gallo de Nicoya. El área de influencia es de 5,10 ha (compuestas de 50% de café, 25 pastizal y 25 hortalizas; la pendiente del terreno es del 30%, con suelos franco arcillosos).

Determinar el volumen de agua que se puede aprovechar de esta microcuenca por año.

Solución:

Se tiene la siguiente información:

Eficiencia de escurrimiento.	(E)=	30% (se obtiene generalizando las áreas dentro de la finca con una eficiencia de escurrimiento de 30%, de acuerdo con el Cuadro 1).
Precipitación anual en metros.	(Pma) =	1.856,2 mm/año (se obtiene del Anexo 1, datos para Nicoya).
Área de influencia en metros cuadrados.	(A) =	51.000.

Se aplica la ECUACIÓN 2: $Vol = E \times Pma \times A$.

$$Vol = 0,3 \times 1.856 \times 51.000 = 28.396 \text{ m}^3.$$

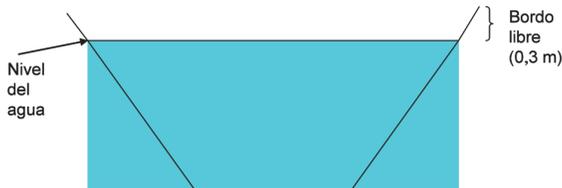
Entonces, en esta microcuenca se pueden aprovechar 28.396 m³ de agua al año.

Ejemplo 2: Se desea elaborar un reservorio revestido con dimensiones de 30m X 40m y una profundidad de 2 metros de agua en Nandayure (suelos arcillosos).

¿Qué cantidad de agua en m³ se puede recolectar?.

Se deja 0,3 m de bordo libre (espacio desde el nivel del agua hasta el tope del reservorio).

Figura 6: Esquema de reservorio con bordo libre.



Fuente: Elaboración propia.

Volumen = A * h A = Largo * ancho; h = Altura de Reservorio.
 $V = 30 * 40 * 1,7 = 2.040 \text{ m}^3$ (Esta es la capacidad del reservorio).

En la Figura 7 se muestra que Nandayure tiene una precipitación de 1.500 a 2.000 mm/año. Es necesario ubicar este valor en el cuadro del Anexo 3 (Volumen de agua capturado en litros, en relación con el área de captación y a la precipitación pluvial), se busca en las columnas de precipitación pluvial promedio (mm) el valor más aproximado (en este caso, se utiliza 2000 mm) y se coteja con el dato correspondiente de la columna área de captación (m^2) para este caso, el dato aproximado es de 1.500 m^2 , lo que indica un valor de 3.000.000 mm, es decir, 3.000 m^3 .

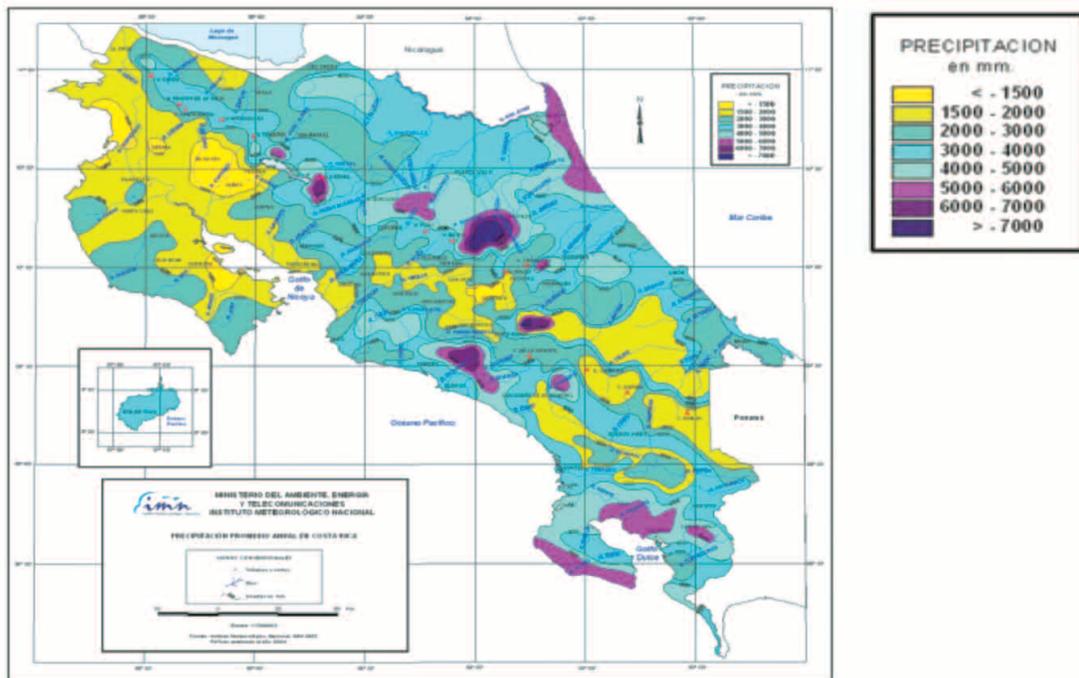
Lo anterior señala que el reservorio se llenaría con solo el área de captación de él, sin necesidad de un área adyacente de escorrentía. Sin embargo, es necesario aplicar la pérdida por evaporación; este tema se desarrolla en el apartado sobre la Evaporación (sección 2.2.5) del documento.

2.2.2. Capacidad de almacenamiento

Para determinar el volumen de agua requerido, debe tenerse en cuenta el uso que se le dará a ella, así como las pérdidas por evaporación e infiltración y el agua de reserva. Si el estanque es de forma geométrica no hay ninguna dificultad para calcular el volumen, ya que se usan los cálculos de geometría general, si es de forma irregular, se debe hacer el levantamiento topográfico (con teodolito o estación total) para posteriormente estimar el volumen³.

3 El software SURFER permite calcular volúmenes a partir de un levantamiento topográfico. Es muy utilizado en el mundo, aunque en el mercado existen otras opciones.

Figura 7: Precipitación media anual de Costa Rica.



Fuente: IMN (2006).

Es necesario considerar la evacuación del exceso de aguas dentro del reservorio, de lo contrario, existe el riesgo del rebalse y, por lo tanto, daño a la infraestructura.

En caso de áreas de captación grandes, es decir, superiores a dos hectáreas, es necesario utilizar el llamado **Método Racional**, el cual es bastante complejo, y requiere de conocimientos técnicos en hidrología. Si se quiere profundizar en el tema, se puede consultar el Anexo 2.

En el caso de reservorios con áreas de captación pequeñas (menos de dos hectáreas), se puede solventar la posibilidad de los rebales, dejando previstas tuberías de drenaje. Para este caso, se recomienda la instalación de tubos de 150 mm (6") o mayores.



Figura 8: Instalación de tuberías de drenaje en un reservorio.

2.2.4. Tubería de conducción del reservorio a la zona de cultivo

Se recomienda utilizar tubería de conducción para evitar pérdidas por infiltración que se pueden dar en un canal abierto, ya sea en tierra o revestido. La idea de la tubería es maximizar el uso del agua, por lo cual, para este tipo de estructura siempre es recomendable. La tubería puede ser en PVC o mangueras de poliducto.

Es importante considerar el diámetro de conducción, es decir, que tenga la capacidad de llevar la cantidad de caudal que se necesita en el diseño, además de la cédula o el grosor (SDR), para soportar la presión a que va a ser sometido.

El Cuadro 2 muestra por diámetro de tubería las cantidades de tubos con SDR (grosor) diferente, que pueden soportar diferentes presiones, las cuales están en unidades **PSI** o libras por pulgada cuadrada (pounds per square inch).

Puesto que las PSI son medidas de presión del sistema inglés, es necesario convertirlas al sistema métrico (a metros de columna de agua, mca)

**“MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
BÁSICAS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTRUCTURAS
DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (SCALL) EN
EL SECTOR AGROPECUARIO DE COSTA RICA Y
RECOMENDACIONES PARA SU UTILIZACIÓN”**

Ejemplo: Las siguientes relaciones son equivalentes entre unidades de presión:

- 1 atmósfera = 14,695 964 PSI.
- 1 atmósfera = 1,013 25 bar.
- 1 atmósfera = 10,332 58 mca (metros de columna de agua).

Si tenemos un tubo de 2 plg, SRD 17, de 250 psi (columna 5, fila 1 del Cuadro 2).

¿Cuántos metros de columna de agua soporta éste?

$250/14,69 = 17.01$ atmósfera (presión del tubo en atmósferas).

$17,01 \times 10,32 = 170$ mca (presión del tubo en metros de columna de agua).

El tubo puede soportar hasta 170 m de presión, más de ésta sería arriesgado y se podría romper el tubo por exceso de presión.

Cuadro 2: Diámetros de tuberías, pared interior y exterior y presión de soporte.

Pulg	(mn)	SDR-13.5 (315psi) (ASTM 22.41)	*SCH-40 (ASTM1785)	SDR-17 (250spi) (ASTM2241)	SDR-26 (160spi) (astm2241)	SDR-32.5 (125 spi) (ASTM 2241)	SDR-41 (100 spi) (2241)	SDR-50 (drenaje)
½"	12	18.2121,3	15.8/21.3	-	-	-	-	-
¾"	18	-	20,9/26,7	23,5/26,7	-	-	-	-
1"	25	-	26,6/33,4	29,5/33,4	30,4/33,4	-	-	-
1 ¼"	31	-	35,042,2	37,2/42,2	38,9/42,2	39,1/42,2	39,8/42,2	-
1 ½"	38	-	40,9/48,3	42,6/48,3	44,6-48,3	45,3/48,3	45,9/48,3	-
2"	50	-	52,5/60,3	53,2/60,3	55,7-60,3	56,6/60,3	57,4/60,3	57,9/60,3
2 ½"	62	-	32,7/73,0	64,4/73,0	67,4/73,0	68,5/73,0	69,5/73,0	-
3"	75	-	77,9/88,9	78,4/88,9	82,0/88,9	83,4/88,9	84,6/88,9	85,3/88,9
4"	100	-	102,3/114,3	100,8/114,3	105,5/114,3	107,3/114,3	108,7/114,3	109,7/114,3
6"	150	-	154,1/168,3	148,5/168,3	155,3/168,3	157,9/168,3	160,1/168,3	-
8"	200	-	-	193,3/219,1	202,2/219,1	205,6/219,1	208,4/219,1	-
10"	250	-	-	240,9/273,1	252,1/273,1	256,2/273,1	259,8/2303,9/323,8733 64,7/388,6,0	-
12"	300	-	-	285,8/323,8	299,0/323,8	303,9/323,8	3429,1/457,28,1/323,8	-
15"	375	-	-	-	358,7388,6	364,7/388,6	369,7/388,6	-
18"	450	-	-	-	422,0/457,2	429,1/457,2	434,9/457,2	-

Fuente: AMANCO (2010).

2.2.5. Evaporación

La evaporación es el cambio de estado del agua de líquido a vapor. La cantidad de agua evaporada depende de la radiación solar, temperatura, viento y área de espejo de agua⁴.

Se recomienda embalses profundos y de menores dimensiones para reducir la evaporación, así como el empleo de coberturas (sarán y otros) para aminorar el efecto de los factores ambientales.

Para calcular el volumen evaporado se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 3

$$\text{Vevap.} = 10 * S * E$$

Donde:

S: área de espejo de agua, en ha.

E: evaporación, en mm/mes.

Con base en lo anterior se puede concluir que en esta microcuenca se pueden aprovechar 28.396 m³ de agua al año.

Ejemplo 2, se tiene un espejo de 30 * 40, y una evaporación (E) promedio de la zona de 8 mm/día, entonces:

$$S = 30 \times 40 = 1.200 \text{ m}^2 = 0,12 \text{ ha.}$$

$$E = 8 \text{ mm/día} * 30 \text{ días} = 240.$$

Por lo tanto:

$$\text{Vevap} = 10 \times 0,12 * 240 = 288 \text{ m}^3.$$

Si fueran 3 meses secos:

$$\text{Vevap} = 288 \text{ m}^3 * 3 = 864 \text{ m}^3.$$

$$\text{Volumen para uso agrícola: } 1.920 \text{ m}^3 - 864 \text{ m}^3 = 1.056 \text{ m}^3.$$

Lo anterior significa que durante los tres meses secos, se tiene en el reservorio una disponibilidad de 1.056 m³ de agua para riego.

⁴ El espejo de agua es el área que tiene un reservorio en la parte superior del mismo, y que está cubierto con agua.

2.2.6. Infiltración

La infiltración es el proceso en el cual el agua almacenada atraviesa el fondo y paredes del embalse y se profundiza en el suelo, alimentando las aguas subterráneas. Es decir, es el flujo de agua desde el suelo hacia las zonas no saturada y saturada. Los factores que afectan la infiltración son:

- Tipo de cubierta vegetal.
- Características hidráulicas del suelo.
- Estado de humedad del suelo.
- Intensidad de la lluvia o cantidad de agua de riego.
- Calidad del agua.
- Formación de costras superficiales.
- Trabajos agrícolas.

Las pérdidas por infiltración varían según la textura del suelo y las prácticas de construcción. Sin embargo, en un estanque bien construido, éstas deben ser insignificantes en suelos pesados, y no deben pasar de un 5% en suelos más permeables.

Una alternativa para reducir la infiltración al mínimo, es el empleo de geomembranas, plásticos, o concreto, aunque su uso debe responder, tanto a criterios técnicos como económicos.

En nuestro país, el porcentaje de suelos pesados es muy poco (5%), por lo que impermeabilizar los suelos, normalmente es una práctica necesaria para evitar pérdidas por infiltración.

2.2.7. Agua de reserva

Mantener un volumen de agua de reserva evita que el estanque se seque demasiado y se agriete (si es de suelo) y además, si hay cobertura plástica o de geomembrana, es factible extraer los sedimentos con un grado de humedad, sin que le hagan daño a la cobertura. La profundidad del agua de reserva varía, según el uso deseado y la cantidad de sedimentos esperada.

2.2.8. Sedimentador

El sedimentador sirve para la separación parcial de partículas sólidas suspendidas en un líquido por acción de la gravedad.

Siempre que sea posible, es adecuado instalar un sedimentador a la entrada del reservorio, con el fin de evitar que muchas partículas entren al estanque, con su consecuente problema de acumulación en el fondo e, inclusive, contaminación de aguas y obstrucción de tuberías.

Suele haber diferencias entre la sedimentación de partículas finas y gruesas, ya que, en el primer caso, se producen interacciones importantes entre las partículas, que dan lugar a estados coloidales de difícil sedimentación.

A la hora de elegir un sedimentador hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Caudal por tratar.
- Carga de sólidos y concentración.
- Superficie y altura.
- Carga superficial, que relaciona el flujo horizontal con la superficie y se expresa en $\text{m}^3/\text{día}/\text{m}^2$.

Un sedimentador consta de los siguientes componentes:

a) Zona de entrada: Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.

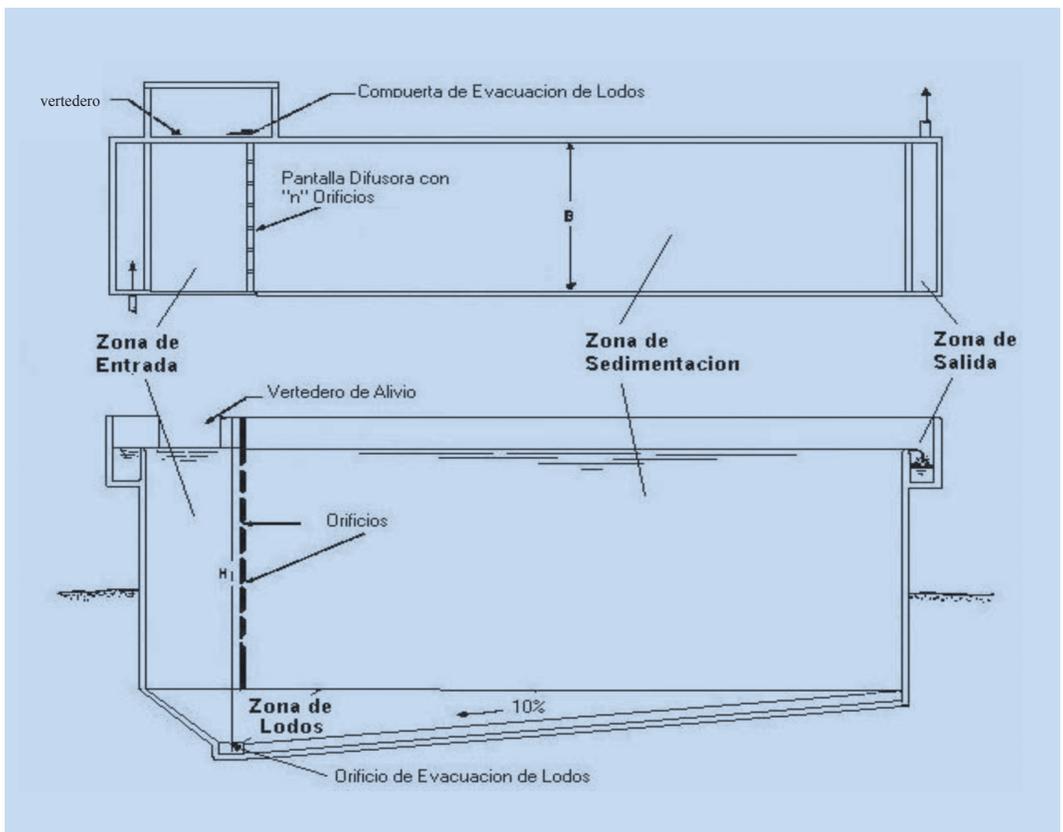
b) Zona de sedimentación: Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es igual en todos los puntos.

c) Zona de salida: Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente, sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.

d) Zona de recolección de lodos: Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica.

Si se quiere profundizar en el tema del sedimentador, con elementos como los criterios de diseño y dimensionamiento, entre otros, consultar el Anexo 3, donde se incluye más detalles al respecto.

Figura 9: Sedimentador (vista superior y corte longitudinal).



Fuente: Fair et al (1968).

2.2.9 Requerimientos Hídricos de los Cultivos

Uno de los aspectos más importantes a la hora de diseñar un reservorio es el requerimiento hídrico que tiene la actividad a la que se destinará el agua recolectada.

Así, se define como uso consuntivo (U_c , en mm) al requerimiento hídrico de un cultivo. Este es diferente para cada cultivo y se determina de la siguiente manera:

Ecuación 4

$$U_c = ETo \times Kc.$$

Donde:

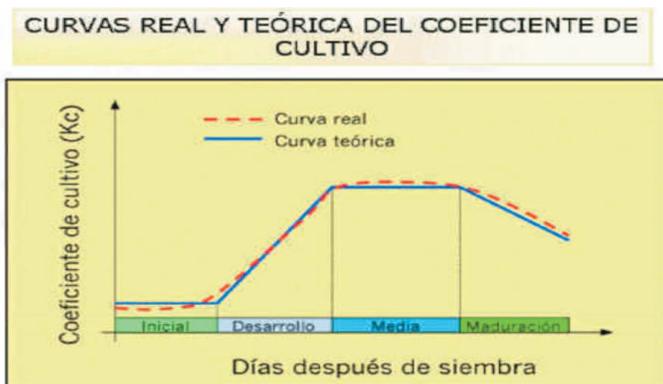
U_c : uso consuntivo.

ETo : Evapotranspiración potencial (mm).

Kc = Coeficiente de cultivo.

El coeficiente de cultivo (Kc) describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección.

Figura 10: Variación del Kc a través del tiempo en un cultivo.



Fuente: www.elriego.com.

En el Cuadro 3 se incluye información sobre el coeficiente del cultivo (K_c), dato necesario para introducir en la ecuación 4 y poder obtener así el uso consultivo por cultivo. Esto es necesario para determinar el requerimiento hídrico por ciclo de cultivo.

En el Cuadro 4 se brinda información sobre la duración estimada (en días) del ciclo de cultivo. Hay que tener en cuenta que existen posibilidades de variación, dependiendo de la zona, especies, cultivares y variaciones climatológicas.

Cuadro 3: Coeficiente de cultivos.

Cultivo	Kc global	Cultivo	Kc global
Aguacate	0,85	Naranja	0,70
Arroz	1,20	Papa	0,75
Chayote	0,90	Papaya	0,80
Café	0,95	Pepino	0,90
Caña de azúcar	0,90	Piña	0,50
Cebolla	1,00	Plátano	0,85
Chile	0,60	Remolacha	0,75
Frijol	0,70	Repoyo	1,10
Maíz	0,85	Sandía	0,60
Mango	0,80	Tiquizque	0,50
Zanahoria	0,60	Tomate	0,70
Melón	0,60	Yuca	0,50

Fuente: FAO (2000).

Cuadro 4: Ciclo de los cultivos.

Cultivo	Ciclo (días)	Cultivo	Ciclo (días)
Guayaba	Anual	Tomate	120
Mango	Anual	Papa	120
Café	Anual	Pepino	90
Ayote	Anual	Piña	240
Naranja	Anual	Repoyo	120
Aguacate	Anual	Arroz	120
Sandía	75	Papaya	180
Caña de azúcar	Anual	Cebolla	105
Melón	90	Tiquizque	300
Remolacha	90	Yuca	300
Frijol	100	Chayote	Anual
Chile	105	Plátano	Anual
Zanahoria	120	Maíz elote	75
Maíz	105		

Fuente: Valverde (2007).

Ejemplos de requerimientos hídricos de cultivos

Los siguientes ejemplos están dimensionados para cultivar 1 hectárea (10.000 m²), con una evapotranspiración potencial (ET_o) de 7 mm/día y su ciclo vegetativo aproximado, el cual puede variar dependiendo de la zona de cultivo.

MAÍZ CON RIEGO

ETo: 7 mm. Ciclo vegetativo: 90 días; Uso Consuntivo (UC) = $0,85 * 7 * 90 = 535,5$ mm.

Volumen total ha-1: $0,5355 \text{ m} * 10\,000 \text{ m}^2 = 5,355 \text{ m}^3 = 535,5000$ Litros.

Con un reservorio con dimensiones de Largo * ancho * profundidad = $40 * 40 * 4,2 = 6.700 \text{ m}^3$.

Evaporación estanque = $10 * S * E$.

Vevap = volumen evaporado, en m^3 . S = área de espejo, en ha. E = evaporación, en mm/mes.

Vevap = $10 * 0,16 * 240 * 3$ meses secos Vevap = 1.152.

El volumen del reservorio debe ser igual o mayor al volumen de requerimiento hídrico + evaporación del estanque, es decir:

Volumen reservorio > (volumen requerimiento hídrico + evaporación estanque).

$6.700 > (5.355 + 1.152)$ **$6.700 > 6.507$.**

Puesto que el volumen del reservorio es mayor que el del requerimiento hídrico y la evaporación del estanque, las dimensiones de él son adecuadas.

PAPA CON RIEGO

ETo : 7 mm. Ciclo vegetativo. 120 días; Uso Consuntivo (UC) = $0,75 * 7 * 120 = 630$ mm.

Volumen total ha-1: $0,6300 \text{ m} * 10.000 \text{ m}^2 = 6.300 \text{ m}^3 = 6.300.000$ Litros.

Si al reservorio se le dan dimensiones de Largo*ancho*profundidad ($40 * 40 * 4,7$) = 7.520 m^3 .

Evaporación estanque = $10 * S * E$.

Vevap = volumen evaporado, en m^3 . S = área de espejo, en ha. E = evaporación, en mm/mes.

Vevap = $10 * 0,16 * 240 * 3$ (meses secos) = 1.152 m^3 .

Volumen reservorio > (volumen requerimiento hídrico + evaporación estanque).

$7.520 > (6.300 + 1.152)$. **$7.520 > 7.452$.**

Puesto que el volumen del reservorio es mayor que el del requerimiento hídrico y la evaporación del estanque, las dimensiones son adecuadas.

CHILE CON RIEGO

ETo: 7 mm. Ciclo vegetativo: 105 días.

Uso Consuntivo (Uc) = $0,60 * 7 * 105 = 441$ mm.

Volumen total ha-1: $0,4410 \text{ m} \times 10.000 \text{ m}^2 = 4.410 \text{ m}^3 = 441.0000$ Litros.

Con dimensiones del reservorio de Largo * ancho * profundidad ($40 * 40 * 3,5$) = 5.600 m^3 .

Evaporación estanque = $10 * S * E$.

Vevap = volumen evaporado, en m^3 ; S = área de espejo, en ha; E = evaporación, en mm/mes.

Vevap = $10 * 0,16 * 240 * 3$ (meses secos) = 1.152 m^3 .

Volumen reservorio > (volumen requerimiento hídrico + evaporación estanque).

$5.600 \text{ m}^3 > (4.410 + 1.152) \text{ m}^3$.

$5.600 \text{ m}^3 > 5.562 \text{ m}^3$.

Como el volumen del reservorio es mayor que el del requerimiento hídrico y la evaporación del estanque, las dimensiones sirven.

SANDIA CON RIEGO

ETo: 7 mm. Ciclo vegetativo: 75 días.

Uso Consuntivo (Uc) = $0,60 * 7 * 75 = 315$ mm.

Volumen total ha-1: $0,315 \text{ m} \times 10.000 \text{ m}^2 = 3.150 \text{ m}^3 = 3.150.000$ Litros

Con dimensiones del reservorio de Largo*ancho*profundidad ($40 * 40 * 2,7$) = 4.320 m^3 .

Evaporación estanque = $10 * S * E$.

Vevap = volumen evaporado, en m^3 ; S = área de espejo, en ha; E = evaporación, en mm/mes.

Vevap = $10 * 0,16 * 240 * 3$ (meses secos) = 1.152 m^3 .

Volumen reservorio > (volumen requerimiento hídrico + evaporación estanque).

$4.320 \text{ m}^3 > (3.150 + 1.152) \text{ m}^3$.

$4320 \text{ m}^3 > 4.302 \text{ m}^3$.

Como el volumen del reservorio es mayor que el del requerimiento hídrico y la evaporación del estanque, las dimensiones sirven.

CEBOLLA CON RIEGO

ETo: 7 mm. Ciclo vegetativo: 105 días.

Uso Consuntivo (Uc) = $1 * 7 * 105 = 735$ mm.

Volumen total ha-1: $0,735 \text{ m} \times 10.000 \text{ m}^2 = 7.350 \text{ m}^3 = 7.350.000$ Litros.

Con dimensiones del reservorio de Largo * ancho * profundidad ($40 * 40 * 5,4$) = 8.640 m^3 .

Evaporación estanque = $10 * S * E$.

Vevap = volumen evaporado, en m^3 ; S = área de espejo, en ha; E = evaporación, en mm/mes.

Vevap = $10 * 0,16 * 240 * 3$ (meses secos) = 1.152 m^3 .

Volumen reservorio > (volumen requerimiento hídrico + evaporación estanque).

$8.640 \text{ m}^3 > (7.350 + 1.152) \text{ m}^3$.

$8.640 \text{ m}^3 > 8.502 \text{ m}^3$.

Como el volumen del reservorio es mayor que el del requerimiento hídrico y la evaporación del estanque, las dimensiones pueden ser utilizadas.

PEPINO CON RIEGO

ETo : 7 mm. Ciclo vegetativo: 90 días.

Uso Consuntivo (Uc) = $0,9 * 7 * 90 = 567$ mm.

Volumen total ha-1: $0,567 \text{ m} \times 10.000 \text{ m}^2 = 5.670 \text{ m}^3 = 5.670.000$ Litros.

Con dimensiones del reservorio de Largo*ancho*profundidad ($40 * 40 * 4,3$) = 6.880 m^3 .

Evaporación estanque = $10 * S * E$.

Vevap = volumen evaporado, en m^3 ; S = área de espejo, en ha; E = evaporación, en mm/mes.

Vevap = $10 * 0,16 * 240 * 3$ (meses secos) = 1.152 m^3 .

Volumen reservorio > (volumen requerimiento hídrico + evaporación estanque).

$6.880 \text{ m}^3 > (5.670 + 1.152) \text{ m}^3$.

$6.880 \text{ m}^3 > 6.822 \text{ m}^3$.

Como el volumen del reservorio es mayor que el del requerimiento hídrico y la evaporación del estanque, las dimensiones pueden ser utilizadas.

ARROZ CON RIEGO

ET_o: 7 mm. Ciclo vegetativo: 120 días.

Uso Consuntivo = $1,20 * 7 * 120 = 1.008$ mm.

Volumen total ha-1: $1.008 \text{ m} \times 10.000 \text{ m}^2 = 10.080 \text{ m}^3 = 1.008.0000$ Litros.

Con dimensiones del reservorio de Largo*ancho*profundidad ($40 * 40 * 3$) = 4.800 m^3 .

Evaporación estanque = $10 * S * E$.

Vevap = volumen evaporado, en m^3 ; S = área de espejo, en ha; E = evaporación, en mm/mes.

Vevap = $10 * 0,25 * 240 * 3$ (meses) Vevap = 1.800 m^3 .

Volumen reservorio > (volumen requerimiento hídrico + evaporación estanque).

$4.800 \text{ m}^3 < (10.080 + 1.800) \text{ m}^3$.

$4.800 \text{ m}^3 < 11.880 \text{ m}^3$.

Como el volumen del reservorio es menor que el del requerimiento hídrico y la evaporación del estanque, las dimensiones NO son suficientes o apropiadas. Para satisfacer las necesidades hídricas del arroz en 1 ha es necesario construir un reservorio más grande.

NOTA: En la medida en que se profundicen los reservorios es menor la pérdida por evaporación, debido a la reducción del espejo de agua.

Para los cultivos anuales se puede hacer el cálculo de requerimiento hídrico, si se riega en los periodos secos como un complemento para adelantar cosechas. Por ejemplo, al utilizar riego en el aguacate, se adelanta la producción en 15 días.

2.2.10. Radiación solar y su importancia en los cultivos

La radiación solar es el proceso de transmisión de la energía del sol en el espacio, realizada por ondas electromagnéticas.

Las plantas utilizan determinadas longitudes de onda corta para activar los procesos de la fotosíntesis (luz) y longitudes de onda larga (calor) para sus reacciones metabólicas.

Las longitudes de onda comprendidas entre 360 y 760 (mm radiación visible) desempeñan un papel importante en los procesos biológicos, (formación de pigmentos, y proceso de la fotosíntesis (Heuvel dop *et al* 1986).

Para la producción agrícola en períodos de estación seca, existe un gran beneficio por la mayor cantidad de luminosidad, en comparación con el periodo lluvioso, donde las horas luz son menores debido a la nubosidad, además;

esto influye directamente en una menor tasa de plagas y enfermedades en los cultivos, potenciando el rendimiento de la producción en los diversos cultivos. Paradójicamente, en nuestras regiones, “*Cuando hay agua no hay luz, y cuando hay luz no hay agua*”, de ahí la importancia de fomentar los reservorios de agua de lluvia para actividades agrícolas.

3. CONSTRUCCIÓN DE UN RESERVORIO

La construcción de un reservorio involucra básicamente dos tipos de diseños:

- a) **Estructural:** se refiere al sistema de muro (pantalla) que se va a utilizar como presa y cuya función es detener el cauce natural en una zona tras la cual se forma una represa (el estanque o piscina para almacenar agua). Este muro, dependiendo del tamaño de la represa, especialmente, su altura o profundidad del reservorio, podrá ser desde lo más elemental (un tabique en madera o un muro armado en tierra o piedra) hasta una gran pantalla en concreto reforzado como se utiliza en las grandes represas para generación de energía.
- b) **Hidráulico:** determina las dimensiones requeridas para tuberías de conducción y manejo de los niveles de almacenamiento del agua. En esto es importante conocer los Índices de lluvia propios de la zona donde se ubica la represa y disponer de sistemas de válvulas o vertederos, o combinaciones, para manejar el nivel del reservorio y evitar la sobrecarga de la presa.

Para un reservorio de riego se debe tener en cuenta el volumen de agua que se requiere almacenar, según la extensión de tierras que se desea regar.

Después de esto, se debe proceder a buscar un punto adecuado para la ubicación de la presa (el muro), que se construirá transversalmente a la dirección de la corriente y en una ubicación donde las condiciones geológicas sean las adecuadas, es decir, que no tenga paredes con cocas fragmentadas o con lastre, lo que implicaría aumentos en costos por revestimientos con cemento, geomembranas; etc.

Se debe buscar una posición para el muro, de manera que éste se pueda construir sin tener que hacer mucha inversión en su cimentación y anclajes contra el fondo y paredes del cauce, respectivamente. El muro debe quedar al final de un tramo de la depresión, donde el agua se pueda represar formando un estanque suficientemente grande para la reserva que se requiere; y donde no haya peligro de derrumbe o desbordamiento en las paredes laterales del cauce. Lo mejor es tratar de encontrar una zona rocosa o donde el suelo tenga propiedades arcillosas y rocosas combinadas.

Para evitar las filtraciones de agua por el fondo y taludes, es recomendable compactar el área de reservorio y proteger con polietileno (Perotti 2004).

La zona de trabajo en cada etapa deberá estar tan seca como sea posible durante la construcción. También, las paredes deben contar con aliviadores de presión, los cuales son sistemas de válvulas y tuberías que permiten que la corriente atraviese el muro, sin generar mucha presión, antes de terminar todo el muro.

Si la represa se construye aguas arriba del lugar de riego, se puede usar la presión por gravedad para riego. De otra forma, se requerirá bombeo para poder realizar actividades de riego.

La construcción del estanque empieza con la remoción de la vegetación presente y de la capa de suelo superficial, que no es apta para construir los diques, porque no es estable.



Figura 11: Remoción de material orgánico.

El material utilizado para construir los diques o terraplenes debe estar libre de raíces, materia orgánica, piedras aisladas de diámetro mayor a 10 cm, troncos y de cualquier otro material que comprometa la impermeabilidad de los diques.

Esta capa superior de suelo debe guardarse para esparcirse posteriormente sobre los taludes exteriores y la corona de los diques, permitiendo establecer vegetación que contribuya a estabilizarlos.



Figura 12: Conformación de un muro de la represa.

El material usado para el interior de la represa debe ser de textura adecuada, es decir, sin presencia de fragmento de rocas, libre de materia orgánica y desechos, porque al descomponerse pueden causar fugas. Para la confección de taludes, el material debe esparcirse en capas de no más de 15 cm de espesor y compactarse bien, antes de colocar la siguiente capa.

Todas las capas de material colocado deben humedecerse antes de compactarlas. Al construir los diques, la altura de diseño debe aumentarse un 10% para compensar el asentamiento.

Los taludes dependen de la textura del material disponible y de la altura de los diques, de acuerdo con el Cuadro 5.

Cuadro 5: Taludes para presas de material homogéneo.

Material del terraplén	Altura de la presa (m)	Talud aguas arriba	Talud agua abajo
Arcillas de baja plasticidad	Hasta 4. 4-8	2:1 2,5 : 1	1,5 : 1 2 : 1
Arcillas arenosas	Hasta 4. 4 -8	3 : 1 3,5 : 1	2 : 1 2,5 : 1
Arena arcillosa, arcillas muy plásticas	Hasta 4	4 : 1	3 : 1

Fuente: Villamizar (1989).

3.1 Taludes para presas de material homogéneo

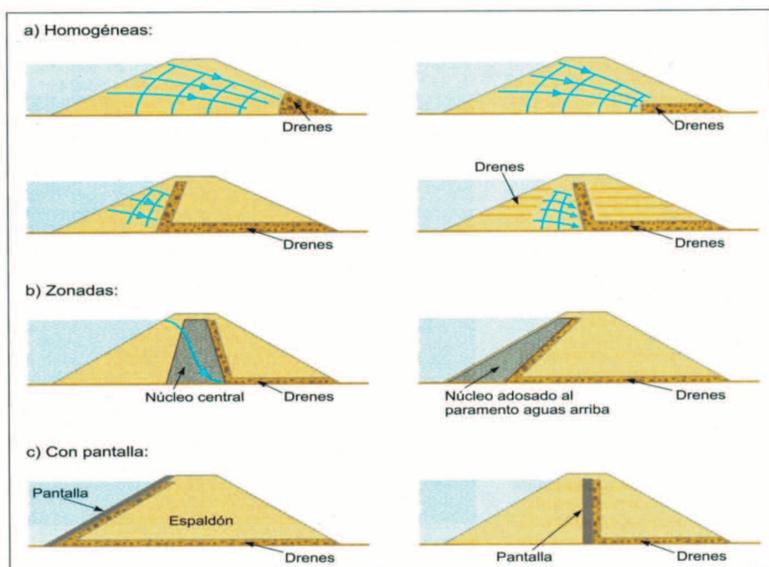
Los terraplenes construidos con estos materiales requieren protección en los taludes, tanto el húmedo como el seco, para evitar la erosión en el caso de los materiales limo-arcillosos y el agrietamiento en el caso de suelos arcillosos y arcillo-arenosos.

Las protecciones más comunes de los taludes son la piedra para el talud húmedo y la tierra vegetal sembrada con pasto para el talud seco.

Las arcillas expansivas, es decir, aquellas que sufren grandes cambios de volumen con los cambios de humedad, no son apropiadas para la construcción de terraplenes, debido a los permanentes cambios de humedad que presentan a lo largo de la vida útil del estanque. En determinadas ocasiones, se puede emplear estas arcillas, siempre y cuando se les dé un tratamiento de estabilización con cal o con cemento y, además, el muro se revista con una membrana impermeable (polietileno o similar) para mantener su humedad constante. En este caso, la protección del talud se coloca exteriormente sobre la membrana.

En la Figura 13 se muestran diferentes tipos de muros de materiales sueltos.

Figura 13: Clasificación de muros según el material de elaboración.



Cuadro 6: Inclinación de los taludes.

Material	Talud Z (inclinación)	Angulo (grados α)
Roca	Casi vertical	Casi 90
Roca fracturada o alterada	$\frac{1}{4} : 1$	76,96
Arcilla muy compacta o tierra con recubrimiento de concreto	$\frac{1}{2} : 1$ a $1 : 1$	63,43 a 45
Tierra con recubrimiento de piedra o tierra para canales grandes	$1 : 1$	45
Arcilla firme o tierra para canales pequeños	$1 \frac{1}{2} : 1$	33,69
Tierra arenosa o suelta	$2 : 1$	26,56
Arcilla porosa	$3 : 1$	18,43

Fuente: Chow (1988)

3.2 Calidad de los materiales empleados para la construcción de presas

Para la construcción de represas es ideal utilizar materiales con contenido alto de arcilla (exceptuando las expansivas). Aquellos materiales con más de 40% de arcilla son los mejores. Por su parte, los materiales muy arenosos, con menos de 20% de arcilla no son adecuados para la construcción de las represas. Esta información se presenta en el Cuadro 7.

Cuadro 7: Calidad de los materiales empleados para la construcción de presas.

Clase de material	Contenido de arcilla (%)	Calidad del material del cuerpo de presa
Arcilla	40 - 60	Bueno, la superficie de la presa debe revestirse con algún tipo de protección.
Arcilla arenosa	20 - 40	Muy buena, no necesita medidas especiales.
Arena arcillosa	10 - 20	Regular, se necesita medidas especiales para detener la infiltración.
Arenas	menos de 20	Malo, no se admite para la construcción.

Fuente: Villamizar (1989).

3.3. Cálculo de estimación de movimiento de tierras para un reservorio tipo represa

La forma de calcular el material de tierra por mover, es:

Ecuación 4	$V = A * L$
	Donde:
	V: volumen de tierra en m ³ .
	A: área transversal de muro en m ² .
	L: longitud del muro en m.

3.3.1 Reservoirio Dique-represa



Figura 14: Reservoirio Dique-represa:
Cerro Negro 2010.

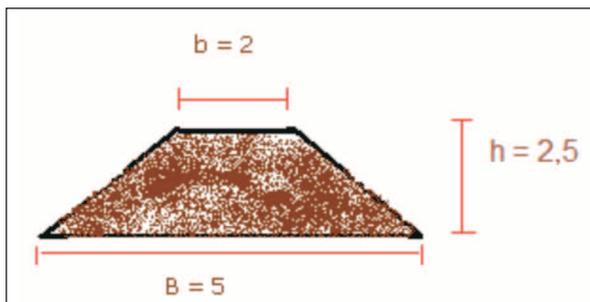
El muro de retención tiene una longitud (L) de 20m, la sección trapezoidal está dada por:

Base mayor (B) = 5.

Base menor (b) = 2.

Altura (h) = 2,5.

Figura 15: Corte transversal del muro de contención.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: Es necesario dejar 0,5 metros de borde libre.

Se calcula el área del muro transversal de la siguiente forma:

$$A = (B+b) * 2 / h = (5+2) * 2 / 2 = 7 \text{ m}^2.$$

Luego se calcula el volumen (V).

$$V = A * L.$$

$$V = 7 * 20.$$

$$V = 140 \text{ m}^3.$$

Un Retrocargador (Backhoe) tiene la capacidad en promedio de mover 25 m³/hora (estimación aportada por los propietarios de maquinaria), en el caso de mover solo la tierra; sin embargo, debe arrancar, acomodar y maniobrar, es decir, moverse dentro del proyecto. Así, se multiplica por un factor de eficiencia de 0,60 (estimación de campo), por lo que:
 $25 * 0,60 = 15 \text{ m}^3/\text{hora} = V_r$ (volumen real).

Entonces:

Tiempo de elaboración del dique:

$$T = V \text{ tierra} / V_r \quad T = 140 \text{ m}^3 / 15 \text{ m}^3 / \text{hora}. \quad T = 9,33 \text{ horas} \approx T = 10 \text{ horas}.$$

Limpieza de materia orgánica = 3 horas. Compactación del muro = 5 horas.

$$\text{Horas totales} = (10 + 3 + 5) = 18.$$

Si la hora del Retrocargador vale 50 USD, entonces: $50 * 18 = 900 \text{ USD}$.

Además, se debe incluir el transporte a la respectiva finca que, en muchos casos, es más caro que el mismo muro o dique.

Nota: Solo se recomienda este tipo de estructuras en suelos arcillosos, ya que el costo de revestir la totalidad del reservorio incrementa mucho los costos.

3.3.2 Reservorio Excavado revestido con concreto

Si se pretende elaborar un reservorio de forma cuadrangular, es decir, de 20 metros de largo por 20 de ancho y de 2,5 m de profundidad efectiva, donde los suelos son arenosos; cuál es el costo de esta estructura, si se pretende revestir en concreto (20 cm de chorrea en la parte de abajo y block de concreto a los lados)?

Se debe remover 1000 m³ de tierra, (20 * 20 * 2,5); si un tractor (cargador) mueve 60 m³/h (considerar factor eficiencia 0,6), entonces 60 * 0,6 es igual a 36 m³/h. Se divide 1000/36 = 27,77 horas ≈ 28 horas, a un precio de 70 USD la hora.

Cuadro 8: Desglose de costos de la instalación de un reservorio escavado revestido con concreto.

Desglose de costos		
Costo movimiento tierra (28 horas * 70 USD)	=	\$1.960
Materiales		
2.500 block de 20X20x40		3.350
1.200 varillas número 3		4.290
1.000 sacos de cemento rojo		12.200
140 kg alambre		250
60 m ³ arena		2.000
30 m ³ piedrilla		890
30 cubetas de aditivo impermeable		2.680
Mano de obra		13.500
Cargas sociales		1.430
Varios		900
Subtotal materiales	=	USD 41.490
Total Estructura	=	USD 43.450

3.3.3 Reservorio tipo Dique-represa con revestimiento plástico

Se va hacer un reservorio tipo represa, en la finca de Jorge Gutiérrez, en la zona alta de Santa Cruz. La estructura del muro o presa llevará concreto al centro y posteriormente va a ser rellenada con tierra, el largo de la estructura es de 30 metros, además, se va a recubrir con plástico negro de 6 mm de espesor. El área planar del reservorio es de 1.500 m² y su volumen de almacenamiento de agua es de 3.750 m³; ¿Cuál es el costo aproximado de su construcción?



Figura 16: Reservorio tipo Dique-represa con revestimiento plástico, La Esperanza, Santa Cruz.

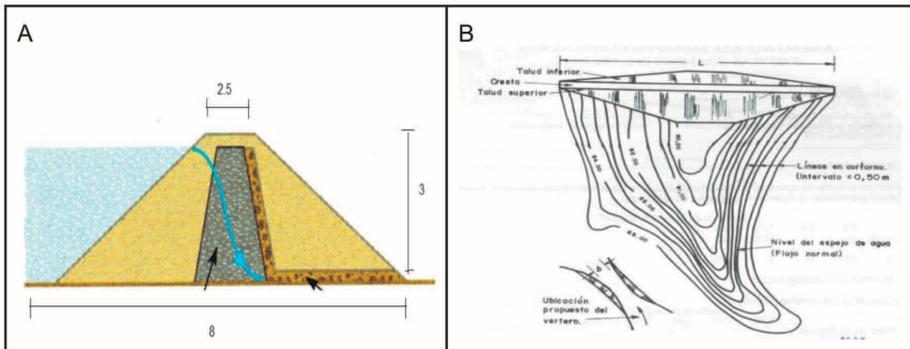


Figura 17: A) Talud de tierra con concreto.

B) Vista superior almacenamiento del reservorio.

Fuente: Cubero (1996).

Se deja un borde libre de 0,5 metros.

Cálculo de movimiento de tierra:

$$A = (B+b) \cdot h / 2.$$

$$A = ((8+2,5) \cdot 2,5) / 2.$$

$$A = 13,12 \text{ m}^2.$$

$$V = A \cdot L \quad V = 13,12 \cdot 30.$$

$$V = 393,75 \text{ m}^3.$$

Aunque lleva el concreto en el centro, no se le resta ese volumen, porque la tierra se acoda en los taludes.

Asumiendo que se utiliza un Retrocargador, entonces:

$$\text{Horas} = 393,75 / 15 (\text{aplicado el factor}).$$

$$\text{Horas} = 26,25 \cdot 50 \text{ USD}.$$

Costo movimiento de tierras = \$1.313

Cálculo de costo del muro:

$$A = 2,5 \cdot 3 = 7,5 \text{ m}^2.$$

$$V = A \cdot L = 7,5 \cdot 30. \quad V = 225 \text{ m}^3.$$

Cálculo del plástico

Un metro lineal de plástico equivale a 6 m², por lo tanto, se necesita 250 metros lineales.

$$\text{Metros lineales de plástico} = 1.500 / 6 = 250.$$

$$\text{Precio del plástico por metro} = 2 \text{ USD}.$$

$$250 \cdot 2 = 500 \text{ USD}.$$

$$\text{Costo del plástico} = 500 \text{ USD} + 200 (\text{pegada}) = 700 \text{ USD}.$$

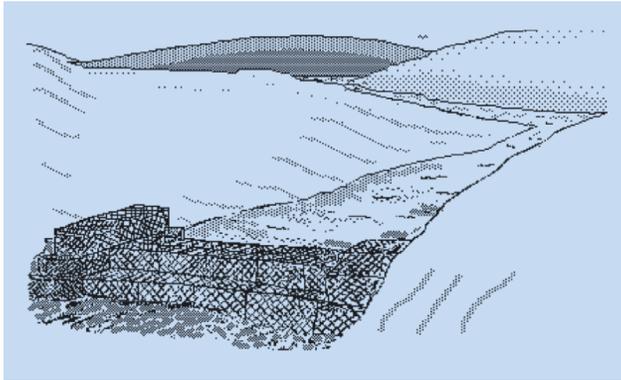
*Cuadro 9: Desglose de costos de la instalación de un reservorio
 Dique-represa con revestimiento plástico.*

Desglose de costos		
Costo movimiento de tierras	USD	1.313
Materiales		
350 sacos de cemento		4.220
45 m ³ arena		1.600
50 m ³ piedrilla		1.100
650 varilla número 3		2.320
75 Kg alambre		200
Mano de obra		6.250
10 cubetas de aditivo		800
Plástico		700
Varios		300
Subtotal materiales	USD	17.490
Costo total estructura	USD	18.803

3.3.4 Reservorio tipo dique presa con gaviones

Se pretende hacer una presa de gaviones y forrada con tierra, la longitud del muro es de 34 metros, y las dimensiones del muro son 3 metros de altura por 1 de ancho, el área planar es de 1.020 m², la capacidad de almacenamiento de agua es de 1.575 m³, se prevé que es necesario recubrir el reservorio con una geomembrana; **¿Cuál será el costo de esta obra?**

Figura 18: Reservorio tipo dique-represa con gaviones.



Fuente: Bocek (sf).

Costo de los gaviones

Costo por gavión = USD 270 unidad.

Puesto que se ponen dos gaviones en la base, y luego uno para arriba y otro encima de éste, se ocupa 4 gaviones de frente, por 14 a lo largo.

Total gaviones = $4 * 14 = 56$.

Costo = $56 * 270 \text{ USD} = 15.120 \text{ USD}$.

Cálculo de movimiento de tierra

$A = ((8+3) * 3) / 2$.

$A = 16,5 \text{ m}^2$.

$V = A * L = 16,5 * 35 = 577 \text{ m}^3$.

Horas = $577 / 15$ (aplicando el factor, $25 \text{ m}^3 / \text{hora} * 0,6$ de eficiencia = 15).

38,5 horas Retrocargador.

Costo movimiento de tierra:

$38,5 * 50 \text{ USD} = \$ 1.920$.

Cálculo geomembrana

El costo por metro cuadrado de la geomembranas es de \$ 9/m², así:

Costo geomembrana: 1.020 m² * 9 = **9.180 USD.**

Costo total = gaviones + movimiento tierra + geomembrana.

Costo total = 15.120 + 1.920 + 9.180 = 26.220 USD.

Cuadro 10: *Desglose de costos de la instalación de un reservorio dique represa con gaviones.*

Desglose de costos	
Gaviones	USD 15.120
Movimiento de tierra	1.920
Geomembrana	9.180
Varios	300
Costo total estructura	USD 26.520

3.3.5 Reservorio tipo estanque revestido con plástico

Se pretende recolectar agua de lluvia por medio de un tejado de una vivienda, la cual tiene una superficie de techo de 400 m², ubicada en la comunidad de Bagaces.

¿Cuánta cantidad de agua se puede almacenar y cuál sería el costo de hacer un reservorio?



Figura 19: Reservorio tipo estanque revestido con plástico.

Si el reservorio está ubicado a 50 m de la casa, se debe considerar la tubería de conducción en 100 milímetros (4”), para que conduzca holgado el caudal.

Como en Bagaces llueve de 1.000 a 1.500 mm/año, se puede tomar como valor de referencia 1.000 mm, como lluvia efectiva.

Utilizando la Anexo 3 , chequeamos para 400 m² y 1000 mm/ anuales, indica que se pueden capturar 400 000 litros = 400 m³.

Para almacenar 400 m³ de agua, se puede hacer un reservorio de 20 * 15 (L * A) por 1,5 de altura (h), y da 450 m³. Es decir, con las dimensiones anteriores, el reservorio tiene suficiente capacidad para almacenar los 400 m³.

Cálculo de movimiento de tierra

Volumen por extraer = 20 * 15 * 1,5 = 450 m³ de tierra.

Un Retrocargador mueve 15 m³ / hora

450 / 15 = 30 horas de Retrocargador.

30 * 50 USD = 1500 USD.

Cálculo de plástico

Precio del plástico = 2 USD, trae 6 metros de ancho.

Entonces:

20 * 15 = 300 m² (piso del reservorio).

20 * 2 * 1,5 = 60 m² (paredes largo del reservorio).

15 * 2 * 1,5 = 45 m² (paredes ancho del reservorio).

El área circundante para anclaje se puede establecer en 12 m².

El área del reservorio sería de: 300 + 60 + 45 + 12 = 417 m².

De plástico se necesita:

417 / 6 = 69,5 ≈ 70 m lineales de plástico

Cuadro 11: Desglose de costos de la instalación de un reservorio Dique-estanque revestido con plástico.

Desglose de costos		
Costo movimiento de tierras	USD	1.500
Materiales		
Mano de obra		150
Plástico (70 m * \$2)		140
Varios		40
Subtotal materiales	USD	
Costo total estructura	USD	1.830

3.3.6 Reservorio tipo Envase

En la ciudad de Liberia, Guanacaste, se desea captar y almacenar agua de lluvia, utilizando el techo de una vivienda de habitación con un tamaño de 200 m², con el fin de que la misma pueda ser utilizada en una pequeña huerta casera.

Si en el mercado nacional existen tanques plásticos con una capacidad máxima de 22 m³ (ver ejemplo en Figura 20), **¿Cuánto sería el costo total de la inversión si se desea captar la mayor cantidad de agua posible?**



Fuente: CEMEDE

Figura 20: Reservorio tipo envase.

De acuerdo con la Figura 7, Liberia tiene una precipitación promedio de 1.000 a 1.500 mm anuales; se asume, entonces, que la precipitación será de 1.000 mm / año. En el Anexo 3, al revisar la columna de “*participación pluvial promedio*” correspondiente a 1000 mm, y el “*área de captación*” (m²) correspondiente a 200 m², se indica que se pueden capturar 200 m³ (200.000 mm).

Si se quisiera instalar suficiente cantidad de envases para capturar la totalidad de los 200 m³, entonces:

- Volumen del envase: 22 m³ -No. de Envases: $200/22 = 9,09 \approx 9$ tanques.
- Con 9 envases se almacena 198 m³.

Se asume que la vivienda tiene canoas y bajantes, y se debe ubicar el tanque por debajo del techo, de modo que se pueda llenar en su totalidad.

Cuadro 12: Desglose de costos de la instalación de un reservorio tipo Envase.

Desglose de costos		
9 Envases de 22 m³ (diámetro = 3; altura =3,4) (3.600 c/u)	=	USD 32.400
Materiales		
7 tubos de 100 mm (4") (18,9 USD c/u)		132,33
6 TEE de 100 mm (4") (4,81 USD c/u)		28,85
11 Codos de 100 mm (4") (5,43 USD c/u)		59,76
4 tubos de 50 mm (2") (9,42 USD c/u)		37,69
8 TEE de 50 mm (2") (4,81 USD c/u)		38,46
Varios (15% de costo de materiales)		45,00
Subtotal materiales	=	USD 342,00
Total Estructura	=	USD 32.742

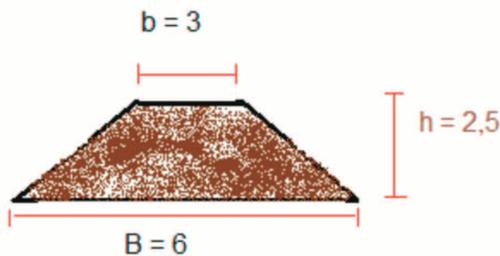
3.3.7 Reservorio Tipo Dique Escalonado

Se pretende elaborar un reservorio para el cultivo de arroz en una zona plana, con suelos arcillosos (pesados), como complemento o mecanismo para asegurar la siembra en pequeños periodos secos (15 días en el invierno). Hay

disponibles 4 hectáreas para elaborarlo dentro de un arrozal de 100 hectáreas. Para hacer el reservorio se requieren 1.050 metros lineales de muro.

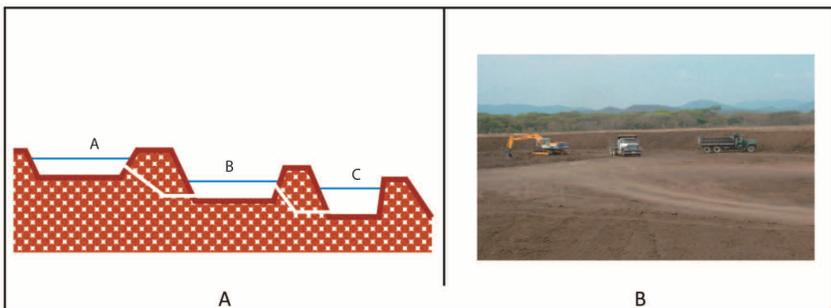
Para elaborar los movimientos de tierra, la empresa de maquinaria pesada cotizó el trabajo en 74 USD el metro lineal de muro, cuyas dimensiones están en la Figura 21. Para estos trabajos se utiliza un Retrocargador, un tractor de oruga, dos vagonetas, y una draga; en promedio, se hace un corte de 30 cm al suelo, el cual es acarreado a los lados para elaborar los muros o diques.

Figura 21: Vista transversal del muro de contención.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22: A. Vista longitudinal reservorio tipo Dique-escalonado (sin escala.) B. Maquinaria trabajando en la elaboración de esta estructura. San Lázaro de Nicoya.



Fuente: Elaboración propia.

Entonces:

Costo= total de metros lineales * precio de cotización metro lineal.

Costo = 1.050 m * 74 USD.

Costo = 77.700 USD.

En el capítulo *Requerimientos hídricos de los cultivos*, se desarrolla el tema de las posibles áreas de siembras.

4. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

El sistema de riego es fundamental para maximizar el uso del agua, hay varios sistemas de riego usados en Costa Rica, como lo son el riego por goteo, por aspersión y por microaspersión.

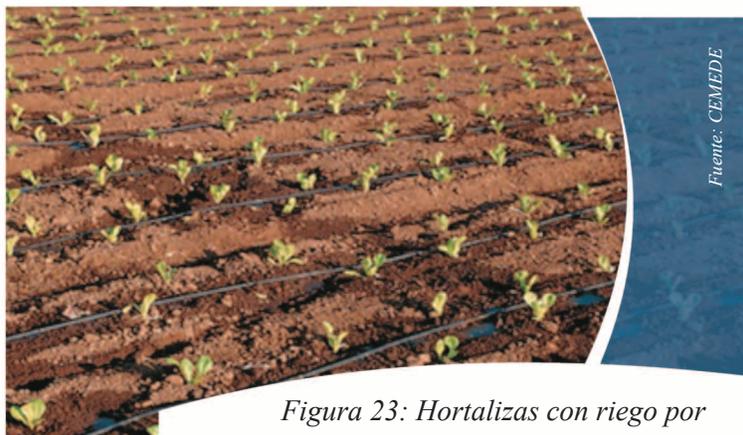
Un sistema de riego no solamente considera el diseño hidráulico para el uso del agua, sino también, requiere de un conocimiento de los equipos presentes en el mercado. Es recomendable consultar a un profesional (ingeniero agrícola) para hacer una buena elección de producto.

En el momento de instalar un sistema de riego, hay que considerar la capacidad de la tubería de alimentación, desde el reservorio hasta el lugar de la actividad productiva. Se recomienda utilizar un diámetro mínimo de tubería de conducción de 50 mm (2”) de diámetro. Sin embargo, para el caso del arroz, por su requerimiento hídrico mayor, el diámetro recomendable es de 150 mm (6”).

4.1 Riego por goteo

El riego por goteo es un método de irrigación utilizado en las zonas secas y áridas, pues es el sistema que tiene más eficiencia y permite la utilización óptima de agua y abonos.

El agua aplicada por este método de riego se infiltra hacia las raíces de las plantas irrigando directamente la zona de influencia de las raíces mediante un sistema de tuberías y emisores (goteros).



Fuente: CEMEDE

Figura 23: Hortalizas con riego por goteo.

4.1.1 Características

- Utilización de pequeños caudales a baja presión.
- Localización del agua en la proximidad de las plantas mediante un número variable de puntos de emisión (emisores o goteros).
- Al reducir el volumen de suelo mojado y, por tanto, su capacidad de almacenamiento, se debe operar con una alta frecuencia de aplicación, a caudales pequeños.

Figura 24: Filtros de riego de anillos y malla.



Fuente: CEMEDE.

En el riego por goteo, la utilización de abonos tradicionales en superficie es casi ineficaz, así los sistemas de goteo mezclan a menudo el abono líquido o pesticidas en el agua de riego. Otros productos químicos, tales como el cloro o el ácido sulfúrico son utilizados, periódicamente, para limpiar el sistema.

Si está correctamente instalado y controlado, el riego por goteo puede ayudar a realizar importantes economías de agua por la reducción de la evaporación. Por otro lado, el riego gota a gota puede eliminar muchas enfermedades producidas por el contacto del agua con las hojas.

En conclusión, en las regiones donde los aprovisionamientos de agua están muy limitados, se puede obtener un notable aumento de producción, si se utiliza la misma cantidad de agua que se empleó en otros sistemas.

En las regiones muy áridas o sobre suelos arenosos, la mejor técnica consiste en regar tan lentamente como sea posible (menos de 1 litro por hora). Para esto, el riego por goteo es adecuado.

4.1.2 Ventajas

El riego por goteo es un medio eficaz para aportar agua a la planta, ya sea en cultivos en línea (mayoría de los cultivos hortícolas o bajo invernadero) o en plantas (árboles) aisladas. Este sistema de riego presenta diversas ventajas desde los puntos de vista agronómicos, técnicos y económicos, derivados de un uso más eficiente del agua y de la mano de obra.

- Permite utilizar caudales pequeños de agua.
- Una importante reducción de la evaporación del suelo, lo que trae una reducción significativa de las necesidades de agua. No se puede hablar de una reducción en lo que se refiere a la transpiración del cultivo, ya que la cantidad de agua transpirada (eficiencia de transpiración) es una característica fisiológica de la especie.
- La posibilidad de automatizar completamente el sistema de riego, con los consiguientes ahorros en mano de obra. El control de las dosis de aplicación es más fácil y completo.
- Se puede utilizar aguas más salinas que en riego convencional, debido al mantenimiento de una humedad relativamente alta en la zona radical (bulbo húmedo).

- Una adaptación más fácil en terrenos rocosos o con fuertes pendientes.
- Reduce la proliferación de malas hierbas en las zonas no regadas.
- Permite el aporte controlado de nutrientes con el agua de riego, sin pérdidas por lixiviación con posibilidad de modificarlos en cualquier momento del cultivo (fertirriego).
- Permite el uso de aguas residuales, ya que evita que se dispersen gotas con posibles patógenos en el aire.

4.1.3 Inconvenientes

El costo elevado de la instalación. Se necesita una inversión elevada, debido a la cantidad importante de emisores, tuberías, equipamientos especiales en el cabezal de riego. Sin embargo, el aumento relativo de coste con respecto a un sistema convencional no es prohibitivo.

El alto riesgo de obturación de los emisores, y el consiguiente efecto sobre la uniformidad del riego. Esto puede ser considerado como el principal problema en riego por goteo. Sin embargo, en los últimos años, gracias a la aparición en el mercado de goteros autocompensados y “autolimpiantes”, este problema se ha reducido notablemente, ya que dichos goteros tienen el paso más amplio, permitiendo la pasada de partículas de mayor tamaño, ya que la regulación del caudal se obtiene no mediante un “laberinto” o un orificio de pequeño diámetro, sino por medio de la membrana de silicona que autorregula la presión interna del gotero y por ende, el caudal de salida.

4.2. Riego por aspersión

Es aquel sistema de riego que trata de imitar a la lluvia. Es decir, el agua destinada al riego se hace llegar a las plantas por medio de tuberías y aspersores; gracias a una presión determinada, el agua se eleva para que luego caiga pulverizada o en forma de gotas sobre la superficie que se desea regar.

4.2.1 Características

Para conseguir un buen riego por aspersión son básicas:

- Presión en el agua: Es necesaria por dos motivos; a) dar energía al agua para que se mueva y llegue a los aspersores con la presión suficiente para que alcancen su desempeño (diámetro de cobertura y caudal; b) se necesita cierta presión para que el tamaño de la gota y su distribución sea el adecuado en los cultivos. En el caso de que la presión de la red no sea suficiente, se deberá instalar un motor que dé la presión suficiente desde el depósito hasta los aspersores.
- Una red de tuberías adecuadas a la presión del agua: En general, la red de tuberías que conducen el agua por la superficie por regar se compone de ramales (múltiples o manifull) de alimentación, que conducen el agua desde la tubería principal para suministrar a los ramales secundarios que conectan directamente con los aspersores. Tanto la selección de los diámetros de tubería como el espesor de pared de ellas, requieren un estudio técnico-económico adecuado ya que de él dependerá el éxito de la instalación.
- Aspersores adecuados que sean capaces de esparcir el agua a presión que les llega por la red de distribución: Los más utilizados en la agricultura son los giratorios, porque giran alrededor de su eje y permiten regar una superficie circular impulsados por la presión del agua, aunque en el mercado los hay de variadas funciones y distinto alcance. Son parte fundamental del equipo del riego por aspersión y, por tanto, el modelo, tipo de lluvia (más o menos pulverizada) que producen, alcance, etc. deben formar parte del estudio técnico mencionado.
- Depósito de agua que conecte con la red de tuberías.

4.2.2 Ventajas

- Ahorro en mano de obra: Una vez puesto en marcha no necesita especial atención, más que la supervisión.
- Adaptación al terreno: Se puede aplicar, tanto a terrenos lisos como a los ondulados, no necesita nivelación ni preparación de las tierras.

- La eficiencia del riego por aspersión es de un 80% frente al 50 % en los riegos por inundación tradicionales. Por lo tanto, el ahorro en agua es un factor muy importante a la hora de valorar este sistema.
- Especialmente útil para distintas clases de suelos, ya que permite riegos frecuentes y poco abundantes en suelos poco permeables.

4.2.3 Inconvenientes

- Daños a las hojas y a las flores: Las primeras pueden dañarse por el impacto del agua sobre ellas, si son hojas tiernas o especialmente sensibles al depósito de sales. En cuanto a las flores, éstas se dañan por ese mismo impacto sobre las corolas.
- Requiere una inversión importante: El depósito, las bombas, las tuberías, las juntas, los manguitos, las válvulas y la intervención de técnicos hacen que en un principio el gasto sea elevado.
- El viento puede afectar: En días de vientos acentuados el reparto del agua puede verse afectado en su uniformidad, por lo que en el diseño debe considerarse el traslape adecuado para cada situación.
- Aumento de enfermedades y propagación de hongos, debido al mojado total de las plantas.

4.3 Riego por Micro-aspersión

Es un sistema intermedio entre goteo y aspersión, que se caracteriza por aplicar mayores volúmenes que el goteo, pero con mayor diámetro de humedecimiento que éste, además, el tamaño de las gotas precipitadas no causa daños a hojas ni flores como la aspersión tradicional.

El riego por micro-aspersión es ideal para los cultivos de hortalizas, los almácigos, viveros, trasplante de plantas, frutales, pues tiene la ventaja de crear un microclima favorable para los cultivos.

5. METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE SITIOS ADECUADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIOS

1. En el escenario ideal, buscar el apoyo de los técnicos extensionistas del Ministerio de Agricultura y Ganadería, Centros Agrícolas Cantonales, Sistema Nacional de Riego y Drenaje o del Instituto de Desarrollo Agrario, en el caso de Costa Rica.
2. Hacer un estudio de suelo, que permita conocer la textura y otras condiciones de suelo, que justifiquen la necesidad de utilizar geomembranas u otro material de revestimiento.
3. Considerar la topografía, es decir, que el reservorio tenga un área de escorrentía con una pendiente entre 5% y 20%, de modo que éste pueda llenarse en el periodo de precipitaciones, además, considerar las diferencias de altura del punto del reservorio a la zona de riego, de modo que haya más de 20 metros para proveer la presión necesaria y operar el sistema en riego por gravedad.
4. El acceso a las fincas debe ser fácil, de modo que se pueda entrar en vehículo, para que la maquinaria no pierda tiempo en hacer trochas, lo cual encarecería el proceso de la elaboración.
5. Se debe considerar el área de recarga del reservorio, para que se pueda llenar; además del área agrícola disponible en terrenos ubicados aguas abajo del reservorio.
6. La selección del productor agrícola debe ser considerado por los extensionistas, quienes conocen sus virtudes y su nivel de emprendedurismo. En este sentido, en el Documento D-05 “Perfil agroempresarial de los posibles beneficiarios de la tecnología de cosecha de lluvia”, se define las características que deben reunir los productores y sus unidades productivas, para hacer que tenga éxito la implementación de la tecnología.

6. SISTEMAS DE BOMBEO

En condiciones ideales, los reservorios se diseñan en una parte alta de la finca, donde se pueda implementar transporte del agua por gravedad hasta el sitio de la actividad productiva. Sin embargo, en muchos lugares, las condiciones topográficas no lo permiten, por lo que se hace necesaria la instalación de algún sistema de bombeo.

El tema de bombeo es un tanto complicado, ya que se requiere conocimientos en electricidad, física, entre otros. Es recomendable consultar a un técnico especialista en el tema para asegurar la funcionalidad y duración de los sistemas por instalar.

En este apartado, se incluye algunos elementos que es necesario considerar a la hora de seleccionar un sistema de bombeo.

6.1 Generalidades

Una bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y transfiere energía hidráulica al líquido que la atraviesa.

La forma más usual de elevar el agua es por medio de bombas hidráulicas. Estas actúan en dos fases:

- **Aspiración:** Elevación del agua desde su nivel hasta el cuerpo de la bomba. Consiste en generar el vacío en la tubería, con el fin de que el agua pueda subir por ella impulsada por la presión atmosférica.
- **Impulsión:** Conducción del agua desde la bomba hasta su destino. Consiste en crear la presión necesaria para que el agua se traslade a lo largo de la tubería de impulsión.

Según la fuente de energía, también las bombas se pueden clasificar en:

- Eléctricas:
 - a) Monofásicas.
 - b) Trifásicas.

- Motor de combustión interna:
 - a) Gasolina.
 - b) Diesel.

Las bombas más usadas para riego son las centrífugas, ya sea de turbina, para pozos profundos, o bombas centrífugas de ejes horizontales, éstas pueden succionar el agua hasta una profundidad máxima de 7 metros.

Dentro de las bombas centrífugas están las tipo jet, que son capaces de succionar agua a más de 7 metros de profundidad, gracias a que re-circulan parte del caudal que extraen. Succionan incluso hasta 50 metros de profundidad, pero entregando un caudal reducido.

En cualquier aplicación es importante realizar las operaciones matemáticas que permitan determinar bien la carga dinámica total y la nsph (succión neta positiva).

Bombas Centrífugas

El nombre de centrífuga alude al hecho que es la fuerza centrífuga la que aumenta la energía de la corriente de agua.

Son las más utilizadas en riego. Sus ventajas son:

- Tamaño reducido.
- Caudal constante.
- Presión uniforme.
- Bajo mantenimiento.
- Flexibilidad de regulación.

Una bomba centrífuga se compone de los siguientes elementos:

- Rodete o impulsor: es el elemento móvil. Está formado por unas paletas o álabes, unidos por un eje que recibe energía del exterior.
- Distribuidor: consiste en un estrechamiento que conduce el agua desde la tubería de aspiración hasta el rodete.
- Difusor: está formado por unos álabes fijos, que tienen por misión reducir la velocidad y aumentar la presión del agua que sale del rodete.

El difusor y el rodete están encerrados en una cámara, llamada carcasa.

6.2. Características de funcionamiento

- La altura geométrica de aspiración, en la mayoría de los casos, será inferior a 6 metros.
- En las bombas de eje horizontal: el diámetro de la tubería de aspiración suele ser superior al orificio de aspiración de la bomba, en cuyo caso, la unión entre ambos debe tener una forma que impida la formación de bolsas de aire, que dan lugar a vibraciones peligrosas. Esta unión se hace mediante un cono excéntrico.
- En el extremo inferior de la tubería de aspiración se coloca una válvula de pie con un colador, situada a una distancia mínima del fondo de 50cm, para evitar la succión de sedimentos. La válvula de pie debe colocarse a una distancia del nivel del agua al menos de 2 veces el diámetro de la tubería, para evitar la succión de aire.
- Para evitar o minimizar las turbulencias a la entrada de la bomba, es conveniente instalar un tramo de tubería recta antes de la entrada de la bomba, cuya longitud sea 5 – 6 veces el diámetro de la tubería.

6.3. Selección de bombas

Para la selección más adecuada de bombas para la actividad agrícola se debe conocer:

- a) El volumen de agua requerido por la unidad de tiempo por utilizar, ya sea en:
 - Riego por gravedad (caudal).
 - Riego por aspersión y goteo (caudal y presión).
 - Ganadería (clase de animales, número y edad).

Dependiendo del uso que se le dará al agua, así será el caudal y la presión requeridos.

- b) Altura a que va a succionar la bomba. Si es de un río o laguna, es la altura entre la bomba y el nivel del agua.
- c) Altura a la que hay que elevar el agua.
- d) Distancia entre la bomba y el punto donde necesitamos el agua .
- e) Materiales disponibles para conducción.

6.4. Carga dinámica total

La carga dinámica total es la sumatoria de las presiones que tiene que sobrellevar la bomba para poder entregar el agua donde es requerida. Es necesario considerar:

- Para facilitar la selección de la bomba se debe contar con los valores de:
 - Caudal necesario (l/s, m³/h), depende del área por regar, cultivo y clima.
 - Distancia a la que hay que llevar el agua.
 - Diámetro de la tubería.
 - Material de la tubería.
- Si el agua es tomada de un reservorio se debe suministrar la siguiente información:
 - Altura de bomba con respecto al nivel máximo de agua en el reservorio.
 - Altura de bomba con respecto al nivel mínimo de agua del reservorio.
 - Longitud de tubería de aspiración.
 - Diámetro y material de tubería de aspiración.
 - Cantidad de accesorios (codos, adaptadores, válvula de pie).

Se deben calcular las pérdidas por fricción de todo el sistema (succión, conducción y distribución). Puede ser obtenido mediante el Anexo 5.

6.5. Costo de bombeo

El costo del bombeo para motores eléctricos puede ser calculado por medio de la siguiente ecuación 6:

Ecuación 6	Costo = PT Kw * t * p
	Donde:
	PT: indicada en la placa de la bomba.
	t: tiempo de bombeo. P: precio de Kw / hora.

Si la bomba es de combustión interna puede ser calculado por medio de la Ecuación 7:

Ecuación 7	Costo = CE * t * pc
	Donde:
	CE: Consumo específico (dato del fabricante).
	t: tiempo de bombeo. pc: precio del combustible.

6.6 Golpe de ariete

Es el efecto de cambios súbitos de presión en el fluido que circula por una tubería.

Las causas más frecuentes de los golpes de ariete son:

- Apertura y cierre rápido de válvulas.
- Arranque y parada de una bomba.
- Acumulación y movimiento de bolsas de aire dentro de las tuberías.

La columna de líquido que se mueve dentro de la tubería posee cierta inercia que es proporcional a su peso y velocidad. Cuando el flujo se detiene repentinamente, la inercia se convierte en un incremento de presión.

Se debe considerar que la altura de succión en bombas centrifugas debe ser menor a 7 metros; también, hay que evitar el uso de uniones que permitan el ingreso de aire al sistema, así como evitar el uso excesivo de codos y accesorios en la succión.

En la descarga se recomienda colocar una válvula de compuerta para regular la descarga y un check en línea para evitar el reflujo del agua al apagarse la bomba.

6.7. Selección de cable para motores eléctricos

Una causa frecuente de fallas de motores eléctricos es la errónea selección del cable de alimentación, que debe ser del calibre adecuado, según la potencia del motor eléctrico y la distancia de acometida.

Existen tablas para conductores eléctricos que permiten la escogencia del calibre requerido conociendo la distancia del cable requerido, la fase en la que trabaja, el voltaje por utilizar y la potencia de la bomba o el amperaje por suministrar.

Dichas tablas se presentan en el Anexo 6 al final del documento.

6.8 Cálculo de la caída de voltaje

El cable de alimentación del motor debe prevenir que la caída de voltaje supere el 3% del voltaje de acometida.

Esta caída de voltaje se calcula por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 8	$\Delta V = \frac{F_v \cdot I \cdot D}{30,48}$
	Donde: ΔV = Caída de voltaje. F_v = Caída de voltaje en función del cable (de Cuadro 14). I = Corriente del motor en amperios (dato de placa). D = Longitud de acometida.

Cuadro 13: Capacidad de conducción de corriente.

Calibre (AWG)	85 °C THHN I (A)
18	18
16	24
14	35
12	40
10	55
8	80
6	105
4	140
3	165
2	190
1	220

Cuadro 14: Pérdida o caída de voltaje aproximado (conductores de cobre).

Calibre AWG o MCM	Caída del voltaje/A/30.48m con un factor de potencia del 80%	
	UNO FASE	TRES FASES
14	0,4762	0,4167
12	0,3125	0,2632
10	0,1961	0,1677
8	0,125	0,1087
6	0,0833	0,0714
4	0,0538	0,0463
3	0,0431	0,0379
2	0,037	0,0323
1	0,0323	0,0278

Ejemplo: cálculo de la caída de voltaje

1) Calcular la caída de voltaje para un motor de 1 HP, con una acometida de 40 m, 10,4 A, monofásico, cable 14, 115 V.

Solución:

Factor para cable 14, una fase: 0,4762 V/A.

Caída de voltaje:

$$\Delta V = 0,4762 \times 10,4 \times 40 \text{ m} / 30,48 \text{ m.}$$

$$\Delta V = 6,5 \text{ V.}$$

$$6,5/115 \times 100 = 5,65 \% > 3\% \Rightarrow \text{no se acepta.}$$

El motor va a trabajar, pero el cable calienta, aumenta el consumo de corriente y, eventualmente, se quema.

Se prosigue con el cable siguiente:

Factor para cable 12, una fase: 0,3125 V/A.

Caída de voltaje:

$$\Delta V = 0,3125 \times 10,4 \times 40 \text{ m} / 30,48 \text{ m.}$$

$$\Delta V = 4,26 \text{ V.}$$

$$4,26/115 \times 100 = 3,7 \% > 3\% \Rightarrow \text{no se acepta.}$$

Se prosigue con el cable siguiente:

Factor para cable 10, una fase: 0,1961 V/A.

Caída de voltaje:

$$\Delta V = 0,1961 \times 10,4 \times 40 \text{ m} / 30,48 \text{ m.}$$

$$\Delta V = 2,67 \text{ V.}$$

$$2,67/115 \times 100 = 2,32 \% > 3\% \Rightarrow \text{se acepta.}$$

Ejemplo: selección de bomba eléctrica

Se requiere bombear agua (10 galones/min) hacia un terreno que está a 30 metros sobre un reservorio, hay 6 metros de succión y la presión de operación del sistema es de 15 metros de columna de agua (mca) (goteo).

¿Qué bomba es la que necesito para operar el sistema? (considerar las pérdidas por fricción- Anexo 5).

Carga Dinámica Total: CDT

CDT = H de succión + H del terreno + presión de operación + pérdidas por fricción (hf).

$$CDT = 6 + 30 + 15 + Hf.$$

Hf = revisando el Anexo 5, vemos que para 10 gal/min la pérdida es de 0,98 por cada 100 metros, hacemos la regla de 3 simple:

$$X = 0,294 \text{ mca}$$

$$\frac{0,98}{X} \rightarrow \frac{100}{30}$$

Entonces:

$$CDT = 6 + 30 + 15 + 0,294.$$

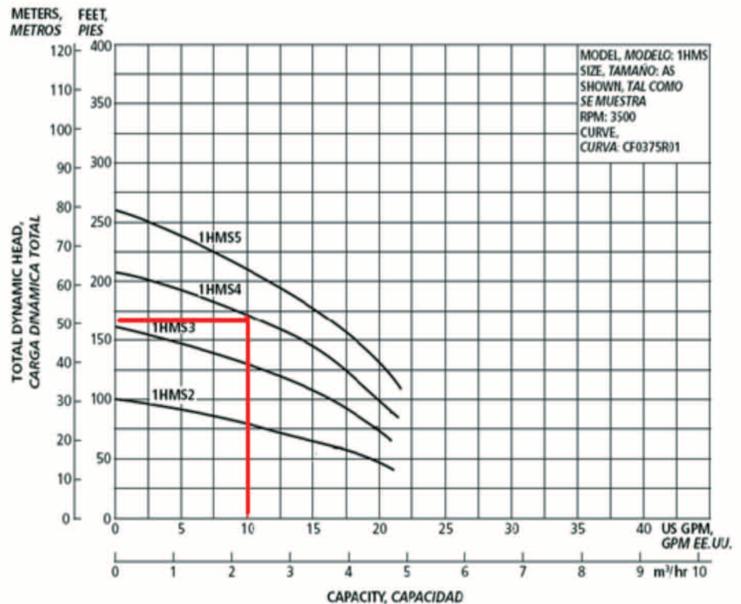
$$CDT = 51,294 \text{ mca.}$$

Así tenemos los datos para entrar en las curvas de las bombas, lo que indica que la que sirve es la 1HMS4.

*Figura 25:
 Curvas
 características
 de las bombas
 Goulds Pumps
 serie HMS.*

Fuente:

<http://www.roultratec.com>.



Performance Curves, 60 Hz, 3500 RPM, Curvas de rendimiento, 60 Hz, 3500 RPM

Figura 26: Información para una bomba centrífuga de etapas múltiples.

Horizontal Multi-Stage Centrifugal Pumps
Bombas Centrífuga de etapas múltiples



Pump, Bomba	Stage, Étages	A	L	HP	Motor Length and Weights, Longitud y peso del motor							
					1 Phase, Monofásicos				3 Phase, Trifásicos			
					ODP		TEFC		ODP		TEFC	
					C	Weight, Peso	C	Weight, Peso	C	Weight, Peso	C	Weight, Peso
1HMS, 2HMS	2	3.78 (98)	8.66 (220)	½	10.88 (2.76)	24 (10.9)	11.56 (294)	30 (13.6)	10.38 (264)	24 (10.9)	10.31 (262)	19 (8.6)
	3	4.76 (121)	9.63 (245)	¾	10.88 (276)	26 (11.8)	12.38 (315)	33 (14.9)	10.62 (270)	25 (11.3)	11.06 (281)	21 (9.5)
	4	5.75 (146)	10.63 (270)	1	11.62 (295)	27 (12.2)	12.31 (313)	37 (16.8)	11.12 (282)	26 (11.8)	11.06 (281)	23 (10.4)
	5	11.63 (295)	11.75 (298)	1½	13.62 (346)	28 (12.7)	13.56 (344)	40 (18.1)	11.62 (295)	28 (12.7)	11.38 (289)	29 (13.1)

NOTES:

1. Dimensions in inches, weight in pounds.
2. Not to be used for construction purposes unless certified.
3. Motor dimensions may vary with motor manufacturers.

NOTAS:

1. Dimensiones en pulgadas, peso en libras.
2. No utilizar para fines de construcción a menos que estén certificadas.
3. Las dimensiones del motor pueden variar de acuerdo al fabricante.

Fuente: <http://www.roulratec.com>.

Ejemplo de selección de bomba de combustible (gasolina)

Se requiere de una bomba de superficie para trasegar 6, l/s de agua limpia donde el especialista en riego ha determinado que se requiere una presión de 50 mca (metros de columna de agua), después de sumar las fricciones en tubería, la diferencia de altura por superar para llevar el agua desde el reservorio hasta el cultivo y el requerimiento de presión necesario para que el sistema de riego funcione. Lo que sigue es seleccionar la bomba correcta para la aplicación. Se considera que no hay electricidad disponible en el sitio.

Primero, cuando se hace referencia a trasiego de agua limpia, debe entenderse que el líquido no lleva sólidos de importante diámetro y, por lo tanto, la bomba no requiere de un impulsor especial para esto (impulsor abierto); es necesario destacar este detalle, ya que las bombas de impulsor abierto disminuyen la eficiencia del bombeo y, normalmente, son de mayor valor.

Existen diferentes opciones de bombas para agua por utilizar cuando no hay electricidad disponible. Dentro de la gama de opciones disponibles en Costa Rica, se puede hacer uso de bombas de motor potenciadas por energía solar, bombas potenciadas con la fuerza del viento y bombas con motor a gasolina.

Para seleccionar la correcta bomba para la aplicación, es importante contar con la información resumida de presión y caudal, tanto en el sistema internacional como en el sistema inglés, ya que los proveedores no necesariamente presentan su información en el sistema internacional.

Con la siguiente información:

Presión: 45 mca o 147 pca (pies de columna de agua); (factor de conversión: 1 mca = 3,28 pca).

Caudal: 6,4 l/s o 101 GPM (galones por minuto); (factor de conversión 1 l/s = 15,85 GPM).

Con esta información es posible explorar las curvas de las bombas que cada proveedor pone a disposición de sus clientes y ubicar el punto de operación establecido. En la curva seleccionada se han dispuesto dos flechas, de manera que se puedan intersecar los valores de caudal y presión indicados (Figura 27).

**“MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
BÁSICAS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTRUCTURAS
DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (SCALL) EN
EL SECTOR AGROPECUARIO DE COSTA RICA Y
RECOMENDACIONES PARA SU UTILIZACIÓN”**

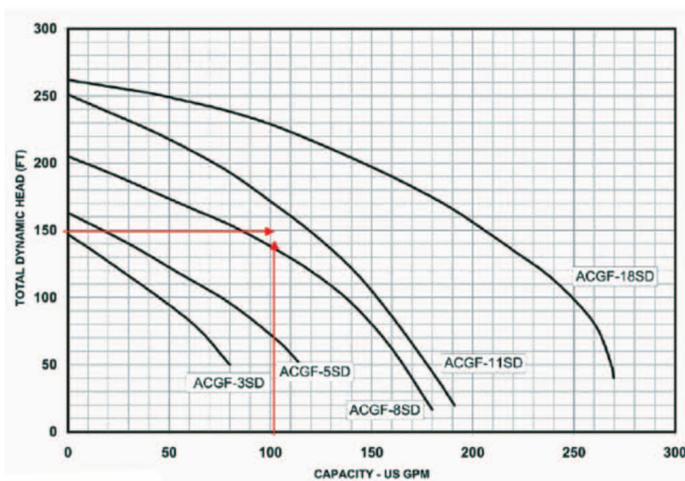
Como se observa en la figura 27, el punto generado se encuentra entre dos curvas de operación de bombas, la ACGF-8SD y la ACGF-11SD, situación muy común, ya que no existen equipos que coincidan perfectamente con las necesidades de cada aplicación, así que se debe escoger entre las que mejor se acerquen o permitan cumplir con la presión y caudal requeridos.

Pese a que el punto de operación obtenido se encuentra muy cercano a la bomba 8 SD, la selección correcta es la 11 SD, ya que está por encima del punto de operación y, por lo tanto, cumplirá con lo solicitado por el especialista y un poco más.

El sistema, entonces, entregaría 20 pca más de lo requerido, lo que no debería significar gran problema para el sistema; además, existen accesorios que podrían restringir la bomba para hacer cumplir el punto de operación establecido.

Como lo menciona el proveedor, es posible cumplir con el punto de operación, siempre y cuando no se extraiga el agua a mayor profundidad de la indicada al elaborar la curva, en este caso, de 5 pca.

Figura 27: Curvas características de algunas bombas.



Fuente: www.monarchindustries.com.

Figura 28: Información sobre bombas en el mercado nacional.

PERFORMANCE CHART										
Model No.	Discharge Pressure in PSI at 5 ft. Lift									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Capacities in U.S. GPM									
ACGF-3	-	80	65	47	25	-	-	-	-	-
ACGF-5	-	115	98	75	52	24	-	-	-	-
ACGF-8	-	165	155	140	122	95	60	24	-	-
ACGF-11	182	175	165	155	140	125	100	81	55	25
ACGF-18	270	265	260	250	235	210	190	160	125	87
ACGF-SD SERIES - GAS ENGINE DRIVEN - END SUCTION - SPRAYER/BOOSTER PUMP										
Model No.	Order No.	Suction & Discharge	HP	Ship Wt. (lbs.)	Engine Description	Low Oil Shut-off				
ACGF-3SD	615078	1½" x 1¼"	3½	58	3 qt. fuel tank.	NO				
ACGF-5SD	615103	2" x 2"	5½	62	3 qt. fuel tank.	NO				
ACGF-5SDH	615115	2" x 2"	5½	62	4 qt. fuel tank.	YES				
ACGF-8SD	615109	2" x 2"	8	82	4 qt. fuel tank.	NO				
ACGF-8SDH	615117	2" x 2"	9	82	6 qt. fuel tank.	YES				
ACGF-11SDH	614170	2" x 2"	11	110	GX340	YES				
ACGF-18SDH	614172	2½" x 2½"	18	278	GX610, electric start.	YES				

Fuente: www.monarchindustries.com

7. REFERENCIAS

- AMANCO, 2010. *Especificaciones para tubería astm d-2241*. Manual técnico de tubosistemas Amanco. San José, Costa Rica.
- Anaya M. 1994. *Sistemas de captación de agua de lluvia para uso domestico en América Latina y el Caribe*. Manual Técnico. México: IICA.
- Anaya M. & Martínez, J. 2007. *Manual sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano en América Latina y el Caribe*.
- Bocek A. sf. *Acuicultura y aprovechamiento del agua para el desarrollo rural*. Introducción a la captación del agua. Traducido por Castillo S y Gálvez J. International Center for Aquaculture. Swingle Hall. Alabama USA. Auburn University.
- Centro Mesoamericano de Desarrollo Sostenible del Trópico Seco (CEMED-DE) y Universidad Estatal a Distancia (UNED), 2009. *Informe de labores del proyecto Fortalecimiento de la Seguridad Alimentaria mediante la implementación de cosecha de agua en la región Chorotega*. Programa CONARE-Regionalización. Documento Interno no publicado. Guanacaste, Costa Rica.
- Chow VT 1988. *Applied Hydrology*. USA: McGraw-Hill.
- Claude H. Pair, 1983. *Irrigation*, 5th Edition, published by the Irrigation Association
- Cubero D., 1996. *Manual de Conservación de suelos y aguas*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica: Editorial EUNED.
- FAO 2000. *Manual de captación y aprovechamiento de agua de lluvia*. Experiencias en América Latina. Serie Zonas Áridas y Semiáridas N° 13. Santiago, Chile: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Frasier G., Myers, Li, 1983. *Handbook of Water Harvesting*. Agriculture Handbook number 600, United States Department of Agriculture. USA.
- Fair GM, Geyer JC, Okun DA. 1968. *Water and Wastewater*. Engineering Volume 1. Mater Supply and Wastewater Removal? Wiley and Sons, Inc., New York, USA.

- Heuvelodop, J, et al. 1986. San José, Costa Rica. *Agroclimatología Tropical*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. IGN (Instituto Geográfico Nacional), 1971. *Hoja Topográfica Diria 1:50.000*, basado en fotografías aéreas de 1971 con actualización de 1972 y 1973.
- Villalobos M., 2002. *Diseño del drenaje superficial*. Serie en ingeniería agrícola. Cartago, Costa Rica. ITCR.
- Multilateral Working Group on Water Resources, 2005. *Rain East Catcher Project Middle East Peace Process*.
- Nasr. M., 1999. *Assessing Desertification and Water Harvesting in the Middle East and North Africa: Policy Implications*. ZEF – Discussion Papers on Development Policy Bonn, Germany.
- Perotti L 2004. *Construcción de un reservorio de agua*. Proyecto de mejoramiento de Poroto Pallar en fincas de pequeños productores de los valles Calchaquíes de Salta, Proyecto de Investigación Adaptativa PROINDER, Estación Experimental Salta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina.
- Villón M., 1991. *Manual de Canales: programa para el diseño de canales*. Proyecto FAO/SENARA, San José, Costa Rica: Capacitación en el uso de programas computadorizados de riego y drenaje.
- Valverde JC 2007. *Riego y Drenaje*. Segunda reimpresión. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia (UNED).
- Villamizar CA 1989. *Diseño de Presas de Tierra para Pequeños Almacena- mientos*. Ministerio de Agricultura, Instituto Colombiano de Hidrología: Meteorología y Adecuación de Tierras, Subdirección de Adecuación de Tierras en Bogotá.

8. ANEXOS

Anexo 1: Precipitación Media Anual para Varias Regiones (mm/año)

Mes	Los chiles	San Carlos	Nicoya	Puntarenas	Alajuela	Cartago	Orotina
Enero	90,7	395,0	1	5,4	7,5	80,6	3,8
Febrero	39,3	135,1	8,1	2,3	14,9	44	18,8
Marzo	29,2	63,0	7,8	2,9	18,3	29,4	23,0
Abril	37,3	132,7	34,3	29,9	72,7	43,2	87,6
Mayo	170,8	354,4	249,1	233,6	300,6	28,1	301,1
Junio	230,7	379,3	259,1	177,2	211,6	178,4	231,0
Julio	268,6	420,2	168,3	106,1	148,9	140,4	210,5
Agosto	221,7	364,2	234,4	167,0	236,2	158,7	220,7
Septiembre	193,9	383,9	366,7	238,1	328,4	220,8	308,8
Octubre	209,7	336,4	403,9	318,4	323,2	233,2	355,4
Noviembre	167,8	511,4	115,6	73,7	164,8	157,6	134,0
Diciembre	136,1	432,6	7,9	18,6	39,3	91,7	22,8
Total	1795,8	3908,2	1856,2	1373,2	1866,4	1401	1917,5
Información Sobre las Estaciones							
Ubicación	Los Chiles	Ciudad Quesada	La Ceiba	Puntarenas	Aeropuerto	ITCR	ECAG
Número	633	661	157	27	169	123	14
Record Años	14	8	9	8	10	11	13

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional. IMN. 2010.

Anexo 1: Método Racional para cálculo de escorrentía

Se define como área de drenaje, el área en la cual toda el agua de lluvia tiene un punto común de salida, esta agua es la que abastece el estanque, por lo tanto, el área de drenaje debe ser de tamaño suficiente para abastecer el volumen necesario durante el período de uso. Para calcular el área de captación requerida, debe determinarse el escurrimiento esperado durante la época lluviosa, por lo que se emplea la fórmula racional:

$$Q = C * i * A / 360.$$

$$q = 0.0028 * C * i * A.$$

Donde:

q= Escurrimiento de diseño, en m³/ s.

C = Coeficiente de escurrimiento.

i= Intensidad de la lluvia, en mm/h para el período de retorno de diseño y una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca.

A= Área de drenaje en hectáreas.

Los coeficientes de escurrimiento típicos se muestran en la tabla adjunta.

Cuadro 15: Coeficientes de escurrimiento típicos.

Cobertura de la cuenca	Pendiente del terreno (%)	Textura limoarenosa y areno limosa	Textura limosa y limo arcillosa	Textura arcillosa
Bosques, malezas.	0-5	0,10	0,30	0,40
	5-10	0,25	0,35	0,50
	10-30	0,30	0,50	0,60
Potreros, pastizales.	0-5	0,10	0,30	0,40
	5-10	0,16	0,36	0,55
	10-30	0,22	0,42	0,60
Terrenos cultivados	0-5	0,30	0,50	0,60
	5-10	0,40	0,60	0,70
	10-30	0,52	0,72	0,80
Terrenos sin vegetación	5-10	0,50	0,70	0,80
	10-30	0,60	0,80	0,90

Fuente: Pizarro, F. (1978).

Cálculo de la Intensidad Máxima (i)

El valor de la intensidad máxima que se utiliza en la fórmula del método racional, es aquella que se produce para un período de retorno determinado (5 a 10 años) y para una duración igual al tiempo de concentración **T_c**.

La fórmula más utilizada para calcular el tiempo de concentración es la Kirpich que se describe de la siguiente manera:

$$T_c = 0,0195(L^{1,155}/H^{0,385})$$

Donde T_c es el tiempo de concentración en minutos (min).

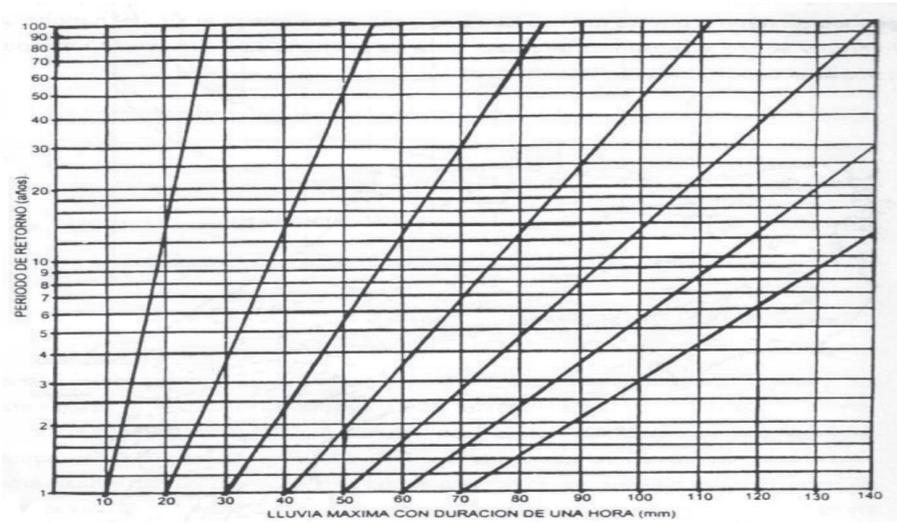
L = Es la máxima longitud del recorrido del agua. (m).

H = Es el desnivel entre el punto más alejado y la salida del agua (m).

La metodología que se utiliza en Costa Rica cuando no hay registro de datos, es la elaborada por el Ing. Elliots Coen Paris, citada por Gamboa (1969).

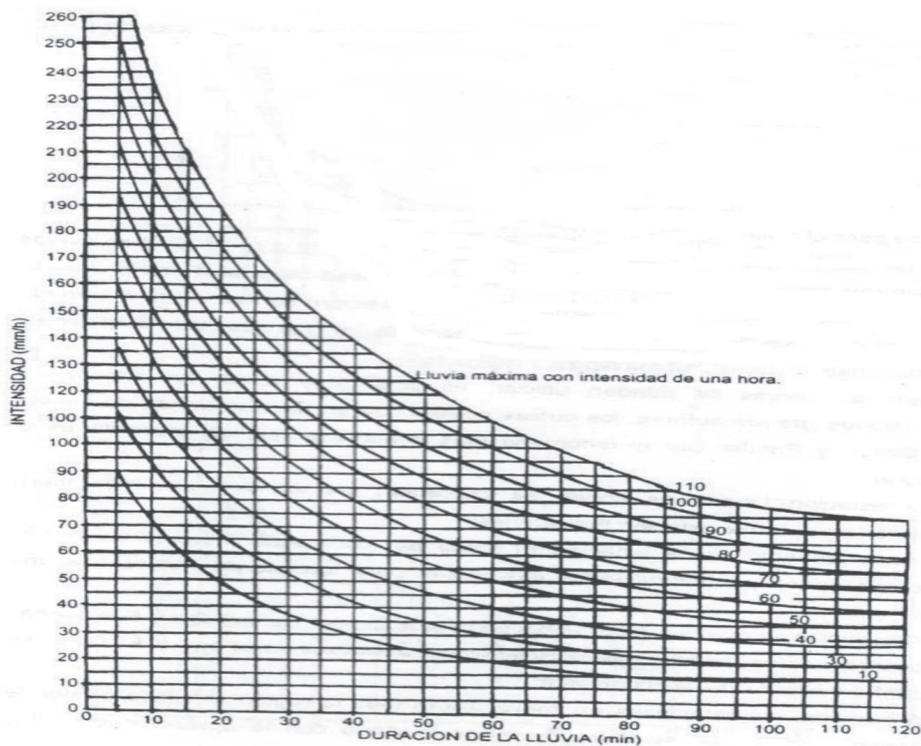
Los valores de precipitación con períodos de retorno superiores a un año, se pueden encontrar utilizando la figura siguiente (4), para lo cual se entra con el periodo de retorno que se diseño, y se intercepta la lluvia máxima con duración de una hora, luego trazando la recta paralela al eje de periodo de retorno, se lee la precipitación para una duración también de una hora, pero ya para el período de retorno elegido, para obtener la intensidad máxima para ese periodo de retorno se utiliza la figura (5). Donde se entra con el tiempo de concentración que se requiere, y se intercepta la precipitación máxima determinada anteriormente para el periodo de retorno que se quería, luego se traza una paralela al eje del periodo de retorno y se lee la máxima intensidad. Esta es la intensidad que se utilizará para calcular el caudal en la formula racional.

Figura 29: Lluvia máxima para duraciones de 1 hora y diferentes periodos de retorno.



Fuente: Villalobos (2002).

Figura 30: Curva estándar de intensidad duración.



Fuente: Villalobos (2002).

Anexo 3: Método Racional

Cálculo de tubería de rebalse (vertedero).

Toda estructura de almacenamiento de aguas escurridas debe tener un dren de vertedero de exceso de aguas, si este vertedero se diseña con tubería PVC se utiliza la fórmula del Hanzen - Willians para calcular:

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) A.R^{\frac{2}{3}} .S^{\frac{1}{2}}$$

n = Coeficiente de rugosidad PVC= 0,013

A = Área hidráulica

R = Radio Hidráulico

S = Pendiente de desagüe (por 1000.)

Posteriormente, se despeja la ecuación de la siguiente manera:

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

Como ocupamos que el caudal de desagüe sea menor a la capacidad del tubo, le damos una relación $y/d = 0.90$ y nos vamos a la figura 9 y 10, y se obtiene que

$$A/d^2 = 0,7445 \quad A = 0,7445d^2.$$

$$R/d = R = 0,2980d.$$

Se tiene ya valores de Q, n y S.

Sustituyendo en la ecuación 2:

$$(0,7445d^2) (0,2980d)^{\frac{2}{3}} = \frac{Q.n}{S^{\frac{1}{2}}}$$

Como el caudal es de 1,32 m³/s y vamos a utilizar tubería de 250 milímetros (10”), partimos el Q en 5 para ver si con 5 tubos de 250 milímetros (10”)evacuamos ese exceso de agua. Como la tubería es de desagüe, la pendiente será de 25%.

$$Q = 1,32 / 5 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$Q = 0,26 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d^{8/3} = \frac{Q.n}{0,7445 \cdot \left(0,2980^{\frac{2}{3}}\right) \cdot S^{\frac{1}{2}}} \quad d^{8/3} = \frac{0,26(0,012)}{0,7445 \cdot \left(0,2980^{\frac{2}{3}}\right) \cdot 0,25^{\frac{1}{2}}}$$

$$d^{8/3} = 0,00312 / 0,1660 \quad d^{8/3} = 0,0187 \quad d = 0,0187^{3/8}$$

$$d = 0,2253 \text{ m}$$

La tubería de 250 mm (10”) tiene capacidad para este diámetro.

*Cuadro 16: área, perímetro mojado y radio hidráulico en conductos
 circulares parcialmente llenos.*

	Y	A	P	R	y	Tirante	D	Diámetro
	---	----	---	---	Y ---	----	---	---
	D	D ²	D	D	- D	D ²	D	D
0,01	0,0013	0,0013	0,2003	0,0066	0,26	0,1623	1,0701	0,1516
0,02	0,0037	0,0037	0,2838	0,0132	0,27	0,1711	1,0928	0,1566
0,03	0,0069	0,0069	0,3482	0,0197	0,28	0,1800	1,1152	0,1614
0,04	0,0105	0,0105	0,4027	0,0262	0,29	0,1890	1,1373	0,1662
0,05	0,0147	0,0147	0,4510	0,0326	0,30	0,1982	1,1593	0,1709
0,06	0,0192	0,0192	0,4949	0,0389	0,31	0,2074	1,1810	0,1755
0,07	0,0242	0,0242	0,5355	0,0451	0,32	0,2167	1,2025	0,1801
0,08	0,0294	0,0294	0,5735	0,0513	0,33	0,2260	1,2239	0,1848
0,09	0,0350	0,0350	0,6094	0,0574	0,34	0,2355	1,2451	0,1891
0,10	0,0409	0,0409	0,6435	0,0635	0,35	0,2450	1,2661	0,1935
0,11	0,470	0,470	0,6761	0,0695	0,36	0,2546	1,2870	1,1978
0,12	0,0534	0,0534	0,7075	0,0754	0,37	0,2642	1,3078	0,2020
0,13	0,0600	0,0600	0,7377	0,0813	0,38	0,2739	1,3284	0,2061
0,14	0,0668	0,0668	0,7670	0,0871	0,39	0,2836	1,490	0,3102
0,15	0,0739	0,0739	0,7954	0,0929	0,40	0,2934	1,3694	0,2142
0,16	0,0811	0,0811	0,8230	0,0986	0,41	0,3032	1,3898	0,2181
0,17	0,0885	0,0885	0,8500	0,1042	0,42	0,3130	1,4101	0,2220
0,18	0,0961	0,0961	0,8763	0,1097	0,43	0,3229	1,4303	0,2257
0,19	0,1039	0,1039	0,9020	0,1152	0,44	0,3328	1,4505	0,2294
0,20	0,1118	0,1118	0,9273	0,1206	0,45	0,3428	1,4706	0,2331
0,21	0,1199	0,1199	0,9521	0,1259	0,46	0,3527	1,4907	0,2366
0,22	0,1281	0,1281	0,9764	0,1312	0,47	0,3627	1,5108	0,2400
0,23	0,1365	0,1365	1,0003	0,1364	0,48	0,3727	1,5308	0,2434
0,24	0,1449	0,1449	1,0239	0,1416	0,49	0,3827	1,5508	0,2467
0,25	0,1535	0,1535	1,0472	0,1466	0,50	0,3927	1,5708	0,2500

Fuente: Villon (1995).

**“MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
BÁSICAS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTRUCTURAS
DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (SCALL) EN
EL SECTOR AGROPECUARIO DE COSTA RICA Y
RECOMENDACIONES PARA SU UTILIZACIÓN”**

Cuadro 17: continuación tabla anterior: área, perímetro mojado y radio hidráulico en conductos circulares parcialmente llenos.

Y	A	P	R	Y	A	P	R
---	---	---	---	---	---	---	---
D	D ²	D	D	D	D ²	D	D
0,51	0,4027	1,5908	0,2531	0,76	0,6404	2,1176	0,3025
0,52	0,4126	1,6108	0,2561	0,77	0,6489	2,1412	0,3032
0,53	0,4227	1,6308	0,2591	0,78	0,6573	2,1652	0,3037
0,54	0,4327	1,6509	0,2620	0,79	0,6655	2,1895	0,3040
0,55	0,4426	1,6710	0,2649	0,80	0,6736	2,2143	0,3042
0,56	0,4526	1,6911	0,2676	0,81	0,6815	2,2395	0,3044
0,57	0,4625	1,7113	0,2703	0,82	0,6893	2,2653	0,3043
0,58	0,4723	1,7315	0,2728	0,83	0,6969	2,2916	0,3041
0,59	0,4822	1,7518	0,2753	0,84	0,7043	2,3186	0,3038
0,60	0,4920	1,7722	0,2776	0,85	0,7115	2,3462	0,3033
0,61	0,5018	1,7926	0,2797	0,86	0,7186	2,3746	0,3026
0,62	0,5115	1,8132	0,2818	0,87	0,7254	2,4038	0,3017
0,63	0,5212	1,8338	0,2839	0,88	0,7320	2,4341	0,3008
0,64	0,5308	1,8546	0,2860	0,89	0,7384	2,4655	0,2996
0,65	0,5404	1,8755	0,2881	0,90	0,7445	2,4981	0,2980
0,66	0,5499	1,8965	0,2899	0,91	0,7504	2,5322	0,2963
0,67	0,5594	1,9177	0,2917	0,92	0,7560	2,5681	0,2944
0,68	0,5687	1,9391	0,2935	0,93	0,7642	2,6021	0,2922
0,69	0,5780	1,9606	0,2950	0,94	0,7662	2,6467	0,2896
0,70	0,5872	1,9823	0,2962	0,95	0,7707	2,6906	0,2864
0,71	0,5964	2,0042	0,2973	0,96	0,7749	2,7389	0,2830
0,72	0,6054	2,0264	0,2984	0,97	0,7785	2,7934	0,2787
0,73	0,6143	2,0488	0,2995	0,98	0,7816	2,8578	0,2735
0,74	0,6231	2,0714	0,3006	0,99	0,7841	2,9412	0,2665
0,75	0,6318	2,0944	0,3017	1,00	0,7854	2,1416	0,2500

Fuente: Villón (1995).

Anexo 3: Volumen de agua capturado en litros con relación al área de captación y a la precipitación pluvial.

Área de captación (m ²)	Participación pluvial Promedio (mm)					
	1	10	100	1.000	2000	3000
1	1	10	100	1000	2000	3000
10	10	100	1000	10.000	20.000	30000
50	50	500	5000	50.000	100.000	150000
100	100	1000	10.000	100.000	200.000	300.000
150	150	1500	15.000	150.000	300.000	450.000
200	200	2000	20.000	200.000	400.000	600.000
250	250	2500	25.000	250.000	500.000	750.000
300	300	3000	30.000	300.000	600.000	900.000
350	350	3500	35.000	350.000	700.000	1.050.000
400	400	4000	40.000	400.000	800.000	1.200.000
450	450	4500	45.000	450.000	900.000	1.350.000
500	500	5000	50.000	500.000	1.000.000	1.500.000
550	550	5500	55.000	550.000	1.100.000	1.650.000
600	600	6000	60.000	600.000	1.200.000	1.800.000
650	650	6500	65.000	650.000	1.300.000	1.950.000
700	700	7000	70.000	700.000	1.400.000	2.100.000
750	750	7500	75.000	750.000	1.500.000	2.250.000
800	800	8000	80.000	800.000	1.600.000	2.400.000
850	850	8500	85.000	850.000	1.700.000	2.550.000
900	900	9000	90.000	900.000	1.800.000	2.700.000
950	950	9500	95.000	950.000	1.900.000	2.850.000
1000	1.000	10.000	100.000	1.000.000	2.000.000	3.000.000
1500	1.500	15.000	150.000	1.500.000	3.000.000	4.500.000
2000	2.000	20.000	200.000	2.000.000	4.000.000	6.000.000
2500	2.500	25.000	250.000	2.500.000	5.000.000	7.500.000
3000	3.000	30.000	300.000	3.000.000	6.000.000	9.000.000
3500	3.500	35.000	350.000	3.500.000	7.000.000	10.500.000
4000	4.000	40.000	400.000	4.000.000	8.000.000	12.000.000
4500	4.500	45.000	450.000	4.500.000	9.000.000	13.500.000

Fuente: Anaya y Martínez (2007)

Anexo 4: El sedimentador.

El sedimentador sirve para la separación parcial de partículas sólidas suspendidas en un líquido por acción de la gravedad.

Suele haber diferencias entre la sedimentación de partículas finas y gruesas, ya que, en el primer caso, se producen interacciones importantes entre las partículas, que dan lugar a estados coloidales de difícil sedimentación.

A la hora de elegir un sedimentador hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Caudal por tratar.
- Carga de sólidos y concentración.
- Superficie y altura.
- Carga superficial, que relaciona el flujo horizontal con la superficie y se expresa en $\text{m}^3/\text{día}/\text{m}^2$.

Carga de vertedero

La profundidad del tanque de sedimentación es de gran importancia, puesto que cuanto menor sea la altura, menos tiempo tardarán las partículas en llegar al fondo, con lo que aumenta la eficacia del sedimentador; sin embargo, cuanto más profundo sea el tanque, más difícil será que los sólidos precipitados vuelvan a subir a la superficie por efecto de las turbulencias y/o movimientos convectivos originados por gradientes térmicos o por efecto del viento.

Por ello, algunos autores aconsejan, siempre que la altura del sedimentador sea superior a 1,5-1,8 m.

El tiempo de residencia del líquido debe ser lo más elevado posible para aumentar el rendimiento del proceso, lo que se traduce en una mayor área del sedimentador, ya que cuanto más superficie tenga el sedimentador, más tiempo permanecerán las partículas en él, favoreciendo el proceso de sedimentación.

Diseño del sedimentador

Componentes:

a) Zona de entrada

Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.

b) Zona de sedimentación

Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, flujo pistón.

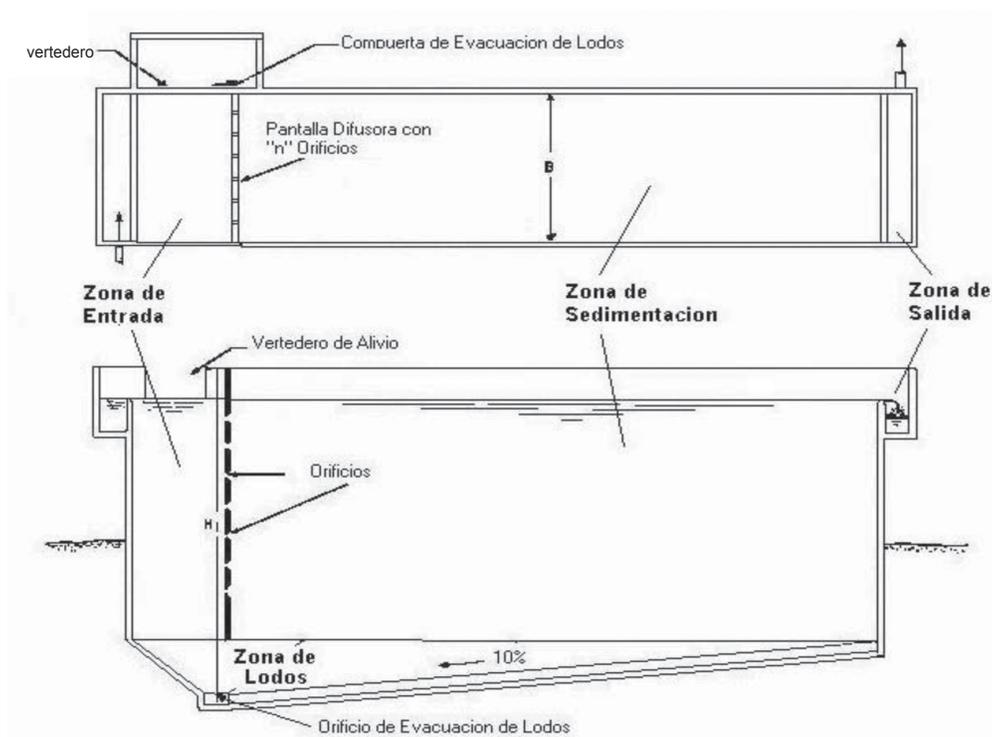
c) Zona de salida

Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.

d) Zona de recolección de lodos

Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica.

Figura 31: Sedimentador (Vista superior y Corte Longitudinal).



Fuente: Fair (1968).

Criterios de diseño

A la hora de diseñar el sedimentador es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

- El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
- El número de unidades mínimas en paralelo es de dos (2) para efectos de mantenimiento.
- El periodo de operación es de 24 horas por día.
- El tiempo de retención será entre 2 - 6 horas.
- La carga superficial será entre los valores de 2 - 10 m³/m²/día.
- La profundidad del sedimentador será entre 1,5 – 2,5 m.
- La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3 - 6.
- La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5 - 20.
- El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.
- La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
- Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.
- La descarga de lodos se debe ubicar en el primer tercio de la unidad, pues el 80% del volumen de los lodos se deposita en esa zona.
- Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que se va a producir.
- El caudal por metro lineal de recolección en la zona de salida debe ser igual o inferior a 3 l/s.
- Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{L}{H} = \frac{Vh}{Vs}$$

Donde:

L = largo

H= altura

Vh= velocidad horizontal

Vs= velocidad de sedimentación

- La sección de la compuerta de la evacuación de lodos (A2) debe mantener la relación. Donde t es el tiempo de vaciado.

$$A2 = \frac{As * \sqrt{H}}{4850 * t}$$

Donde:

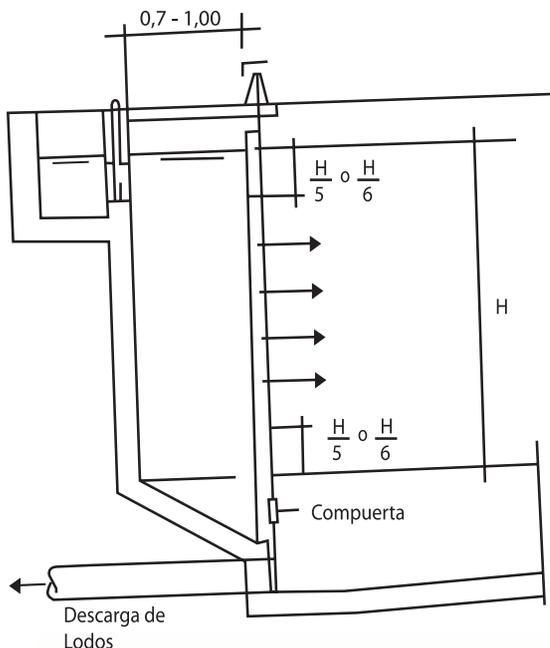
As = Área superficial

t = tiempo de vaciado

- La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0,7 a 1,00 m de distancia de la pared de entrada.

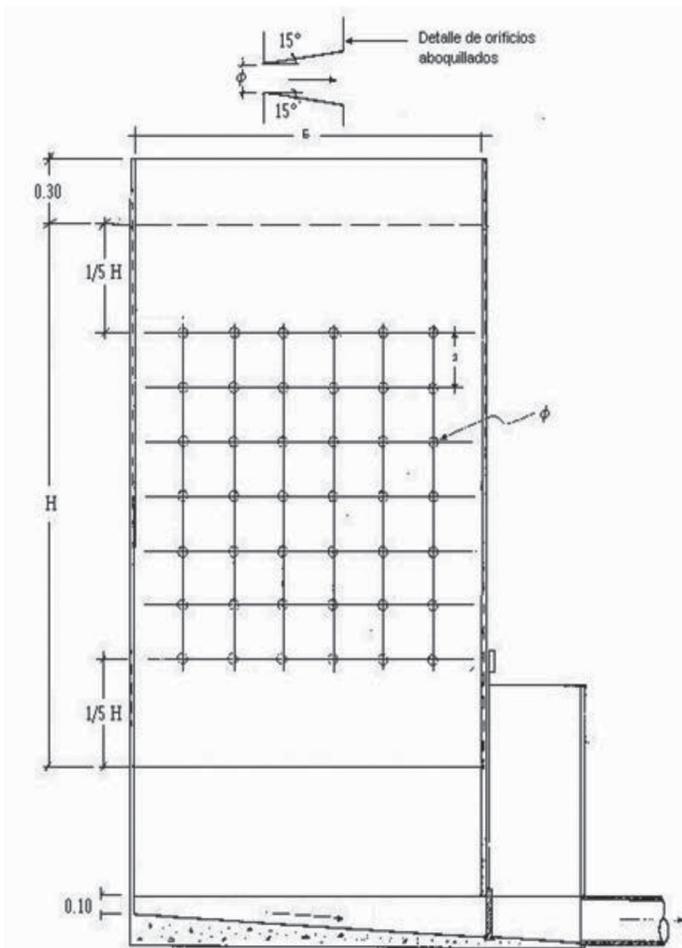
Figura 32: Pantalla Difusora.

Fuente: Fair et al (1968).



- Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a $1/5$ o $1/6$ de la altura (H), a partir de la superficie del agua y los más bajos entre $1/4$ ó $1/5$ de la altura (H), a partir de la superficie del fondo.

Figura 33: Orificios de la pared difusora.



Fuente: Fair (1968).

Dimensionamiento

Es necesario hacer lo siguiente:

- Determinar el área superficial de la unidad (A_s), que es el área superficial de la zona de sedimentación, de acuerdo con la relación:

$$A_s = \frac{Q}{V_s}$$

Siendo: V_s = Velocidad de sedimentación (m/seg).

Q = Caudal de diseño (m^3 /seg).

- Determinar las dimensiones de largo L (m), ancho B (m) y altura h (m), de manera tal que se cumplan las relaciones o criterios anteriores, considerando el espaciamiento entre la entrada y la cortina o pared de distribución de flujo.
- Determinar la velocidad horizontal V_H (m/seg) de la unidad mediante la relación:

$$V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$$

- Determinar el tiempo de retención T_o (horas), mediante la relación:

$$T_o = \frac{A_s * H}{3600 * Q}$$

- Determinar el número de orificios, cumpliendo con los criterios de diseño.

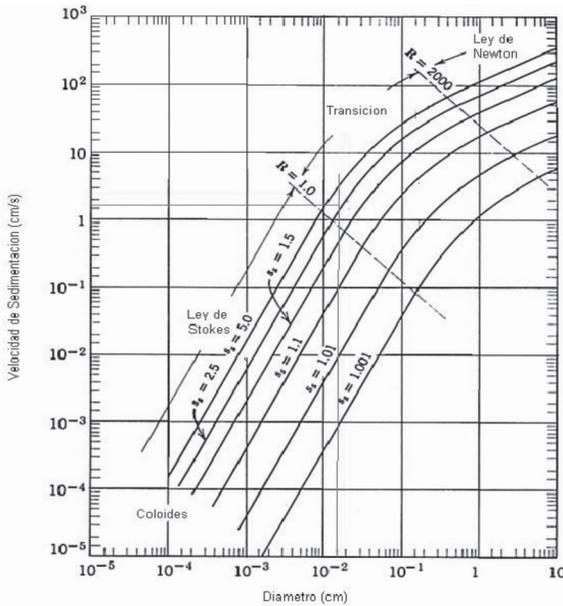
$$A_o = \frac{Q}{V_o}$$

Siendo: V_o = Velocidad en los orificios (m/seg).
 Q = Caudal de diseño (m³/seg).
 A_o = Área total de orificios (m²).

Siendo: a_o : Área de cada orificio (m²)
 n : número de orificios

$$n = \frac{A_o}{a_o}$$

Figura 34: Relación del diámetro de partícula con velocidad de sedimentación.



Fuente: G. Fair et all (1968).

“MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
BÁSICAS PARA LA ELABORACION DE ESTRUCTURAS
DE CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA (SCALL) EN
EL SECTOR AGROPECUARIO DE COSTA RICA Y
RECOMENDACIONES PARA SU UTILIZACION”

Anexo 5. Pérdidas por fricción en tuberías.

Pérdidas por fricción en tubería
Tubería PVC (160 psi)
ASTM 2241
C= 140
SDR 26

mca por cada 100 metros de tubería

Tamaño nominal Prom. DI Caudal en l/s	1/2"		3/4"		1"		1-1/4"		1-1/2"		2"		2-1/2"		3"		4"		6"	
	Velocidad m/s	Fricción mca																		
0.13	0.64	4.02	0.37	1.03																
0.19	0.97	8.52	0.55	2.18																
0.25	1.29	14.52	0.74	3.72																
0.31	1.61	21.52	0.93	5.26	0.43	0.91														
0.38	1.93	30.71	1.10	7.88	0.52	1.27														
0.44	2.25	40.94	1.29	10.48	0.61	1.69														
0.50	2.57	52.43	1.47	13.82	0.70	2.16	0.48	0.81												
0.57	2.90	65.21	1.66	16.69	0.78	2.69	0.53	0.98												
0.63			1.84	20.29	0.87	3.27	0.53	0.98												
0.76			2.21	28.44	1.04	4.58	0.64	1.38												
0.88			2.57	37.84	1.22	6.10	0.74	1.84	0.57	0.94										
1.01			2.94	48.45	1.39	7.81	0.85	2.35	0.65	1.21										
1.26					1.74	11.81	1.06	3.55	0.81	1.83										
1.38					1.76	12.77	1.08	3.75	0.81	1.83	0.65	0.83								
1.51					2.14	17.26	1.28	5.06	1.01	2.26	0.79	1.21								
2.21					3.04	33.28	1.86	10.02	1.41	3.15	0.91	1.74								
2.52							2.12	12.83	1.62	6.59	1.04	2.23								
2.84							2.39	15.95	1.82	8.19	1.17	2.78	0.80	1.10						
3.15							2.65	19.39	2.02	9.96	1.29	3.37	0.88	1.33						
3.79									2.42	13.96	1.55	4.73	1.06	1.87						
4.42							4.42	18.57	2.83	18.57	1.81	6.29	1.24	2.49	0.84	0.96				
5.05											2.67	8.06	1.41	3.18	0.96	1.22				
5.68											2.33	10.02	1.59	3.96	1.08	1.52				
6.31											1.77	4.81	1.19	1.85						
6.94											2.48	8.97	1.67	3.65						
7.57											2.83	11.49	1.91	4.42	1.15	1.30				
8.20													2.39	6.68						
10.09															1.01	1.01				
12.62															1.44	1.96				
16.40															1.88	3.18				
18.83															2.17	4.15				
25.24																	1.00	0.63		
31.55																	1.33	1.08		
37.85																	1.67	1.63		
44.16																	2.00	2.28		
50.47																	2.33	3.03		
																	2.66	3.88		

nota: SDR 40/ASTM 2785

Anexo 6. Tablas para la selección del tamaño del cable eléctrico para motores de 2 o 3 cables.

1 pie: 0,3048 metros.

2 or 3-Wire Cable, 60 Hz (Service Entrance to Motor - Maximum Length In Feet)

Table 11

60 °C

MOTOR RATING			60 °C INSULATION - AWG COPPER WIRE SIZE												
VOLTS	HP	KW	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000
115	1/2	.37	100	160	250	390	620	960	1190	1460	1780	2160	2630	3140	3770
	3/4	.55	300	480	760	1200	1870	2890	3580	4370	5330	6470	7870		
230	1	.75	250	400	630	990	1540	2380	2960	3610	4410	5360	6520		
	1.5	1.1	190	310	480	770	1200	1870	2320	2850	3500	4280	5240		
	2	1.5	150	250	390	620	970	1530	1910	2360	2930	3620	4480		
	3	2.2	120	190	300	470	750	1190	1490	1850	2320	2890	3610		
	5	3.7	0	0	180	280	450	710	890	1110	1390	1740	2170	2680	
	7.5	6.5	0	0	0	200	310	490	610	750	930	1140	1410	1720	
	10	7.5	0	0	0	0	250	390	490	600	750	930	1160	1430	1760
	15	11	0	0	0	0	170	270	340	430	530	660	820	1020	1260

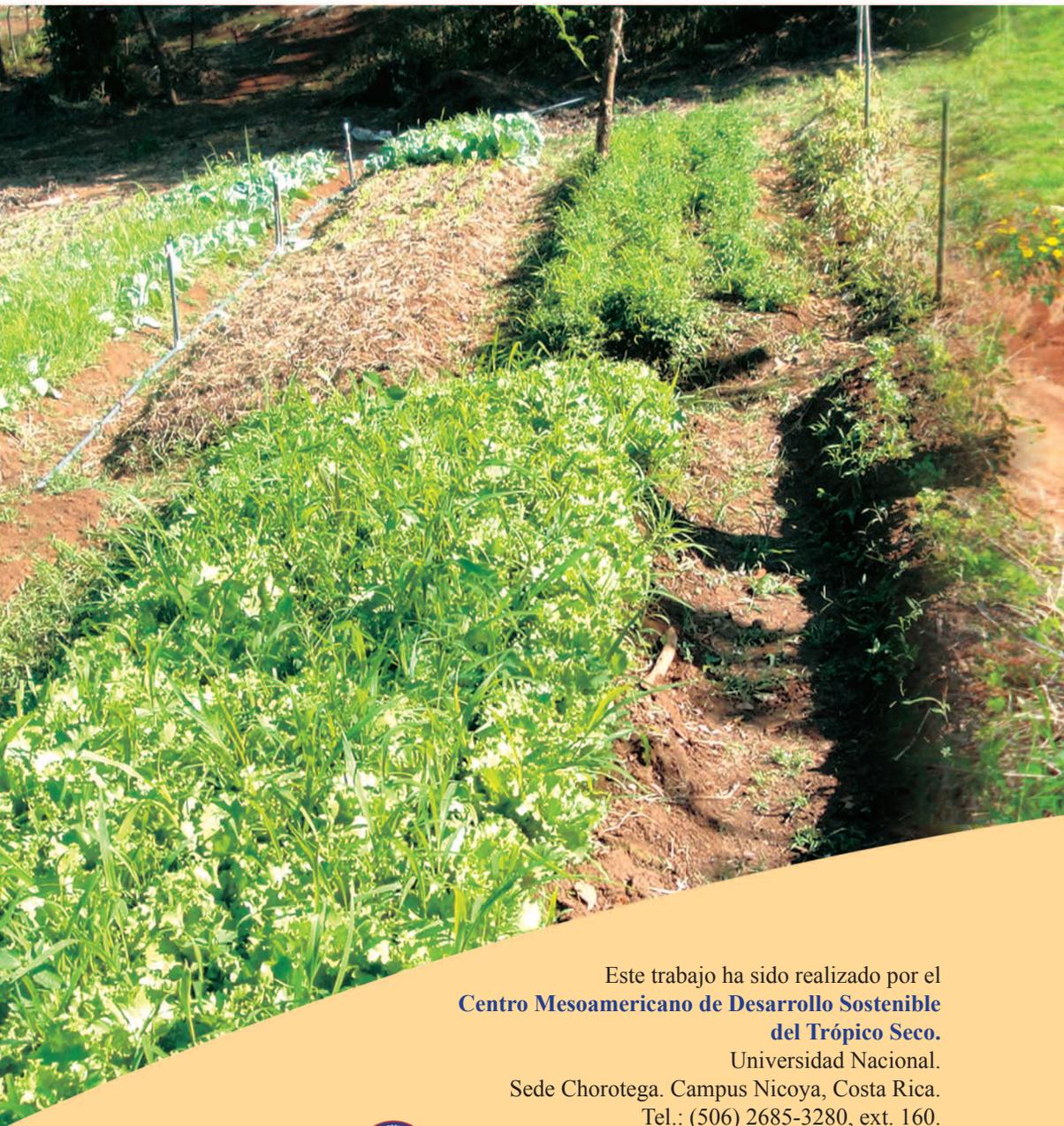
Table 11A

75 °C

MOTOR RATING			75 °C INSULATION - AWG COPPER WIRE SIZE												
VOLTS	HP	KW	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000
115	1/2	.37	100	160	250	390	620	960	1190	1460	1780	2160	2630	3140	3770
	3/4	.55	300	480	760	1200	1870	2890	3580	4370	5330	6470	7870	9380	
230	1	.75	250	400	630	990	1540	2380	2960	3610	4410	5360	6520	7780	9350
	1.5	1.1	190	310	480	770	1200	1870	2320	2850	3500	4280	5240	6300	7620
	2	1.5	150	250	390	620	970	1530	1910	2360	2930	3620	4480	5470	6700
	3	2.2	120	190	300	470	750	1190	1490	1850	2320	2890	3610	4470	5550
	5	3.7	0	110	180	280	450	710	890	1110	1390	1740	2170	2680	3330
	7.5	6.5	0	0	120	200	310	490	610	750	930	1140	1410	1720	2100
	10	7.5	0	0	0	160	250	390	490	600	750	930	1160	1430	1760
	15	11	0	0	0	0	170	270	340	430	530	660	820	1020	1260



PFPAS
Convenio 1436/0C-CR-BID



Este trabajo ha sido realizado por el
**Centro Mesoamericano de Desarrollo Sostenible
del Trópico Seco.**

Universidad Nacional.

Sede Chorotega. Campus Nicoya, Costa Rica.

Tel.: (506) 2685-3280, ext. 160.

Fax: (506) 2686-3300.

Correo electrónico: cemede@una.ac.cr.

Sitio Web: www.cemede.una.ac.cr.

