



SERVICIO
DE EXTENSIÓN
AGRÍCOLA™

UPR - RUM - CCA



Manual Uso eficiente del agua de riego en fincas de hortalizas y otros cultivos



**Empresa de Hortalizas
y Granos Básicos**

Universidad de Puerto Rico
Recinto Universitario de Mayagüez
Colegio de Ciencias Agrícolas
Servicio de Extensión Agrícola

Autores:

Gustavo A. Rodríguez, MSc
Sofía Macchiavelli Girón, PhD
Luis G. Sierra Rivera, MSc
Luis Alexis Rodríguez Cruz, PhD
Ermita Hernández, PhD
Eric Irizarry, MSc, PE

Revisor de contenido:

Eric Harmsen, PhD
Catedrático
Departamento Ingeniería Agrícola y Biosistemas
Recinto Universitario de Mayagüez

Universidad de Puerto Rico
Recinto Universitario de Mayagüez
Colegio de Ciencias Agrícolas
Servicio de Extensión Agrícola
Departamento de Agricultura de los Estados Unidos “USDA”
Instituto Internacional de Dasonomía Tropical del Servicio Forestal
Centro Climático del Caribe



**SERVICIO
DE EXTENSIÓN
AGRÍCOLA™**
UPR - RUM - CCA



*USDA es un Patrono con Igualdad de Oportunidades en el Empleo - M/F/V/I • USDA is an Equal Opportunity Provider and Employer - M/F/V/I
El Colegio de Ciencias Agrícolas del Recinto Universitario de Mayagüez (CCA-RUM) es un Patrono con Igualdad de Oportunidades en el Empleo -
M/F/V/I • The College of Agricultural Sciences of the Mayagüez University Campus (CCA-RUM) Is an Equal Opportunity Employer - M/F/V/I*

Introducción.....	4
Almacenamiento de agua en fincas de hortalizas	5
Cantidad de agua para almacenar.....	6
Opciones de almacenamiento de agua.....	7
La Ley FSMA y el almacenamiento de agua en fincas	9
Herramientas para la toma de decisiones en riego de hortalizas	10
Estaciones meteorológicas “ <i>Weather stations</i> ”	10
Pluviómetros	11
Sensores de humedad del suelo.....	11
Tensiómetros.....	12
Sensores remotos.....	13
Herramientas digitales para apoyar la toma de decisiones sobre el uso de agua de riego.....	14
Distribución eficiente del agua de riego al cultivo.....	16
El riego por goteo y sus ventajas	16
Partes de un sistema de riego por goteo.....	17
Estrategias para la conservación del agua agrícola	25
Referencias Bibliográficas.....	30

Introducción

El cambio climático en el Caribe ha causado un aumento en las temperaturas del aire y suelo, en la magnitud y frecuencia de los eventos extremos del clima y en la probabilidad de inundaciones y sequías severas (DRNA, 2008; Harmsen and Harmsen, 2019). Estos cambios alteran los procesos naturales de los ecosistemas forestales, urbanos, costeros y agrícolas. Interrupciones en la disponibilidad de agua a consecuencia de sequías, temporadas de lluvias acortadas, mayores temperaturas ambientales y desastres naturales, obligan a los agricultores a tomar medidas de mayor eficiencia en torno al uso de agua. Estudios han demostrado que afrontar pérdidas agrícolas sustanciales a causa de desastres naturales impulsa a los agricultores a considerar nuevas prácticas agrícolas (Rodríguez-Cruz et al., 2021). La cosecha, almacenamiento, uso eficiente y conservación del agua en suelos agrícolas se presentan como estrategias de resiliencia ante los efectos causados por el cambio climático en Puerto Rico.

El aumento en temperatura causa un incremento en la necesidad de agua para los cultivos agrícolas, que se añade a las condiciones complicadas de los agricultores puertorriqueños. Esto puede causar un aumento en la transpiración (pérdida de agua en forma de vapor a través de las hojas) y una mayor tasa de evaporación en el suelo, siendo los factores ambientales como el aire caliente, seco y ventoso en combinación con la radiación (luz solar) las principales razones del incremento en el uso de agua. La cantidad de agua que se pierde por evapotranspiración depende de la disponibilidad de agua en el suelo y de la capacidad de la planta para absorber y transpirar. Adicional a esto, diversos estudios predicen una reducción en la cantidad de lluvia desde ahora hasta el final del siglo, marcado por aumentos en eventos de sequía extrema (Meehl et al., 2007, Scatena, 1998). Esto puede convertir zonas de Puerto Rico que actualmente no requieren riego para la producción agrícola en zonas altamente dependientes de sistemas de riego suplementario. En los años 2014 al 2016 en Puerto Rico se registró una sequía severa que resultó en la implementación de un plan de racionamiento. La infraestructura de almacenamiento de agua en Puerto Rico se encuentra en un estado deteriorado resultando en disminuciones en la capacidad de almacenamiento entre 22% (en las reservas de Carite, Guayabal, Coamo, Patillas y Toa Vaca) a un 80% en la Reserva de Coamo (Harmsen and Harmsen, 2019). Adicional a esto, se calcula una pérdida de agua por liqueos en los canales de riego de 10 a 12% y una impresionante pérdida del 48.7% de las aguas liberadas de las plantas de tratamiento de la AAA (DRNA, 2008; Quiñones, Harmsen and Harmsen, 2019, comunicación personal al Dr. Harmsen).

En esta publicación se presentan recomendaciones prácticas sobre abastos mínimos para algunos cultivos, así como los métodos más comunes de almacenamiento de agua para la producción de hortalizas y otros cultivos. Además, se discuten herramientas físicas y digitales que ayudan al agricultor a tomar decisiones informadas respecto a la aplicación del agua de riego. Estas herramientas utilizan datos y mediciones que reducen la probabilidad de hacer aplicaciones de riego ineficientes. También, se hace una breve descripción de los sistemas de riego por goteo y sus ventajas en torno a la distribución de agua y eficiencia energética en comparación con otros



Foto 1. Charca de almacenamiento de agua de riego con protector de plástico. Tomado de Seal Eco, Värnamo. Suecia.

métodos de irrigación. Para finalizar se exponen diversas estrategias de conservación con el fin de aumentar la retención del agua en el suelo agrícola y el acceso de las plantas a esta.

Almacenamiento de agua en fincas de hortalizas

La precipitación es la primera fuente que el agricultor debe contabilizar como agua disponible en su finca. Sin embargo, el cambio climático trae consigo patrones de inestabilidad en la intensidad, duración y frecuencia de las lluvias. En eventos de sequía severa las fuentes recurrentes de agua para el uso agrícola pudieran verse interrumpidas. Esto puede empeorar bajo la implementación de planes de racionamiento y en la disminución en los caudales de lagos, ríos, quebradas y canales de riego. Por esta razón, se recomienda el almacenamiento de agua para fines de regadío de los cultivos (Foto 1). En las siguientes secciones incluimos unas cifras aproximadas que podrán servir de guía sobre cuánta agua almacenar y las diferentes estrategias para ello.

Cantidad de agua para almacenar

La cantidad de agua a almacenar debería como mínimo cubrir una semana de riego en la etapa de mayor consumo del cultivo. En la Tabla 1. se presentan cálculos realizados siguiendo la guía “FAO (1986). *Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs. Training manual no. 3.*”, la cual compara los requisitos hídricos máximos de los principales cultivos con los de una gramínea estándar. Esta información debe ser utilizada como una referencia general, y no debe considerarse como una recomendación específica para cada finca.

Tabla 1

Requisito máximo hídrico semanal por acre de varias hortalizas y otros cultivos

Cultivo	Necesidad hídrica diaria (gal/acre)	Necesidad hídrica semanal (gal/acre)	Pulgadas por acre semanal
Hortalizas			
Pepinillo	3,962	27,731	1.0
Calabaza (squash)	4,402	30,812	1.1
Zanahoria	4,402	30,812	1.1
Repollo	4,402	30,812	1.1
Lechuga	4,402	30,812	1.1
Melones	4,402	30,812	1.1
Cebollas	4,402	30,812	1.1
Pimientos	4,402	30,812	1.1
Tomate	4,842	33,894	1.2
Berenjena	4,842	33,894	1.2
Granos	4,842	33,894	1.2
Otros			
Tabaco	4,842	33,894	1.2
Girasoles	4,842	33,894	1.2
Frutales (sin cobertoras)	4,402	30,812	1.1
Frutales (con cobertoras)	5,282	36,975	1.4
Cítricos	3,081	21,569	0.8
Café	4,402	30,812	1.1
Cacao	4,402	30,812	1.1
Bananas	5,282	36,975	1.4
Caña de azúcar	5,282	36,975	1.4

Cantidad de riego calculado en comparación con los requisitos diarios máximos de una gramínea estándar durante la época de riego. Se asume zona subhúmeda con temperatura mayor a 77° Fahrenheit. Además, se asume una eficiencia de riego del 85% y una superficie irrigada del 50% del predio total. Para más detalles refiérase a la publicación FAO (1986). *Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs. Training manual no. 3.*

Opciones de almacenamiento de agua

La opción de almacenamiento de agua debe ajustarse al tamaño de la producción, la cantidad de agua a almacenar y la fuente de agua. Las estructuras típicas de almacenamiento de agua para riego son: tanques, cisternas, embalses, charcas y canales, entre otros.

Los tanques o reservas de almacenamiento de agua pueden ser elevados o enterrados parcial o completamente. Las reservas elevadas regularmente toman formas esféricas o cilíndricas y se colocan sobre columnas o pilotes. En Puerto Rico es más común la construcción de los tanques directamente sobre la superficie del suelo. Los tanques enterrados o construidos bajo la superficie del suelo se conocen como cisternas. La mayoría de los tanques se construyen con base rectangular o circular.

Las estructuras prefabricadas, las diseñadas y construidas adecuadamente para el almacenamiento del agua, así como los elementos de interconexión (tuberías, conexiones, cauces y zanjas) pueden tener pérdidas de agua. Es indispensable realizar trabajos de mantenimiento, establecer cubiertas, sombras y proteger e impermeabilizar las estructuras para evitar las pérdidas de agua por infiltración, evaporación y/o escapes.

Para establecer las estructuras necesarias para el almacenamiento de agua, debe determinar las necesidades de agua de los cultivos en su etapa adulta y en fructificación, así como otras necesidades en la finca. En el caso de utilizar estanques, charcas o lagos de almacenamiento debe compensar por la evaporación, la infiltración y el agua disponible en su fuente de abasto (lluvia, canal de riego, río, quebradas, etc.) durante eventos de sequía. Además, en cualquier condición climática, (época de lluvia o sequía) hay que evitar la contaminación del agua a almacenar para viabilizar su reutilización. Los factores comunes de contaminación del agua en zonas rurales son:

- Basura, desechos de industrias y residencias.
- Contaminación con desperdicios fecales de animales, por acceso directo a las fuentes de agua.
- El arrastre de pesticidas, fertilizantes y otras sustancias, debido a la escorrentía o por el agua de riego aguas abajo.
- El arrastre de sedimentos por escorrentía superficial.

Cisternas y tanques de agua

Estas son comúnmente utilizadas para almacenar poco volumen de agua (600 gal a 10,000 gal) aunque hay tanques de agua de tamaño industrial disponibles para almacenar hasta 100,000 galones. Por esta razón generalmente se utilizan en producciones de tres cuerdas o menos.

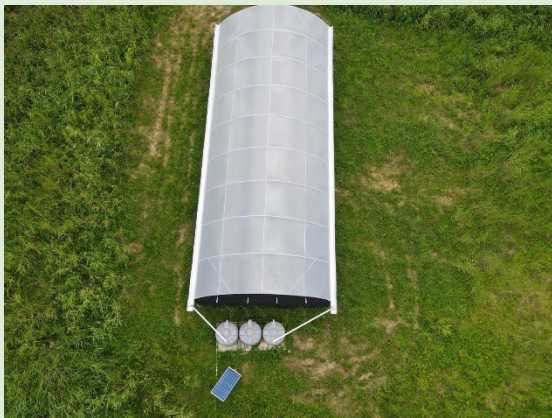


Foto 2. Cisternas para almacenamiento de agua de riego en “High Tunnel” con sistema de recogida de agua por canales y bomba de riego con sistema solar en Finca Guarapo La Cura, Bayamón. Tomada por Agro. Gustavo A. Rodríguez. Universidad de Puerto Rico.



Foto 3. Dos cisternas de 1,000 galones con sistema de bombeo para riego por goteo en producción comercial a pequeña escala en Finca Agraria, LLC en Toa Alta. Tomada por Agro. Gustavo A. Rodríguez. Universidad de Puerto Rico.



Foto 4. Sistema de recogida de agua de lluvia y almacenamiento en cisternas. Tomado de “Water Harvesting Catchment Factsheet” USDA/NRCS Caribbean Area.



Foto 5. Tanque de acero corrugado residencial/ industrial para almacenamiento hasta 100,000 galones. Tomado de “Contain Water Systems Inc”, Dripping Springs, Texas.

Charcas de riego

Las charcas de riego comúnmente se utilizan para almacenar mayores volúmenes de agua proveniente de fuentes naturales como pozos, ríos, quebradas y/o manantiales (Foto 6). Es importante conocer que para extraer o utilizar agua proveniente de fuentes naturales se requiere obtener permiso del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DRNA). Las charcas de almacenamiento requieren de un cuidadoso diseño, tienen que construirse de manera segura y que su funcionamiento hidrológico sea el adecuado. A modo de ejemplo, una charca con taludes interiores a proporción 2:1 que mida 45 pies de largo y 35 pies de ancho y posea una profundidad de 4 pies tendría una capacidad de almacenamiento de 30,525 galones. Así mismo, un tanque cilíndrico de 20 pies de diámetro x 12 pies de alto almacenaría unos 28,199 galones. Para asistencia técnica en el diseño de charcas para su producción se recomienda contactar las oficinas del USDA/NRCS, las oficinas de Ingeniería del Servicio de Extensión Agrícola o un ingeniero profesional y licenciado para ejercer la profesión en Puerto Rico.



Foto 6. Charca de almacenamiento de agua de riego en Proyecto Agroecológico El Josco Bravo, Toa Alta, Puerto Rico. Foto tomada por Juanma Pagán.

La Ley FSMA y el almacenamiento de agua en fincas

En el 2016 la agencia federal U.S. Food and Drug Administration (FDA) estableció la FDA Food Safety Modernization Act o FSMA en Puerto Rico. Este conjunto de reglas tiene el propósito de asegurar la seguridad y salubridad en el suplido de alimentos distribuyendo la responsabilidad entre los diferentes puntos de la cadena de suministro de alimentos para humanos y animales. Las reglas del FSMA están diseñadas para tomar acciones específicas con el fin de prevenir contaminación. De manera general, estas acciones deben ser implementadas por agricultores que hayan vendido \$25,000 o más por los últimos tres años y sean productores de cultivos que se consuman crudos (Ej.: lechuga, melón, recaó, guineos, etc.).



Foto 7. La ley FSMA utiliza los niveles de la bacteria *E. coli* como medida de la calidad del agua a utilizarse en el riego. Tomado de Freepic.diller 2023.

Al momento de esta publicación la agencia FDA se encuentra en proceso de implementar una nueva y más eficiente reglamentación referente al uso de agua precosecha (*FSMA Proposed Rule on Agricultural Water*), sin embargo, esta aún no ha sido finalizada y por ende la actual sigue en

vigencia. La reglamentación actual utiliza la presencia y cantidad de la bacteria *E.coli* como medida de la calidad del agua (Foto 7). La concentración permitida de la bacteria y el tipo y frecuencia de análisis a realizar varía dependiendo de la fuente de agua y el uso que se le dará a la misma (Ej. riego vs lavado del cultivo). Aguas provenientes de sistemas públicos de agua (Autoridad de Acueductos y Alcantarillados) quedan exentos de esta reglamentación. Para más información sobre esta reglamentación los exhortamos a visitar la página web de Ley FSMA.

Herramientas para la toma de decisiones en riego de hortalizas

Existen varias herramientas o instrumentos para facilitar la colección de datos ambientales en la finca (Estaciones meteorológicas, termómetros, pluviómetros, anemómetros, entre otros). Los datos obtenidos se utilizan para tomar decisiones en cuanto al itinerario de riego (cantidad de agua a aplicar y en qué momento se debe regar los predios). El uso adecuado de los instrumentos y las aplicaciones disponibles, así como la entrada de datos correctos nos ayudarán a mantener un cultivo saludable (menos enfermedades y estrés hídrico) y reduciría los costos de pérdidas económicas en la finca. Por ejemplo, Harmsen estima pérdidas económicas de hasta \$1,027 por acre a causa del uso ineficiente del riego en cultivos como la sandía y melones (Harmsen 2018).

Estaciones meteorológicas “Weather stations”

Las estaciones meteorológicas proveen información sobre precipitación, temperatura, humedad del suelo, velocidad y dirección del viento, radiación solar, entre otras cosas. Esto permite tomar decisiones usando datos más específicos a la situación particular de la finca. Muchas de las estaciones modernas tienen conexión directa con aplicaciones en el celular que usan la información para hacer recomendaciones de manejo (Foto 8). Además, la información queda guardada y se puede acceder fácilmente en la posteridad. Las estaciones meteorológicas son cada día más accesibles para los agricultores y el acceso a la información minimiza costos de insumos en la finca.



Foto 8: Estación meteorológica para uso agrícola. Estación Experimental Agrícola de Juana Díaz.

Pluviómetros

El pluviómetro es una herramienta económica utilizada para medir la cantidad de precipitación caída en su finca y los datos obtenidos se pueden utilizar para programar el itinerario de riego. Se recomienda instalar el pluviómetro a una altura aproximada de 5 pies (1.5 m) del suelo, en un poste fijo y que este no sobrepase la altura de la boca del pluviómetro de modo que su entrada quede horizontal y pueda coleccionar la lluvia. Debe estar instalado de manera que resista viento fuerte y alejado de animales, estructuras o árboles (a una distancia horizontal de por lo menos dos veces la altura del árbol o estructura más cercana) para evitar que pueda obstaculizar la colección de lluvia (Foto 9). Su mantenimiento incluye revisar que no tenga algún tipo de material como hojas, ramas, u otros. Hay pluviómetros manuales o automáticos que no requieren monitoreo constante del nivel de lluvia y pueden proveer datos de manera digital (Goyal 2012).



Foto 9: Pluviómetro manual. Tomado de Forestry Suppliers, Jackson, Missouri, USA.

Sensores de Humedad del Suelo

Existen distintos tipos de sensores de humedad del suelo y se clasifican de acuerdo a su tecnología:

- **Sensores terrestres (fijos o portátiles):** tipo de sensor de humedad que se instala en el suelo para conocer y controlar la humedad en la zona radicular.
- **Sensores aéreos:** tipo de sensor donde los datos se obtienen mediante vehículos aéreos no tripulados (drones).
- **Sensores satelitales:** estos estiman la humedad desde el espacio. No interfieren con las actividades de campo.

Los sistemas de sensores de humedad del suelo son vitales para la toma de decisiones a la hora de irrigar los cultivos. El no contar con datos sobre la humedad del suelo, nos puede llevar a tomar acciones erróneas. La falta de humedad en el suelo debido a la aplicación tardía de riego en el cultivo puede provocar marchitamiento, debido a que las plantas tratarán de absorber la escasa agua del suelo con sus raíces, no teniendo energía suficiente para madurar y eventualmente obtener buenas cosechas. Por el contrario, tener la humedad necesaria (rango de agua disponible), condiciona a las plantas a sobrevivir a eventos de estrés, lo que las mantiene sanas y a poder alcanzar un desarrollo pleno.

Tensiómetros

Los tensiómetros son aparatos de alta confiabilidad que miden la tensión o fuerza real que han de realizar las raíces para absorber el agua del terreno (Imagen 1). Esta información nos permite decidir el mejor momento para aplicar agua de riego al cultivo. Esto ayuda a tomar decisiones informadas sobre el riego en la finca y entender si hay problemas de salinidad en el suelo. Las desventajas son la labor de instalación y su mantenimiento. Aunque algunos tensiómetros básicos son más accesibles económicamente comparados a sensores remotos o inalámbricos, estos requieren mucho más tiempo y labor manual. Este instrumento debe quedar fijo en un área y no tener obstáculos a su alrededor, que puede ser complicado para una finca donde haya mucho movimiento de maquinaria (Goyal 2012). Los tensiómetros trabajan en el rango de 0 a 80 centibares, y cada rango en el medio sirve de indicador para tomar decisiones en la finca sobre el uso del agua (Tabla 2) (Comas et. al 2021). Los factores para considerar en la estación de tensiómetros son los siguientes:

- **Topografía** - En terrenos accidentados se instalan dos estaciones, una en la parte alta y otra en la parte baja.
- **Tipo de suelo** - Instalar una estación por cada tipo de suelo (estos tienen diversas tasas de infiltración y retención de humedad).
- **Tipo de sistema de riego.**
- **Grado de control deseado.**

Es importante ubicar la estación donde pueda ser alcanzada por el agua de riego y la lluvia. Se recomienda utilizar como mínimo 2 tensiómetros en un predio: uno a nivel de las raíces superficiales y otro a la profundidad máxima de las raíces. De esta forma se puede monitorear el movimiento del agua por la zona radicular, ya que el agua no es útil para el cultivo si ha pasado esa zona (infiltración hacia el subsuelo). Las profundidades a las que se recomienda instalar los tensiómetros van a depender del cultivo. En el caso de las Cucúrbitas como la sandía y calabazas en Puerto Rico se recomienda colocar los tensiómetros entre 6 y 12 pulgadas de profundidad y mantener lecturas a menos de 45 cb (Cortés Pérez, 2015 y Román Paoli, 2012). En el caso de las Solanáceas, específicamente en la costa sur, se recomienda colocar los tensiómetros a 12 pulgadas de profundidad en el suelo y mantener las lecturas entre 0 y 45 cb (Rivera, 2019). Para las Brassicas, como el repollo y coliflor se recomienda entre 12 a 24 pulgadas y mantenerlo a menos de 45 cb (Resource Conservation District of Monterey County, n.d.). Al monitorear el diferencial de tiempo entre los valores de dos tensiómetros a distintas profundidades podemos tener una idea de la velocidad de infiltración. Las mediciones arrojadas por el tensiómetro son útiles para planificar el riego con mucha más precisión y utilizar el agua de manera más eficiente en la finca.

Sensores Remotos

Los sensores remotos en la agricultura son sistemas que captan información de los cultivos de manera remota con la utilización de tecnologías como cámaras en tractores, drones, aviones, satélites, entre otros. Se puede utilizar esta información para tomar todo tipo de decisiones sobre producción, como preparación de terreno, siembra, aplicación de productos, etc. (Khanal, S. et al. 2020). Entre estas aplicaciones, los sensores remotos pueden recolectar datos sobre la humedad del suelo, que puede ayudar a tomar decisiones de riego y uso de agua de manera precisa. De forma tal, que el agua se puede utilizar más eficientemente, reduciendo costos e impactos ambientales.

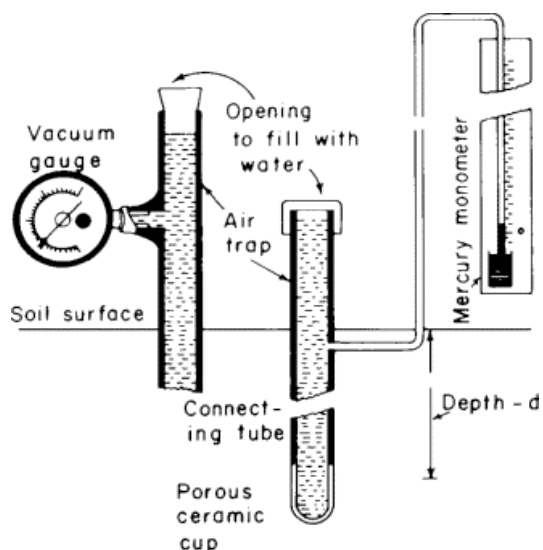


Imagen 1: Partes básicas de un tensiómetro. Tomado de M.B. Kirkham, in Principles of Soil and Plant Water Relations (Second Edition), 2014.

Tabla 2

Interpretación de los valores del tensiómetro
Adoptado de Comas et. al 2021.

Valores de tensiómetro	Significado
0 - 10 cb.	Saturación del suelo
10 - 20 cb.	Capacidad de campo
20 - 60 cb.	Agua útil para las plantas
> 60 cb.	Falta de agua

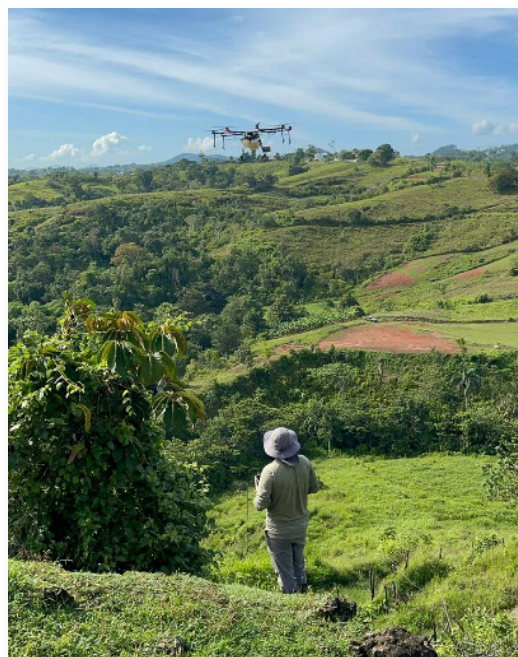


Foto 10: Uso de tecnología de sensores remotos, específicamente de 'drones' en una finca. Tomado por Caribe Drones, Puerto Rico.

Herramientas digitales para apoyar la toma de decisiones sobre el uso de agua de riego

El Centro Climático del Caribe del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (*USDA Caribbean Climate Hub*) ha desarrollado y colabora en la facilitación de herramientas que ayudan a conocer los impactos climáticos en terrenos agrícolas y monitorean las condiciones de sequía y humedad en ellos. Tener ese conocimiento, al igual que un registro constante de datos, puede ayudar en el manejo de la finca y en comunicar necesidades a agencias gubernamentales.

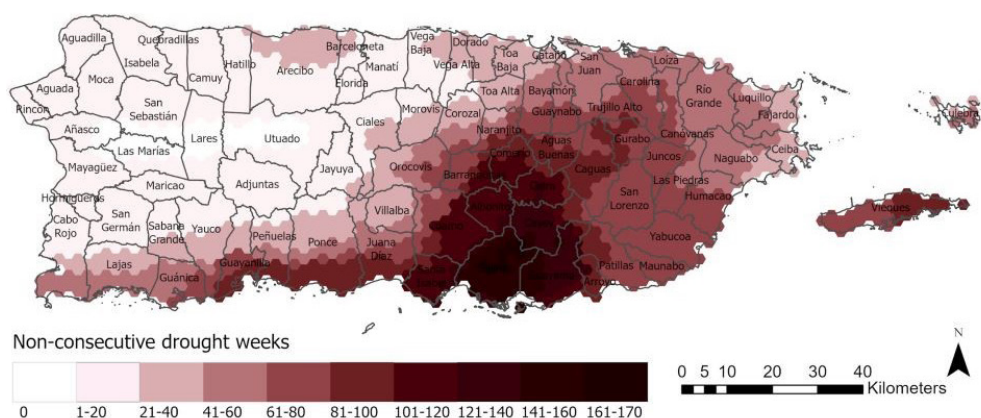


Imagen 2: Acumulación de semanas no consecutivas con condiciones de sequía del 2000-2020. El mapa representa semanas con condiciones moderadas, severas y extremas. Tomado de Holupchinski, 2022.

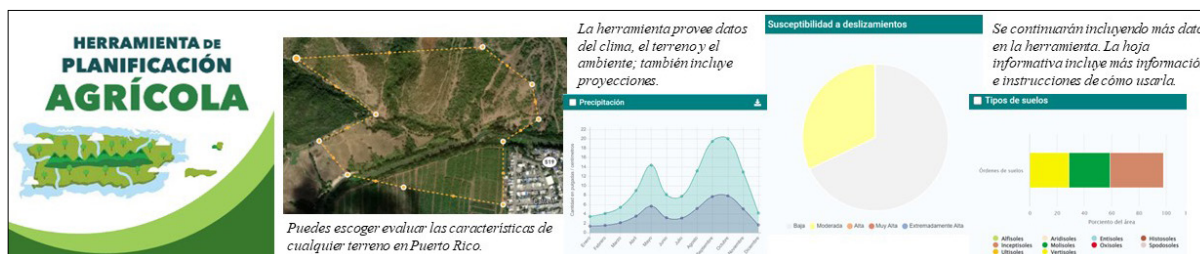


Imagen 3: Datos que produce la Herramienta de Planificación Agrícola. Tomado de Caribbean Climate Hub (<https://farm.caribbeanclimatehub.org/>)

La Herramienta de Planificación Agrícola (Imagen 3) le puede ayudar a desarrollar un resumen de varias características de su finca. Particularmente, le provee datos de la temperatura promedio por mes, la lluvia promedio por mes, al igual que las proyecciones de temperatura y lluvia para esa área, entre otros datos.



Imagen 4: Datos que produce la herramienta CMOR. Tomado de Centro climático del Caribe (<https://caribbeanclimatehub.org/informes-de-observacion-y-monitoreo-de-la-sequia/?lang=es>).

La red de Informes de Observadores de Condiciones sobre Sequía (CMOR-Drought) (Imagen 4) le permite tener registro virtual sobre los impactos de sequía y lluvia en su finca. Puede subir fotos a su informe para tener un registro más completo. Al hacerlo, los datos son proyectados en un mapa y serán utilizados por el Monitor de Sequía de los Estados Unidos. La información será de gran ayuda para identificar las áreas que necesitan más atención y también para elaborar mapas de impactos de sequía, utilizados para activar las ayudas a los agricultores.

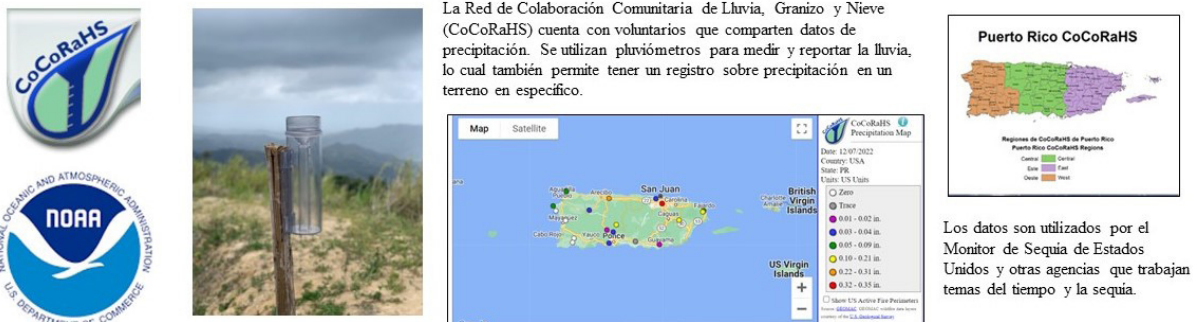


Imagen 5: Datos que produce la herramienta CoCoRaHS. Tomado de Community Collaborative Rain, Hail and Snow Network (<https://www.cocorahs.org/state.aspx?state=pr>).

La Red de Colaboración Comunitaria de Lluvia, Nieve y Granizo (CoCoRaHS) (Imagen 5) promueve el uso de pluviómetros manuales para medir la precipitación en su terreno y compartirla con su comunidad, meteorólogos, científicos y agencias de gobierno. Los datos luego los sube a la red CoCoRaHS en línea y estos se proyectan en un mapa.

Si desea más información sobre alguna de estas herramientas o sobre la red CoCoRaHS, comuníquese al 787-764-7111 o escriba un correo electrónico a caribbeanclimatehub@gmail.com.

Distribución eficiente del agua de riego al cultivo




El riego por goteo y sus ventajas

Los sistemas de riego por goteo modernos se desarrollaron en los años 70 y presentan un sinnúmero de ventajas comparadas con otras tecnologías como el riego por aspersión y el riego por inundación (Tabla 3). El mayor beneficio de los sistemas de riego por goteo es su alta eficiencia en el uso del agua. Estos alcanzan hasta 95% de rendimiento en sistemas bien diseñados y mantenidos, reduciendo así entre un 50% y 60% la cantidad de agua utilizada (Goyal, 2012). Esto se debe a que los sistemas de riego por goteo no mojan espacio entre hileras, ni el follaje del cultivo y típicamente no pierden agua por escorrentías. Son considerados el mejor tipo de sistema para fincas con mucha pendiente y pueden ser adaptados a diferentes diseños de predios (Charles B. & Styles S. W., 2016). Los sistemas de riego por goteo ofrecen beneficios agronómicos como aplicar fertilizantes y plaguicidas, automatizar el sistema, seguir trabajando en el cultivo mientras se riega y disminuir la cantidad de malezas en el área entre hileras. Las mayores desventajas de estos sistemas recaen en la elevada inversión inicial, la dependencia de sistemas eficientes de filtración y la necesidad de una mayor tecnificación del agricultor para instalar y mantener el sistema (Comas M. et al., 2021).

Tabla 3

Comparación de beneficios de los principales tipos de sistemas de riego

	Tipo de Sistema de Riego			
	Inundación	Inundación del surco	Aéreo (Sprinkler)	Goteo/Micro
Pérdida por evaporación	Beneficio mínimo	Beneficio mínimo	Beneficio moderado	Beneficio máximo
Humedad en el follaje	Beneficio mínimo	Beneficio moderado	Beneficio mínimo	Beneficio máximo
Consumo de agua por malezas	Beneficio mínimo	Beneficio mínimo	Beneficio mínimo	Beneficio máximo
Escorrentías	Beneficio mínimo	Beneficio mínimo	Beneficio moderado	Beneficio máximo
Control de la profundidad del riego	Beneficio mínimo	Beneficio mínimo	Beneficio moderado	Beneficio máximo
Rendimiento del cultivo por unidad de agua aplicada	Beneficio mínimo	Beneficio mínimo	Beneficio moderado	Beneficio máximo
Uniformidad en el rendimiento del cultivo	Beneficio mínimo	Beneficio moderado	Beneficio moderado	Beneficio máximo
Aeración del suelo	Beneficio mínimo	Beneficio moderado	Beneficio moderado	Beneficio máximo
Interferencia del riego con otras tareas	Beneficio máximo	Beneficio máximo	Beneficio mínimo	Beneficio máximo

Legenda:  Beneficio mínimo  Beneficio moderado  Beneficio máximo

Aplicación de fertilizantes y plaguicidas por el riego	Beneficio mínimo	Beneficio mínimo	Beneficio moderado	Beneficio máximo
Costos de operación y labor	Beneficio máximo	Beneficio máximo	Beneficio moderado	Beneficio mínimo
Requisitos de nivelación del suelo	Beneficio mínimo	Beneficio mínimo	Beneficio moderado	Beneficio máximo
Capacidad de automatizar el sistema	Beneficio mínimo	Beneficio mínimo	Beneficio máximo	Beneficio máximo
Requisitos energéticos del sistema	Beneficio máximo	Beneficio máximo	Beneficio mínimo	Beneficio moderado
Requisitos de calidad del agua	Beneficio máximo	Beneficio máximo	Beneficio moderado	Beneficio mínimo
Necesidad de filtración	Beneficio máximo	Beneficio máximo	Beneficio moderado	Beneficio mínimo
Control de plagas y enfermedades	Beneficio mínimo	Beneficio mínimo	Beneficio máximo	Beneficio máximo

Legenda:  Beneficio mínimo  Beneficio moderado  Beneficio máximo

Adaptado de la tabla “*Comparison of irrigation methods*”. Goyal, 2012.

Partes de un sistema de riego por goteo

Sistemas de bombeo de agua

Una bomba es necesaria para transmitir al agua la energía necesaria según la presión y caudal requerido por el sistema de riego. Son utilizadas cuando no se puede utilizar la fuerza de gravedad no es suficiente para que el agua llegue al punto más alejado o desfavorable en el sistema. Hay distintos tipos de bombas según el principio de operación.

Tipos de bombas más utilizadas en los sistemas de riego:

- **Bombas centrífugas (Foto 11)** - Típicamente eléctricas, están diseñadas para mover grandes cantidades de agua y su operación se basa en la fuerza generada por el impulsor que gira a alta velocidad.
- **Bombas sumergibles (Foto 12)** - Utilizadas para extraer agua de pozos profundos.
- **Bombas de engranaje de PTO (Foto 13)** - Convierten la potencia del motor de un tractor en potencia hidráulica, aumentando la versatilidad de estos.

Las bombas eléctricas son recomendadas debido a su eficiencia en el uso de la energía. Si su finca no tiene instalaciones eléctricas adecuadas entonces requerirá una bomba de gasolina o de diésel (Foto 14). Otra alternativa es utilizar la energía solar para mover los motores de las bombas (Foto 15). Elegir una bomba del tamaño correcto es vital para un buen funcionamiento del sistema.

Datos requeridos para calcular el tamaño de una bomba de riego (Goyal, 2012):

1. Cantidad de agua necesaria (caudal): Se calcula dependiendo de la descarga de agua del sistema al cultivo y típicamente se expresa en GPM (gal/min) o m³/hr.
2. Carga dinámica total (TDH): Son las pérdidas y ganancias de energía del sistema. Es determinada por la presión requerida debido a las pérdidas por fricción en las líneas de riego, en los accesorios “fittings” y equipos, y se ve afectado por los cambios en elevación de la finca. Es indispensable considerar la distancia desde la fuente de agua hasta la bomba.
3. Pérdidas de presión por fricción: Se dividen en pérdidas primarias y secundarias.
 - a. Las pérdidas primarias se producen cuando el flujo entra en contacto con la superficie interna de la tubería.
 - b. Las pérdidas secundarias se producen en las transiciones de las tuberías (expansión o disminución del área) y en todos los accesorios (filtros, válvulas, etc.)

Las pérdidas por fricción aumentan con la longitud del sistema, la utilización de curvas o codos y el uso de accesorios. Además, esta medida se ve afectada según aumenta la velocidad del líquido en la tubería. Se logra reducir utilizando tuberías con factores de rugosidad bajos (tuberías más lisas internamente). Típicamente la presión se expresa en psi (lbs/in²). Se calculan con la ayuda de ecuaciones desarrolladas empíricamente.



Foto 11. Bombas centrífugas verticales, eléctricas, comúnmente utilizadas en sistemas de riego por goteo. Tomado de ITT Goulds Pumps Inc, N.Y., Estados Unidos.



Foto 12. Bomba sumergible para pozos. Tomado de Flint & Walling, Kendallville, Indiana, Estados Unidos.



Foto 13. Bombas de engranaje de PTO. Tomado de Weis Engineering Ltd, Uganda, África.



Foto 14. Bomba de alta presión. Usa gasolina para operar. Útil para fincas sin servicio eléctrico. Tomado de AMT Pump Company, A Gorman-Rupp Company, Pennsylvania, Estados Unidos.



Foto 15. Bomba de riego solar. Tomado de Ennos Ag, Merzligen, Suiza.

Sistemas de filtración

Los filtros o sistemas de filtración son parte esencial de un sistema de riego por goteo debido a su predisposición a taparse por residuos de algas, bacterias, raíces, arena y otros materiales en el agua (Tabla 4). Un análisis del agua de riego le ayudará a seleccionar el tipo de filtración necesaria.

Tabla 4.

Parámetros de calidad de agua y la posibilidad de tapar emisores (Goyal, 1990)

Característica química	baja	moderada	severa
PH	< 7.0	7.0 – 8.0	> 8.0
Bicarbonato (ppm)		< 100.0	
Hierro (ppm)	< 0.2	0.2 – 1.5	> 1.5
Sulfatos (ppm)	< 0.2	0.2 – 2.0	> 2.0
Manganeso (ppm)	< 0.1	0.1 – 1.5	> 1.5

Los mecanismos de filtración más comunes en los sistemas de riego por goteo son:

Filtros de arena: Típicamente utilizados en producciones grandes cuando se utiliza agua superficial (lagos, ríos, quebradas, canales de riego) (Foto 16). Requieren filtros secundarios para evitar la entrada de partículas de menor tamaño al sistema de distribución. Para conocer el tipo de filtro a usar según los elementos presentes en el agua favor ver la **Tabla 5**.

Filtro hidrociclón: El separador de arena hidrociclón crea una acción centrífuga que mueve el agua alrededor del borde del cuerpo, arrojando la arena y los materiales pesados al exterior. Utilizado en pozos profundos donde el agua contiene alta cantidad de arena en suspensión, se instala antes del filtro de arena (Foto 17).



Foto 16. Filtros de arena. Tomado de The Toro Company, Bloomington, Minnesota, Estados Unidos.



Foto 17. Filtro hidrociclón remueve la arena antes del componente principal de riego. Tomado de Rivulis, Kibbutz Gvat, Valle Jezreel, Israel.

Filtros de discos: Utilizados como filtros secundarios (luego de un filtro primario) o filtros primarios en fincas pequeñas (Fotos 18 y 19). Se recomienda para fuentes de agua con mucha materia orgánica como lagos y charcas.

Filtros de malla: Se utilizan como filtros secundarios o como filtros primarios en producciones pequeñas (Fotos 20 y 21). Recomendado para fuentes de agua con mucho sedimento como pozos y ríos.

Tabla 5

Necesidad de filtro según los elementos presentes en el agua de riego

Elementos en el agua	Tipo de filtro		
	Hidrociclón	Grava o arena	Mallas y discos
Arena	Sí	No	Sí
Limos y arcillas	No	Sí	Sí
Sustancias orgánicas	No	Sí	Sí

Medidores de flujo de agua

El medidor de flujo de agua ofrece información sobre el caudal total de agua servida (Foto 22). Nos permite ajustar la dosificación de químicos, detectar fallas en el sistema y suplir la demanda correcta de agua. Típicamente se instala luego del sistema de filtración y en conjunto con el medidor de presión ofrece información sobre la salud del sistema. Por ejemplo, un flujo de agua alterado puede ser indicio de liqueos o bloqueos en el sistema.



Foto 18. Filtro de disco para sistemas de riego a mediana escala. Tomado de Netafim Ltd. Tel Aviv, Israel.



Foto 19. Filtro de disco para sistemas de riego a pequeña escala. Tomado de Rivulis, Kibbutz Gvat, Valle Jezreel, Israel.



Foto 20. Filtro de malla para sistemas de riego a mediana escala. Tomado de Netafim Ltd. Tel Aviv, Israel.



Foto 21. Filtro de malla para sistemas de riego a pequeña escala. Tomado de Rivulis, Kibbutz Gvat, Valle Jezreel, Israel.



Foto 22. Medidor de flujo de agua para sistemas de riego. Tomado de Hunter Industries, San Marcos, California, Estados Unidos.

Medidores de presión (manómetros)

Los manómetros miden la presión del agua en el sistema de riego (Foto 23). Los sistemas de riego por goteo típicamente requieren entre 20 a 30 PSI para un buen funcionamiento, dependiendo del diseño y marca. Usualmente se instala uno antes y otro después del sistema de filtración, y luego manómetros adicionales al comienzo de cada zona a regar. Algunos fabricantes ofrecen conectores para medir presión directamente en las líneas de goteo (Foto 24).

Reguladores de presión

Los reguladores de presión están diseñados para controlar la presión de agua en el sistema (Foto 25). Presiones excesivas pueden averiar las líneas de goteo y causar liqueos en los puntos de conexión. Se recomienda ubicar reguladores de presión en la entrada y salida del sistema de filtración, además en la entrada a cada zona de riego para asegurar una presión adecuada en ellas.

Ventosas

Los sistemas de riego por goteo pueden tener acumulaciones de aire. Esto puede causar problemas de impacto graves (golpe de ariete) en las curvas y conexiones de las tuberías. Para minimizar esto se deben instalar ventosas luego del sistema de filtración, cada 1,320 pies en las líneas principales, en todos los puntos altos de la finca y en los puntos donde la tubería empieza a ir colina abajo. Luego del sistema de bombeo y del sistema de filtración se recomienda usar ventosas de liberación continua las cuales realizan su función aun cuando hay agua en las tuberías (Charles B. & Styles S. W., 2016) (Foto 26).



Foto 23. Medidores de presión o manómetros. Tomado de Automat Industries, Nueva Delhi, India.



Foto 24. Medidores de presión con aguja para insertar en línea de distribución de riego. Tomado de Jain Irrigation Systems Limited, Jalgaon, Maharashtra, India.



Foto 25. Regulador de presión para sistema de riego. Tomado de Netafim Ltd. Tel Aviv, Israel.



Foto 26. Diferentes tipos de ventosas. Tomado de Rivulis, Kibbutz Gvat, Jezreel Valley, Israel.

Válvulas de control

Existe una gran cantidad de válvulas a utilizar en los sistemas de riego. Donde tengamos bombas instaladas vamos a tener también válvulas en uso. Las válvulas son necesarias para controlar los procesos y tienen varios usos, tales como:

- Detener, regular o separar el flujo de agua o productos químicos.
- Regular presión.
- Prevenir el flujo invertido.
- Descargar presión.

Válvulas de control manual

Utilizadas para controlar el flujo de agua en el sistema de riego (Foto 27). Las válvulas de bola “ball valve”, de mariposa “butterfly valve” y de portón “gate valve” no se utilizan para modular el flujo sino se utilizan completamente abiertas o cerradas. La válvula de globo (“globe valve”) se puede abrir a medias para regular el flujo de ser necesario.

Las válvulas “check valve” permiten el paso del agua en una sola dirección y se recomiendan instalar después del sistema de bombeo, filtración e inyección para evitar la entrada de agua a estos en dirección contraria (Foto 28).

Válvulas de control electrónicas

Las válvulas electrónicas permiten la apertura y cierre del flujo de agua de manera automatizada. Estas requieren energía eléctrica, solar o de batería (Fotos 29 y 30).



Foto 30. Válvula electrónica con control de batería para situaciones donde se desea automatizar una zona de riego, pero no hay conexión eléctrica. Tomado de Hunter Industries, San Marcos, California, Estados Unidos.



Foto 27. Válvula hidráulica para sistema de riego. Tomado de Rivulis, Kibbutz Gvat, Jezreel Valley, Israel.



Foto 28. Las válvulas “check valve” permiten el paso del agua en una sola dirección. Tomado de Jain Irrigation Systems Limited, Jalgaon, Maharashtra, India.



Foto 29. Válvula electrónica. Tomado de The Toro Company, Bloomington, Minnesota, Estados Unidos.

Líneas de distribución principal

Para suplir el suministro de agua en los sistemas de riego se necesita una red de distribución compuesto por tuberías primarias, secundarias y terciarias. Estas están construidas en materiales como el aluminio, el cloruro de polivinilo (PVC) y el polietileno (PE) (Foto 31). Las más usadas en los sistemas de riego son las tuberías de PVC y/o de polietileno. Su diámetro dependerá del caudal de agua a distribuir. Un cuidadoso diseño de estas debe ser realizado para asegurar un movimiento eficiente del agua hasta el punto de riego. Los agentes agrícolas del Servicio de Extensión Agrícola pueden asistir en el diseño preliminar del sistema, en adición existen aplicaciones informáticas para facilitar los cálculos hidráulicos necesarios.

Líneas de distribución secundarias

Se recomienda utilizar tubería flexible a la cual se le conectan las líneas de distribución del agua de riego (Foto 32).

Líneas de distribución de riego

1. Con emisores integrados-

Estas pueden ser aplanadas, las cuales se ponen túrgidas una vez se llenan de agua, comúnmente conocidas como cintas o “tapes” (Foto 33). Las cintas ofrecen la ventaja de ser livianas, fáciles de manejar y económicas. Comercialmente están disponibles con goteros a distancias predeterminadas de 4” a 24” dependiendo del cultivo y caudal necesario. Otras líneas de goteo son fijas, las cuales no se aplanan al vaciarse. Estas suelen ser utilizadas en cultivos perennes como frutales, viñedos, parchas, etc... Los emisores o goteros con compensación de presión “pressure compensating” son recomendados para fincas con inclinación para controlar la uniformidad en el sistema de riego.

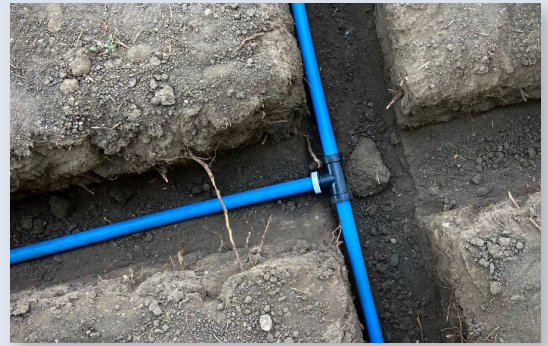


Foto 31. Líneas de distribución principal soterradas en polietileno. Tomado de Shutterstock.com



Foto 32. Tubería flexible y “fittings” para distribución secundaria. Tomado de Rivulis, Kibbutz Gvat, Jezreel Valley, Israel.

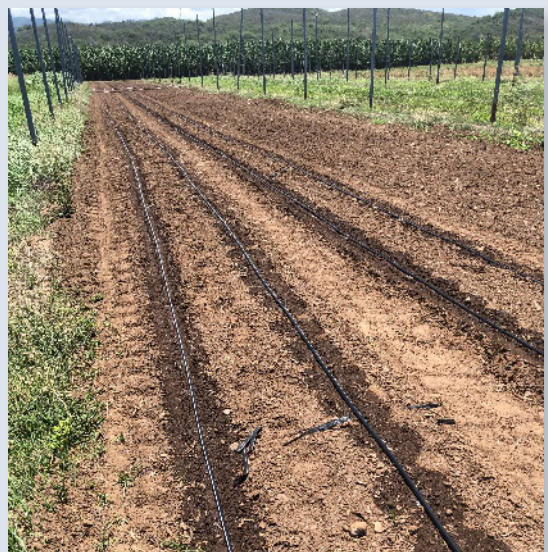


Foto 33. Líneas de distribución de riego tipo cinta en predio de cultivo de maíz dulce. Estación Experimental Agrícola, Juana Díaz. Tomado de Agro. Gustavo A. Rodríguez, Universidad de Puerto Rico.



Foto 34. Líneas de distribución de riego con emisor externo. Tomado de MIT Gear Lab, Cambridge MA, Estado Unidos.



Foto 35. Unión para cinta de riego por goteo. Tomado de Rivulis, Kibbutz Gvat, Jezreel Valley, Israel.

2. Sin emisores integrados-

Coloquialmente conocidos como “ciegos”, ofrecen la ventaja que el agricultor puede instalar goteros según su necesidad (Foto 34).

Uniones “Fittings”

Existen una diversidad de uniones “fittings” para conectar las líneas de distribución secundaria y las líneas de distribución de riego (Foto 35). Otras uniones pueden ser utilizadas para reparar roturas en las líneas de distribución y para los puntos terminales de estas.

Diagrama de sistema de riego por goteo

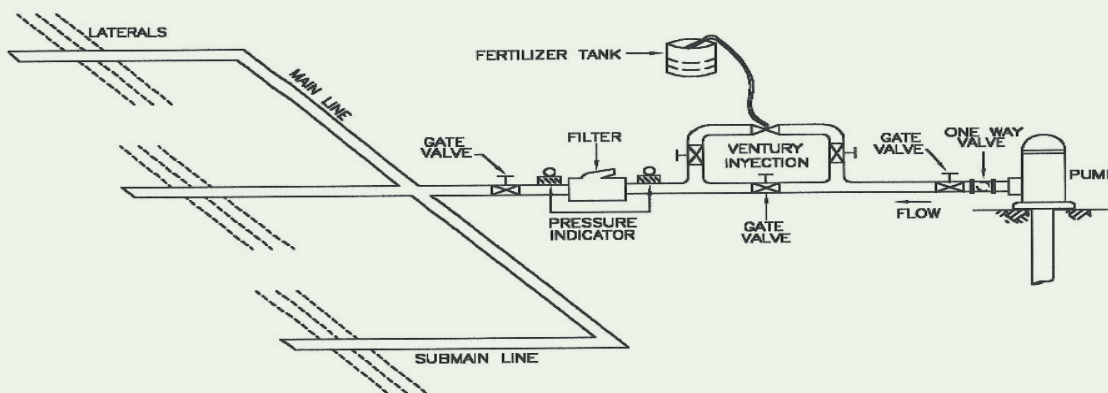


Imagen 6. Diagrama de sistema de riego por goteo con sus partes. Producido por la Oficina de Ingeniería Agrícola, Servicio de Extensión Agrícola.

Estrategias para la conservación del agua agrícola

Los productores agrícolas cada vez se encuentran con retos mayores en la producción de sus cosechas. Algunas de las causas son los altos costos de los insumos agrícolas, además de los cambios climáticos como sequías o eventos fuertes de lluvias los cuales afectan el desarrollo óptimo de los cultivos.

Es de suma importancia que los productores se capaciten e implementen prácticas de conservación en sus fincas para reducir la pérdida de agua y suelo por escorrentías además de mejorar la fertilidad de los suelos para un mejor desarrollo de sus hortalizas.

Algunas de las prácticas de conservación que se pueden implementar son:

- 💧 siembras al contorno
- 💧 zanjas de ladera
- 💧 barreras vegetativas
- 💧 utilización de plantas cobertoras
- 💧 cubiertas plásticas o biodegradables
- 💧 uso de composta (materia orgánica)
- 💧 labranza de conservación o labranza mínima

El uso de estas técnicas o prácticas de conservación en fincas agrícolas ayudan a preservar y mejorar los recursos naturales aumentando la retención de agua por mayor tiempo en los suelos evitando la pérdida por evapotranspiración y la infiltración de agua en el suelo. Además, a largo plazo estas mejoran las características físicas, químicas y biológicas de los suelos.

Siembra al contorno

En la zona montañosa de Puerto Rico se recomienda la práctica de siembra al contorno. Esta práctica consiste en preparar las zanjas de laderas y los surcos para la siembra los cuales van en contra de la pendiente siguiendo las curvas a nivel (Fotos 36 y 37). Es una práctica recomendada para evitar las escorrentías a causa de eventos de lluvia fuertes ya que el agua pierde velocidad entre los surcos.

Zanjas de ladera

En suelos con pendientes mayor a 5% se recomienda establecer zanjas de ladera. Es importante conocer el porcentaje de inclinación ya que esta va a determinar a qué distancia se establecerá la siguiente zanja. Las zanjas se pueden establecer desde la parte superior o más alta del predio, de esta manera se recogen las aguas que en exceso pueden entrar al predio. La construcción de las zanjas en su mayoría se realiza con herramientas manuales y estas deben tener 12 pulgadas de profundidad y 12 pulgadas de ancho (Febles et al., 2010). Estas distribuyen el agua de lluvia



Foto 36. Vista área de predios donde se realizó labranza al contorno (surcos) en la zona montañosa. Tomado de Castastro, CRIM.



Foto 37. Siembras de cultivos al contorno y zanjas de ladera. Finca La Victoria en San Sebastián, PR. Tomado de Agro. Wesley Velázquez.

y la dirigen a una zona de captación ya designada o un desagüe natural como lo puede ser un camino con vegetación estable. Esta práctica ofrece varios beneficios, incluyendo la reducción de escorrentías y el aumento de infiltración del agua al suelo. Luego de establecer las zanjas de ladera se marcan los surcos al contorno para establecer la siembra. Para marcar el porcentaje de inclinación puedes solicitar el servicio a las oficinas de Servicio de Conservación de Suelo (siglas en ingles NRCS).

Barreras vegetativas

Las barreras vegetativas son franjas o hileras de plantas perennes sembradas al contorno con el fin de reducir las escorrentías y promover la infiltración del agua en una finca. Aunque se requiere de más investigación científica sobre que plantas usar y/o el método adecuado de estas barreras vegetativas en la producción de hortalizas en Puerto Rico, el vetiver o pacholí (*Chrysopogon zizanioides*) es una planta que ha demostrado su adaptabilidad en la Isla, esta puede reducir erosión del suelo de pendientes entre 30 y 40% debido a que posee un sistema radicular fuerte, compacto y con tallos rígidos (Foto 38).



Foto 38. Barrera Vegetativa de Vetiver. Captura sedimentos y otro particulado antes de entrar al mar. Playa Tamarindo, Culebra, Puerto Rico. Instituto de Agricultura Tropical y Ambiente, Inc. Tomado de Agro. Edrick Marrero.

Plantas cobertoras

Estas plantas protegen el suelo de las lluvias fuertes, evitan las escorrentías favoreciendo la infiltración del agua y reduciendo la evaporación, incrementando así el uso eficiente del agua entre otros beneficios (Fotos 39-41). Algunas de las plantas más utilizadas son canavalia (*Canavalia ensiformes*), crotalaria (*Crotalaria juncea*) y mucuna (*Mucuna pruriens*) (Tabla 6). Estas pueden ser cortadas y dejadas como residuo o mantillo “mulch” en el suelo para conservar el agua o pueden ser incorporadas como composta verde. Estudios científicos han demostrado que la incorporación de estas plantas en el suelo puede aumentar la estabilidad de agregados y disminuir la resistencia a penetración del agua en el suelo, entre otros (Rivera A. 2022).



Foto 39. Cultivo de la *Crotalaria*. Tomado por Alfredo Aponte, Estación Experimental Agrícola, Gurabo, Puerto Rico.

Tabla 6. Plantas recomendadas para utilizar como cobertoras en fincas agrícolas.

Nombre común	Nombre científico
Plantas fijadoras de nitrógeno	
Canavalia o “Jack Bean”/ “Sword Bean”	<i>Canavalia ensiformis</i>
Crotalaria “Sunn Hemp”	<i>Crotalaria juncea</i>
Mucuna “Velvet bean”	<i>Mucuna pruriens</i>
Caupí “Cowpea”	<i>Vigna unguiculata</i>
Lablab “Hyacinthbean”	<i>Lablab purpureus</i>
Plantas no fijadoras de nitrógeno	
Girasol “Sunflower”	<i>Helianthus annuus</i>
Rábano “Radish”	<i>Raphanus sativus</i> va. <i>longipinnatus</i>
Hoja de mostaza “Leaf Mustard”	<i>Brassica juncea</i>
Sorgo “Sorgum-sudangrass”	<i>Sorghum bicolor</i> x <i>S. bicolor</i> var. <i>sudanese</i>
Millo Perla “Pearl Millet”	<i>Penisetum glaucum</i>
Sésamo “Sesame”	<i>Sesamum orientale</i>



Foto 40. Siembra de Canavalia entre hileras del cultivo de plátanos. Tomado por Duamed Colón, Agro Tropical.



Foto 41. Predio preparado con mezcla de canavalia, crotalaria y mucuna en la Estación Experimental Agrícola de Juana Díaz. Hileras con mezcla de plantas cobertoras (foto izquierda) e incorporadas en el suelo dos meses antes de la siembra de pimienta y tomate (foto derecha), Hernández et al 2018.

Adaptado de: Cover Crop Conservation Practice Code 340, Practice Specification USDA-NRCS

Cubiertas de plástico o biodegradable

Las cubiertas de plástico o de material biodegradable pueden reducir la evaporación del agua del suelo y disminuir la entrada excesiva de agua de lluvia (Fotos 42 y 43). Las cubiertas de plástico a pesar de sus beneficios al final del ciclo de uso pueden dejar residuos de plásticos en los predios. Sin embargo, durante las últimas décadas ha aumentado el uso del material biodegradable como alternativa al plástico. Estudios realizados en el cultivo de calabaza demostraron que los plásticos biodegradables al igual que las cubiertas de plásticos de polietileno redujeron la evapotranspiración conservando el agua en la zona de las raíces del cultivo (Saglam et al., 2017)

Composta madura

La incorporación al suelo de una composta madura puede aumentar la materia orgánica y mejorar la agregación de las partículas aumentando así la capacidad del suelo para almacenar



Foto 42. Plástico biodegradable para cubrir bancos de siembra en campo. Tomado por Ermita Hernández Heredia, Finca Orgánica Alzamora en el Recinto Universitario de Mayagüez.



Foto 43. Uso de plástico biodegradable en túnel con hortalizas. Tomado por Ermita Hernández Heredia, Estación Experimental Agrícola de Juana Díaz.

nutrientes y agua. En estudios realizados en el año 2016 en varias regiones de la Isla se pudo observar rendimientos competitivos para los cultivos del tomate y repollo, y un aumento de 16% en la materia orgánica en el suelo luego de incorporar la composta de pulpa de café comparado con otras enmiendas (Hernández et al. 2020).

La composta debe ser procesada bajo ciertos parámetros de la ley FSMA del FDA, el cual regula el uso de composta en hortalizas y otros cultivos (para más información ver página 8). Por tal razón el método utilizado de compostaje debe ser uno validado científicamente. Un ejemplo de un método de compostaje científicamente validado es el de manera estática aireada pasiva, la cual resulta con una composta estable y libre de patógenos. Para más información sobre el uso adecuado de composta madura para la producción de hortalizas en pequeña escala o compostaje de manera estática aireada pasiva vea el Manual de Composta (Hernández et al. 2020).

Labranza de conservación o mínima

La labranza es la práctica de volteo de la capa superficial del suelo, el cual facilita la germinación de las semillas y el desarrollo en general de planta. La labranza de conservación provee protección de la estructura del suelo y el aumento de la retención del agua (Foto 44). En estudios realizados se encontró que las concentraciones de carbono orgánico en suelos trabajados con labranza de conservación habían mejorado los agregados estables al agua, mayor cantidad de lombrices y de macroporos, lo que contribuyó a la reducción de un 75% de escorrentías y en un 95% la pérdida del suelo en comparación con el arado convencional (Nugroho et al., 2023).

Un tipo de labranza mínima es arar específicamente los surcos o hileras donde se establecerán los cultivos. De esta manera se reduce la operación de labranza evitando que haya terreno expuesto a las condiciones climatológicas. Es importante conocer la distancia de siembra que necesitan los cultivos de hortalizas que se establecerán en el predio.

Los implementos para realizar tareas de labranza en hileras o surcos se pueden utilizar para establecer plantas cobertoras y siembras de hortalizas. Además, estos pueden servir para aplicar fertilizante, reduciendo así el número de operaciones a realizar y costos entre un 24% a 35 % (Myalo et al., 2019).



Foto 44. Implemento para arado de conservación. Tomado de Alfredo Aponte, Finca la Zafra en Gurabo, Puerto Rico.

Referencias Bibliográficas

- AMT Pump Company. (n.d). High Pressure / Firefighting Engine Driven Pumps [Fotografía]. <https://ampumps.com/site/product-category/highpressure/>
- Aponte, A. (2022). Cultivo de crotalaria [Fotografía]. Estación Experimental Agrícola, Gurabo, PR.
- Aponte, A. 2023. Implemento para arado de conservacion en Finca la Zafra, Gurabo, PR [Fotografía].
- Automat Industries. 2023. Pressure Gauge [Fotografía]. <https://www.automatworld.in/pressure-gauge>
- Caribbean Climate Hub. (2016, 5 diciembre). *Permacultura y conservación de agua y suelos frente al cambio climático* | Serie ADAPTA [Vídeo]. YouTube. Permacultura y Conservación de Agua y Suelos frente al Cambio Climático | Serie ADAPTA
- Caribe Drones. (2023). Uso de sensores remotos en Puerto Rico [Fotografía]. https://www.facebook.com/CaribeDronesPR/?locale=es_LA
- Charles B., & Styles S. W. (2016). Drip and Micro Irrigation Design and Management. Irrigation Training & Research Center, Bio Resource and Agricultural Engineering Dept, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California. Accedido via. <http://www.itrc.org/books/dripmicro.htm>
- Comas M., Irizarry E., Bair D. A., Hernández E., Alvarado A. N., & Almodovar W. I. (2021). Sistemas de túneles: Guía para la construcción, manejo y producción sustentable de cultivos. Servicio de Extensión Agrícola. Colegio de Ciencias Agrícolas. Recinto Universitario de Mayagüez. Universidad de Puerto Rico. <https://www.uprm.edu/agriculturaurbana/publicaciones/>
- Contain Water Systems. (2020). Residential Water Storage Tanks. [Fotografía] <https://www.containwatersystems.com/tanks/residential-water-storage-tanks/>
- Colón, D. (2023). Siembras de Canavalia entre platanos [Fotografía]. Finca Agro Tropical, Inc.
- Cortés Pérez, M., Fornaris Rullán, G. J., Martínez Garrastazú, S. L., Rivera Martínez, L. E., Robles Vázquez, W., Semidey Laracuente, N., Conty, L. (2015). *Conjunto tecnológico para la producción de sandía* [Technical Report]. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.11801/2590>
- CRIM. Catastro. (2023). Predio de labranza al contorno en la zona montañosa. [Fotografía].
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2008). Plan integral de recursos de agua de Puerto Rico. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. <https://www.drna.pr.gov/oficinas/plan-integral-de-recursos-de-agua-de-puerto-rico/>
- Domínguez, L. (2023, 25 febrero). *¿Qué es la agricultura de conservación?* CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/que-es-la-agricultura-de-conservacion/>
- El Josco Bravo, Proyecto Agroecológico. (2023). Charca de Almacenamiento de Agua [Fotografía].
- Ennos Ag. (2020). A sustainable solution to cover the water needs of farmers and communities. Sunlight Pump. [Fotografía]. <https://ennos.ch/sunlight-pump-data/>
- FAO (1986). Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs. Training manual no. 3. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy. <http://www.fao.org/docrep/s2022e/s2022e00.HTM%2520>
- Febles, N. Á., Benedetti, M., Santiago, C., & De Conservación De Puerto Rico, F. (2010). *La tierra viva: manual de agricultura ecológica*.

- Forestry Suppliers. (2023). All-Weather Rain Gauge. Jackson, Missouri, USA. <https://www.forestry-suppliers.com/p/88991/54771/all-weather-rain-gauge>
- Gould Pumps. (2021). Bombas centrifugas verticales [Fotografía]. <https://www.gouldspumps.com/en-US/Home/>
- Goyal, M. R. (2012). Management of Drip/Trickle or Micro Irrigation (0 ed.). Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/b13110>.
- Goyal, M.R. (1990). Manejo de Riego por Goteo. Servicio de Extensión Agrícola, RUM, Río Piedras. IA 80.
- Flint & Walling. (2023). Residential Well Submersible Pumps [Fotografía]. <https://www.flintandwalling.com/applications/residential-well-submersible-pumps/>
- Freepic.diller. (2023). Freepik [Fotografía]. https://www.freepik.es/foto-gratis/investigador-sostiene-tubo-ensayo-agua-mano-guante-azul_2612683.htm
- Harmsen, E. W. (2018). Simple Spreadsheet Method for Scheduling Irrigation. In Technological Innovations in Management of Irrigated Agriculture, Editors: Megh R. Goyal, Susmitha S. Nambuthiri and Richard Koech. Apple Academic Press and CRC Press Taylor & Francis Group. 365p, ISBN: 9781771885928.
- Harmsen, E. W. and R. Howard Harmsen. (2019). Agricultural Water Management and Puerto Rico's Food Insecurity. Special Edition, Journal Ethos Governmental. Sep. 2019. ISSN 1555-8746. Pp. 1-42. https://academic.uprm.edu/hdc/HarmsenPapers/EthosArt_AgriculturalWaterManagement_and_PR_FoodInsecurity.pdf
- Hernández E., Chong J.A., & Bair D.A. (2020). Guía de Composta – Composta para la Producción de Hortalizas a Pequeña Escala. Servicio de Extensión Agrícola. <https://www.uprm.edu/sea/mdocs-posts/guia-de-composta-2/>
- Hernández, E. Brunner B. & O'Hallorans J. 2018. *Evaluating cover crops and rhizobacteria on different sweet pepper varieties to maximize fruit yield in a semi-arid region of Puerto Rico*. HortScience 53(9) Supplement s383. <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/53/9S/article-pS1.xml>
- Hernandez Heredia E. (2018). Siembra con mezcla de canavalia, crotalaria y mucuna [Fotografía].
- Hernandez Heredia, E. (2021). Uso de plástico biodegradable en túnel de hortalizas en la EEA de Juana Díaz [Fotografía].
- Holupchinski, E. (2022). Exploring Drought and Annual Rainfall in Puerto Rico. [Master's Thesis, University of Puerto Rico-Río Piedras]. Río Piedras, Puerto Rico. <https://repositorio.upr.edu/handle/11721/3025>.
- Hunter Industries. (2023). HC Flow Meter [Fotografía]. <https://www.hunterindustries.com/en-metric/irrigation-product/sensors/hc-flow-meter>
- Hunter Industries. (2023). NODE [Fotografía]. <https://www.hunterindustries.com/en-metric/irrigation-product/controllers/node>
- Irizarry, E. (n.d.). Detalles del Sistemas de Riego. Oficina de Ingeniería del Servicio de Extensión Agrícola. Universidad de Puerto Rico.
- Jain Irrigation Systems Ltd. (2023) Pressure Gauge with Niddle [Fotografía]. https://www.jains.com/irrigation/fittings_accessories/Stakes%20_%20Accessories/Pressure%20Gauge%20with%20niddle.htm

- Jain Irrigation Systems Ltd. (2023). Jain Check Valves. [Fotografía]. <https://www.jains.com/irrigation/Control%20and%20safety%20valves/jain%20check%20valves.htm>
- Khanal, S., KC, K., Fulton, J. P., Shearer, S., & Ozkan, E. (2020). Remote Sensing in Agriculture—Accomplishments, Limitations, and Opportunities. *Remote Sensing*, 12(22). MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/rs12223783>
- Kirkham, M.B. (2014). Principles of Soil and Plant Water Relations (Second Edition). <https://www.sciencedirect.com/book/9780124200227/principles-of-soil-and-plant-water-relations>
- Marrero, E. (2023). Barrera vegetativa de Vetiver [Fotografía]. Instituto de Agricultura Tropical y Ambiente, Inc.
- Meehl, G.A., Covey, C.; Delworth, T. [and others]. (2007). The WCRP CMIP3 multi-model dataset: a new era in climate change research. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 88: 1383- 1394.
- MIT Gear Lab. (2022). Drip Irrigation. [Fotografía]. <https://www.gear.mit.edu/drip-irrigation>
- Muñoz-Carpena et al. R. (2008). Summer cover crop impacts on soil percolation and nitrogen leaching from a winter corn field. *Journal Agricultural Water Management*. Volume 95, Issue 6. Pages 633-644, ISSN 0378-3774 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.01.005>
- Myalo, V. V., Demshuk, E. V., Kuzmin, D. E., Soyunov, A. S., & Sabiev, U. K. (2019). Relevance for using machines appropriate to strip tillage. *IOP Conference Series*, 582(1), 012025. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/582/1/012025>
- Netafim. (2023). Pressure Regulators [Fotografía]. <https://www.netafim.com/en/products-and-solutions/product-offering/connectors-and-accessories/pressure-regulators/>
- Netafim. (2023). ScreenGuard™ Filters. [Fotografía]. <https://www.netafim.com/en/products-and-solutions/product-offering/filters/Screen-filters/>
- Nugroho, P. A., Juhos, K., Prettl, N., Madarász, B., & Kotroczó, Z. (2023). Long-term conservation tillage results in a more balanced soil microbiological activity and higher nutrient supply capacity. *International Soil and Water Conservation Research*. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.03.003>
- Pacheco, A. R. (s. f.). Proyecto promoción de sistemas agroforestales de alto valor con cacao en honduras. Guía sobre las prácticas de conservación de suelo. Segunda edición. *Biblioteca Robert H. Stover, Fundación Hondureña de Investigación Agrícola*. <http://fhia.org.hn/html/Biblioteca.html>
- Resource Conservation District of Monterey County. *How to use a tensiometer*. <https://www.rcdmonterey.org/images/docs/publications/How-to-Use-Tensiometer-English-Reader-final.pdf>
- Rivulis. 2023. Rivulis F1000 Hydrocyclone Filter [Fotografía]. <https://www.rivulis.com/product/products/f1000-hydrocyclone-filter/>
- Rivulis. 2023. Plastic Filters [Fotografía]. https://www.rivulis.com/category_product/products/filters/plastic-filters/
- Rivulis. 2023. Air Valves [Fotografía]. <https://www.rivulis.com/product/valves/air-valves/>
- Rivulis. 2023. Layflat and Pipes. [Fotografía]. https://www.rivulis.com/category_product/products/layflat-pipes/
- Rivulis. 2023. Connectors and Accessories. [Fotografía]. https://www.rivulis.com/category_product/products/connectors-accessories/
- Rivera Alejandro, A. (2022). *Effect of cover crops on soil quality parameters of a Fraternidad soil (Typic*

Haplusterts) at Lajas Valley Agricultural Reserve, Puerto Rico [Thesis]. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.11801/2913>

Rivera-Santiago, E. (2019). *Phytoremediation of leachate, erosion control, and slope stabilization with [Vetiveria zizanioides (L). NASH] in Fajardo, Puerto Rico.* [Thesis]. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.11801/2504>

Rivera, L. E. (2019). *Conjunto Tecnológico para la Producción de Berenjena.* <https://www.uprm.edu/eea/publicaciones/berenjena/>

Rodríguez-Cruz LA, Moore M y Niles MT (2021) Puerto Rican Farmers' Obstacles Toward Recovery and Adaptation Strategies After Hurricane Maria: A Mixed-Methods Approach to Understanding Adaptive Capacity. *Front. Sustain. Food Syst.* 5:662918. doi: 10.3389/fsufs.2021.662918

Román Paoli, E. (2012). *Conjunto Tecnológico para la Producción de Calabaza.* <https://www.uprm.edu/eea/publicaciones/calabaza/>

Resource Conservation District of Monterey County (n.d.). How to use a tensiometer. <https://www.rcdmonterey.org/publications>

Sağlam, M., Sintim, H. Y., Bary, A. I., Miles, C. A., Ghimire, S., Inglis, D. A., & Flury, M. (2017). Modeling the effect of biodegradable paper and plastic mulch on soil moisture dynamics. *Agricultural Water Management*, 193, 240-250. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.011>

Scatena, F. N. (1998). An assessment of climate change in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. In: Segarra-García, R. I., editor. *Proceeding tropical hydrology and Caribbean water resources, Third international symposium on tropical hydrology and Fifth Caribbean Islands water resources congress*; San Juan, Puerto Rico. Herndon, VA: American Water Resources Association; :193-198. SealEco. (n.d). Geomembrane Pond & Liner Systems. <https://www.sealeco.com/systems/geomembrane-pond-liner-systems/>

Shrefler, J., Brandenberger, Lynn. (2016). Use of Plastic Mulch and Row Covers in Vegetable Production. Use of Plastic Mulch and Row Covers in Vegetable Production | Oklahoma State University (okstate.edu).

Shutterstock. 2023. Líneas de distribución de riego [Fotografía]. <https://www.shutterstock.com/>

The Toro Company. (n.d.) Single Chamber Media Filter [Fotografía]. <https://www.toro.com/en/product/YF660L4804SNC>

The Toro Company. (2023). A-216B and A-217B models. [Fotografía]. <https://www.toro.com/en/product/A-217B>

UC Sustainable Agriculture Research and Education Program. (2017). "Conservation Tillage." UC Division of Agriculture and Natural Resources. (n.d) What is Sustainable Agriculture? <https://sarep.ucdavis.edu/sustainable-ag/conservation-tillage>

USDA Natural Resources Conservation Service, Caribbean Area. (2020). Water Harvesting Catchment. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/CB%20Water%20Harvesting%20Catchment%20Factsheet.pdf>

USDA. Natural Resource Conservation Service Caribbean Area. (2021). *Plantas recomendadas para utilizar como cobertoras en fincas agrícolas* [Tabla]. Conservation Practice Code 340, Practice Specifications. Critical Area Planting 342 (usda.gov)

Velázquez, W. (2023). Siembra de cultivos al contorno. Finca La Victoria [Fotografía]. San Sebastián, PR.

Weis Engineering Ltd. 2023. Tractor Powered Water Pumps [Fotografía]. <https://weisengineering.com/>

Wright, D. L., Moyer, J., Treadwell, D., Small, I. M., & George, S. (n.d.). (2021). Transitioning from Conventional to Organic Farming Using Conservation Tillage 1. <https://edis.ifas.ufl.edu>



**SERVICIO
DE EXTENSIÓN
AGRÍCOLA™**

UPR - RUM - CCA

Preparado por miembros de la
Empresa de Hortalizas y Granos Básicos
del Servicio de Extensión Agrícola y de
la Estación Experimental Agrícola de la
Universidad de Puerto Rico



**ESTACIÓN
EXPERIMENTAL
AGRÍCOLA™**

UPR - RUM - CCA

Diciembre 2023 © Derechos Reservados

Publicado para la promoción del trabajo cooperativo de Extensión según lo dispuesto por las leyes del Congreso del 8 de mayo y del 30 de junio de 1914, en cooperación con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Extensión Agrícola, Colegio de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico.

Diseño gráfico: Federico Estrada Del Campo
Medios Educativos e Información, S.E.A. 