

Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate¹

RIEGO²

Prof. Luis Ernesto Rivera³

Importancia

El agua del suelo, al igual que la temperatura, la radiación solar y la evaporación son factores importantes que afectan 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 nutrimentos. En grandes cantidades el agua es necesaria en el proceso fisiológico de la transpiración.

El riego es la aplicación suplementaria de agua con el objetivo de reponer la cantidad utilizada por el efecto combinado de la transpiración y evaporación. 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 al momento de determinar el requisito de riego del tomate, 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. El tomate tiene un requisito de riego alto y un sistema radical extenso. Cada tipo de suelo en particular tiene propiedades que afectan en una forma u otra el suministro de agua a las plantas.

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 Tomate de Ensalada* (Publicación 166. Junio 2007).

³ Investigador, Departamento de Agronomía y Suelos, 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 requiere conocer la cantidad de agua 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, 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:

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: Se refiere a la 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 entre la capacidad de campo (0.33 bar de tensión) y el porcentaje de marchitez permanente (15 bares de tensión).

Evaporación: La evaporación es el cambio del agua etapa líquida a gaseosa y 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 favorece cuando el aire está caliente, seco o muy movido (ventoso). La transpiración está directamente relacionada con factores ambientales (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 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 las condiciones son adecuadas para el 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 capacidad de campo (tensión de 1/3 bar o 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 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 suficiente agua a un ritmo lo suficientemente rápido para reponer la pérdida por transpiración y 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. El agua que puede ser utilizada por las plantas, denominada agua disponible, es aquella retenida en el suelo entre el punto de capacidad de campo (0.33 bar) y el punto de marchitez permanente (15 bares).

En términos prácticos, se debe evitar que el potencial de agua en el suelo alcance el punto de marchitez. 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. El Cuadro 1 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

por ciento volumétrico de humedad. El Servicio de Conservación de Recursos Naturales (USDA-NRCS por sus siglas en inglés) ha publicado un documento de clasificación de los suelos para el área sur de Puerto Rico (“*Soil Survey of Ponce Area*”) 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 del tomate (unas 24 pulgadas) obtenemos la cantidad de agua que puede estar disponible al cultivo en cada serie de suelo en particular.

Cuadro 1. 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>
Valores en pulgadas por pie de suelo			
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 et al., 1983).			

Absorción de agua

La capacidad de absorción de agua de la planta de tomate disminuye a medida que aumenta la profundidad en el suelo debido a que su sistema radicular es ramificado y ancho en la capa superior, y va raleando y estrechándose según profundiza en el suelo. Por lo tanto, la absorción de agua a diferentes profundidades no será uniforme debido a que a mayor profundidad habrá una menor cantidad de raíces en contacto con el agua disponible.

La absorción de agua por la raíz compensa la pérdida de agua debido a la transpiración. En días calurosos y secos la planta necesita absorber agua rápidamente para reponer el agua

perdida. La pérdida de agua 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 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.

Momento de aplicar riego

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, 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 afecte por el déficit de humedad en el suelo.

En términos prácticos hay dos métodos que se pueden 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 tomate 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 menores de 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 el tomate, 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.

Aunque el sistema radicular de la planta de tomate es profundo (mayor de 48 pulgadas), la mayoría de las raíces de absorción están a una profundidad entre seis 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 del trasplante, la florecida y fructificación. Es importante mantener un programa de riego adecuado guiado por tensiómetros y otros métodos alternos. En el cultivo de tomate el exceso de agua puede ser tan detrimental como un déficit de humedad. Condiciones de saturación en el suelo por un período largo de tiempo interfieren con el intercambio de gases en la zona de la raíz y contribuyen al desarrollo de enfermedades detrimentales al 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.

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 con base al tiempo. Si se conoce la cantidad de agua que se pierde por evapotranspiración en un período de tiempo dado se puede determinar la cantidad que debemos reponer al suelo.

En los sistemas de microriego, las pérdidas atribuibles a la evaporación pueden ser en algunos casos relativamente bajas, particularmente en sistemas de producción sobre bancos con cubierta plástica, lo que 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, el contenido de humedad del 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 y su condición de salud, entre otros. 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 tanque o bandeja 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 de evaporación 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 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 los valores de evaporación del tanque pueden ser ajustados o relacionados con 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 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 o coeficiente de evapotranspiración de la 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 el tomate. 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, 1989). Se desarrolló un programa de computadora (PR-ET) para estimar los valores de los coeficientes utilizando datos climáticos para diferentes regiones de Puerto Rico (Harmsen, 2002).

Cuadro 2. Coeficientes del tanque (K_p) 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	Caso A : Tanque de evaporación rodeado por área verde (grama)				Caso B : Tanque de evaporación rodeado por tierra seca y descubierta (sin cultivo)			
		Baja < 40	Mediana 40 - 70	Alta > 70		Baja < 40	Mediana 40 - 70	Alta > 70
Humedad Relativa (%)								
Velocidad del viento (Km/día)	A barlovento : Distancia del área verde (metros)				A barlovento : Distancia del área seca (metros)			
Suave	1	0.55	0.65	0.75	1	0.7	0.8	0.85
<175	10	0.65	0.75	0.85	10	0.6	0.7	0.8
	100	0.7	0.8	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.5	0.6	0.7
Moderado 175 – 425	1	0.5	0.6	0.65	1	0.65	0.75	0.8
	10	0.6	0.7	0.75	10	0.55	0.65	0.7
	100	0.65	0.75	0.8	100	0.5	0.6	0.65
Fuerte 425 – 700	1000	0.7	0.8	0.8	1000	0.45	0.55	0.6
	1	0.45	0.5	0.6	1	0.6	0.65	0.7
	10	0.55	0.6	0.85	10	0.5	0.55	0.65
Muy Fuerte > 700	100	0.6	0.65	0.7	100	0.45	0.5	0.6
	1000	0.65	0.7	0.75	1000	0.4	0.45	0.55
	1	0.4	0.45	0.5	1	0.5	0.6	0.65
	10	0.45	0.55	0.6	10	0.45	0.5	0.55
	100	0.5	0.6	0.65	100	0.4	0.45	0.5
	1000	0.55	0.6	0.65	1000	0.35	0.4	0.45

En teoría podemos determinar el consumo de agua de un cultivo (ET_c) multiplicando la evapotranspiración potencial (ET_o) por un coeficiente de evapotranspiración de la cosecha (K_c): $ET_c = K_c (ET_o)$. Utilizando esta fórmula se determina el valor del coeficiente de evapotranspiración de la cosecha (K_c): $K_c = ET_c/ET_o$.

El Cuadro 3 presenta los coeficientes para las etapas de desarrollo del tomate determinados por el método Blaney-Criddle (Goyal, 1989). Para obtener el valor del coeficiente de evapotranspiración del tomate (K_c) debemos multiplicar cada valor por un coeficiente de clima (K_t), el cual se refiere a la temperatura promedio del aire (SCS, 1970). Como se indicó anteriormente, estos valores no han sido validados a nivel de campo, por lo cual solamente deben ser considerados como valores de referencia. Para determinar el valor que mejor se ajusta a cada caso en particular recomendamos colocar tensiómetros a diferentes profundidades (6, 12 y 18 pulgadas) en el suelo para tener un cuadro general de la distribución de humedad en la zona de

raíces. Las lecturas de los tensiómetros indicarán si hay humedad adecuada en las distintas profundidades o si hay la necesidad de aumentar o reducir el valor del coeficiente. Nuestro objetivo es lograr que las lecturas del tensiómetro instalado a 12 pulgadas se mantengan alrededor de los 33 centibares (1/3 de bar). Luego del riego se observa la tendencia en las lecturas del instrumento. Si los valores de tensión del instrumento 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 por lo que se debe reducir el valor del coeficiente hasta que las lecturas se mantengan cerca de 33 centibares de tensión (punto de capacidad de campo). Actualmente el método preferido por la comunidad científica para estimar los coeficientes de evapotranspiración de los cultivos es el método de la FAO (Allen, 1998: *Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements*).

Cuadro 3. Coeficientes para las etapas de desarrollo del tomate (*crop growth stage coefficient*) determinados por el método Blaney-Criddle (Goyal, 1989). Para obtener el valor del coeficiente de evapotranspiración del cultivo, debemos multiplicar por un coeficiente de clima (K_t), el cual se refiere a la temperatura promedio del aire (SCS, 1970).

Etapa de crecimiento (días)	Coeficientes para tomate		
	Duración de la cosecha en el campo		
	120 días	135 días	150 días
0-30	0.58	0.58	0.50
31-60	1.00	0.99	0.60
61-90	1.06	1.00	0.99
91-120	0.78	1.06	1.07
121-135	N/A	0.79	0.79
136-150	N/A	N/A	0.80

Fuente: Goyal, 1989.

Utilizando el método del evaporímetro o tanque de evaporación podemos determinar el requisito de riego del tomate 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.

Er= 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.

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

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 de la cosecha. (Dado que no tenemos disponibles los coeficientes de evapotranspiración para el tomate, se pueden utilizar como valores de referencia los coeficientes de crecimiento o utilizar la metodología recomendada por la FAO.)

Una vez se obtiene el valor de la evapotranspiración se calculan los galones de agua que hay que 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 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 =0.623 galones/(pulgadas)(pie²)
- **L** = lámina de riego (requisito de riego del tomate medido en pulgadas)
- **Área de cultivo** = área que ocupa el cultivo con relación al área de siembra. La mayoría de las siembras de tomate en la costa sur se realizan utilizando una distancia entre bancos de seis 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 porcentaje 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 (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 aplicarse. 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 en 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 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 uno a dos 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 la 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 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 estarán dirigidas 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 que se debe aplicar se puede utilizar el formato presentado en el Cuadro 4.

Cuadro 4. 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	ETe 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 o de referencia. Se obtiene multiplicando la evaporación del tanque (Ep) por el coeficiente del tanque (Kp) (columna 3 x columna 4)
- **Columna 6** = Valor del coeficiente de evapotranspiración de la cosecha. Utilizar como referencia el Cuadro 3 y ajustar el valor con la ayuda de tensiómetros, o utilizar metodología recomendada por la FAO.

- **Columna 7** = Valor de la evapotranspiración del cultivo. Se obtiene multiplicando la evapotranspiración potencial por el coeficiente de la cosecha (columna 5 x columna 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 – columna 9). Si el valor es negativo no hay que aplicar riego.

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 5:

Cuadro 5: Procedimiento para determinar los galones de agua a ser aplicados al tomate

1	2	3	4	5	6	7
Fecha	Requisito de riego (pulgadas)	Area 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 tomate determinado en el cuadro 4
- **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 columna 3 x columna 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 ÷ columna 6)

El método del tanque de evaporación o 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 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 datos meteorológicos representativos, el agricultor puede establecer una pequeña estación para tomar los datos climáticos o utilizar datos estimados dependiendo de la zona agroecológica aplicable a la ubicación de su finca (Harmsen, 2002).

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 Cooperativo de Extensión Agrícola, de la Estación Experimental Agrícola y del Servicio de Conservación de Recursos Naturales puede orientarles sobre este particular.

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, Rio Piedras, PR. 431pp.
- Hanson, B. R., S. Orloff y D. Peters, 2000. Monitoring soil moisture helps refine irrigation management. California Agriculture, Volumen 54 (3): 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, P.R. Grant SP-347, August, 2002.
- 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>
- Hochmuth G. J. y C. S. Vavrina, 1998. Tomato production guide for Florida: Crop Establishment. SP-214 - University of Florida. Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. 4 pp.
- Maynard, D. N. y G. J. Hochmuth, 1997. Knott's Handbook for Vegetable growers. 4th ed. Wiley Interscience, New York, 390 pp.
- 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.
- SCS, 1970. Irrigation Water Requirements. Technical Release No. 21. USDA Soil Conservation Service, Engineering Division.
- 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, 6 pp.

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.