



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA
EN TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

GUÍA TÉCNICA

**GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO EN UN
SISTEMA PRODUCTIVO, SISTEMAS DE RECOLECCIÓN
DE AGUA Y USO EFICIENTE DEL RIEGO**



Ing. Juan Carlos Valverde Conejo, MSc.
San José, Costa Rica, 2021



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA
EN TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

GUÍA TÉCNICA

GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO EN UN SISTEMA PRODUCTIVO, SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE AGUA Y USO EFICIENTE DEL RIEGO

Ing. Juan Carlos Valverde Conejo, MSc.
San José, Costa Rica, 2021

631.7

C837g

Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y
Transferencia en Tecnología Agropecuaria
Guía técnica: gestión integral del recurso hídrico en un
sistema productivo, sistemas de recolección de agua y uso
eficiente del riego / Juan Carlos Valverde Conejo. –
San José, C.R. : INTA, 2022.
68 páginas

ISBN 978-9968-586-58-0

1. RECURSOS HIDRIGOS. 2. CONSERVACION DE
AGUAS. 3. RIEGO. I. Valverde Conejo, Juan Carlos.
II. Título.

Autor

Ing. Juan Carlos Valverde Conejo, MSc.

Consejo Editorial del INTA

Ing. Kattia Lines Gutiérrez.

Ing. Laura Ramírez Cartín.

Ing. Nevio Bonilla Morales.

Ing. Francisco Arguedas Acuña.

Ing. Roberto Camacho Montero.

Ing. Kenneth Retana Sánchez

Editora

Ing. Kattia Lines Gutiérrez, MGA. klines@inta.go.cr
Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en
Tecnología Agropecuaria (INTA)

Diseño y diagramación

Handerson Bolívar Restrepo www.altdigital.co

Impresión

Impresiones El Unicornio
San José, Costa Rica. 2021.

Contenido

Prefacio	7
1. Aspectos generales	8
1.1. Importancia del uso eficiente y responsable del recurso agua en los sistemas productivos	8
1.2. El ciclo hidrológico	10
1.3. El agua y el cambio climático	11
1.4. Consecuencias del cambio climático	13
1.5. Gestión racional del recurso hídrico	15
1.6. Métodos de riego	17
2. Cosecha de agua	21
2.1. Concepto	21
2.2. Beneficios para el ambiente y el sistema productivo	22
2.3. Tipo de productor beneficiario	23
2.4. Sistemas de captación	23
2.5. Aspectos legales	27
2.6. Aspectos a considerar para el establecimiento de un reservorio	28
3. Manejo del recurso hídrico	41
3.1. Concepto	41
3.2. Riego por goteo	41
3.3. Componentes de un sistema de riego por goteo	42
3.4. Pasos a seguir para instalar un sistema de goteo en una pequeña parcela	43
3.5. Evaluación del sistema de riego	45
3.6. Calidad del agua	48
3.7. Fertirrigación	52
Literatura consultada	57
Anexos	59



Prefacio

La presente guía técnica se produjo como resultado de la consultoría financiada por FUNDECOOPERACION, a través del INTA, para la ejecución del proyecto “*Creación de capacidades para la adaptación al cambio climático en sistemas agropecuarios en Costa Rica*”.

El proyecto del reservorio se desarrolló en la Granja porcina ROMAO, ubicada en el Distrito Balsa del Cantón de Atenas, como complemento a las necesidades hídricas de la actividad, que actualmente son abastecidas por dos reservorios. Sin embargo, el modelo es ideal para pequeñas actividades agrícolas con sistemas de riego por goteo, tal como se indica en el capítulo III de riego.

En el capítulo I se hace una descripción del ciclo hidrológico y su relación interdependiente con el cambio climático por la participación evidente de las actividades antropogénicas, que pueden ser orientadas hacia un uso racional de los recursos agua y suelo, tratando de minimizar el aporte de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

El capítulo II está orientado hacia las diferentes formas de aprovechar el agua de lluvia, con los aspectos legales a considerar cuando se trata de reservorios y una descripción de los pasos a seguir para su construcción.

El capítulo III se refiere al aprovechamiento del agua aplicando la tecnología del sistema de riego por goteo, con una descripción de sus características, sus componentes y los pasos a seguir para una pequeña instalación de riego.

1. Aspectos generales

1.1. Importancia del uso eficiente y responsable del recurso agua en los sistemas productivos

El uso eficiente del agua se refiere a cualquier acción del hombre orientada hacia el uso mínimo del agua para cualquier actividad productiva que permita generar beneficios socioeconómicos, sin afectar su conservación ni la del medio ambiente.

Se sabe que el 97% del agua en la tierra se encuentra en los océanos y mares de agua salada y el restante 3% es agua dulce, de la cual un 78% se encuentra en estado sólido en los polos, glaciares y en las cumbres de las montañas más altas, el 21% se almacena en el suelo y en los acuíferos profundos y tan solo un 1% se concentra en los ríos y quebradas y acuíferos superficiales, que en un gran porcentaje se utiliza para grandes proyectos agrícolas, en la industria y proyectos hidroeléctricos, quedando un porcentaje menor de 0,1% para consumo humano.

Como se puede deducir, el uso racional del agua debe formar parte de una cultura de consumo, en donde es fundamental conocer el ciclo hidrológico y las consecuencias de su desbalance cuando es acelerado por la participación irresponsable del hombre; de manera que cada decisión de uso y consumo de agua debe ser objeto de un análisis de sus consecuencias a nivel local y global.

En cualquier actividad productiva, el uso del agua se conforma por tres parámetros fundamentales:

1. La cantidad disponible en obra de toma
2. La cantidad de agua utilizada
3. La cantidad de agua sobrante

La cantidad disponible en obra de toma: es aquella agua que se dispone para la actividad, la cual puede provenir de una fuente superficial (río, quebrada, reservorio), un pozo, o de una represa. Para cada caso en particular, se debe establecer la infraestructura necesaria y adecuada para transportar el agua hacia el sitio de uso, a manera de una red de conducción, conformada por canales (revestidos o no), tuberías (PVC, poliducto, polietileno (PE)), cuyas dimensiones van a depender del caudal derivado de la fuente. En esta fase de conducción, el agua va a presentar pérdidas por evaporación, por infiltración y por percolación. Si se utilizan canales revestidos, solamente se presentan pérdidas por evaporación y si se utiliza tubería, las pérdidas van a ser mínimas o inexistentes. A este nivel, la participación del productor es escasa o nula, por cuanto las obras de infraestructura normalmente son construidas por el Gobierno o empresas privadas.

La cantidad de agua utilizada: es aquella cantidad de agua cuyo valor va a depender de las necesidades hídricas de la actividad y de las características climáticas de la zona, de manera que, dependiendo del plan de producción, así va a ser la cantidad de agua a utilizar. En esta fase, la participación del productor es fundamental, pues el manejo del agua depende directamente de él y de la tecnología que utilice.

La cantidad de agua sobrante: es toda aquella que va a quedar después de haber sido utilizada por la actividad productiva, que va a ser reinsertada en la red fluvial o subterránea, para volver a ser parte del ciclo hidrológico. Esta fase cierra el ciclo de uso del agua, cuyo objetivo principal es tratar de que la cantidad sobrante sea la menor posible, incluso, tratando de aplicar sistemas de reciclaje para darle un mayor aprovechamiento.

1.2. El ciclo hidrológico

Se puede considerar el ciclo hidrológico como una especie de áreas de almacenamiento unidas por una serie de procesos que provocan que el agua se mueva entre esas áreas.

Se puede apreciar que el agua disponible para las actividades productivas y de consumo, apenas representa un 0,1% del agua total existente en la Tierra, por lo que es evidente establecer las acciones necesarias para su uso racional.

Los procesos que se presentan en el flujo del agua entre las áreas de almacenamiento se describen a continuación:

- **Evaporación:** se presenta en las grandes superficies de agua, como el mar y lagos, pero también en las pequeñas, como ríos, quebradas, así como en todas aquellas coberturas vegetales, como bosques, sabanas, áreas de pastoreo y plantaciones.
- **Condensación:** el agua evaporada se acumula en las nubes hasta alcanzar niveles de saturación que provocan la lluvia.
- **Precipitación:** el agua se precipita en forma de lluvia, granizo, niebla y alcanza la superficie de la tierra.
- **Infiltración:** la lluvia cae y se dispersa en la tierra, presentándose la infiltración, que es la penetración vertical del agua en el suelo, comportamiento que va a depender de la textura, estructura y de la cobertura vegetal.
- **Percolación:** conforme el perfil del suelo se va saturando, el agua penetra a mayores profundidades, alcanzando redes de aguas subterráneas y acuíferos.
- **Escorrentía:** en la medida que el suelo se satura y alcanza la capacidad de almacenamiento, se conforma una capa superficial impermeable en el suelo y el agua ya no infiltra, sino que empieza a escurrir por la cuenca, a niveles que dependen de la cobertura vegetal.

En la figura 1 se ilustran los procesos que ocurren durante el ciclo hidrológico.

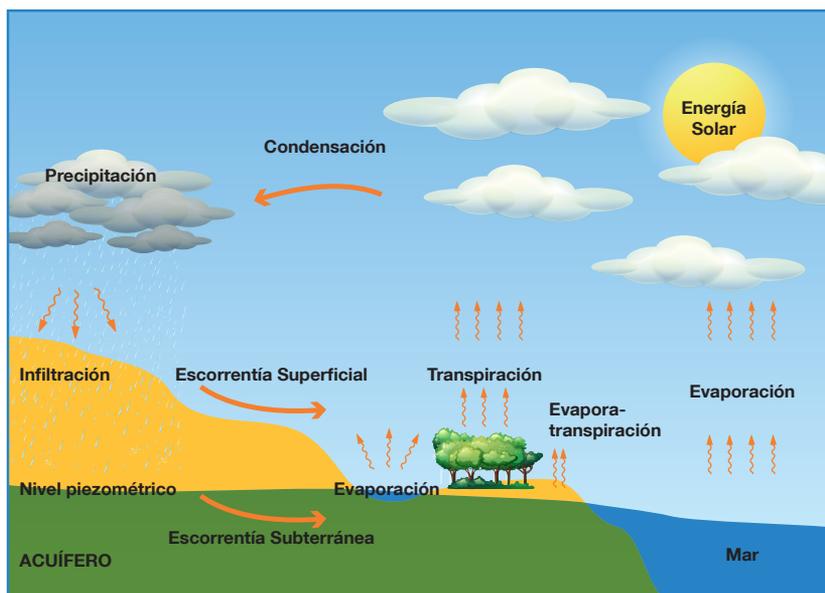


Figura 1. Procesos que ocurren durante el ciclo hidrológico. Modificado de Martínez-Alfaro y Cols. (2006).

1.3. El agua y el cambio climático

El cambio climático es la fluctuación de las variables climáticas de la Tierra, por la acción del hombre y la naturaleza, con la presencia de fenómenos extremos como inundaciones, sequías, olas de calor, frío, etc., con graves consecuencias para la población.

El cambio climático es el producto de una serie de elementos que se conjuntan para provocar un aumento de la temperatura de la Tierra, siendo el principal responsable el ser humano, debido a la generación de Gases Efecto Invernadero (GEI), siendo el CO_2 el responsable principal con un 63%, pero también se presentan otros gases como el metano y el óxido nítrico, los cuales se acumulan en la atmósfera en una proporción que ya supera el 40%. Dicha concentración de gases impide la salida de la radiación cuando llega a la Tierra, lo cual provoca el calentamiento de la superficie terrestre, conocido como efecto invernadero.

La acción irresponsable del hombre es la que provoca el aumento desmedido de gases a través de las diferentes formas de ejercer la agricultura, con el uso excesivo de fertilizantes, la ganadería intensiva con su producción de gas metano, la creciente deforestación que disminuye la absorción de CO_2 , la construcción de grandes represas que alteran el flujo del agua superficial y subterránea, además del avanzado proceso de urbanización, que produce una capa impermeable en el suelo impidiendo la infiltración del agua, las fábricas industriales y el uso de combustibles fósiles, que generan grandes cantidades de CO_2 , las limitadas acciones de reciclaje, que aumentan el volumen de basura que al descomponerse produce gran cantidad de gases, entre otras.

El aumento de la temperatura por el efecto invernadero tiene un efecto directo en el ciclo del agua, por el deshielo de los glaciares y el aumento del nivel del mar, así como en el desplazamiento de las lluvias, presentándose sequías e inundaciones en diferentes regiones.

En la figura 2 se indican las causas del efecto invernadero.

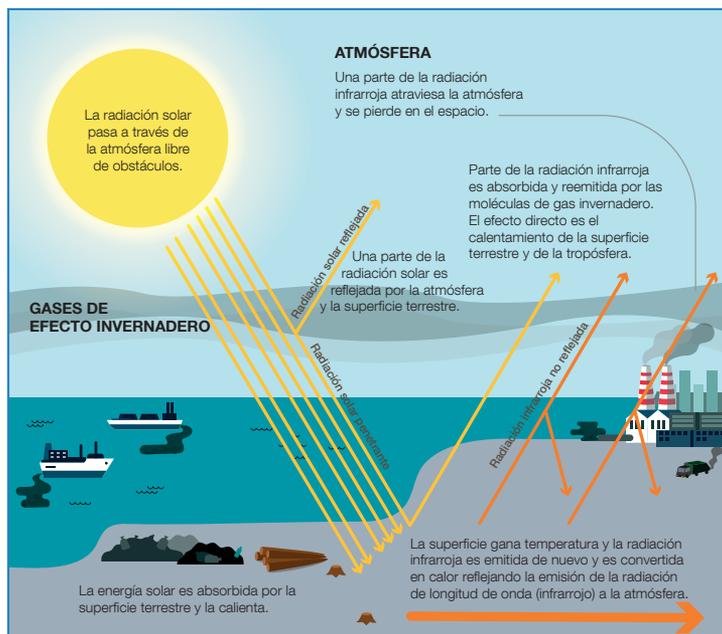


Figura 2. Causas del efecto invernadero.

Fuente: http://cambioclimatico.minam.gob.pe/wp/wp-content/uploads/Cap-1_grafico-efecto-invern.jpg

El CO₂ (dióxido de carbono) es producido principalmente por la actividad industrial y de transporte y se almacena en la atmósfera, la cual normalmente ha presentado valores cercanos a 300 ppm, pero que ahora alcanza límites máximos hasta de 400 ppm, lo cual se ve favorecido por la deforestación, pues no hay absorción de CO₂ suficiente para bajar esos niveles, aunado a que la superficie marina tampoco absorbe la suficiente cantidad, pues también ha disminuido la presencia de plantas marinas.

1.4. Consecuencias del cambio climático

El aumento de la temperatura en 1°C anual, provoca el deshielo de los glaciares, lo cual tiene un efecto directo en el aumento del nivel del mar, a niveles que se prevé que, en menos de 50 años, cubra gran parte de las ciudades costeras del mundo.

Aunado a ello, el comportamiento del clima sufre alteraciones en su comportamiento, presentándose en algunas zonas períodos de alta incidencia de lluvias, tanto en cantidad como en intensidad y escasez en otras, pues las áreas de almacenamiento se van a ver desplazadas.

Algunos de los fenómenos naturales derivados del cambio climático que se presentan en las diferentes regiones del mundo se enumeran a continuación y se ilustran en la figura 3:

- Aumento en las precipitaciones
- Presencia de sequías extremas
- Crecidas de ríos
- Grandes marejadas
- Inundaciones en pueblos y ciudades
- Contaminación de acuíferos y ríos
- Proliferación de plagas y enfermedades
- Aumento de la erosión y sedimentación en los ríos
- Alteración de la biodiversidad en los diferentes ecosistemas
- Aumento de la vulnerabilidad en sitios sujetos a deslizamientos



Figura 3. Algunos de los fenómenos naturales derivados del cambio climático.
Fuente: Elaboración propia a partir de medios de comunicación. 2021.

Considerando esos efectos y otros que se presentan en forma secuencial, se recomienda el establecimiento de un plan de acción de buenas prácticas agrícolas en cada comunidad, que incluya la adaptación y resiliencia para hacer frente a dichos impactos, promoviendo un enfoque sistémico de manejo integrado de cuencas, que contemple, entre otras acciones (figura 4):

- Programa de reforestación
- Programa de conservación de suelos
- Programa de gestión hídrica, con énfasis en microriego
- Programa de aprovechamiento de la lluvia (cosecha de agua)
- Programa de fertirrigación
- Programa de ganadería sostenible
- Programa de reciclaje y manejo de residuos



Figura 4. Prácticas agrícolas recomendadas para la adaptación al cambio climático. Elaboración propia. Alajuela, Costa Rica, 2021.

1.5. Gestión racional del recurso hídrico

En los últimos años se ha presentado un aumento considerable en el consumo de agua a nivel mundial, provocado por el crecimiento excesivo de la población, que demanda agua para consumo personal, para riego, para la industria y para el turismo.

Se prevé que, en cinco años, la población mundial va a aumentar en 2500 millones de personas, a la cual habrá que suplir de sus necesidades básicas, lo que implicará una expansión significativa de la agricultura de regadío, además de que habrá un alto desarrollo industrial, que también consumirá grandes cantidades de agua.

Ese aporte de agua dulce proviene del 0,1% del agua disponible en el planeta, de manera que su uso racional es fundamental para satisfacer las necesidades crecientes del ser humano.

La FAO estima que la agricultura de riego con sistemas de alta eficiencia como el microriego, será cada vez más trascendental, dadas las condiciones crecientes de escasez de agua y la alteración de la distribución de lluvias. Actualmente el 40% de la producción alimentaria proviene del 16% de las tierras de riego, con el agravante de que por lo menos un 80% es riego por gravedad, que implica eficiencias de un 50%.

El agua disponible para las necesidades del ser humano proviene de tres fuentes principales:

- **Las pluviales:** provenientes de las lluvias, que normalmente son las que utilizan las plantas para su desarrollo, al quedar almacenadas en el suelo según su textura, o ser recogidas directamente por algún tipo de reservorio. Cuando el suelo se satura, empieza el agua a escurrir a las partes bajas, con efectos que van a depender de la cobertura vegetal; estas aguas son las que eventualmente pueden ser conducidas hacia diferentes tipos de reservorios.
- **Las superficiales:** son las aguas que discurren por la superficie de la tierra, a través de ríos, quebradas, lagos, lagunas, etc. Son la mayor fuente de agua para riego a nivel mundial, de donde se extrae por medio de sistemas de bombeo y se distribuye a los proyectos de riego por medio de una red de canales o de tubería de grandes dimensiones.
- **Las subterráneas:** son las aguas que se infiltran y percolan a los acuíferos y manantiales; también son una gran fuente de agua de riego a nivel mundial.

Para contrarrestar los efectos detrimentales del cambio climático en la agricultura, se pretende concientizar y capacitar a los productores en la implementación de medidas de adaptación, por medio del establecimiento de diferentes sistemas de producción basados en el aprovechamiento del agua para sistemas agroproductivos y en la conservación de suelos.

Por tal razón, se proponen diferentes técnicas para conservar las áreas de recarga y para cosechar el agua de lluvia, tanto en forma directa como a través de la escorrentía, por medio de reservorios, embalses, cisternas, etc. y consecuentemente utilizar sistemas de riego altamente

eficientes, diversificación de cultivos, métodos de conservación de suelos y aplicación de la técnica del fertiriego, con lo cual se puede contribuir significativamente a disminuir la contaminación y evitar los efectos adversos de las escorrentías superficiales.

De tal manera, que el objetivo es promover el uso eficiente del agua, a través de programas de conservación de suelos, de protección de las áreas de recarga, con el propósito de asegurar la cantidad y calidad del agua para una buena producción.

1.6. Métodos de riego

La aplicación del agua al suelo se puede efectuar por medio de diferentes métodos, cuya aplicación va a depender de la disponibilidad de agua y de los costos.

Es importante conocer algunos conceptos de los diferentes métodos de riego utilizados por el hombre, para tener conciencia de que en la medida en que su aplicación se sustente en criterios técnicos, pueden obtenerse buenos resultados, en concordancia con la forma en que los productores se vayan adaptando a las condiciones imperantes del cambio climático. Sin embargo, se hará énfasis en sistemas de riego localizado, cuya eficiencia está plenamente determinada.

Los métodos de riego se pueden clasificar en:

- Riego superficial o por gravedad
 - ▶ Surcos: rectos y al contorno.
 - ▶ Melgas: rectas y al contorno.
 - ▶ Escurrimiento o desbordamiento.

- Riego por aspersion
 - ▶ Desplazamiento continuo.
 - ▶ Pivote central.

- Riego localizado
 - ▶ Microaspersión
 - ▶ Goteo

1.6.1. Riego por gravedad

El riego por gravedad o riego por superficie fue la primera forma que usó el ser humano para restituir el agua al suelo. Consiste en cubrir toda o parte de la superficie que se desea regar con una lámina determinada de agua.

También se denomina riego superficial, debido a que el agua se desplaza por la superficie del suelo, desde la parte superior del terreno en un punto de derivación, hasta llegar al final del surco o melga, en donde una parte se almacena y otra se infiltra, en una longitud que debe ser determinada según ciertos parámetros; el desplazamiento se mide en caudal en litros por segundo (lps) y se expresa en forma de *láminas* del orden de 10 a 15 cm; la distribución en la superficie se puede ver muy afectada si el terreno no está bien nivelado y presenta pequeños cambios de pendiente.

Es un método que se ha utilizado desde la antigüedad y es el tradicional en la agricultura en las zonas semiáridas, siendo todavía es muy utilizado para el riego de granos como el arroz inundado, además de que se ha mejorado mucho la eficiencia de riego, por el uso de tecnología láser para nivelación de tierras y la aplicación de nuevas modalidades de manejo del agua como es el riego por impulsos. Sin embargo, es un método que poco a poco se va a ver desplazado por tecnologías más avanzadas de riego, en donde la eficiencia va a ser fundamental, dada la escasez del agua.

Para una mejor comprensión y manejo de este método de riego, se han establecido diferentes tiempos de aplicación del agua que se identifican de la siguiente manera:

- **Tiempo de avance:** tiempo que tarda el agua en desplazarse desde la cabecera hasta el final del terreno. Es una función del caudal, tipo de suelo y pendiente del terreno.
- **Tiempo de receso:** tiempo que transcurre desde que comienza el riego hasta que desaparece el agua de la superficie del terreno.
- **Tiempo de infiltración:** tiempo en que el agua está en contacto con el suelo, es decir, cuando el agua tiene la oportunidad de infiltrarse, la cual varía para cada uno de los puntos a lo largo del terreno.
- **Tiempo de riego o tiempo total:** es el tiempo que se tarda aplicando agua al terreno.

En las figuras 5A y 5B se aprecian la modalidad de riego por surcos rectos y riego por melgas al contorno.



Figuras 5. A. Surcos rectos en caña de azúcar. B. Melgas al contorno en arroz inundado. Cañas, Guanacaste, Costa Rica, 2000.

Fuente: Elaboración propia.

1.6.2. Riego por aspersión

Consiste en aplicar el agua al suelo simulando la lluvia, pero a cierta presión, la cual se puede obtener mediante un sistema de bombeo o por diferencia de altura (gravedad), cuando la fuente de agua está lo suficientemente elevada sobre el área bajo riego. En el cuadro 1, se detallan las ventajas y desventajas del riego por aspersión.

Cuadro 1. Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión.

Ventajas	Desventajas
Alta uniformidad de riego	Alto costo de inversión
Alta eficiencia de riego	Es afectado por el viento
Se adapta a cualquier pendiente	Favorece incidencia de enfermedades
Se usa en variedad de texturas de suelo	Requiere energía
No requiere movimientos de tierra	Puede dificultar labores agrícolas
Necesita poca mano de obra	
Se puede automatizar	
Caudales son pequeños	
Mejor aprovechamiento del área de siembra	

Componentes de un sistema de riego por aspersión:

- **Fuente de energía:** requiere de presión relativamente alta para su funcionamiento, que puede ser proporcionada por bomba eléctrica o de combustión interna, o por el desnivel existente entre la fuente de agua y el terreno a regar.
- **Tuberías:** sirven para conducir el agua en forma continua; si no tiene salidas se conoce como *tubería de conducción*. A nivel de área de riego, se denomina *tubería de distribución o principal*, a la que se acoplan las *tuberías laterales*, que es donde se colocan los dispositivos encargados de la aplicación del agua o aspersores.

2. Cosecha de agua

2.1. Concepto

El agua es fundamental para la vida y su escasez limita profundamente los planes de desarrollo de cualquier región. De hecho, grandes civilizaciones en el mundo desaparecieron cuando se presentaron problemas de escasez de agua, que afectaron profundamente sus posibilidades de desarrollo. Sin agua disponible todo el tiempo, quedan comprometidas las posibilidades de progreso económico y bienestar de la población.

Sin embargo, el exceso de agua también puede causar severos daños a la producción y la vida (pérdida de cosechas, empobrecimiento del suelo por lixiviación y erosión, riesgos de derrumbes, avalanchas e inundaciones, entre otros).

El agua de lluvia está al alcance de la mano, pues se puede recoger directamente o encauzar y concentrar en diferentes tipos de estructuras, aplicando la tecnología conocida como cosecha de agua.

Comprender el ciclo hidrológico y saber cuáles son sus variables manejables, es importante para alcanzar el objetivo de mejorar la captación y aprovechamiento del agua de lluvia.

2.2. Beneficios para el ambiente y el sistema productivo

Con la tecnología de cosecha de agua, se satisfacen algunos aspectos sumamente importantes relacionados con las medidas para la adaptación al cambio climático:

- **Aprovechamiento del agua llovida y de las aguas de escorrentía como medidas de conservación:** una de las consecuencias del cambio climático es la alteración del comportamiento habitual del régimen de precipitaciones, lo cual se manifiesta por el aumento de la frecuencia y la intensidad en unas regiones y la disminución en otras. Si ocurre aumento y las condiciones de la cobertura vegetal no son adecuadas, se presentan altos niveles de escorrentía que arrastra suelos, nutrientes y vegetación hacia las partes bajas donde están las ciudades, con las consecuencias evidentes. Este grado de afectación podría ser atenuado si se establece un programa de aprovechamiento del agua que el suelo ya no puede almacenar, que contemple el establecimiento de reservorios naturales o artificiales, que permitan el encauzamiento del agua y su posterior aprovechamiento, aunado a un programa de conservación de suelos.
- **Uso racional del recurso hídrico en actividades agrícolas:** el agua recogida debe utilizarse en actividades productivas bajo conceptos de sostenibilidad y racionalidad, en cuanto a la aplicación de sistemas de microriego cuya eficiencia es mayor de un 90%, más la aplicación de nutrientes con fertirriego, también con una eficiencia similar, pues se aplica el nutriente en el bulbo húmedo en la cantidad y el momento adecuados, lo cual, disminuye la generación de gases por volatilización que se concentran en la atmósfera y además disminuye el arrastre de nutrientes que van a contaminar las aguas subterráneas o alterar el ecosistema marino cuando son arrastradas por los cauces naturales al mar.
- **Aprovechamiento del recurso hídrico en la actividad pecuaria:** también se obtienen beneficios cuando el agua es utilizada en la explotación ganadera, ya sea para complementar la dieta con pasto de corta, para consumo animal y para la limpieza de los corrales, lo cual facilita el establecimiento de biodigestores que son alimentados por las aguas verdes, aprovechando el gas metano que se genera para las actividades de la finca, evitando su aporte como gas invernadero, además del aprovechamiento de

los lixiviados como abonos líquidos más los que se produzcan por medio del abono orgánico, obtenido a través del procesamiento de los sólidos.

Todo ello se ve reflejado en un incremento en los rendimientos y en la calidad del producto y consecuentemente en el desarrollo socioeconómico de las comunidades.

2.3. Tipo de productor beneficiario

Los proyectos de cosecha de agua, generalmente requieren una gran inversión, máxime si se trata de reservorios grandes con cobertura plástica o geomembrana, o cuando se aprovecha una depresión natural y se construye una presa y se almacena el agua, inversiones que solo puede hacer el Estado o empresas privadas, lo cual puede ser una limitante si se trata de pequeños productores que no están dentro de un área beneficiada. Pero también se pueden hacer reservorios pequeños con una capacidad de 5000 m³ o menos, o aprovechar pequeñas depresiones en la finca que solo requieran la construcción de una pequeña presa, que podría cubrir las necesidades de una pequeña explotación ganadera o agrícola.

2.4. Sistemas de captación

Se pueden utilizar diferentes sistemas de captación del agua de lluvia, por ejemplo, es común que el productor utilice recipientes de diferentes volúmenes para almacenar agua, en función de sus intereses, tal es el caso de fincas de café y hortalizas que instalan tanques enterrados de 1000 litros, en sitios estratégicos, que recogen el agua y luego la distribuyen por medio de un sistema de mangueras de poliducto y llaves de paso, hacia aquellos sitios previamente identificados, para utilizar el agua en la aplicación de agroquímicos, como se aprecia en la figura 6A y 6B.

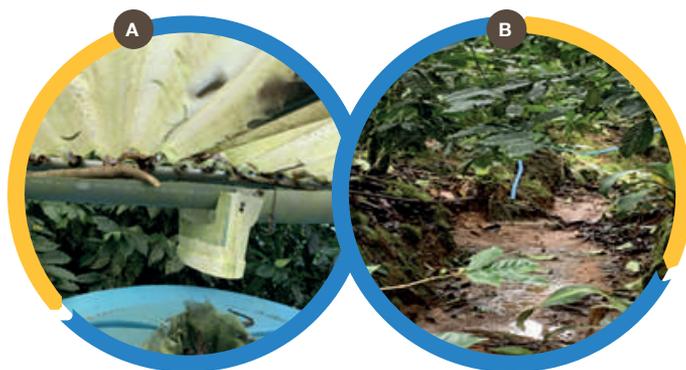


Figura 6. A. Recolección de lluvia con láminas de techo a dos aguas. B Mangueras de conducción para usar en aplicación de agroquímicos. Atenas, Costa Rica, 2021. Fuente: Información propia.

También se pueden construir pequeños reservorios de 2 x 2 x 1 m, forrados con plástico y colocando un sarán en la parte superior para disminuir la evaporación, con el mismo fin de aplicar agroquímicos, recogiendo el agua a través de un tubo instalado en la parte inferior, protegiendo la entrada con un tapón de sarán. El tubo de derivación se conecta a una red de mangueras de poliducto hacia aquellas partes de la finca que ya tiene establecidas (figuras 7A y 7B).



Figura 7. A. Pequeño reservorio hecho forrado con plástico. B. Conexión a mangueras. Atenas, Costa Rica, 2021. Fuente: Información propia

También se puede recoger el agua de los techos de bodegas o de las casas para uso en la elaboración de compost, lavado de utensilios, etc, figuras 8A y 8B.



Figura 8. A. Recolección de agua de los techos para preparación de compost. B. Lavado de sacos de abono. Atenas, Costa Rica, 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Otra modalidad es recoger el agua de lluvia de canoas de macrotúneles, para usar con riego por goteo y para preparar soluciones nutritivas en hidroponía, como se aprecia en las figuras 9A, 9B, 9C y 9D.



Figura 9. A. Recolección de agua de macrotúneles para riego por goteo. B. Agua para solución nutritiva en hidroponía. C. Macrotúnel con lechuga en suelo y D. Macrotúnel con lechuga hidropónica, ambas con recolección de agua. Atenas y Pacayas, Costa Rica, 2021.

Fuente: Elaboración propia.

En este tipo de aprovechamientos normalmente el agua no se utiliza para riego de pequeñas áreas, excepto en macrotúneles de unos 100 m², pues el volumen recolectado es muy bajo.

Otro aprovechamiento del agua de lluvia es para utilizarla en granjas porcinas y pequeñas lecherías, para consumo animal y aseo de los corrales, como se aprecia en la figura 10.



Figura 10. Agua de lluvia utilizada para aseo de corrales. Guatuso, Alajuela, Costa Rica, 2021.

Cuando el agua recogida se va a utilizar para una actividad agrícola o ganadera de mayores dimensiones, se utilizan otros sistemas de captación, que básicamente se pueden resumir en tres:

- **Reservorios en una depresión natural:** el movimiento de tierra es mínimo pues la topografía va a permitir que las aguas de escorrentía puedan almacenarse gracias a una represa que se construye en la parte baja, en una especie de garganta, cuyo tamaño va a depender del área de captación. Debe considerarse el tipo de suelo y la cobertura vegetal, pues normalmente son reservorios sin cobertura.
- **Reservorios excavados:** requieren de movimiento de tierras, lo cual implica trámite de permisos en la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA) y municipalidades. Normalmente se recubren con geotextil y geomembrana.

- **Reservorios con cisternas de diferentes capacidades:** hay sistemas de almacenamiento de muchas dimensiones, desde 1000 litros hasta 15 000 o más, muy usado a nivel de pequeño productor, no así cuando las dimensiones son muy grandes.

Es importante aclarar que hay sistemas de recolección de agua que básicamente están más relacionados con métodos de conservación de suelos y aguas, que se conocen como técnicas de microcaptación.

2.5. Aspectos legales

La construcción de reservorios está sujeta a una serie de disposiciones legales que se deben cumplir antes de su establecimiento, siempre y cuando ello implique movimiento de tierras y/o uso de aguas superficiales. El ente encargado de regular cualquier actividad que pueda alterar o destruir elementos del medio ambiente, por medio de la evaluación de impacto ambiental, es SETENA, para lo cual tenía establecido la presentación de dos formularios excluyentes (D1 y D2), que debían ser aprobados antes de iniciar cualquier proyecto.

Sin embargo, el 25 de octubre de 2021 se publicó en la Gaceta el Decreto Ejecutivo 43100-MINAE, con el Reglamento que va a regir todos los aspectos relacionados con la cosecha de agua, en donde una de las disposiciones es que toda persona física o jurídica puede realizar cosecha de agua y almacenarla, indistintamente del método empleado, hasta por un volumen de 5000 m³, dentro de su propiedad, **sin que requiera la viabilidad ambiental emitida por SETENA ni concesión de agua por parte de MINAE**, no así para volúmenes mayores que sí requieren de ambos requisitos.

Los permisos de construcción se regirán por las disposiciones que disponga la Municipalidad de la localidad correspondiente.

No obstante, todo sistema de cosecha de agua de lluvia debe inscribirse ante el Registro Nacional de Concesiones de la Dirección de Agua del MINAE, adjuntando los siguientes requisitos:

- Certificación de propiedad donde se ubica el sistema.
- Plano catastrado de la propiedad.
- Declaración jurada sobre:
 - ▶ Dimensiones y caracterización del reservorio.
 - ▶ Tipo de impermeabilización de piso y paredes.
 - ▶ Volumen máximo de agua almacenada.
 - ▶ Usos del agua almacenada y cantidad de unidades en cada uno.
 - ▶ Tipo de técnica utilizada en el sistema de cosecha de lluvia.
- Esquema gráfico de diseño del sitio georeferenciado.

El propietario que tenga un sistema de cosecha de agua en su propiedad dispondrá de un año a partir de la vigencia del presente decreto, para realizar la inscripción ante la Dirección de Agua del MINAE.

2.6. Aspectos a considerar para el establecimiento de un reservorio

Para establecer un reservorio se deben considerar una serie de pasos que son interdependientes, pero siempre se empieza por la selección del sitio. Si se desea construir un reservorio pequeño, de menos de 500 m³, entonces se limita el área de riego a un máximo de 600 - 700 m², por lo que se inicia con el cálculo de los requerimientos de agua. Pero si es un proyecto de mayores dimensiones, entonces se debe hacer un estudio para determinar el área de captación, el volumen a recoger y el área a beneficiar. Si el reservorio es de menos de 500 m³, entonces el paso siguiente después de la ubicación, es la demanda hídrica del plan de cultivos propuesto.

2.6.1. Ubicación

La selección del sitio donde ubicar el reservorio es de suma importancia para el éxito del proyecto, por cuanto va a determinar el aprovechamiento óptimo del agua. Si la finca dispone de algún área con una pequeña depresión que solo requiera la construcción de una pequeña represa, sería magnífico. En caso contrario, se debe escoger un sitio plano, preferiblemente en la parte más alta de la finca, para aprovechar la energía potencial y descartar el bombeo, cerca del área que se desea aprovechar y preferiblemente de textura arcillosa, sin la presencia de afloramientos de piedra o bancos de arena, aunque con el uso de coberturas de geomembrana o plástico, la textura no es tan importante.

Si se establece en un sitio bajo de la finca, se va a requerir bombeo para conducir el agua hasta el área productiva, pero con la ventaja de que podría aprovechar algún aporte de agua superficial o de escorrentía, que aumentaría el volumen de agua a recoger.

Si se recoge agua de escorrentía, se debe tener la seguridad de que no arrastre sedimentos, para lo cual se recomienda establecer prácticas de conservación de suelos con el fin de evitar la erosión, como barreras vivas, barreras de contorno, entre otras, además, se justifica colocar un sedimentador a la entrada del reservorio. En la figura 11 se aprecia el sitio escogido en el proyecto.



Figura 11. Sitio escogido en la parte alta de la finca. Atenas, Costa Rica, 2021.

2.6.2. Demanda hídrica según plan de cultivos

La demanda de agua está en función del área de siembra y del plan de cultivos propuesto. En este caso, se considera un reservorio de 500 m³, lo cual limita el área de producción a menos de 1000 m². Sin embargo, cuando se presenta la posibilidad de desarrollar un proyecto de mayores dimensiones, se debe definir el área de captación y a partir de ahí, se hace una estimación del área productiva.

La evapotranspiración diaria del cultivo o demanda hídrica en mm (ET_c), es el producto de:

$$ET_c (\text{mm}) = ET_0 * K_c$$

En donde:

ET₀: evapotranspiración potencial o de referencia.

K_c: es la fracción (%) de consumo de agua del cultivo durante sus distintos estados de desarrollo y varía de 0 a 1,4.

La evapotranspiración potencial o de referencia ET₀ es la suma de las pérdidas de agua por **evaporación** (suelo) y **transpiración** (planta). Las fórmulas más usadas y prácticas para su cálculo son:

-Blanney- Criddle

$$ET_0 = p (0,46 t + 8,13) * K_c$$

En donde:

p: porcentaje de horas luz, obtenido de tablas de la FAO (anexo 1).

t: temperatura en °C, obtenido de la estación climática más cercana.

-Hargreaves

ET₀: 0,0023 * Rad.ext * (Temp. media+17,8) * Raiz (Diferencia de temperatura).

En donde:

Rad. ext: radiación extraterrestre, obtenida de tablas de la FAO (anexo 2).

Temperaturas: media, máxima y mínima, obtenida de la estación climática más cercana.

Si la estación climática escogida tiene datos de evaporación, se afecta por un factor de corrección, se multiplica por el coeficiente K_c del cultivo y no se utiliza ninguna fórmula empírica.

También hay métodos directos para estimar la evapotranspiración de cultivo, como los lisímetros de drenaje y de pesada, que no se contemplan en esta guía.

En la figura 12 se aprecian los valores del coeficiente K_c según el estado de desarrollo del cultivo; de color anaranjado se indica el K_c global.

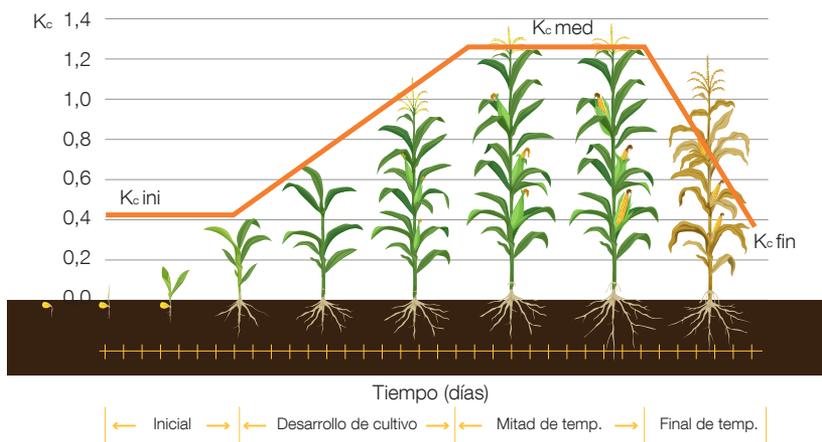


Figura 12. Evolución del coeficiente K_c según estado de desarrollo del cultivo. Fuente: Allen et al. FAO 2006.

En el cuadro 2 se detallan coeficientes K_C para algunos cultivos de importancia

Cuadro 2. Coeficientes K_C para algunos cultivos.

Cultivo	1 etapa	2 etapa	3 etapa	4 etapa	
Cebolla seca	0,50	0,75	1,05	0,85	
Lechuga	0,45	0,60	1,00	0,90	
Melón	0,45	0,75	1,00	0,75	
Pepino	0,45	0,70	0,90	0,75	
Chile	0,35	0,70	1,05	0,90	K_C global= 0,75
Tomate	0,45	0,75	1,10	0,90	

Fuente: Valverde, JC. Principios de Riego y Drenaje en suelos tropicales. 2016.

Lo óptimo para el cálculo de las necesidades hídricas es hacerlo para todo el ciclo del cultivo y según su estado de desarrollo, para que la distribución del agua sea lo más racional posible, pero a nivel de campo dicho manejo no es práctico, por lo que se opta por calcular el promedio diario de la evapotranspiración de cultivo y un **K_C global**, que es el promedio de los coeficientes de cada estado de desarrollo.

Para este caso, se detalla en el cuadro 3, el procedimiento y el resultado obtenido del cálculo de la ET_c , diaria y mensual para el cultivo de chile dulce.

Cuadro 3. Valores de ET_0 calculado con Hargreaves, la ET_c diaria y la mensual

Mes	ET_0	K_C	Et_c /día	Et_c /mes
E	4,6	0,75	3,5	107,0
F	5,1	0,75	3,8	107,1
M	5,7	0,75	4,3	132,5
A	5,8	0,75	4,4	130,5
M	5	0,75	3,8	116,3
J	4,5	0,75	3,4	101,3
J	4,6	0,75	3,5	107,0

Mes	ET ₀	K _c	Et _c /día	Et _c /mes
A	4,7	0,75	3,5	105,8
S	4,5	0,75	3,4	104,6
O	4,3	0,75	3,2	100,0
N	4,2	0,75	3,2	97,7
D	4,2	0,75	3,2	97,7
Promedio	4.8			

Fuente: Elaboración propia.

En la cuadro 4, se presenta el cálculo de la ET_c según fórmula de Hargreaves, para el área de siembra de 600 m² y un ciclo de cultivo de 120 días, considerando la ET₀ promedio y la K_c global.

Cuadro 4. Cálculo de la ET_c para un área de 600 m² con ET₀ promedio y K_c global

Area reservorio m ²	225
Area cultivo m ²	600
ET _{0, prom} Hargreaves	4,8
K _c global	0,75
PAR (% área bajo riego)	0,7
ET _c litros/día	1512
Ciclo días	120
Demanda total m ³	181
Eficiencia de riego	0,9
Demanda hídrica total en m³	202

2.6.3. Análisis de la precipitación

Un aspecto fundamental para el diseño de un reservorio es el análisis climatológico de la zona o región, que es requisito para el cálculo de la disponibilidad de lluvia que pueda ser almacenada y de las necesidades hídricas del plan de cultivos a establecer, para lo cual se recurre a la estación climatológica más cercana.

En este proyecto, se utilizó la información de la estación meteorológica ubicada en la antigua Escuela de Ganadería, en Balsa de Atenas, hoy sede de la UTN, cuyos datos se adjuntan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Datos de precipitación, temperaturas y humedad relativa de Estación Escuela de Ganadería. Instituto Meteorológico Nacional, departamento de Información Promedios Mensuales de Datos Climáticos.

Estación 84091: Escuela de Ganadería.

Coordenadas: Lat N: 09 55" Long. O: 84 22" Alt. 450 m s.n.m.

Lluvia: 1976-2020.

Temperatura: 1976-1999.

Humedad: 1979-1999.

Elementos	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Lluvia	5,1	7,7	21,2	88,2	288,0	257	205	249	331	330	130	23,2	1937,9
Temp.max	31,8	32,9	33,6	33,3	30,8	29,0	29,2	29,2	28,7	28,5	29,1	30,4	
Temp.min	19,7	20,6	20,7	20,5	20,4	19,8	19,7	19,3	19,0	19,2	19,0	19,3	
Temp.med	25,8	26,7	27,1	26,9	25,6	24,4	24,5	24,2	24,0	23,8	24,1	24,8	
Humedad relat	64,2	61,0	62,6	69,3	82,8	89,0	85,6	86,6	89,0	89,5	84,2	71,5	
Prom. días con lluvia <0.1 mm	1	1	2	7	19	19	15	18	22	22	12	3	

Siempre se debe considerar el número de años de observación, preferiblemente que sean más de 10, para tener seguridad estadística, pero aunque se disponga de muchos años de observación (10 ó más), el promedio de lluvia no es un valor de referencia muy efectivo, porque la precipitación que realmente ocurre en determinado mes, el 50% de

las veces puede superar el promedio (exceder el 50% o P50) y también ser menor. De manera que los datos obtenidos no siempre son confiables, máxime en las condiciones actuales en que el cambio climático se manifiesta en todos los elementos.

Aún así, se debe partir de conceptos que permitan cierta seguridad en el procesamiento de los datos, cuya aplicación no sea muy complicada.

Aunado a ello, definida la probabilidad de lluvia que pueda ocurrir, no toda puede ser conducida y almacenada, debido a que se presentan pérdidas por infiltración profunda, percolación, escorrentía y evaporación, por lo que hay diferentes criterios y fórmulas para determinar la precipitación efectiva. Con el propósito de no complicar el proceso de cálculo y dado que, en reservorios pequeños con geomembrana, prácticamente toda la lluvia que cae en el área de captación se almacena, entonces se puede aplicar la siguiente fórmula para calcular la precipitación neta, a saber:

$$PN = Pptación \times Efic. \text{ Captación} \times Coef. \text{ escurrimiento}$$

Pero a su vez, como factor de seguridad, también se recomienda considerar solo aquellas precipitaciones que sean superiores a 40 mm.

Tomando en cuenta esas consideraciones, el aporte de la precipitación en la Estación Climática seleccionada, es la que se señala de color anaranjado en el cuadro 6, para un total anual de 1480 mm.

Cuadro 6. Precipitación neta aplicando la fórmula anterior

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pptación	5,1	7,7	21,2	88,2	288	257	205	249	331	330	130	23,2
Factor	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Coef. Escurr.	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Pptación neta	3,9	5,9	16,2	67,5	220,3	196,6	156,8	190,5	253,2	252,5	99,5	17,7
Suma 40mm	1480,6											

Nota: el coeficiente de escurrimiento se estima en 0,85, según cuadro 7.

Cuadro 7. Coeficientes de escurrimiento para algunos materiales

Area captación	Coefficiente escurrimiento
Concreto	0,6-0,8
Pavimento	0,5-0,6
Geomembrana PVC	0,85-0,90
Tierra	0,3

Fuente: Salinas, A. 2010.

2.6.4. Dimensiones del reservorio y área de captación

Se determinó que con un área de captación de 15 x 15 m, se pueden almacenar 426 m³ de agua. Por tal razón se recomienda construir un reservorio de 15 x 15 x 2,5 m de profundidad, con un bordo libre de unos 0,40 m, con talud 1:1, siendo el área de captación de 225 m² (15 x 15).

En el cuadro 8 se indican las dimensiones del reservorio, el área de captación, las necesidades de agua y el cálculo de la evaporación.

Cuadro 8. En parte A se desglosa la fórmula para el cálculo del reservorio, en la B se calcula el área de captación de lluvia, en la C se estiman las necesidades de agua del cultivo y en la D el cálculo de la evaporación.

Parte A	Calculo de volumen de reservorio			Parte B	Volumen que recoge según área de captación	
	Largo m	Ancho m	Area m ²		Area captación	225
BM (base mayor)	15	15	225		Coef. Escurr.	0,9
bm (base menor)	11	11	169		Pptación anual m	1,48
H (altura)	2,5		27225		Volumen m ³	300
Fórmula: $V=H/3 \times A_{BM}+A_{bm} + \sqrt{A_{BM} \times A_{bm}}$			195		$V=Ac \times Ce \times P$ $P= Pptación$ anual en m.	
Volumen m ³	426					

Parte C	Cálculo necesidades de agua		Parte D	Cálculo evaporación		
		ha		Evap. mm/día	Días/mes	Nº meses
Area reservorio	225	0,0225		3	90	4
Area cultivo m ²	600		Evaporación:	10 x A(ha) x Evap. mensual x N° meses		
Et0 Hargrea	4,8		Evap. m ³	81		
Kc global	0,75					
PAR (% área riego)	0,7		Nec. cultivo + evap. 283 m³			
Etc lt/día	1764					
Ciclo días	120					
Demanda total m ³	212					
Eficiencia	0,9					
Necesidades cultivo	202					

En el cuadro 8 se resume:

- Las necesidades de agua son de 202 m³ en 120 días. Se estima un ciclo de 4 meses para efectos prácticos, pues el chile puede durar hasta más de 6 meses.
- La evaporación estimada es de 3 mm diarios, que equivale a 81 m³ en el período.
- La suma de las necesidades de agua más la evaporación equivale a 283 m³.
- El volumen que recoge el área de captación es de 300 m³, que es mayor en 17 m³ a la suma de la demanda de agua más la evaporación, quedando como agua de reserva.
- La capacidad del reservorio es de 426 m³, menos el volumen que capta, (426-300) quedan 126 m³ como volumen previsto a llenar por una fuente superficial o encauzar la escorrentía, con un potencial aumento del área de siembra.

2.6.5. Conducción del agua

En la base del reservorio se instala un tubo de PVC de presión, con cédula o grosor adecuado (SDR 26), con un diámetro que va a depender del caudal a derivar de manera que tenga la capacidad para conducir la cantidad de agua que se requiere, principalmente en el sector que pasa bajo la pared del reservorio, aunque normalmente oscila de 3" a 4". En la salida del tubo, la presión es baja y se puede usar tubería de 2" SDR 41, que puede conducir hasta 2 lps.

Sería ideal que la diferencia de altura con respecto al área de cultivo sea de 10 a 20 m, para no utilizar una bomba, sin embargo, si hay necesidad de bombear, para áreas pequeñas la potencia puede ser de 1 a 1,5 HP; en todo caso siempre se deben hacer los cálculos respectivos.

En la figura 13 se detalla la salida del tubo de derivación, para lo cual se debe abrir el talud con un backhoe y luego rellenar con tierra, para después proceder a colocar el geotextil y la geomembrana y construir una pequeña estructura para que el tubo quede fijo y adherido a la geomembrana con un parche soldado.



Figura 13. Tubo de derivación del reservorio. Atenas, Costa Rica, 2021.
Fuente: elaboración propia.

En la salida del tubo de derivación, se acopla la tubería de conducción hacia el área de la finca donde se va a utilizar el agua. En la figura 14 se observa parte de la tubería de conducción.



Figura14. Después de salida del tubo se instala la tubería de conducción. Atenas, Costa Rica, 2021.

Fuente: elaboración propia.

2.6.6. Proceso constructivo de un reservorio

- **Marcado en campo:** después de ubicado el sitio del reservorio y determinado las dimensiones, se procede a la marcación en el campo. Se miden los lados del perímetro y se coloca una estaca en cada vértice, se alinean las estacas con una cuerda, se marca el centro del terreno para que todos los lados queden de la misma longitud, se marca el talud 1:1, se quitan las cuerdas y se marca el terreno con cal para guiar al tractorista.
- **Excavación:** el tractorista inicia la labor de excavación guiándose por la marca de cal.
- **Acabado:** el tractorista realiza la labor de acabado, alisando las paredes del talud, luego procede a excavar la zanja perimetral a unos 60 cm del borde; la zanja sirve de sostén a la geomembrana.
- **Zanja para instalar el tubo de derivación:** el tractorista realiza un boquete en una de las paredes para colocar el tubo de derivación que debe salir de la base del reservorio.
- **Instalación del tubo:** se instala el tubo de derivación y el tractorista rellena y compacta la zanja para que el tubo o tubos queden enterrados, hasta la salida donde inicia la tubería de conducción.

- **Colocación de la cobertura:** se distribuyen en la fosa y el talud los rollos de geotextil y geomembrana, se soldan de manera que queden las uniones sin fugas o aire interno.
- **Remache del tubo enterrado:** se procede a la unión del tubo con la geomembrana con una especie de remache, quedando fijo a la base del reservorio mediante una estructura cuadrada.
- **Ajuste de geomembrana:** la geomembrana se ajusta a la zanja perimetral con sacos de tierra.
- **Instalación de la tubería de rebalse:** se instalan los tubos de rebalse de manera que no interfieran con la zanja y descarguen el exceso de agua a un sitio definido.
- **Conexión de salida del tubo:** el tubo de derivación que sale del reservorio se conecta al sistema de conducción y se regula con una llave de paso.
- **Conexión del sistema de conducción:** la tubería de conducción se conecta al sistema de distribución del agua en el área productiva. (Parcela de riego, macrotúnel, pasto de corte, granja porcina, lechería, etc).

2.6.7. Costos de construcción

En el cuadro 9 se detallan los costos de instalación de un reservorio con una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 500 m³.

Cuadro 9. Costos de construcción de un reservorio de 500 m³

Item	Costo unitario	Costo total \$
Excavación	1000 / m ³	800
Geomembrana HDPE 1 mm	3000 / m ³	2.500
Geotextil NT 2000 525 m ²	2000 / m ²	1.700
2 Tubos PVC 4" SDR 32	10000 / un.	31
4 Tubos PVC 3" SDR 26	15000 / un.	95
Mano de obra		
Total		5126

Nota: Tipo de cambio 2021: ¢ 640/\$

3. Manejo del recurso hídrico

3.1. Concepto

El manejo del recurso hídrico almacenado en un reservorio se refiere al uso adecuado del agua, para obtener un máximo aprovechamiento en la producción agropecuaria, utilizando diferentes métodos de aplicación.

Algunos de los usos pueden ser:

- Riego por goteo o microaspersión en macrotúneles o áreas pequeñas.
- Riego por aspersión para pasto de corta.
- Aseo y mantenimiento para granjas porcinas y lecherías.

3.2. Riego por goteo

Es la aplicación del agua en un punto definido cerca de las raíces, en la cantidad y oportunidad necesarias en función del cultivo y su estado de desarrollo, formando un bulbo húmedo en donde se concentran las raíces, permitiendo a la planta su pleno desarrollo, con producción de gran calidad y cantidad; a su vez se complementa con la fertirrigación, que consiste en la incorporación de los nutrientes en ese bulbo húmedo en la cantidad y momento más oportuno para el óptimo desarrollo de la planta. En la figura 15 se aprecia un lateral con su emisor o gotero incorporado.



Figura 15. Lateral con gotero incorporado. Cartago, Costa Rica, 2021.
Fuente: Elaboración propia.

3.3. Componentes de un sistema de riego por goteo

Un sistema de riego por goteo está conformado por los siguientes componentes:

- **Cabezal:** está conformado por el sistema de bombeo, filtros, manómetros, sistemas de inyección, válvulas, etc. En algunos casos no se contempla el sistema de bombeo, porque se aprovecha la energía potencial.
- **Línea principal:** es la tubería que conduce el agua desde el cabezal hasta el área de cultivo.
- **Línea de distribución:** se deriva de la principal y a partir de ella se instalan los laterales.
- **Laterales:** son las líneas de riego en el área de siembra, en donde se colocan los emisores.
- **Emisores o goteros:** son las salidas de agua en forma de gota, directamente en la línea de plantación, en caudales que oscilan de 1 a 6 litros por hora (lph).

El sistema de filtrado es básico en riego por goteo, porque los emisores son susceptibles de presentar obturaciones por residuos de sales ya sea del agua de riego como del fertirriego.

En la figura 16 se aprecian los componentes del sistema.

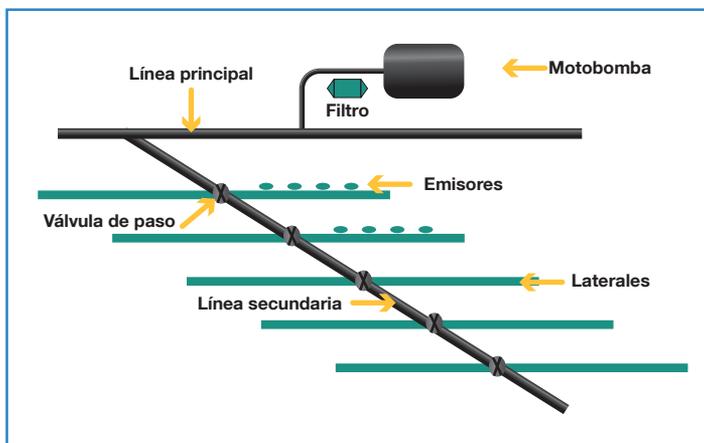


Figura 16. Componentes de un sistema de goteo.
Fuente: Valverde, 2016.

3.4. Pasos a seguir para instalar un sistema de goteo en una pequeña parcela

Esta etapa se hace cuando está definida el área a sembrar según el volumen del reservorio, el plan de cultivos y las necesidades de agua.

Entonces se inicia el proceso de instalación del sistema de riego, según los siguientes pasos:

- Ubicar sitio adecuado cerca del reservorio.
- Levantar un croquis con el área escogida y medir los linderos.
- Definir si se justifica hacer sectores de riego.
- Instalar tubo de poliducto o PVC de 2" como tubería principal proveniente de la bomba o del reservorio, con sus adaptadores, válvulas de paso, filtro de mallas o discos e inyector si es necesario.

- Colocar una te o un codo y una llave de paso para dividir los sectores de riego si los hubiere y se conecta la tubería de distribución que puede ser 1 o 2 ramales de poliducto de 1".
- Perforar orificios en los ramales de poliducto de cada sector utilizando una broca de paleta de 5/8", para insertar el empaque y luego los conectores que van a la cinta de goteo, como se aprecia en la figura 16.



Figura 17. Hechura de hueco con taladro. Pacayas, Costa Rica, 2015.
Fuente: elaboración propia.

- Colocar el conector de 20 mm en el empaque con fuerza moderada para que se inserte bien. Existen conectores con el empaque y preferiblemente usar conector con llave de paso (figura 17).



Figura 18. Inserción de conector. Pacayas, Costa Rica, 2015.
Fuente: elaboración propia.

Conectar la cinta de goteo en el conector y ajustar la rosca para que no presente fugas de agua, como se aprecia en la figura 19.



Figura 19. Conexión de la cinta en el conector. Pacayas, Costa Rica, 2015.
Fuente: elaboración propia.

- Doblar la parte terminal de las tuberías de distribución y de los laterales y amarrarlas con piola o cocaleca para evitar fugas de agua.
- Amarrar la parte final de las líneas regantes a estacas, para que queden bien sujetas y no se muevan de la hilera de cultivo.

3.5. Evaluación del sistema de riego

El riego por goteo requiere que el agua se distribuya uniformemente en las líneas de riego, de manera que cada planta reciba la cantidad de agua requerida. Para conocer esa distribución, se deben hacer evaluaciones de campo para determinar el coeficiente de uniformidad CU; si es bajo, habrá sectores que no reciben la cantidad de agua requerida u otros que reciben más de lo necesario, lo cual provoca desuniformidad en el desarrollo de los cultivos.

Los factores que provocan baja uniformidad pueden ser desde obturaciones, deformaciones de los goteros hasta caídas de presión por mal manejo o mal diseño.

Para realizar la evaluación se necesita el siguiente equipo:

- Cronómetro, probeta de 500 ml, embudo, bandejas para recoger el agua y libreta de campo.

El procedimiento es el siguiente:

- Seleccionar tres o cuatro hileras del sector de riego a evaluar, dos extremas y dos intermedias.
- Seleccionar cuatro emisores en cada hilera.
- Numerar filas y columnas con letras y números.
- Recoger el caudal en cada emisor durante el tiempo definido, preferiblemente 6 minutos para facilitar el cálculo y medir en una probeta.
- Pasar de ml a litros y multiplicar por 10 para expresar el caudal en lph.
- Aplicar la fórmula:

$$CU = Q_{25} / Q_x * 100$$

En donde:

CU: coeficiente de uniformidad

Q_{25} : caudal medio del 25% (4) de menor caudal

Q_x : caudal medio de todos los emisores (16)

En la figura 20 se aprecia el diseño en campo:

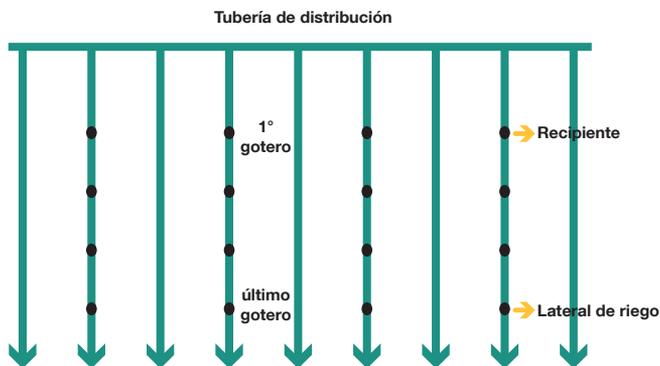


Figura. 20. Esquema de una evaluación.
Fuente: Valverde, JC. 2016.

En la figura 21 se aprecia el detalle de una evaluación:



Figura 21. Detalle de una evaluación de riego en campo. Tucurrique, Costa Rica, 2010.
Fuente: elaboración propia.

Cuadro 10. Detalle de una evaluación realizada en un invernadero en Tucurrique.

Emisor	21ph	Tiempo riego min.	30	
		Separación/hil. m	0,4	
		Ancho era m	1	
		N° cintas/era	1	
Sector	Ubicación	Vol. recogido ml	Valores crecientes ml	
Literal 1	1° emisor	250	190	
	2°	250	190	
	3°	220	200	
	4°	260	200	
Literal 2	1° emisor	260	200	
	2°	200	200	
	3°	260	210	
	4°	250	220	

Sector	Ubicación	Vol. recogido ml	Valores crecientes ml	
Literal 3	1° emisor	200	230	
	2°	210	230	
	3°	230	250	
	4°	200	250	
Literal 4	1° emisor	200	250	
	2°	190	260	
	3°	10	260	
	4°	230	260	lph
Caudal medio			225	2,25
Caudal 25% más bajo			195	1,95
% CU =			87	

El CU obtenido es de un 87 %, que se considera aceptable.

3.6. Calidad del agua

La calidad del agua es de suma importancia en la tecnología del riego, porque va a determinar, en un gran porcentaje, el éxito de la actividad. Si se utilizan aguas superficiales, casi siempre van a presentar sales minerales y orgánicas, lo cual representa riesgo de contaminación. Si son aguas subterráneas, con menos sustancias minerales, van a mostrar menos probabilidades de contaminación.

Las sales pueden producir tres problemas:

3.6.1. Salinidad

- Las sales aumentan la presión osmótica y las raíces deben ejercer mayor fuerza para absorber el agua. Se expresa midiendo la conductividad eléctrica que se define como la facilidad con que una corriente eléctrica pasa a través del agua y depende del contenido

total de sales en el agua. Entre más alta sea la conductividad, mayor será el contenido en sales que se mide con un conductímetro y las unidades son variadas, como se indica a continuación:

1 mS/cm = 1000 μ S/cm 1dS / m = 1 mS/cm 1 mho/cm = 1000 milimhos/cm = 1.000.000 micromhos/cm 1 mS/cm = 1 milimho/cm 1 μ S/cm = 1 micromhos/cm.

Las unidades de medida más frecuentes son milisiemens por centímetro (mS/cm) y microsiemens por centímetro (μ S/cm).

Aguas con menos de 1,2 mS/cm o 1200 μ S/cm no presentan ningún problema, pero si los valores son superiores a 2,5 mS/cm o 2500 μ S/cm no se recomiendan para riego.

En el Cuadro 11 se indica el rango de los índices de salinidad.

Índice de salinidad	CEa (mmhos/cm)	Riesgo de salinidad
1	$\leq 0,75$	Bajo
2	0,75 - 1,5	Medio
3	1,5 - 3,0	Alto
4	≥ 3	Muy alto

Fuente: Mendoza, 2013.

3.6.2. Sodicidad

- El Na (sodio) abunda en el agua de riego. Si el Na es alto y el Ca (calcio) y Mg (magnesio) bajo, provoca problemas de disgregación del suelo que afectan la velocidad de infiltración, al ser adsorbido por las arcillas y sustituir al Ca y Mg. Pero, también puede ser absorbido y acumulado por las plantas causando toxicidad e impedir la asimilación de Ca.

Se determina midiendo en laboratorio el índice RAS (relación de absorción de sodio).

En Cuadro 12 se indican los rangos del índice RAS.

RAS	CE (mmhos/cm)	Índice
≤ 6	$\geq 0,5$	Sin riesgo
6-9	0,5 – 0,2	Posible riesgo
≥ 9	$\leq 0,2$	Riesgo grave

Fuente: Mendoza, 2013

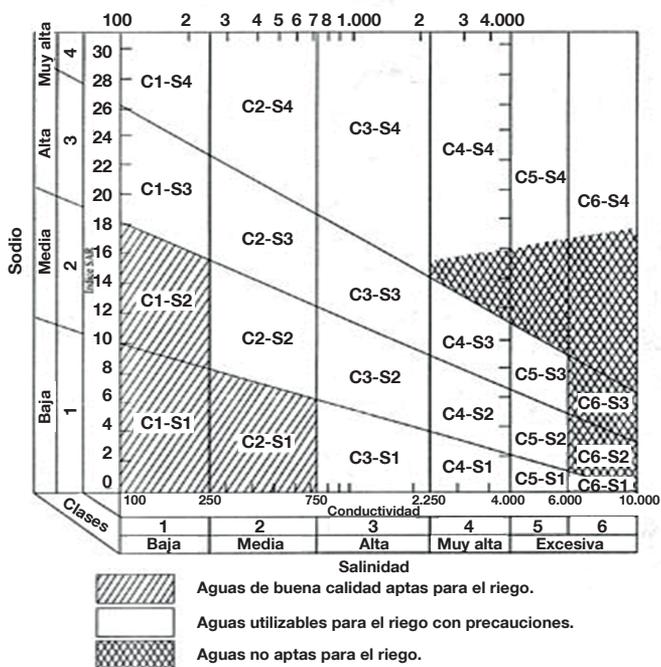
3.6.3. Obstrucciones

Pueden ser provocadas por sólidos, sustancias químicas y microorganismos contenidos en el agua de riego. Los sólidos se controlan por medio de un buen sistema de filtrado; pero si son precipitados de carbonatos o sulfatos de Ca o Mg, se realiza un lavado con ácidos como el nítrico.

Para realizar un análisis de agua, se recomienda realizar un muestreo siguiendo las siguientes instrucciones:

- Usar envases limpios de vidrio o plástico de 1 litro de capacidad.
- Tomar submuestras a media profundidad en varios puntos y luego mezclar en un solo envase cuando son aguas superficiales. Si es agua de un pozo, esperar unos minutos después de encendida la bomba y tomar la muestra.
- Tapar en forma segura e identificar la muestra con el nombre de la comunidad o proyecto, persona que recolecta y análisis requerido.
- Transportarlas a laboratorio.

En la figura 22 se especifica la clasificación de aguas según su aptitud al riego.



Fuente: Mendoza, 2013.

Cuadro 13. Rango de valores normales aceptados para un análisis de agua.

Salinidad	Rango	Unidades
Conductividad eléctrica	0-3	dS / m
Total sólidos en solución	0-2000	mg / lt
Calcio	0 -20	meq/lt
Magnesio	0 -5	meq/lt
Sodio	0 -40	meq/lt
Carbonatos	0 -0,1	meq/lt
Bicarbonatos	0 -10	meq/lt
Cloruro	0 -30	meq/lt
Sulfatos	0 -20	meq/lt

Salinidad	Rango	Unidades
Nutrientes		
Nitrógeno (nitrato)	0 -10	mg/ lt
Nitrógeno (amonio)	0 -5	mg/ lt
Fósforo (fosfato)	0 -2	mg/ lt
Potasio	0 -2	mg/ lt
Otros		
Boro	0 -2	mg/ lt
pH		6 -8.5
RAS		0 -15

Fuente: Adaptado de Fuentes, 2003.

3.7. Fertirrigación

La técnica de la fertirrigación consiste en la aplicación de los nutrientes principales que necesitan las plantas a través del sistema de riego, en forma continua o intermitente, aprovechando la alta uniformidad de distribución de los sistemas de riego localizados, en el momento oportuno y en la cantidad requerida según su estado de desarrollo, con una alta eficiencia y casi nula pérdida de nutrientes.

3.7.1. Ventajas

- Facilidad para aplicar los fertilizantes.
- Evita compactación del suelo.
- Perfecta dosificación, fraccionamiento y control de fertilización.
- Distribución de los nutrientes en el bulbo húmedo.
- Rapidez para corregir deficiencias.
- Mayor asimilación de nutrientes.
- Economía de agua y fertilizantes y control de la contaminación.
- Mejora calidad de los productos.

3.7.2. Desventajas

- Riesgo de obturaciones.
- Personal capacitado para preparar soluciones y calibrar sistema.
- Salinización o intoxicación de plantas por mal manejo.

3.7.3. Equipo de inyección

- Tanques de fertilización: es un sistema muy económico pues solamente se requiere de un tanque en donde se elabora la solución nutritiva y se conecta directamente al sistema de riego.
- Equipo Venturi: es un tubo con un estrechamiento por donde circula el agua, al cual se conecta una manguera que se introduce en un recipiente con la solución a inyectar, el cual no es cerrado. El estrechamiento produce un aumento de la velocidad del agua, lo que origina una succión de la solución con fertilizante y la introduce a la red. Requiere de una diferencia de presión de 0,5 a 2,5 kg/cm² para que funcione correctamente. Es un sistema económico, aunque requiere de cierta habilidad para su regulación, pues se deben manipular unas llaves de paso para provocar una succión adecuada.

En la figura 22 se detalla el esquema de instalación de un Venturi instalado en paralelo y en la guía figura 23 un Venturi instalado en una parcela.

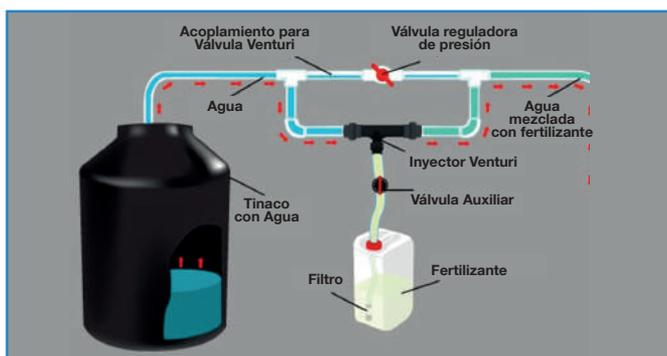


Figura 22. Esquema de un inyector Venturi.



Figura 23. Venturi instalado en una finca.

Se pueden utilizar otros sistemas más tecnificados que no se contemplan en esta guía.

3.7.4. Sales y compatibilidad

Cuadro 14. Tabla de compatibilidad de sales

	Nitrato de amonio	Sulfato de amonio	Nitrato de calcio	Fosfato monopotásico	Fosfato monoamónico	Sulfato de potasio	Sulfato magnesio	Nitrato potasio
Nitrato amonio		x	x	x	x	x	x	x
Sulfato amonio	x		l	x	l	x	x	X
Nitrato calcio	l	l		l	l	l	l	X
Fosfato monopotásico	x	x	l		X	x	x	X
Fosfato monoamónico	x	x	l	x		x	x	X
Sulfato potasio	x	x	l	x	x		x	X
Sulfato magnesio	x	x		x	x	x		X
Nitrato potasio	x	x	x	x	x	x	x	

l: incompatible

X: compatible

Fuente: Kafkaky, U. Citado por Valverde, JC.

3.7.5. Programa de fertirrigación en chile dulce

Programa de fertilización en kg/ha (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio)

N: 200 kg, P₂O₅: 80 kg, K₂O: 200 kg, CaO: 100 kg

Cuadro 15. Distribución porcentual de elementos según fenología

Fenología	N	P	K	Ca	Mg	S
Inicio 2 sem	10	10	10	0	0	5
Desarrollo 5 sem	15	15	15	20	25	15
Producción 12 sem	60	60	50	60	25	30
Mantenimiento 4 sem	15	15	25	20	50	30
Total 23 semanas						

Cuadro 16. Cantidad de elemento en kg según fenología

Kg De elemento	N	P	K	Ca	Mg	S
Inicio	1,4	0,56	1,4	0	0	0,175
Desarrollo	2,1	0,84	2,1	1,4	0,875	0,525
Producción	8,4	3,36	7	4,2	0,875	1,05
Mantenimiento	2,1	0,84	3,5	1,4	1,75	1,05
Total						

Cuadro 17. Total de sales por etapa fenológica y en el ciclo del cultivo.

Total de sales en el ciclo kg	Inicio	Desarrollo	Producción	Mantenimiento	Total
Nitrato de amonio	2,7	1,9	10,9	3,6	19,1
MAP	9,3	1,4	5,6	1,4	9,3
Nitrato de potasio	29,8	4,6	15,2	7,0	29,8
Nitrato de calcio	23,3	14	4,7	4,7	23,3
Sulfato de magnesio					

Cuadro 18. Total de sales por semana según etapa.

Total de sales por semana en el ciclo kg	Inicio	Desarrollo	Producción	Mantenimiento
Nitrato de amonio	1,33	0,39	0,90	0,91
MAP	0,47	0,28	1,12	1,12
Nitrato de potasio	1,52	0,91	1,27	0,00
Nitrato de calcio		0,93	0,93	1,17
Sulfato de magnesio		0,81	0,81	2,02
Total	3,32	3,32	5,03	5,22

Cuadro 19. Cantidad total de agua por inyección y concentración en grs/litro.

Cantidad agua en litros	7,07	3,85	6,80	2,58
Concentración. grs/litro	1,98	2,3	2,99	3,1
Volumen de riego litros	1680			

Cuadro 20. Costo de sales en un ciclo de 6 meses.

Total ciclo	Nº sacos	Precio \$	Costo total \$
Nitrato de amo	1	16	16
MAP	3	44	132
Nitrato de pota	1	28	28
Nitrato de Ca	1	10	10
Sulfato magne	3	5	15
Total			201
Sacos de 25 kg	25		

Nota: Tipo de cambio 2021: ₡ 640/\$

Literatura consultada

Cajina, M. 2006. Alternativas de captación de agua para uso humano y productivo en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua. Tesis, MSc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE- Turrialba, Costa Rica. 227 p.

Carrazón, J. 2007. FAO Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria. PESA. Honduras. 218 p.

Domínguez, A. 1996. Fertirrigación (2º ed.). Madrid: Editorial Mundiprensa.

FAO. Allen et al. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Estudio FAO Riego y Drenaje, Boletín 56. Roma, Italia. 298 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2000. Manual de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Experiencias en América Latina. Serie Zonas Áridas y Semiáridas No. 13. FAO, Santiago (Chile). Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago, Chile. 224 p.

FAO-PE. 2011 PESA (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Guía metodológica de alternativas técnicas de agua. Guía N° 3. Nicaragua. 35 p.

FAO. 2012. Riego y Drenaje. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Roma, Italia. 509 p.

Fuentes, J. 2003. Técnicas de riego. Madrid: Editorial Mundiprensa. 469 p.

Kafkay, U. 2012. Fertirrigación: una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua. París.

Martínez Alfaro.2006. Fundamentos de Hdrogeología.Madrid: Editorial Mundiprensa. 279 p.

Mendoza, E. 2013. Riego por goteo. San Salvador: CENTA. 87 p.

Salinas, A. 2010. Manual de especificaciones 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. Nicoya: Universidad Nacional, CEMEDE. 96 p.

Valverde, J. 1998. Riego y Drenaje. San José, Costa Rica. EUNED. 240 p.

Valverde, J. 2016. Principios de suelo y drenaje en suelos tropicales. San José, Costa Rica. EUNED. 236 p.

Global Water Partnership. 2013. Tecnologías para el uso sostenible del agua. Tegucigalpa, Honduras. 68 p.

Anexos

Anexo 1

Horas luz por día en porcentaje del total anual (p), por mes y latitud hasta 30° en el Hemisferio Norte

Latitud Norte	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0°	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
5°	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27
10°	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26
15°	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25
20°	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25
25°	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24
30°	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23

Fuente: Boletín N.° 56 FAO, 2006.

Anexo 2

Radiación solar extraterrestre mensual (R_a) en mm de evaporación desde 0° hasta 20° Latitud Norte

Latitud Norte °	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	15,0	15,5	15,7	15,3	13,9	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
2	14,7	15,3	15,6	15,3	14,2	14,2	14,3	14,9	15,3	15,3	14,8	14,4
4	14,3	15,0	15,5	15,5	14,4	14,4	14,6	15,1	15,3	15,1	14,5	14,1
6	13,9	14,8	15,4	15,4	14,7	14,7	14,9	15,2	15,3	15,0	14,2	13,7
8	13,6	14,5	15,3	15,6	15,0	15,0	15,1	15,4	15,3	14,8	13,9	13,3
10	13,2	14,2	15,3	15,7	15,3	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	12,9
12	12,8	13,9	15,1	15,7	15,7	15,5	15,5	15,6	15,2	14,4	13,3	12,5
14	12,4	13,6	14,9	15,7	15,8	15,7	15,7	15,7	15,1	14,1	12,8	12,0
16	12,0	13,3	14,7	15,6	16,0	15,9	15,9	15,7	15,0	13,9	12,4	11,6
18	11,6	13,0	14,6	15,6	16,1	16,1	16,1	15,8	14,9	13,6	12,0	11,1
20	11,2	12,7	14,4	15,6	16,2	16,4	16,3	15,9	14,8	13,3	11,6	10,7

Fuente: Boletín N.° 56 FAO, 2006.

Anexo 3

Proceso constructivo de un reservorio

- **Marcado en campo:** después de ubicado el sitio del reservorio y determinado las dimensiones, se procede a la marcación en el campo. Se miden los lados del perímetro y se coloca una estaca en cada vértice, se alinean las estacas con una cuerda, se marca el centro del terreno para que todos los lados queden de la misma longitud, se marca el talud 1:1, se marca el terreno con cal para guiar al tractorista y se quitan las cuerdas.



- **Excavación:** el tractorista inicia la labor de excavación guiándose por la marca de cal. A la derecha se aprecia la excavación terminada.



- **Excavación de zanja perimetral:** posterior a la excavación de la fosa, se procede a excavar la zanja perimetral de 40 x 40 cm, a unos 60 cm del borde del reservorio, la cual sirve de sostén a la geomembrana.



- **Abertura para instalar el tubo de derivación:** el tractorista realiza un boquete o abertura en una de las paredes del talud, para colocar el tubo de derivación que debe salir de la base del reservorio, labor que se debe ejecutar antes de la instalación del geotextil y la geomembrana.



- **Acabado:** el tractorista realiza la labor de acabado, alisando las paredes del talud y la base del reservorio, para eliminar

protuberancias del terreno que puedan afectar la instalación del geotextil y la geomembrana.



- **Instalación del tubo de derivación:** se instala el tubo de derivación, el cual debe ser de presión, o sea, de una cédula o grosor SDR 26 por lo menos, porque debe soportar la presión de la tierra; luego el tractorista rellena y compacta la zanja para que el tubo quede enterrado, hasta la salida donde inicia la tubería de conducción.



- **Colocación del geotextil:** el geotextil es una tela no tejida (NT) que se coloca para proteger la geomembrana de cualquier alteración de la superficie donde se va a colocar, como presencia de piedras, raíces o afluencia de agua subterránea.



- **Colocación de la geomembrana:** se distribuyen en la fosa y el talud los rollos de geomembrana de 7 m. de ancho, se soldan con una máquina soldadora que trabaja por termofusión, que consiste en aplicar temperatura superior a 250 °C a una alta presión, de manera que queden las uniones sin fugas o aire interno; luego la geomembrana se ajusta en la zanja perimetral, con la tierra que se había extraído.



- **Remache del tubo enterrado:** se procede a la unión del tubo de derivación con la geomembrana por medio de un remache realizado con una máquina de termoextrusión, quedando fijo a la base del reservorio mediante una estructura cuadrada chorreada.



- **Ajuste de geomembrana:** la geomembrana se ajusta a la zanja perimetral con la misma tierra que se había sacado.



- **Instalación de la tubería de rebalse:** se instala el tubo de rebalse, de manera que no interfiera con la zanja y pueda descargar el exceso de agua a un área de drenaje natural en la finca.



- **Conexión de salida del tubo de derivación a la tubería de conducción:** el tubo de derivación que sale del reservorio se conecta al sistema de conducción, que lleva el agua hasta el sitio de aprovechamiento, ya sea un macrotúnel, una pequeña área de riego por goteo, un área de pasto de corte, una lechería, etc. y se regula con una llave de paso. Es recomendable instalar una tee con una llave de paso en la tubería de derivación, que permita evacuar sedimentos o cualquier otro tipo de basura que pueda obstaculizar el flujo normal de agua.



- **Vista general del reservorio terminado.** A la izquierda se observa el reservorio terminado con geomembrana instalada y ajustada a la zanja perimetral y a la derecha se aprecia el reservorio con agua cuyo nivel va a depender de la tubería de rebalse o drenaje que se observa al fondo.





Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria
Telefax: (506) 2296-2495 / Correo electrónico: transferencia@inta.go.cr
Página web INTA: www.inta.go.cr
Plataforma Gestión Conocimiento: www.platicar.go.cr