

Conjunto Tecnológico para la Producción de Repollo¹

RIEGO²

Prof. Luis E. Rivera Martínez³

Importancia

El objetivo del riego es proveer la humedad necesaria a las plantas durante su establecimiento, desarrollo y producción. En términos prácticos buscamos aplicar en forma suplementaria la cantidad que se ha perdido por el efecto combinado de la evaporación y la transpiración. El riego puede tener varios propósitos, los cuales indicamos a continuación:

- Asegurar un abasto suficiente de agua durante sequías
- Disolver sales del suelo
- Servir como medio para aplicar agroquímicos
- Mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal
- Activar ciertos agentes químicos
- Generar beneficios operacionales

El agua del suelo, al igual que la temperatura, la radiación solar y la evaporación es un factor importante que afecta la producción de las cosechas. El agua constituye la fase líquida del suelo, la cual es requerida por las plantas en pequeñas cantidades para los procesos de metabolismo y transportación de los nutrimentos. El agua del suelo es utilizada por las plantas en grandes cantidades en los procesos fisiológicos relacionados a la transpiración.

Hay muchos factores que influyen al momento de decidir la cantidad de agua que debemos aplicar al repollo. Entre ellos están el sistema de riego, las características del suelo, la variedad, el estado de desarrollo de la planta y las condiciones ambientales. Cada uno de estos factores debe ser tomado en consideración para fijar la frecuencia del riego y la cantidad de agua que aplicaremos. El repollo tiene un sistema de raíces fibroso y superficial que requiere riego con mayor frecuencia que otros cultivos. Cada tipo de suelo tiene propiedades que afectan en una forma u otra el suministro de agua a las plantas, por lo que es necesario que el agricultor se familiarice con aspectos relacionados a la disponibilidad y manejo del agua del suelo.

¹ Derechos Reservados. La Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico retiene todos los derechos sobre este documento. Se permite el uso o la reproducción parcial del mismo para usos educativos, siempre y cuando se dé crédito total a la EEA/UPR, citando la publicación, la fuente, la fecha de publicación y el autor del capítulo utilizado.

² Este documento es uno de los capítulos que componen el *Conjunto Tecnológico para la Producción de Repollo* (Publicación 158), cuya primera versión fue publicada con fecha de Diciembre 1999. Este capítulo fue debidamente revisado con fecha de 2014.

³ Investigador, Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales, Estación Experimental Agrícola, Colegio de Ciencias Agrícolas, Recinto Universitario de Mayagüez, Universidad de Puerto Rico.

Agua disponible en el suelo

Un manejo eficiente del agua de riego incluye conocer la cantidad que ha utilizado el cultivo entre un riego y otro. El balance de agua que permanece en el suelo en un tiempo dado es un valor sumamente dinámico, que es el resultado neto de la cantidad recibida (ya sea por lluvia o riego) menos las pérdidas en los procesos que se indican y definen a continuación:

Intercepción: Agua interceptada directamente por la cubierta vegetal (se estima entre un 5 a 20% de la lluvia total).

Escorrentía: Agua que se mueve en la superficie del suelo luego de su aplicación.

Infiltración. Cantidad de agua que penetra en el suelo, en un intervalo dado de tiempo. La velocidad de movimiento vertical de agua en un suelo bajo condiciones donde la fuerza de gravedad es el factor principal que mueve el agua se conoce como conductividad hidráulica del suelo.

Redistribución y percolación profunda: Al terminar la infiltración comienza el desagüe de los horizontes superiores del suelo. El agua perdida es retenida por los horizontes inferiores más secos (redistribución), o pasa a formar parte de las aguas subterráneas (percolación profunda).

Retención de agua disponible: Agua disponible para las plantas que es retenida en el suelo entre el punto de capacidad de campo (0.33 bar de tensión) y el porcentaje de marchitez permanente (15 bares de tensión).

Evaporación: Cambio del agua de fase líquida a gaseosa. Está directamente relacionada con las condiciones ambientales, principalmente temperatura, viento y humedad del ambiente. La energía necesaria para que un gramo de agua se convierta en vapor es de 540 calorías a 100 grados Centígrado, valor conocido como calor de evaporación.

Transpiración: Agua que se evapora del suelo a través del sistema vascular de la planta como mecanismo primario de enfriamiento por el calor generado en las hojas expuestas al sol. Tanto en transpiración como en evaporación, el cambio de la fase líquida a gaseosa se ve favorecido cuando el aire está caliente, seco o muy movido (ventoso). La transpiración está directamente relacionada con factores ambientales (como temperatura, humedad, viento y luz solar), factores del suelo (porosidad, conductividad hidráulica y capacidad de retención, etc.) y factores de la planta. La cantidad de agua perdida por evapotranspiración depende de la disponibilidad de agua en el suelo y de la capacidad de la planta para absorber y transpirar.

La humedad que contiene un suelo pocas veces es la adecuada para el mejor desarrollo del repollo. Algunos carecen de suficiente humedad, por lo cual hay que regarlos para obtener buenos rendimientos. Cuando el suelo se humedece por efecto de la lluvia o riego, el agua llenará todos los espacios porosos creando una película gruesa alrededor de las partículas de suelo. Bajo

estas condiciones se establece un estado de saturación y por ello el agua no estará fuertemente adherida o retenida a las partículas del suelo.

El agua gravitacional es indeseable desde el punto de vista agrícola, ya que ocupa la fracción del espacio poroso del suelo que bajo condiciones óptimas de labranza debe ser ocupado por aire. Esta agua es retenida a tensiones bajas por lo cual puede ser rápidamente dispuesta en respuesta a la fuerza de gravedad si no lo impide alguna característica indeseable del suelo. Cuando el suelo alcanza su capacidad de campo, el componente gravitacional deja de ser el factor principal del movimiento del agua siendo reemplazado por otros factores tales como la absorción por las raíces de las plantas y la evaporación. A medida que se extrae humedad, disminuye el espesor de la película de agua alrededor de las partículas de suelo y aumenta la fuerza o tensión de retención. La tensión de humedad expresa la fuerza a la cual las partículas de suelo retienen el agua. La tensión de humedad es medida en bares, lo que equivale a una unidad de presión negativa. También se mide en atmósferas o en centímetros de agua. Existe una relación inversa entre la tensión y el porcentaje de humedad del suelo (o pulgadas de agua por pie de suelo). Cuanto mayor sea el valor de tensión, menor será el porcentaje de humedad retenida en el suelo. Al aumentar la retención, las plantas no son capaces de absorber el agua a un ritmo lo suficientemente rápido para reponer la pérdida por transpiración y comienzan a marchitarse. Si las plantas son capaces de recuperarse de la marchitez, al colocarse en una atmósfera saturada de humedad, se dice que están en un estado de marchitez incipiente. Sin embargo, se puede alcanzar un punto en que el contenido de agua del suelo es tan bajo que las hojas de la planta no recuperan de la marchitez aún cuando se colocan en una atmósfera saturada de humedad. El contenido de agua del suelo a este punto se denomina porcentaje de marchitez permanente y representa una tensión de 15 bares. Este punto se considera una constante del suelo y varía ligeramente con la habilidad de la planta para absorber agua. El agua que permanece en el suelo cuando ocurre la marchitez permanente no está disponible a las plantas. Las plantas morirán si se mantienen por algún tiempo bajo estas condiciones. En términos prácticos el agua retenida en el suelo entre el punto de capacidad de campo (0.33 bar) y el punto de marchitez permanente (15 bares) es la que puede ser utilizada por las plantas y la llamamos agua disponible.

El agricultor debe evitar que el potencial de agua en el suelo alcance el punto de marchitez. Por esto, es aconsejable conocer la cantidad o el contenido de agua por volumen de suelo que puede ser extraído antes de alcanzar este valor de tensión. La curva de retención de agua provee esta información, ya que describe la relación entre la tensión hidrostática (fuerza a la cual es retenida el agua) y la cantidad (o porcentaje de humedad) presente en el suelo. Existe una curva de retención para cada tipo de suelo. Esto va a depender de variables tales como la cantidad de poros (porosidad), la superficie específica de las partículas del suelo, la textura y la estructura. En el Cuadro 1 se presentan los valores típicos de humedad para diferentes tipos de textura de suelo. Los valores se expresan en pulgadas de agua por pie de suelo y al lado de cada valor se expresa entre paréntesis el porcentaje volumétrico de humedad. El Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-NRCS, por sus siglas en inglés) ha publicado un documento de clasificación de los suelos para el sur de Puerto Rico (“Soil Survey of Ponce Area”) y otras áreas alrededor de la isla. Este documento indica las propiedades físicas y químicas de las distintas series de suelo e incluye información sobre la capacidad de retención de agua disponible (“available water

capacity”) en pulgadas por pulgadas de suelo. Si el agricultor multiplica el valor promedio para el tipo de suelo que tiene en su finca por la profundidad del sistema de raíces del repollo (unas 24 pulgadas) obtiene la cantidad de agua que puede estar disponible en cada serie de suelo en particular. Esta información es importante para llevar a cabo las prácticas de manejo del riego de forma adecuada. Si el agricultor en un determinado momento aplica una cantidad de agua mayor a la que el suelo puede retener lo que provoca un evento de percolación. Esto significa una pérdida de agua que a su vez produce lavado de nutrientes fuera de la zona donde están concentradas las raíces del repollo.

Cuadro 1. Valores típicos de humedad para diferentes tipos de textura de suelo (pulgadas por pie de suelo)

<i>Textura del suelo</i>	<i>Capacidad de Campo (0.33 bares de tensión)</i>	<i>Porcentaje de marchitez permanente (15 bares de tensión)</i>	<i>Contenido de humedad disponible al cultivo</i>
Arena (Sand)	1.2 (10)*	0.5 (4)	0.7 (6)
Arena francoso (Loamy sand)	1.9 (16)	0.8 (7)	1.1 (9)
Franco arenoso (Sandy loam)	2.5 (21)	1.1 (9)	1.4 (12)
Franco (Loam)	3.2 (27)	1.4 (12)	1.8 (15)
Franco limoso (Silt loam)	3.6 (30)	1.8 (15)	1.8 (15)
Franco arcilloso limoso (Sandy clay loam)	4.3 (36)	2.4 (20)	1.9 (16)
Arcilla arenosa (Sandy clay)	3.8 (32)	2.2 (18)	1.7 (14)
Franco arcilloso (Clay loam)	3.5 (29)	2.2 (18)	1.3 (11)
Franco arcillo limoso (Silty clay loam)	3.4 (28)	1.8 (15)	1.6 (13)
Arcilla limosa (Silty clay)	4.8 (40)	2.4 (20)	2.4 (20)
Arcilla (Clay)	4.8 (40)	2.6 (22)	2.2 (18)
* números entre paréntesis indican el porcentaje de humedad por volumen. Fuente de la información: Ratliff et al. (1983).			

Absorción de agua

La capacidad de absorción de agua del repollo disminuye a medida que aumenta la profundidad del suelo debido a que el sistema radicular de la planta no es homogéneo. El mismo es ramificado y ancho en la capa superior y va mermando o raleando y estrechándose a medida que se mueve hacia el interior del suelo. Por lo tanto, a mayor profundidad del suelo habrá una menor cantidad de raíces en contacto con el agua disponible.

La absorción de agua por la raíz compensa el agua perdida por transpiración. En días calurosos y secos la planta necesita ejercer una absorción rápida de agua para reponer la pérdida. La misma también aumenta como resultado de un aumento de la velocidad del viento. Si hay poca agua disponible en el suelo o la superficie de absorción de las raíces es reducida, ocurrirá un marchitamiento temporal de la planta. Esta condición por lo general desaparece al atardecer si el ritmo de absorción es suficiente para abastecer la cantidad de agua determinada por el ritmo de transpiración. Por tal razón, se debe regar la zona de raíces antes de que se agote toda el agua disponible. De esta forma se evita la disminución en la producción causada tanto por la excepcional inversión de energía necesaria para absorber las últimas porciones de agua disponible, como por el marchitamiento temporal, que limita la actividad fisiológica de las plantas.

Se han desarrollado métodos e instrumentos para programar el riego. Entre los métodos más sencillos utilizados para este propósito está la apreciación visual y táctil del suelo en combinación con indicadores del cultivo, tales como cambios en color, turgencia o ángulos de las hojas. Este método tiene la desventaja de que los síntomas o señales para iniciar el riego aparecen muy tarde, cuando es difícil evitar que el rendimiento y la calidad de la cosecha se afecte por el déficit de humedad en el suelo.

Momento de aplicar riego

En términos prácticos hay dos métodos que podemos utilizar para determinar cuándo regar. Un método consiste en aplicar el riego cuando la tensión de humedad en el suelo ha alcanzado un valor recomendado, dependiendo del tipo de cultivo. El riego se controla por medio de tensiómetros, bloques de resistencia eléctrica u otros dispositivos que nos indicarán, en forma relativa, si hay suficiencia o deficiencia de agua en el suelo. Las investigaciones en manejo de riego en el cultivo de repollo indican que los mayores rendimientos se obtienen al colocar los tensiómetros a 12 pulgadas de profundidad en el suelo y manteniendo lecturas en el instrumento menores de 45 centibares. Al utilizar tensiómetros, bloques de resistencia u otros indicadores de humedad es recomendable preparar una curva de calibración para conocer el porcentaje de humedad en el suelo que corresponde a la escala de medidas del instrumento.

El otro método recomendado es regar cuando el contenido de humedad del suelo se ha agotado hasta un valor permisible. Los valores permisibles de agotamiento de humedad se expresan en término de por ciento de agua disponible. En la mayoría de los cultivos, incluyendo el repollo, se recomienda iniciar el riego cuando el 50% de la humedad disponible del suelo se ha agotado. Por medio de ecuaciones y modelos matemáticos se puede determinar la cantidad de agua que ha utilizado el cultivo, lo que nos indica la cantidad de agua que se debe reponer al

suelo. Los métodos anteriormente indicados tienen como objetivo mantener niveles adecuados de humedad en el suelo y garantizar su disponibilidad al cultivo. Es deseable que el agricultor, técnico o empresario se familiarice con el uso de estos instrumentos y procedimientos para guiar las operaciones de riego y mejorar la eficiencia en el uso del recurso agua.

El sistema radicular de la planta del repollo es superficial (menor de 24 pulgadas), lo que significa que la mayoría de las raíces de absorción están a una profundidad entre 1 hasta 24 pulgadas. Se debe manejar el riego de tal modo que se mantenga una humedad adecuada en la zona de raíces, especialmente durante los períodos críticos de la germinación, la formación de la cabeza y la etapa final de desarrollo. Es importante mantener un programa de riego adecuado guiado por tensiómetros y otros métodos alternos. El exceso de agua en el repollo puede ser tan perjudicial como un déficit de humedad. El exceso de riego lava los nutrimentos y contribuyen al desarrollo de enfermedades y otras plagas que son perjudiciales. Condiciones de saturación en el suelo por un período largo de tiempo interfieren con el intercambio de gases en la zona de la raíz. El agricultor debe manejar las operaciones de riego haciendo uso eficiente del recurso agua y reduciendo hasta donde sea posible los costos de energía.

La cantidad de agua evaporada desde la superficie del suelo y la que pierde el cultivo por transpiración se conoce en conjunto como evapotranspiración (ET). La función del riego es reponer la pérdida por evapotranspiración en relación al tiempo. Si conocemos o estimamos la cantidad de agua que se pierde por evapotranspiración en un período de tiempo dado podemos calcular la cantidad de agua que debemos reponer al suelo.

En los sistemas de micro riego, las pérdidas atribuibles a la evaporación pueden ser en algunos casos relativamente bajas, particularmente en sistemas de producción sobre bancos con cubierta plástica. Esto indica que la transpiración por parte de las plantas es el componente más importante en la pérdida de agua. Hay muchos factores que influyen en la pérdida de agua por evapotranspiración, principalmente la radiación solar, el tipo de suelo, la temperatura del aire, la humedad relativa, el viento, la precipitación, el tipo de cultivo, la etapa de desarrollo, el tamaño de la planta, su condición de salud, y el contenido de humedad del suelo. Se han desarrollado distintas fórmulas matemáticas para calcular la evapotranspiración. Muchas de estas fórmulas en términos prácticos resultan de limitado uso para nuestros agricultores debido al gran número de variables presentes, a la dificultad de asignar un valor promedio a cada variable, y a la incertidumbre de cómo cada variable pueda interactuar y afectar el consumo de agua por la planta. Dada esta limitación, algunas de estas fórmulas son aplicables a ciertos cultivos y a unas áreas geográficas o zonas climáticas específicas.

La bandeja o tanque de evaporación, conocida también como evaporímetro, es un instrumento de tamaño estándar comúnmente utilizado para estimar la evaporación o razón diaria de uso de agua. La bandeja tiene un diámetro de 47.5 pulgadas y una altura de 10 pulgadas. Por medio de un calibrador se mide el cambio en el nivel de agua debido a la evaporación o lluvia. La evaporación en la bandeja se mide en décimas de pulgada.

La bandeja o tanque de evaporación se coloca en el campo expuesto a las mismas condiciones climáticas que el cultivo. Resultados de investigaciones han demostrado que la razón de evaporación registrada en la bandeja es proporcional a la razón de uso de agua de un cultivo dado, cuando el suelo no está en déficit de humedad. La razón de evapotranspiración puede variar de una especie de planta a otra, aún cuando ambas especies sean sometidas a condiciones similares de clima y humedad. El método del evaporímetro no predice directamente las diferencias en el uso de agua para diferentes especies o prácticas de cultivo, pero esos valores de evaporación del tanque pueden ser ajustados o relacionados a los requisitos de riego de un cultivo dado (en este caso repollo), utilizando un factor o coeficiente del tanque (K_p). Los valores del coeficiente del tanque (K_p) varían con la ubicación, la humedad relativa, la velocidad del viento y el tipo y extensión del área que rodea el tanque. El Cuadro 2 presenta los valores (K_p) recomendados para condiciones variables de los factores anteriormente indicados (Allen, 1998). Además del factor del tanque (K_p), debemos utilizar un factor de cosecha (K_c) para relacionar la pérdida de agua con el tipo de planta, etapa de desarrollo, resistencia estomatal y otros factores genéticos de la planta o cultivo.

En Puerto Rico, se ha realizado muy poca investigación de campo para validar los valores del coeficiente del tanque (K_p) y los coeficientes de evapotranspiración de la cosecha (K_c) para repollo. Se desarrolló un programa de computadora (PR-ET) para estimar los valores de los coeficientes utilizando data climática para diferentes regiones de Puerto Rico (Harmsen, 2002).

En teoría podemos determinar el consumo de agua de un cultivo (ET_c) multiplicando la evapotranspiración potencial (ET_o) por un coeficiente de cosecha (K_c): $ET_c = K_c (ET_o)$. Utilizando el método del evaporímetro o tanque de evaporación podemos determinar el requisito de riego para el repollo mediante la siguiente fórmula:

$$L = (ET_o \times K_c) - E_r$$

$$ET_o = E_p \times K_p$$

En donde:

L= Lámina de agua que debemos aplicar (requisito de riego en pulgadas)

ET_o= Evapotranspiración de referencia, o evapotranspiración potencial, medida en pulgadas de agua. Se refiere a la pérdida de agua de una superficie cubierta completamente de vegetación, cuando el suelo no está en déficit de humedad.

E_r= Lluvia efectiva (medida en pulgadas). Al contabilizar la lluvia se utilizan solamente los valores de precipitación mayores a 0.15 pulgadas. Precipitación menor a esta cantidad por lo general se pierde por efecto de evaporación.

E_p= Evaporación registrada en un tanque de evaporación (pulgadas de agua perdida desde el último riego).

Cuadro 2. Coeficientes del tanque (Kp) para el Evaporímetro Clase A bajo condiciones variables de ubicación, ambiente, humedad relativa y velocidad del viento (Allen, 1998: FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56)

Evaporímetro Clase A Humedad Relativa (%) Movimiento del viento (Km/día)	Caso A: Bandeja de evaporación rodeada por área verde (grama)			Caso B: Bandeja de evaporación rodeada por tierra seca y descubierta (sin cultivo)				
	A barlovento : Distancia del área verde (metros)	Baja < 40	Mediana 40 - 70	Alta > 70	A barlovento : Distancia del área seca (metros)	Baja < 40	Mediana 40 - 70	Alta > 70
Suave <175	1	0.55	0.65	0.75	1	0.70	0.8	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.50	0.60	0.70
Moderada 175 – 425	1	0.50	0.60	0.65	1	0.65	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65
Fuerte 425 – 700	1000	0.70	0.80	0.80	1000	0.45	0.55	0.60
	1	0.45	0.50	0.60	1	0.60	0.65	0.70
	10	0.55	0.60	0.85	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.45	0.50	0.60
Muy Fuerte > 700	1000	0.65	0.70	0.75	1000	0.40	0.45	0.55
	1	0.40	0.45	0.50	1	0.50	0.60	0.65
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.45	0.50	0.55
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.40	0.45	0.50
	1000	0.55	0.60	0.65	1000	0.35	0.40	0.45

Kp= Coeficiente del tanque. Ver los valores para cada caso en particular dependiendo de la ubicación, la humedad relativa, la velocidad del viento, y el tipo y extensión del área que rodea el tanque (Cuadro 2).

Kc= Coeficiente de evapotranspiración (Dado que no tenemos disponibles los coeficientes de evapotranspiración para repollo, se pueden utilizar valores generalizados y ajustar los mismos mediante el uso de tensiómetros o metodología recomendada por la FAO).

Una vez se obtiene el valor de la evapotranspiración se calculan los galones de agua que necesitamos aplicar utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Galones de Agua} = 0.623 \text{ gal} / (\text{pulgada})(\text{pie}^2) \times L (\text{pulgadas}) \times \text{Área del cultivo} (\text{pie}^2)$$

- **0.623** es un factor de conversión: un pie² equivale a 144 pulgadas² (12 pulgadas x12 pulgadas =144 pulgadas cuadradas). Un galón de agua ocupa un volumen de 231 pulgadas³. Por lo tanto 144 pulgadas por pie² divididas entre 231 pulgadas³/galón =**0.6233 galones/(pulgadas)(pie²)**
- **L** = lámina de riego (requisito de riego del repollo medido en pulgadas)
- **Área de cultivo** = área que ocupa el cultivo con relación al área de siembra. La mayoría de las siembras de repollo en la costa sur se realizan utilizando una distancia entre bancos de 6 pies (unas 72 pulgadas de separación de banco a banco). Utilizando el sistema de goteo se humedece una faja de unas 24 hasta 40 pulgadas de ancho a lo

largo del banco y se mantiene el área restante seca. Al determinar en la fórmula el área del cultivo se utiliza como referencia el por ciento del banco que será humedecido: Ejemplo: 40 pulgadas de un total de 72 pulgadas = 0.55. Este valor (0.55) lo multiplicamos por 42,305 (pies² en una cuerda) para obtener el área que será humedecida en una cuerda de terreno (= 23,267.75 pies²). Esto indica que de una cuerda de terreno solamente se humedecerá un área equivalente a 23,267.75 pies².

Los sistemas de riego no son del todo eficientes en la distribución del agua, por lo que se debe tomar este factor en consideración al determinar los galones de agua a aplicarse. Se estima que la eficiencia de aplicación de agua en los sistemas de microriego es de un 90 por ciento. Dado esto, se dividen los galones de agua obtenidos en la fórmula entre la eficiencia del sistema para determinar los galones de agua que debemos aplicar.

En el campo se utiliza un medidor de flujo (metro) o una válvula volumétrica para determinar la cantidad de agua que se va a aplicar a cada área sembrada de repollo. Si se conoce la descarga de la línea de goteo (en términos de galones por minuto o galones por hora) se puede determinar el tiempo que se debe mantener el sistema operando para aplicar los galones que calculamos anteriormente. La frecuencia de riego la determina el agricultor teniendo en consideración la capacidad de retención de agua del suelo y otras condiciones o limitaciones presentes en el área sembrada. En la costa sur de Puerto Rico, por lo general, se hacen de dos a tres riegos por semana en el repollo, dependiendo de la etapa de crecimiento, condiciones de clima, tipo de suelo e infraestructura de riego de cada finca en particular. El agricultor debe planificar las operaciones de riego para suplir la necesidad de humedad del repollo, haciendo uso eficiente del agua y la energía.

Al utilizar la bandeja de evaporación para programar el riego, se necesita conocer tanto la cantidad de agua perdida (por evapotranspiración) como la ganancia de agua en el suelo (por riego o precipitación). Como punto de partida se puede aplicar riego suficiente para humedecer toda la zona de raíces del cultivo. Al determinar la cantidad de agua que se aplicará (pulgadas de agua) se debe tener en consideración la profundidad del sistema radicular del cultivo y la capacidad de retención de agua del suelo. La frecuencia y cantidad de cada nuevo riego estará dirigida a reponer la pérdida de agua debido a la evapotranspiración. En los períodos donde haya lluvia efectiva, la misma debe ser restada de la evapotranspiración. Cuando el valor de la lluvia (precipitación) es suficiente para reponer la pérdida por evapotranspiración no hay necesidad de aplicar riego. En el caso de eventos de mucha precipitación, se debe registrar solamente el valor máximo de humedad que puede retener el suelo en la zona radical. Para determinar la cantidad de riego se puede utilizar el formato presentado en el Cuadro 3:

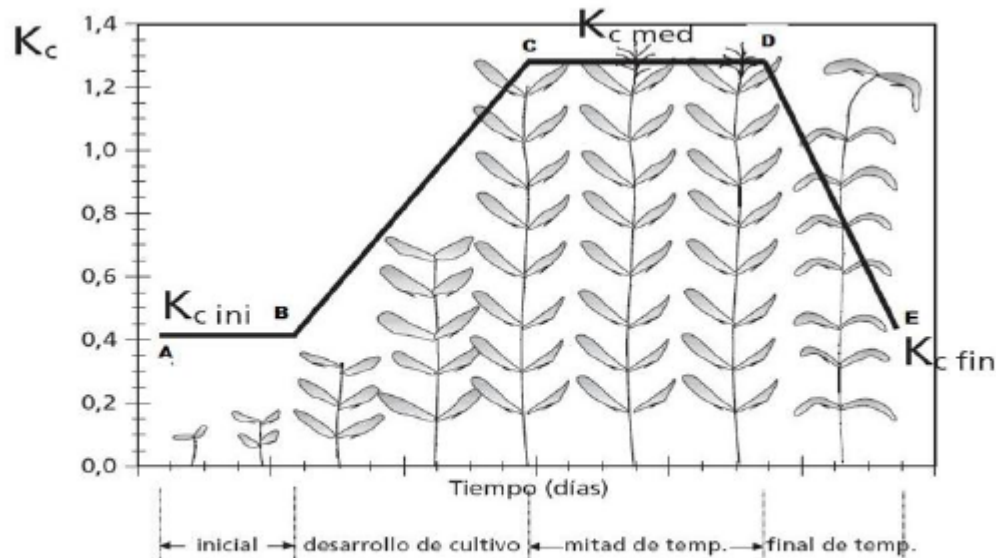
Cuadro 3. Formato para determinar el requisito de riego utilizando el tanque de evaporación.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fecha	Evaporación del tanque (pulgadas)	Evaporación Total para el periodo (Ep)	Coefficiente del tanque (Kp)	ETo potencial (referencia) (Eto)	Valor Kc	ETc Ajustada al cultivo	Lluvia Registrada (pulgadas)	Lluvia Efectiva (pulgadas)	Requisito de riego (pulgadas)

- **Columna 1**= Fecha (mes/día/año)
- **Columna 2**= Evaporación registrada en el tanque durante cada fecha
- **Columna 3**= Suma de la evaporación para el número de días desde el último riego
- **Columna 4**= Coeficiente del tanque. Determinar el valor dependiendo de la ubicación, la humedad relativa, la velocidad del viento, y el tipo y extensión del área que rodea el evaporímetro (Cuadro 2).
- **Columna 5**= Evapotranspiración potencial. Se obtiene multiplicando la evaporación de la bandeja (Ep) por el coeficiente de bandeja (Kp) (columna 3 x 4)
- **Columna 6** = Valor del coeficiente de cosecha (Kc) – Ver figura 1.
- **Columna 7**= Valor de la evapotranspiración del cultivo. Se obtiene multiplicando la evapotranspiración potencial por el coeficiente de la cosecha (columna 5 x 6).
- **Columna 8**= Lluvia diaria registrada (se mide utilizando un pluviómetro)
- **Columna 9** = Lluvia efectiva: es igual a la suma de los valores de precipitación (se suman solamente los valores mayores de 0.15 pulgadas) y se ajusta de acuerdo al balance de humedad en el suelo.
- **Columna 10** = Requisito de riego del cultivo en pulgadas. Se obtiene restando la lluvia efectiva al valor de la evapotranspiración del cultivo (columna 7-9). Si el valor es negativo no hay que aplicar riego.

NOTA: El valor del Coeficiente de cultivo (Kc) se puede ajustar para las distintas etapas de crecimiento del repollo (etapa inicial, etapa de desarrollo, etapa de mitad de temporada y etapa final) – Ver ilustración en Figura 1. Debido a las variaciones en las características propias del cultivo o variedad durante las diferentes etapas de crecimiento, el valor del coeficiente de cultivo (Kc) cambia desde la siembra hasta la cosecha. Algunos valores de Kc generalizados para repollo en las distintas etapas de crecimiento son los siguientes: Etapa inicial - 0.30, etapa de desarrollo - 1.0, etapa media - 1.0, y etapa final - 0.85. En Puerto Rico se ha realizado muy poca investigación para validar en el campo los coeficientes de cosecha para repollo. Podemos utilizar como punto de referencia unos valores generalizados y ajustar los mismos con la ayuda de tensiómetros o utilizando la metodología recomendada por la FAO.

Figura 1: Curva Generalizada de Coeficiente de cultivo K_c para repollo.



1 Curva generalizada de Coeficiente de Cultivo K_c , fuente: Estudios FAO Riego y Drenaje 56

Una vez determinada la cantidad (pulgadas) de riego se calculan los galones de agua que se deben aplicar a cada campo. Para facilitar este procedimiento se utiliza el Cuadro 4:

Cuadro 4: Procedimiento para determinar los galones de agua a ser aplicados a la cebolla.

1	2	3	4	5	6	7
Fecha	Requisito de riego (pulgadas)	Área a ser regada (pies cuadrados)	Factor de conversión 0.623	Galones de agua	Factor de eficiencia (0.90)	Total de galones de agua (Valor ajustado tomando en consideración la eficiencia de aplicación del sistema)
			0.623		0.90	

- **Columna 1**= Fecha (mes/día/año)
- **Columna 2**= Requisito de riego del repollo determinado en el Cuadro 3
- **Columna 3**= Área que ocupa el cultivo con relación al área de siembra
- **Columna 4**= Factor de conversión para cambiar de pulgadas a galones de agua
- **Columna 5**= Galones de agua (columna 2 x 3 x 4)
- **Columna 6** = Factor de eficiencia (Se utiliza para tomar en consideración la eficiencia del sistema de riego. El riego por goteo se estima que tiene un 90 por ciento de eficiencia en la aplicación de agua.)
- **Columna 7**= Total de galones de agua (columna 5 ÷ 6)

El método del evaporímetro es un procedimiento que puede ser utilizado para estimar las pérdidas que ha tenido el cultivo por el efecto combinado de la evaporación y la transpiración para un periodo de tiempo dado. Para utilizar este método a nivel de campo es necesario que el agricultor tenga disponible datos de evaporación, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento de una estación meteorológica ubicada en la misma región climática que la finca. De no haber datos meteorológicos representativos, el agricultor puede establecer una pequeña estación para tomar la data climática o utilizar datos estimados dependiendo de la zona agroecológica aplicable a la ubicación de su finca (Harmsen, 2002).

Como complemento al sistema de riego por goteo, se ha hecho práctico el uso de cubiertas plásticas. El propósito principal de la cubierta es crear una relación favorable suelo, agua y planta. Las cubiertas no transparentes inhiben la germinación y el crecimiento de las malezas reduciendo de ese modo la competencia con el cultivo y la cantidad de mano de obra empleada en el control de malezas. Las cubiertas mantienen una reserva más uniforme de humedad en el suelo al reducir la pérdida de agua atribuible a la evaporación. También, facilitan la localización y manejo de fertilizantes y fumigantes aplicados a través del agua de riego, reduciendo en parte la pérdida atribuible a volatilización y lixiviación profunda. Sirven de barrera a ciertos patógenos del suelo y mantienen el producto libre de suciedad, requiriendo menos atención en la fase de clasificación, empaque y procesamiento.

Las cubiertas plásticas de suelo como complemento al sistema de microriego no pueden adaptarse a todas las cosechas, lugares y objetivos específicos.

A continuación se enumeran algunas de sus desventajas principales:

- Las cubiertas plásticas son costosas. Se recomienda su uso en cultivos de alto valor que se puedan adaptar a la mecanización.
- La mayoría de los plásticos utilizados como cubierta no se descomponen, por lo cual deben retirarse del campo al terminar la temporada de producción del cultivo.
- La instalación, mantenimiento, remoción y disposición de las cubiertas aumenta los costos de producción del cultivo.

Para producir repollos de buena calidad, con cabezas uniformes y compactas, es necesario mantener una razón óptima de crecimiento en la planta. Si la planta de repollo crece bajo condiciones adversas por la falta de riego las cabezas pueden tener formas irregulares o deformes, o ser más pequeñas y compactas que los tamaños comerciales. En la etapa de formación del repollo se requiere riego a intervalos frecuentes para mantener un crecimiento vigoroso, ya que el sistema de las plantas es fibroso y poco profundo. Según las cabezas de repollo se tornan firmes y compactas se debe reducir el riego. Regar en exceso durante la última etapa de crecimiento (después que el repollo ha alcanzado la madurez) puede ocasionar hendiduras. Por el contrario, la falta de agua puede provocar escaldaduras solares.

Referencias

- Allen, R. G., L. S. Pereira, K. Raes y M. Martin, 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage, Paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Gierbolini, R. E., 1979. Soil Survey of Ponce Area of Puerto Rico. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service in cooperation with the University of Puerto Rico, Agricultural Experiment Station.
- Goyal, M. R., 1989. Estimation of monthly water consumption by selected vegetable crops in the semiarid and humid regions of Puerto Rico. AES Monograph 99-00, June, Agricultural Experiment Station, University of Puerto Rico, Río Piedras, PR. 431 pp.
- Hanson, B. R., S. Orloff y D. Peters, 2000. Monitoring soil moisture helps refine irrigation management. California Agriculture, Volumen 54 (3): pages 38-42 May – June 2000.
- Harmsen, E. W. y A. González, 2002. Puerto Rico Evapotranspiration Estimation. Computer Program PR-ET Version 1.0 User's manual. Prepared for the University of Puerto Rico, Agricultural Experiment Station, Río Piedras, PR. Grant SP-347, August, 2002. <http://www.UPRM.edu/abe/PRAGwater>.
- Hochmuth, G. J. y A. G. Smajstrla, 1998. Fertilizer Application and Management for micro (Drip)- Irrigated Vegetables in Florida. Univ. of Florida, Cooperative Extension Service Circular 1181, Institute of Food and Agricultural Sciences, Univ. of Florida. <http://edis.ifas.ufl.edu/cv141>
- Maynard, D. N. y G. J. Hochmuth. 1997. Knott's Handbook for Vegetable growers. 4th ed. Wiley Interscience, New York, 390 pp
- Olson, S. M. y B. Santos: (Editors), 2012. Vegetable Production Handbook for Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences, IFAS Extension, University of Florida. http://nfrec.ifas.ufl.edu/vegetable_handbook.shtml
- Ratliff, L. F., J.T. Ritchie y D. K. Cassel, 1983. Field measured limits of soil water availability as related to laboratory-measured properties. Soil Science Society of America 47:770-775.
- Smajstrla, A. G., y F. S. Zazueta, 1998. Estimating crop irrigation requirements for irrigation system design and consumptive use permitting. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Document AE-257, 6pp.
- Smajstrla, A. G., B. J. Boman, D. Z. Haman, F. T. Izuno, D. J. Pitts y F. S. Zazueta, 1997. Basic Irrigation Scheduling in Florida. Agricultural Engineering Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Bull. 249, 13pp.
- SCS, 1970. Irrigation Water Requirements. Technical Release No. 21. USDA Soil Conservation Service, Engineering Division