

Conjunto Tecnológico para la Producción de Berenjena¹

RIEGO²

Prof. Luis Ernesto Rivera³

Importancia

El agua del suelo es uno de los factores más importantes en 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 translocación de los nutrientes, y en grandes cantidades en el proceso fisiológico de la transpiración.

El riego es la aplicación suplementaria de agua con el objetivo principal de suplir la humedad adecuada a las plantas. Además, el riego puede tener otros propósitos:

- Asegurar un abasto suficiente de agua durante sequías de corta duración o clima variable
- Disolver sales del suelo
- Como medio para aplicar agroquímicos
- Mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal
- Activar ciertos agentes químicos

Hay muchos factores que influyen en el manejo del riego, entre los cuales están el sistema utilizado, las características del suelo, el cultivo y su estado de desarrollo y las condiciones ambientales. Cada uno de estos factores debe ser tomado en consideración al determinar la frecuencia del riego y la cantidad de agua que se debe aplicar. Cada cultivo tiene sus requisitos de agua particulares y cada suelo sus propiedades específicas que afectan en una forma u otra la disponibilidad de agua a las plantas.

Agua disponible en el suelo

El balance de agua que permanece en el suelo en un tiempo dado es un valor sumamente dinámico, ya que es el resultado neto de la cantidad recibida (ya sea por lluvia o riego) menos la cantidad perdida en los procesos que se indican y definen a continuación:

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 Berenjena* (Publicación 165. Mayo 2006).

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

- **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 perfil del 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 entre la capacidad de campo (0.33 bar de tensión) y el punto de marchitez permanente (15 bares de tensión).
- **Evaporación:** Agua que se pierde por evaporación a través de la superficie del suelo. La cantidad de agua perdida depende de la magnitud y frecuencia de las aplicaciones y la fracción de superficie de suelo expuesta. Aplicaciones bajas y frecuentes de agua generalmente resultan en altas pérdidas por evaporación, inclusive en el caso de riego por goteo.
- **Transpiración:** Agua que se evapora del suelo a través del sistema vascular de la planta. El volumen de agua transpirada dependerá de muchos factores como la demanda evapotranspirativa (evapotranspiración potencial), la etapa de desarrollo del cultivo y la cantidad de agua disponible en la zona de las raíces. La disponibilidad de esta agua para las plantas depende a su vez del sistema de raíces presente y de propiedades hidráulicas del suelo tales como porosidad, conductividad hidráulica y capacidad de retención de agua.

La humedad que contiene un suelo pocas veces es la adecuada para el mejor desarrollo de los cultivos. Algunos suelos son muy húmedos y otros carecen de suficiente humedad, por lo cual hay que regarlos para obtener buenos rendimientos de las cosechas. 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 está fuertemente adherida o retenida a las partículas del suelo. Si existen condiciones adecuadas para desagüe, comenzarán a vaciarse los poros de mayor tamaño en respuesta a la fuerza gravitacional. Cuando se vacían todos los macroporos, pero aún continúan llenos los poros capilares, se alcanza el punto denominado 'capacidad de campo'. El agua contenida en el suelo entre su punto de saturación (tensión de 0 bar) y de capacidad de campo (tensión de 0.33 bar) se denomina agua gravitacional.

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 ocupada 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 con 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.

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 suficiente agua a un ritmo lo suficientemente rápido para reponer la pérdida por transpiración por lo que comienzan a marchitarse. Se dice que las plantas están en un estado de marchitez incipiente cuando son capaces de recuperarse de la marchitez al colocarse en una atmósfera saturada de humedad. 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 se recuperan de la marchitez aún cuando se colocan en una atmósfera saturada de humedad. El contenido de agua del suelo en este punto se denomina 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 bajo estas condiciones por cierto tiempo.

En términos prácticos, se 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 nos provee esta información, ya que describe la relación entre la tensión hidrostática y la cantidad (o porcentaje de humedad) presente en el suelo. Existe una curva de retención para cada tipo de suelo, lo que 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 del suelo. El Cuadro 3 presenta los valores típicos de humedad para diferentes tipos de textura de suelo. Los valores se expresan en pulgadas de agua por pie de suelo; al lado de cada valor se expresa entre paréntesis el porcentaje volumétrico de humedad. El Servicio de Conservación de Recursos Naturales (USDA-NRCS) ha publicado un documento de clasificación de los suelos de Puerto Rico (Soil Survey) que 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. Al multiplicar este valor por la profundidad del sistema de raíces de un cultivo dado se obtiene la cantidad de agua que puede estar disponible al cultivo en cada serie de suelo en particular.

CUADRO 3. Valores típicos de humedad para diferentes tipos de textura de suelo.

<i>Textura del suelo</i>	<i>Capacidad de campo (0.33 bares de tensión)</i>	<i>Punto de marchitez permanente (15 bares de tensión)</i>	<i>Contenido de humedad disponible al cultivo</i>
<i>Valores en pulgadas por pie de suelo</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)
* número entre paréntesis indica el porcentaje de humedad por volumen Fuente de la información: 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 Sci. Soc. Am. 47:770-775.			

Absorción de agua

La capacidad de absorción de agua de las plantas disminuye a medida que aumenta la profundidad del suelo debido a que el sistema radical de las plantas no es homogéneo. El mismo es ramificado y ancho en la capa superior del suelo y va raleando y estrechándose a medida que penetra en el suelo.

La absorción de agua por la raíz compensa la pérdida de agua por transpiración en la planta. En días calurosos y secos la planta necesita absorber agua rápidamente para reponer el agua perdida. 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 inversión de energía necesaria para absorber las últimas porciones de agua disponible como por el marchitamiento temporal, que limitan la actividad fisiológica de las plantas.

Momento de aplicar riego

Se han desarrollado métodos e instrumentos para programar el riego. Uno de los métodos más sencillos utilizados para este propósito es la apreciación visual y táctil del suelo en combinación con indicadores del cultivo, como cambios en color, turgencia o ángulos de las hojas. Este método en particular 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 afecten por el déficit de humedad en el suelo.

En términos prácticos hay dos métodos que se pueden utilizar para determinar cuándo regar. Uno de estos métodos consiste en aplicar el riego cuando la tensión de humedad en el suelo ha alcanzado un valor recomendado, dependiendo del tipo de cultivo. La necesidad de aplicar riego se determina 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 berenjena indican que los mayores rendimientos se obtienen cuando se riega a base de lecturas de tensiómetros colocados a 12 pulgadas de profundidad en el suelo, manteniendo las lecturas en el instrumento entre los 0 y 45 centibares. Al utilizar tensiómetros, bloques de resistencia u otros sensores de humedad es recomendable preparar una curva de calibración para conocer el porcentaje de humedad del 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 términos de porcentaje de agua disponible. En la mayoría de los cultivos, incluyendo la berenjena, 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 necesita 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.

La cantidad de agua evaporada desde la superficie del suelo y la que se pierde por transpiración del cultivo se conoce en conjunto como evapotranspiración (ET). La función del riego es reponer la pérdida por evapotranspiración con base al tiempo. Si se conoce la cantidad de agua que se pierde por evapotranspiración en un período de tiempo dado, se puede reponer al suelo la cantidad de agua perdida.

En los sistemas de microriego la pérdida atribuible a la evaporación puede ser en algunos casos relativamente baja, particularmente en sistemas de producción bajo cubierta plástica, lo que indica que la transpiración 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, tipo de suelo, contenido de humedad, temperatura del aire, humedad relativa, viento, y el tipo de cultivo, etapa de desarrollo, tamaño, y condición de salud. Se han desarrollado distintas fórmulas matemáticas para calcular la evapotranspiración. Muchas de estas fórmulas resultan ser de limitado uso práctico debido al gran número de variables, 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 solamente aplicables a ciertos cultivos y a unas áreas geográficas o zonas climáticas específicas.

El método del evaporímetro es un procedimiento que puede ser utilizado para estimar las pérdidas que ha tenido el cultivo por efecto combinado de la evaporación y la transpiración para un periodo de tiempo dado. Para utilizar este método en el campo, es necesario que el agricultor tenga disponible los 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 estas facilidades disponibles para obtener datos meteorológicos representativos, el agricultor puede establecer en su finca una pequeña estación para tomar los datos.

El tanque de evaporación o evaporímetro es un instrumento de tamaño estándar comúnmente utilizado para estimar la evaporación o razón diaria de uso de agua. El tanque, con un diámetro de 47.5 pulgadas y una altura de 10 pulgadas, tiene un calibrador por medio del cual se mide el cambio en el nivel de agua debido a la evaporación o lluvia. La evaporación en el tanque se mide en décimas de pulgada. El tanque de evaporación se coloca en el campo para que esté expuesto a las mismas condiciones climáticas que el cultivo. Estudios han demostrado que la razón de evaporación registrada en el tanque 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 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 los valores de evaporación del tanque pueden ser ajustados o relacionados a los requisitos de riego de un cultivo dado utilizando unos factores o coeficientes 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 4 presenta los valores K_p recomendados para condiciones variables de los factores anteriormente indicados (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24). También debemos utilizar un factor (coeficiente) de evapotranspiración de la cosecha (K_c) para relacionar la pérdida de agua con el tipo, etapa de desarrollo, resistencia estomatal y otros factores genéticos de la planta o cultivo.

En Puerto Rico no se ha realizado investigación de campo para validar los valores del coeficiente del tanque (K_p) y los coeficientes de evapotranspiración de la cosecha (K_c) para la berenjena. Los trabajos realizados se han limitado a desarrollar mediante modelos matemáticos los coeficientes de evapotranspiración de la cosecha (K_c) tomando en consideración el estado de crecimiento y el periodo que permanecerá la siembra en el campo (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, Agricultural Experiment Station, University of Puerto Rico. 431 pp).

CUADRO 4. *Coefficientes del tanque (Kp) para el Evaporímetro Clase A bajo condiciones variables de ubicación, ambiente, humedad relativa y velocidad del viento (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24).*

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

En teoría se puede determinar el consumo de agua de un cultivo o evapotranspiración del cultivo (Etc) multiplicando la evapotranspiración potencial o de referencia (Eto) por un coeficiente de evapotranspiración de la cosecha (Kc): $Etc = Eto \times Kc$. Utilizando esta fórmula se determina el valor del coeficiente de evapotranspiración de la cosecha (Kc): $Kc = Etc/Eto$. El Cuadro 5 presenta los coeficientes de evapotranspiración de la cosecha para la berenjena, determinados mediante el método Blaney-Criddle. Estos valores no han sido validados en el campo, por lo que deben ser utilizados como valores de referencia. Para determinar el valor que mejor se ajuste a cada caso en particular, es recomendable colocar tensiómetros a diferentes profundidades en el suelo para tener un cuadro general de la distribución de humedad en la zona de raíces. Las lecturas del tensiómetro nos indicarán si hay humedad adecuada o si hay necesidad de aumentar o reducir el valor del coeficiente. Es deseable que las lecturas del tensiómetro se mantengan entre 10 y 20 centibares. Luego del riego se observa la tendencia en las lecturas del instrumento.

Si las lecturas de los tensiómetros comienzan a aumentar esto indica que el nivel de humedad en el suelo disminuye, por lo cual se debe aumentar el valor del coeficiente. Si por el contrario las lecturas de los tensiómetros comienzan a descender, el nivel de humedad en el suelo aumenta y se debe reducir el valor del coeficiente hasta que las lecturas se mantengan entre los 10 a 20 centibares de tensión.

CUADRO 5. *Coeficientes de evapotranspiración de la cosecha (Kc) para la berenjena (Método Blaney-Criddle).*

Etapa de crecimiento (días)	Kc para berenjena		
	Duración de la cosecha en el campo		
	120 días	150 días	180 días
0-30	0.52	0.51	0.51
31-60	0.73	0.61	0.57
61-90	1.02	0.91	0.80
91-120	0.96	1.05	0.99
121-150	-	0.96	1.03
151-180	-	-	0.96

Fuente: Goyal, 1989. AES Monografía 88-90, Junio-1989.

Utilizando el método del evaporímetro o tanque de evaporación se puede determinar el requisito de riego de la berenjena mediante la siguiente fórmula:

$$L = (E_{to} \times K_c) - E_r$$

$$E_{to} = E_p \times K_p$$

En donde:

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

E_{to} = evapotranspiración de referencia o evapotranspiración potencial, medida en pulgadas de agua perdida. 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). Se consideran solamente los valores de precipitación mayores a 0.15 pulgadas. Precipitación menor a esta cantidad por lo general se pierde por efecto de evaporación sin infiltrar a través del suelo.

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

K_p = 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 al tanque.

K_c = Coeficiente de evapotranspiración de la cosecha. (Dado que no tenemos disponibles los coeficientes de evapotranspiración de la cosecha para la berenjena, podemos utilizar como valores de referencia los coeficientes de crecimiento anteriormente indicados. En este caso debemos utilizar tensiómetros para conocer la condición de humedad en el suelo luego del riego y poder determinar los valores que mejor se ajustan a nuestro caso en particular.)

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

Galones de agua = $0.623 \text{ gal /pulg-pie cuadrado} \times L \text{ en pulgadas} \times \text{Área del cultivo en pies cuadrados}$

- **0.623** es un factor de conversión: Un pie cuadrado equivale a 144 pulgadas cuadradas (12 pulgadas x 12 pulgadas = 144 pulgadas cuadradas). Un galón de agua ocupa un volumen de 231 pulgadas cúbicas. Por lo tanto, 144 pulgadas por pie cuadrado divididas entre 231 pulgadas cúbicas/galón = 0.6233 galones/pulg- pie cuadrado.
- **L** = lámina de riego (requisito de riego de la berenjena medida en pulgadas)
- **Área de cultivo** = área que ocupa el cultivo con relación al área de siembra. En la mayoría de las siembras de berenjena en la costa sur se utiliza una distancia entre bancos de 6 pies (unas 72 pulgadas de separación de banco a banco). Cuando se utiliza el sistema de goteo se humedece una faja de unas 24 a 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 porcentaje del banco que será humedecido, por ejemplo, 40 pulgadas de un total de 72 pulgadas = 0.55. Este valor (0.55) lo multiplicamos por 42,305 (pies cuadrados en una cuerda) para obtener el área que será humedecida en una cuerda de terreno (= 23,267.75 pies cuadrados). Esto indica que de una cuerda de terreno solamente se humedecerá un área equivalente a 23,267.75 pies cuadrados.

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 ser aplicados. Se estima que la eficiencia de aplicación de agua en los sistemas de microriego es de un 90 por ciento. Dado esto, para determinar los galones de agua que se deben aplicar, se dividen los galones de agua obtenidos mediante la fórmula entre la eficiencia del sistema.

En el campo se utiliza un medidor de flujo (metro) o una válvula volumétrica para medir la cantidad de agua que se va a aplicar a cada área sembrada. 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 de agua calculados 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 uno a tres riegos por predio por semana dependiendo del cultivo, 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 cultivo, haciendo uso eficiente del agua y energía.

Al utilizar el tanque de evaporación para programar el riego se necesita saber tanto la cantidad de agua perdida (por evapotranspiración) como la ganancia de agua en el suelo (por riego o lluvia). Como punto de partida se necesita 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 estarán dirigidas a reponer la pérdida debido a la evapotranspiración. En los periodos 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 facilitar este procedimiento y poder determinar la cantidad de riego que se debe aplicar en cada caso se utiliza el formato presentado en el Cuadro 6:

CUADRO 6. *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 (pulg)	Evaporación total para el periodo (Ep)	Coefficiente del tanque (Kp)	ETo potencial (referencia) (Eto)	Valor Kc	ETc ajustada al cultivo	Lluvia registrada (pulg)	Lluvia efectiva (pulg)	Requisito de riego (pulg)

- **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 al evaporímetro.
- **Columna 5=** Evapotranspiración potencial o de referencia. Se obtiene multiplicando la evaporación del tanque (Ep) por el coeficiente del tanque (Kp) (columna 3 x 4).

- **Columna 6** = Valor del coeficiente de evapotranspiración de la cosecha. Se recomienda utilizar como referencia el Cuadro 5 y ajustar el valor con la ayuda de tensiómetros.
- **Columna 7**= Valor de la evapotranspiración del cultivo. Se obtiene multiplicando el valor de la evapotranspiración potencial por el coeficiente de evapotranspiración 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).
- **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.

Una vez determinada la cantidad (pulgadas) se calculan los galones de agua que se deben aplicar a cada predio. Para facilitar este procedimiento se utiliza el Cuadro 7:

Cuadro 7. Procedimiento para determinar los galones de agua a ser aplicados a la berenjena

1	2	3	4	5	6	7
Fecha	Requisito de riego (pulgadas)	Área a ser regada (pies cuadrados)	Factor de conversión	Galones de agua	Factor de eficiencia	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 de la berenjena determinado en el Cuadro 6
- **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)

Además del método del tanque de evaporación, hay otros procedimientos que pueden ser utilizados para determinar la evapotranspiración. Como se indicó anteriormente, algunas de estas fórmulas son solamente aplicables a ciertos cultivos y a unas áreas geográficas o zonas

climáticas específicas. El personal técnico del Servicio de Extensión Agrícola y del Servicio de Conservación de Recursos Naturales puede orientarles sobre este particular.

El sistema radicular de la planta de berenjena es moderadamente profundo (entre 36 a 48 pulgadas). La mayoría de las raíces de absorción están a una profundidad entre 6 a 18 pulgadas. Se debe manejar el riego de modo tal que se mantenga humedad adecuada en la zona de raíces, especialmente durante los periodos críticos del trasplante, la florecida y fructificación. Es importante mantener un programa de riego adecuado guiado por tensiómetros y otros métodos alternos. El exceso de agua en la berenjena puede ser tan detrimental como un déficit de humedad. Condiciones de saturación en el suelo por un periodo largo de tiempo interfieren con el intercambio de gases en la zona de la raíz y favorecen el desarrollo de enfermedades en el cultivo. El agricultor debe manejar las operaciones de riego haciendo uso eficiente del recurso agua y reduciendo, hasta donde sea posible, los costos de energía.