

# El riego y la fertilización del cultivo del tomate

Carlos Ricardo Bojacá  
Edwin Andrés Villagrán  
Rodrigo Gil  
Hugo Franco

El riego y la fertilización del cultivo del tomate : guía técnica de campo / Carlos Ricardo Bojacá ... [et al.]. – Bogotá : Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2017. 64 p. : il. col. ; 10x16 cm.

ISBN: 978-958-725-209-5

1. TOMATES - CULTIVO. I. Bojacá, Carlos Ricardo.

CDD635.642

## **El riego y la fertilización del cultivo del tomate**

ISBN: 978-958-725-209-5

Carlos Ricardo Bojacá  
Edwin Andrés Villagrán  
Rodrigo Gil  
Hugo Franco

Rectora Cecilia María Vélez White

Vicerrectora Académica Margarita María Peña Borrero

Vicerrectora Administrativa Nohemy Arias Otero

Decano de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería Isaac Dyner Rezonzew

Director del Departamento de Ciencias Básicas Favio Cala Vitery

### **Editorial UTADEO**

Jefe de publicaciones Daniel Mauricio Blanco Betancourt

Coordinación gráfica y diseño Luis Carlos Celis Calderón

Coordinación editorial Mary Lidia Molina

Coordinación revistas científicas Juan Carlos García Sáenz

Distribución y ventas Sandra Guzmán

Asistente administrativa Blanca Esperanza Torres

### **Edición**

Corrección de estilo Édgar Ordoñez

Diseño de original de pauta gráfica Diana Hernández Mahecha

Ajuste de pauta gráfica y diagramación Luis Carlos Celis Calderón

Revisión editorial Mary Lidia Molina

Fotografía Luis Carlos Celis Calderón

Figuras realizadas por los autores

Impresión Panamericana Formas e Impresos S.A.

© Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin autorización escrita de la Universidad.

Impreso en Colombia – Printed in Colombia

Carrera 4 N.º 22-61 – pbx: 242 7030 [www.utadeo.edu.co/editorial](http://www.utadeo.edu.co/editorial)





<b>Presentación</b>	<b>4</b>
<b>RIEGO</b>	<b>5</b>
Relación agua-planta	7
Relación agua-suelo	8
Relación agua-planta-atmósfera	13
Cultivo a campo abierto	16
Cultivo bajo invernadero	17
Situación actual	18
Componentes de un sistema de riego localizado	20
¿Cuánto y cuándo regar?	24
Riego bajo invernadero	24
Riego a campo abierto	28
Buenas prácticas de riego	31
<b>FERTILIZACIÓN</b>	<b>33</b>
Suelo	35
<i>pH</i>	35
<i>Conductividad eléctrica (CE)</i>	38
<i>Nitrógeno</i>	40
<i>Fósforo</i>	42
<i>Potasio</i>	44
<i>Materia orgánica</i>	46
<b>PLANTA</b>	<b>49</b>
Nutrientes	51
<i>Nitrógeno</i>	51
<i>Fósforo</i>	52
<i>Potasio</i>	54
Recomendaciones de fertilización	55
<i>Nitrógeno</i>	57
<i>Fósforo</i>	57
<i>Potasio</i>	58
<b>FERTITOM</b>	<b>60</b>
Página Web	60
<i>Paso 1</i>	61
<i>Paso 2</i>	62
<i>Paso 3</i>	63
Tabla de conversión	64

# PRESENTACIÓN

El tomate es una de las hortalizas de mayor consumo en Colombia, y, por lo tanto, también es uno de los productos hortícolas con mayor área cultivada. La diversidad de zonas agroclimáticas de Colombia permite que el tomate se cultive a lo largo y ancho del país bajo dos principales sistemas de cultivo: a campo abierto y bajo invernadero.

El desarrollo del cultivo bajo uno u otro sistema productivo requiere la correcta aplicación de los conceptos agronómicos básicos para el adecuado manejo de prácticas como el riego o la fertilización del cultivo. Por lo anterior, presentamos esta guía práctica de bolsillo enfocada en el manejo del riego y la fertilización del cultivo del tomate.

Esta guía práctica se ha diseñado de modo que el lector pueda comprender y aplicar de manera sencilla los conceptos que aquí se presentan. El objetivo de esta cartilla es que los conceptos incluidos le permitan al productor hacer un manejo racional de recursos como el agua y los fertilizantes, para que al final obtenga rendimientos óptimos.

Esta guía práctica recopila los resultados de las investigaciones realizadas en el marco del proyecto “Desarrollo de un prototipo de sistema de soporte a la decisión para el manejo del agua y la nutrición del tomate a campo abierto y bajo invernadero”, cofinanciado por Colciencias y ejecutado por la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y la Universidad Central.

# RIEGO

5

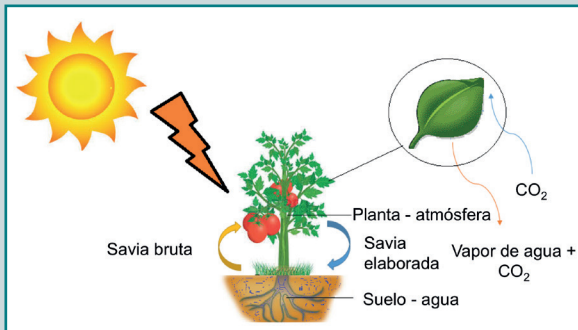
La cuantificación de los requerimientos hídricos del cultivo, el método de aplicación del riego y la programación del mismo dependen de las relaciones específicas de los componentes que interactúan con la planta, entre los cuales están el suelo, la atmósfera y el agua.



## Relación agua-planta

El agua es un elemento fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas; mediante el aprovechamiento de este elemento, las plantas cumplen funciones específicas, entre las que cabe mencionar las siguientes:

- **Agua de constitución y sostén.** Las plantas están constituidas por dos componentes básicos: agua en un alto porcentaje y lo que se conoce como *materia seca*. El agua de constitución corresponde a la mínima necesaria que debe existir en la estructura de la planta para garantizar su adecuado funcionamiento.
- **Agua de transporte.** Las plantas acceden al agua y los nutrientes presentes en el suelo por medio de las raíces. Cuando estas sustancias se encuentran dentro de la planta se conocen como *savia bruta*, y esta es transportada por el xilema a las hojas, donde es convertida en savia elaborada, y es nuevamente distribuida a través del floema a los diferentes órganos de la planta; sin la presencia de agua, este proceso no podría desarrollarse.
- **Agua de transpiración.** Las plantas liberan agua por las hojas a través de los estomas, generando un flujo denominado *transpiración*, que es controlado mediante la apertura y el cierre de los estomas. Mediante este proceso las plantas toman oxígeno y carbono de la atmósfera, y, a la vez, ocurre la pérdida de agua por transpiración, ocasionando el movimiento del agua y de los nutrientes a través de la planta.



Funciones del agua en la planta

## Relación agua-suelo

El suelo es un conjunto no compacto de agregados (arenas, limos y arcillas) de diferentes tamaños. La cantidad presente en volumen de cada una de estas partículas agregadas da origen a un grupo textural que puede ser arenoso, franco o arcilloso. Estas clases texturales determinan el comportamiento de una serie de propiedades hidrofísicas del suelo que inciden directamente sobre el movimiento y disponibilidad de agua en el sistema agua-suelo-planta. Otra característica relevante en un suelo agrícola es la existencia de un espacio poroso, pues el volumen ocupado por este espacio oscila entre el 30 y el 45 % del total de la masa de suelo. De todos los poros, los de mayor diámetro (macroporos) permiten un paso rápido del agua, y solo los de menor tamaño (microporos) son capaces de retener y almacenar agua. Esto determina la presencia de tres tipos de agua

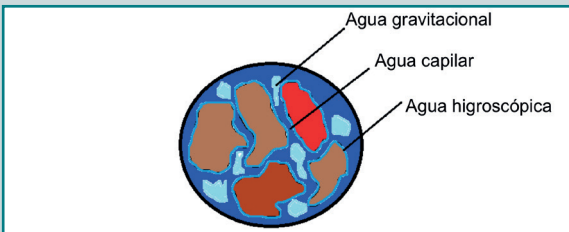


con relación a la disponibilidad y retención que tienen en el suelo. Estos son los tipos de agua:

**Agua gravitacional.** Este tipo de agua tiene como característica principal su libre movimiento en el perfil del suelo; no está retenida; por ende, no es agua disponible para la planta. Se clasifica, según la velocidad de su flujo, en lenta y rápida.

**Agua higroscópica.** Este tipo de agua se encuentra fuertemente adherida a las partículas agregadas de los suelos; no es agua disponible para la planta, y su fuerza de retención es superior a las 15 atmósferas de succión.

**Agua capilar.** Este tipo de agua está disponible para la planta, se encuentra retenida en los microporos del suelo y su fuerza de retención está comprendida entre las 0.33 y las 15 atmósferas de succión. Su disponibilidad para la planta depende de la cantidad de agua presente.



Tipos de agua en la matriz del suelo

Dependiendo del tipo y cantidad de agua presente, el suelo adquiere contenidos de humedad que contribuyen al óptimo desarrollo de la planta o a su marchitamiento. Estos contenidos de humedad son

la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP).

En el contenido de humedad a capacidad de campo, una gran cantidad de microporos están ocupados por agua disponible. El esfuerzo de succión que una planta debe realizar es pequeño (0.33 atmósferas) y puede movilizar el agua desde la zona de las raíces hasta los órganos superiores de la planta.

El contenido de humedad a capacidad de campo es la condición de humedad ideal para el óptimo desarrollo de las plantas. Este contenido de humedad es alcanzado generalmente 24 horas después de saturar por completo un suelo, y los tipos de agua presentes son capilar e higroscópica.

En el contenido de humedad a punto de marchitez permanente, el agua presente es de tipo higroscópica. Esta agua no está disponible para la planta debido a que el esfuerzo de succión que debe realizar para obtenerla está por encima de las 15 atmósferas. Cuando un suelo llega a esta condición, el crecimiento vegetativo se detiene.



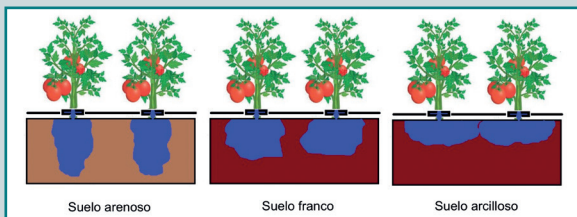
Contenidos de humedad en el suelo

Otros parámetros hidrofísicos del suelo que se deben analizar específicamente para la selección de un sistema de riego por goteo adecuado es la velocidad de infiltración básica. Este valor representa la velocidad con que el agua penetra desde la superficie hasta las capas profundas del suelo, y depende de la clase textural del suelo.

Tipo de suelo	Velocidad de infiltración
Arenoso	> 30 mm/hora
Franco arenoso	20-30 mm/hora
Franco	10-20 mm/hora
Franco arcilloso	5-10 mm/hora
Arcilloso	< 5 mm/hora

Velocidad de infiltración para diferentes tipos de suelo. Adaptado de Lop. A., Peiteado. C. & Budes de Aliaru, V. (2005). Curso de riego para agricultores. Proyecto de autogestión del agua en la agricultura. WWF/Adena. 34 pp.

Generalmente, a la hora de seleccionar el caudal del gotero, este debe ser menor que la velocidad de infiltración para el tipo de suelo del terreno donde se establecerá el cultivo, para evitar el movimiento de agua por el fenómeno de escorrentía que se produce después de que el terreno se satura. Así se evita que se formen zonas de exceso de agua a nivel superficial. Otra medida importante es definir la separación entre goteros: en suelos arcillosos esta separación oscila entre 30 y 50 cm, y en suelos arenosos, entre 10 y 20 cm, puesto que el bulbo de humedecimiento es diferente en cada clase textural.



Bulbos de humedecimiento en el suelo según clase textural

Un factor que debe ser analizado antes de establecer un sistema productivo es la calidad del agua usada para irrigación. Este factor es determinante en los rendimientos de los cultivos, la calidad de los productos cultivados, la conservación del recurso suelo y la protección del ambiente. Por ejemplo, las propiedades físico-químicas del suelo (p. ej., estructura, estabilidad de los agregados y permeabilidad) son características muy sensibles al tipo de iones intercambiables provenientes del agua de riego. Los factores más importantes que deben tenerse en cuenta para determinar la calidad del agua usada para fines agrícolas son los siguientes:

- pH. Es necesario que el pH tienda a la neutralidad y que se encuentre al menos en el rango de 5 a 8.
- Conductividad eléctrica (CE). El valor debe estar por debajo de 0.2 dS/m, lo que indica que el aporte de sales al suelo es casi nulo.
- Relación de absorción de sodio (RAS). El valor de esta relación debe ser bajo; esto garantizará que el suelo no se contamine con sodio.

## Relación agua-planta-atmósfera

La relación directa entre la extracción del agua del suelo a través de la planta y su liberación a la atmósfera es cuantificable mediante el fenómeno de evapotranspiración. Este fenómeno puede ser medido por sensores directos o calculado con modelos matemáticos que relacionan las variables climáticas de la zona que se desea determinar con la actividad del riego. Para ello es necesario tener claros los siguientes conceptos.

Del total de agua que es absorbida por la planta, solo una pequeña cantidad es retenida dentro de los diferentes órganos de ella. La mayoría del agua simplemente pasa desde las raíces hasta las hojas por medio del sistema vascular. Una vez que el agua llega a las hojas en forma líquida, cambia de estado a vapor de agua y fluye hacia la atmósfera. Este proceso, conocido como *transpiración*, ocurre en pequeños poros llamados *estomas*, ubicados en el envés de las hojas.

Este flujo de agua desde el volumen del suelo, que es ocupado por las raíces de la planta, hasta las hojas permite el suministro de agua para la fotosíntesis; pero además permite la absorción de los nutrientes que la planta requiere. En el cultivo también se pierde agua directamente desde la superficie del suelo por el fenómeno conocido como *evaporación*. En la actualidad un propósito de los sistemas de producción agrícola es reducir las pérdidas de agua por evaporación mediante el uso de distintos tipos de acolchados.

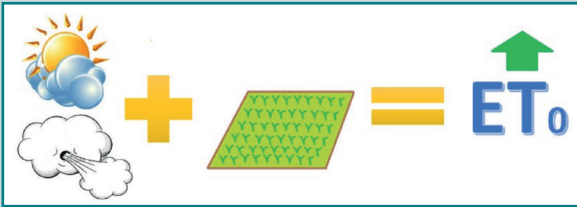
La suma del agua que se pierde desde la superficie del suelo por evaporación, y la que es transpirada por las hojas de las plantas, se conoce como *evapotranspiración*. La cantidad de agua evapotranspirada en un cultivo se incrementa cuando la temperatura y la velocidad del viento son altas y la humedad del aire es baja. Por lo tanto, estos mismos factores, junto con el estado de desarrollo de la planta, determinan la cantidad de agua que debe ser aplicada por medio del riego.

El exceso y la deficiencia de agua tienen diversas consecuencias en el desarrollo y salud de las plantas, como se expone en el siguiente cuadro:

Deficiencia	Exceso
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crecimiento lento del cultivo</li> <li>• Inicio prematuro del estado reproductivo</li> <li>• Baja absorción de elementos minerales como el calcio</li> <li>• Aborto de flores y frutos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Favorecimiento de enfermedades en las raíces y en la base del tallo</li> <li>• Rápido crecimiento de plantas arvenses</li> <li>• Cambios bruscos de humedad del suelo generan agrietamiento de los frutos</li> </ul>

Para determinar el volumen de agua que debe aplicarse diariamente al cultivo de tomate es necesario conocer dos valores. El primero es la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), que es la cantidad máxima de agua que puede perderse desde una superficie cubierta por pasto de 0.2 m de altura y que crece sin

restricciones hídricas. Este valor se expresa en milímetros por día (mm por día), lo cual equivale a litros por metro cuadrado al día (litros/m<sup>2</sup> por día).



El segundo valor es el coeficiente del cultivo (Kc), que es un valor sin unidades que representa las condiciones del cultivo, en este caso, del tomate, en cada estado de desarrollo de la planta. En otras palabras, el Kc cambia a medida que la planta crece. Finalmente, la cantidad de agua que debe ser aplicada por riego se determina multiplicando la evapotranspiración de referencia por el coeficiente del cultivo.



La evapotranspiración de referencia se calcula empleando formulas estándar, como la FAO Penman-Monteith, para cultivos a campo abierto, o la de Stanghellini, para cultivos bajo invernadero. La principal diferencia entre ellas es que la fórmula de Stanghellini toma en cuenta las bajas velocidades del viento

dentro de los invernaderos. Para determinar la evapotranspiración de referencia mediante cualquiera de las dos fórmulas se requieren mediciones de la radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento. Adicionalmente, la fórmula de Stanghellini requiere conocer el índice de área foliar.

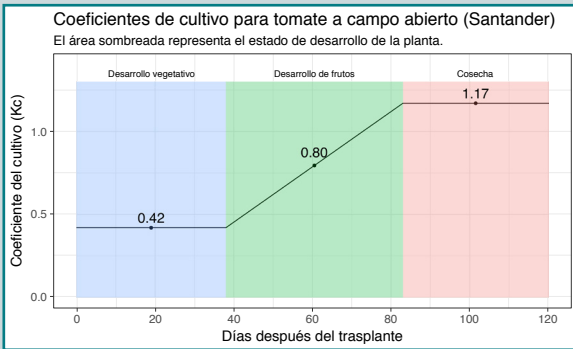
Por otro lado, el coeficiente del cultivo debe ser estimado experimentalmente. A continuación se presentan los valores del coeficiente de cultivo para el tomate, determinados como parte de la ejecución del proyecto. Para este fin, en ambos sistemas de producción se dividió el ciclo del tomate en tres etapas de desarrollo. La primera se denominó *desarrollo vegetativo*, y abarca desde el trasplante hasta la aparición de los primeros frutos; a la segunda se la denominó *desarrollo de frutos*, y se caracteriza por un rápido crecimiento de la planta junto con el llenado de frutos; la tercera corresponde a la aparición de una alta proporción de frutos en un estado de maduración apropiado para la cosecha.

## Cultivo a campo abierto

En el cultivo de tomate a campo abierto, en la primera etapa solo se requiere aplicar un 42 % del valor de la evapotranspiración de referencia. En las condiciones particulares de los ensayos realizados en el proyecto, esto se traduce en un riego de 0.8 litros por planta al día, durante los primeros 40 días del cultivo. En la segunda etapa, el valor del coeficiente del cultivo indica que se debe aplicar un 80 %



del agua calculada mediante la evapotranspiración de referencia, equivalente a 1.1 litros por planta al día. Finalmente, en la última etapa se debe aplicar el 117 % de la evapotranspiración de referencia, que equivale a 1.6 litros por planta al día.



Coeficientes del cultivo ( $K_c$ ) para el tomate sembrado a campo abierto durante cada etapa de desarrollo del cultivo

## Cultivo bajo invernadero

Siguiendo los mismos pasos, para el cultivo bajo invernadero se determinó que en la primera etapa se debe aplicar el 41 % de la evapotranspiración de referencia, que equivale a 0.25 litros por planta al día durante los primeros 40 días del cultivo. En la segunda etapa se debe aplicar un 74 % de la evapotranspiración de referencia, que equivale a 0.7 litros por planta al día. En la última fase se debe aplicar un 106 % de la evapotranspiración de referencia, es decir, un litro de agua por planta al día.

# Tabla de conversión

Unidad de partida	Unidad de destino	Factor de multiplicación
Gramos/m <sup>2</sup>	Kilogramos/Hectárea	10
Kilogramos/hectárea	Gramos/m <sup>2</sup>	0.1
Partes por millón (ppm)	Miligramos/litro	1.0
<i>Conductividad eléctrica</i>		
Decisiemens/metro (dS/m)	Milimhos/centímetro (mmhos/cm)	1.0
dS/m	Microsiemens/metro (mS/m)	1000
mS/m	dS/m	0.001
<i>Nutrientes</i>		
P	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.2915
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P	0.4364
K	K <sub>2</sub> O	1.2047
K <sub>2</sub> O	K	0.8301

