

## RIEGO Y DRENAJE

### ARTÍCULO ORIGINAL



CU-ID: <https://cu-id.com/2284/v12n2e01>

## Láminas de riego sobre el comportamiento del bulbo húmedo y desarrollo radicular del tomate

### *Irrigation sheets on the behavior of the wet bulb and root development of tomato*

Mg. Ángel Ramón Sabando-García<sup>I</sup>, Mg. Willintong Manuel Delgado-Sabando<sup>II</sup>, Mg. Jesús Enrique Chavarría-Párraga<sup>III</sup>, Lic. Bosco Xavier Sabando-García<sup>IV</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Santo Domingo, Ecuador.

<sup>II</sup> Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador.

<sup>III</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí, Ecuador.

<sup>IV</sup> Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador.

**RESUMEN.** El trabajo de investigación se llevó durante la época seca del 2018, en el Cantón Bolívar Provincia de Manabí. Su objetivo fue determinar el efecto de cuatro láminas de riego sobre el comportamiento del bulbo húmedo y el desarrollo radicular en el cultivo de tomate en las diferentes etapas fenológica: inicial (20 días), desarrollo (35 días), media (35 días), y final (20 días). Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con cuatro tratamientos y seis repeticiones. El cultivo estaba sometido a un riego por goteo, con un distanciamiento de siembra de 1,3 m entre hilera y 0,60 m entre planta, resultando aproximadamente 12820 plantas/ha. Los datos climáticos tomados de la Estación Agrometeorológica de la ESPAM y el análisis físico-químico del agua y suelo realizados en el INIAP "Pichilingue". A partir de éstos, se determinó el consumo de agua aplicada (313,50 mm) con un tiempo de 6268,33 minutos, así como también el desarrollo horizontal superficial del bulbo húmedo (19,82 cm); promedio horizontal subterráneo (43,59 cm); profundidad (49,49 cm). Además, se registró la profundidad de la raíz pivotante (43,46 cm); profundidad de las raíces adventicias (23,65 cm) y la longitud de la raíz horizontal (37,43 cm). Los resultados permiten inferir que el sistema radicular del cultivo de tomate está estrechamente correlacionado con el bulbo húmedo por efecto de las láminas de riego aplicadas y con mayor prevalencia en la etapa fenológica inicial, desarrollo e intermedia.

**Palabras clave:** Láminas de riego, bulbo húmedo, sistema radicular, etapas fisiológicas.

**ABSTRACT.** The research work was carried out during the dry season of 2018, in the Canton Bolivar Province of Manabí. Its objective was to determine the effect of four irrigation sheets on the behavior of the wet bulb and the root development in the tomato crop in the different phenological stages: initial (20 days), development (35 days), medium (35 days), and final (20 days). A Completely Random Design (DCA) was used, with four treatments and six repetitions. The crop was subjected to drip irrigation, with a sowing distance of 1.3 m between rows and 0.60 m between plants, resulting in approximately 12,820 plants / ha. The climatic data taken from the ESPAM Agrometeorological Station and the physical-chemical analysis of the water and soil carried out at the INIAP "Pichilingue". From these, the consumption of applied water (313.50 mm) was determined with a time of 6268.33 minutes, as well as the surface horizontal development of the wet bulb (19.82 cm); underground horizontal average (43.59 cm); depth (49.49 cm). In addition, the depth of the taproot (43.46 cm) was recorded; depth of adventitious roots (23.65 cm) and horizontal root length (37.43 cm). The results allow inferring that the root system of the tomato crop is closely correlated with the wet bulb due to the effect of the applied irrigation sheets and with greater prevalence in the initial, development and intermediate phenological stage.

**Keywords:** Irrigation Sheets, Wet Bulb, Root System, Physiological Stages.

## INTRODUCCIÓN

El sistema de riego por goteo consiste en la distribución de gotas de agua que humedecen sólo el área cercana a la planta o árbol, es decir, en el área de mayor concentración de las raíces conocida como bulbo húmedo (Galarza, 2010). Al respecto (Fer-

<sup>I</sup> Autor para correspondencia: Ángel Ramón Sabando-García, e-mail: [sgar@pucesd.edu.ec](mailto:sgar@pucesd.edu.ec) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5438-9590>

**Recibido:** 10/10/2021.

**Aprobado:** 14/03/2022.

nández, 2010), indica que el bulbo húmedo es la parte de suelo humedecida por un emisor de riego localizado que aplica el agua sobre el suelo, donde se forma un pequeño charco a medida que avanza el riego. Éste se hace cada vez más grande, pero a su vez el suelo aumenta su humedad, la velocidad de infiltración del agua disminuye y con ello el bulbo húmedo aumenta su tamaño más despacio. Así se va formando un “bulbo de humedecimiento” característico para cada tipo de suelo.

Del mismo modo (Véliz, 2017), en un estudio con el fin de conocer el cono de humedecimiento en relación al desarrollo radicular en el cultivo de maíz por efecto del riego por goteo, demostró que el 100% del sistema radicular de las plantas se desarrollaron dentro del bulbo húmedo tanto del plano vertical como horizontal. Y de igual manera (Sabando, 2018), manifiesta que existe una fuerte correlación entre el desarrollo radicular y el bulbo húmedo en las diferentes láminas de riego y de acuerdo a las etapas fenológicas del cultivo de tomate.

**Láminas de riego por goteo sobre el comportamiento del bulbo húmedo**

Según (Rodas & Cisneros, 2000), mencionan que el bulbo húmedo es el volumen de suelo humedecido por un gotero. Cuando se deja caer gota a gota el agua en el suelo, esta se mueve hacia los lados (horizontalmente) y hacia abajo (verticalmente) formando el bulbo húmedo, este bulbo tiene gran importancia, ya que en él se desarrollan las raíces de las plantas.

(Cruz et al., 2015), manifiestan que la extensión del bulbo de humedecimiento que se obtiene la distribución lateral y vertical de suelos de textura franco-arenoso, franco-arcilloso o franco-limoso, dependen por efecto de los tipos emisores, volumen de agua aplicada, caudal del emisor, conductividad hidráulica

saturada, contenido de humedad inicial y residual del suelo, y contenido de limo en el suelo.

La forma geométrica que describe el bulbo húmedo en superficie plana sin vegetación bajo goteros autocompensados de 1,1 L/h, 1,6 L/h y 2,2 L/h, en un suelo franco es de un elipsoide truncado mientras que en un suelo arenoso es de un elipsoide alargado truncado, donde el corte es la superficie plana del suelo. En suelo franco las dimensiones de radio y profundidad son muy semejantes para una y dos horas de riego con caudal 1,1 L/h y 1,6 L/h; para tres y cuatro horas de riego con caudal de 1,6 L/h y 2,2 L/h; para cinco y seis horas de riego con los tres caudales (Ticona, 2013).

La formación del bulbo húmedo es afectada por la humedad inicial del suelo, basado en el emisor, frecuencia y duración de riego, movimiento capilar y la capacidad de retención del agua en el suelo, que determinan el tamaño y la forma de la zona radicular humedecida (Evans et al., 2007). Las informaciones sobre la geometría del bulbo húmedo son importantes para el dimensionamiento y manejo de riego localizado, principalmente para estimar el volumen de suelo húmedo, basado en el emisor y tiempo de aplicación del agua (Maia et al., 2010; Maia & Aguilar, 2010).

En el riego por goteo, los emisores crean diferentes formas de bulbos húmedos. La textura del suelo determina la distribución vertical y horizontal del agua. En suelos de textura gruesa el agua tiende a extenderse más verticalmente, mientras que en suelos de textura fina, se extiende en forma lateral, lo que da como resultado un mayor radio de la zona humedecida, conforme a la Figura 1 (Michi, 2009).

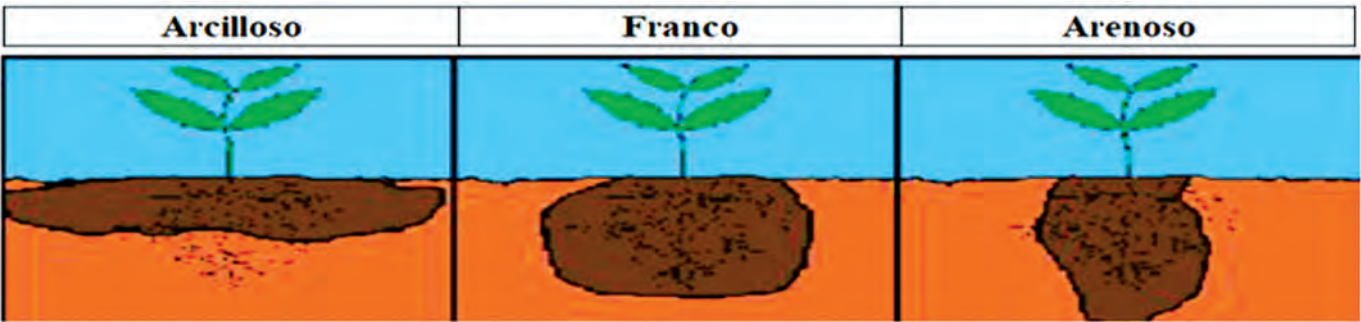


FIGURA 1. Dinámica del bulbo húmedo en diferentes tipos de suelo.

Al contrario, para (Brito, 2014), menciona que el caudal de goteo y el tiempo de riego influyen muy significativamente en las dimensiones de profundidad y radio del bulbo de humedecimiento o volumen de suelo húmedo.

El diámetro y profundidad del bulbo húmedo del riego por goteo superficial, fue mayor al diámetro y profundidad del bulbo húmedo del riego por goteo subsuperficial o subterráneo en un 13%, y 27% respectivamente. Así mismo el área y volumen del bulbo húmedo en el riego por goteo superficial fue mayor al riego por goteo subterráneo (Conde, 2013).

Sin embargo (Véliz, 2017), en una evaluación realizada al cono de humedecimiento por efecto del riego por goteo en el cultivo de maíz presentó un diámetro de medias en el plano horizontal en ambos tratamientos que oscilaron entre 0,48 m y 0,52 m y la profundidad del cono de humedecimiento osciló entre 0,27 m y 0,29 m lo que demuestra una mayor área humedecida en el área horizontal con respecto al área vertical.

En este sentido, conforme se aumenta el volumen de agua aplicado, la profundidad de humedecimiento avanza, aumentando el volumen de suelo mojado. La importancia de estas relaciones, radica en que puede dar un estimado bastante confiable; del vo-

lumen de agua necesario para humedecer hasta la profundidad radical del cultivo, en cada una de sus diferentes estadios de crecimiento, lo que va a disminuir de forma significativa las pérdidas por percolación profunda (Gil, 2001).

**Láminas de riego por goteo sobre el comportamiento del desarrollo radicular de los cultivos**

Según (Daza et al., 2015), indican que las láminas de riego en el cultivo de inciden significativamente en la mayor longitud de raíz, debido a la necesidad de las plantas de buscar agua en situaciones de escasez. Compartiendo este criterio con (Sabando, 2018; Véliz, 2017), mencionando que el sistema radicular está fuertemente correlacionado con la cantidad de agua aplicada y de acuerdo al bulbo húmedo en el plano horizontal y vertical.

Por su parte (Rodríguez et al., 2005), manifiestan que el riego por goteo en el cultivo de banano, presenta el 60% de las raíces en los primeros 40 cm y el 90% en la capa de 0-60 cm de profundidad. Hay que destacar que en todos los tratamientos en el horizonte donde se encuentra colocado el lateral de goteo, se alcanzan los mayores porcentajes de raíces y mucho más importante aún, allí es donde se localizan gran número de pequeñas raíces con gran cantidad de pelos absorbentes. De igual forma al analizar los datos se observó que todos los tratamientos más del 50% de las raíces se encontraron localizadas a una distancia de la planta no mayor de 60 cm, como es normal en este cultivo.

Por otra parte (Deaquiz et al., 2014), en referente a la masa seca de raíz y frutos, el coeficiente de 1,4 alcanzó la mayor masa seca con 12,95 y 2,19 g, mientras que con la lámina de 0,8 se obtuvieron los menores valores de masa fresca de raíz. Probablemente estos resultados debidos a que una menor difusión de oxígeno en la zona radicular causada por la falta de agua disminuye el crecimiento de la raíz (Álvarez et al., 2010).

(Daza et al., 2015), indicaron que los coeficientes 1,0; 1,1 y 1,3 obtuvieron longitudes de raíces por debajo de 0,10 m. Así mismo el peso seco de raíz fue mayor en el coeficiente más bajo indicando la necesidad de concentración de nutrientes en la raíz de tal manera que permita tener mayor capacidad de exploración de suelo.

Finalmente (Véliz, 2017), en un estudio realizado al cono de humedecimiento en relación al desarrollo radicular en el cultivo las recomendaciones de (Jensen et al., 1990). A partir de los registros

de maíz por efecto del riego por goteo, manifiesta que los sistemas radicales de las plantas alcanzaron longitudes que oscilaron entre 0,45 m y 0,69 m en sentido horizontal y la profundidad de las raíces alcanzaron longitudes entre 0,17 m y 0,15 m. En tal sentido, en los últimos años la investigación sobre la eficiencia en el uso del agua ha aumentado y se ha elevado la inversión en investigación con el fin de desarrollar planes y sistemas de riego que hagan la producción de alimentos y el manejo del recurso agua más sostenible (Cosgrove & Rijisberman, 2014).

El objetivo general del presente estudio fue determinar el efecto de cuatro láminas de riego sobre el comportamiento del bulbo húmedo y el desarrollo radicular en el cultivo de tomate en las diferentes etapas fenológica y a su vez garantice un uso eficiente y sostenible del recurso hídrico.

**MATERIALES Y METODOS**

La investigación se realizó durante la época seca del 2018. Entre el periodo de mayo a septiembre en la finca del Sr. Manuel Delgado, ubicada en el sitio La Venturita del Cantón Bolívar, de la Provincia de Manabí. Ubicada geográficamente entre las coordenadas 0°49'23" de Latitud Sur y a 80°11'01" de Longitud Oeste a una altitud 15msnm<sup>1</sup>. Con características agroclimáticas durante el ciclo del cultivo: Temperatura máxima: 30,04 °C; Temperatura mínima: 20,62 °C; Temperatura media: 25,33 °C; Precipitación media anual: 14,00 mm; Humedad relativa: 81,41% y Heliofanía: 2,94 horas/sol/día.

Paralelamente en la Tabla 1 se plasmó el total de agua aplicada (313,50 mm) con un tiempo total de 6268,33 minutos, así como también el desarrollo promedio horizontal superficial del bulbo húmedo (19,82 cm); desarrollo promedio horizontal subterráneo del bulbo húmedo (43,59 cm); profundidad del bulbo húmedo (49,49 cm). A partir de estos datos también se registró la profundidad de la raíz pivotante (43,46 cm); profundidad de las raíces adventicias (23,65 cm) y la longitud de la raíz horizontal (37,43 cm).

Para este estudio se empleó un experimento unifactorial que se condujo con un diseño completamente al azar con 6 réplicas. La Tabla 2 plasma los cuatro tratamientos con sus respectivas variaciones de coeficientes Kc por etapa de cultivo, siguiendo las recomendaciones de (Jensen et al., 1990). A partir de los registros

**TABLA 1. Fluctuación del tiempo y cantidad de agua aplicada en función del bulbo húmedo y desarrollo radicular en relación a las etapas fenológica del cultivo**

Etapas fenológicas		Cantidad agua (mm)	Tiempo de riego	LHSB	LH subterránea B	PB	LRP	LRA	LRH
Etapa inicial	N	20	20	20	20	20	20	20	20
	Media	1,35	26,90	19,60	29,29	28,44	20,80	13,32	13,12
	Suma	26,90	537,92	392,00	585,70	568,70	415,90	266,32	262,48
Etapa desarrollo	N	35	35	35	35	35	35	35	35
	Media	2,28	45,49	18,86	41,43	45,91	41,14	19,37	37,54
	Suma	79,64	1592,15	660,00	1450,00	1607,00	1440,00	678,00	1314,00
Etapa intermedia	N	35	35	35	35	35	35	35	35

<sup>1</sup> Coordenadas geográficas georreferenciada con GPS por el autor.

Etapas fenológicas		Cantidad agua (mm)	Tiempo de riego	LHSB	LH subterránea B	PB	LRP	LRA	LRH
	Media	4,06	81,14	20,37	54,23	65,26	54,69	27,43	49,74
Etapas intermedia	Suma	142,04	2840,03	713,00	1898,00	2284,00	1914,00	960,00	1741,00
Etapas final	N	20	20	20	20	20	20	20	20
	Media	3,25	64,91	20,45	49,40	58,35	57,20	34,50	49,30
	Suma	64,92	1298,23	409,00	988,00	1167,00	1144,00	690,00	986,00
Total		313,50	6268,33	19,82	43,59	49,49	43,46	23,65	37,43

Leyenda: LRP=Longitud de la raíz pivotante; LRA= Longitud de la raíz adventicia; LRH= Longitud de la raíz horizontal.

Para este estudio, se consideró las propiedades hidrofísicas del suelo donde se llevó a cabo el experimento. En cuanto al análisis de suelo del INIAP Pichilingue, reportó un suelo arcilloso compuesto de 16% de arena, 26 de limo y 58% de arcilla, además con densidad aparente 1,17 g/cc y materia orgánica de 2,00% y conductividad eléctrica de 1,48 dS/m. Con los valores obtenidos se determinaron la necesidad hídrica del cultivo. El factor de agotamiento y el límite productivo, además se debió de considerar el 85% de la CC teniendo en cuenta el tipo de cultivo y la tecnología del riego.

**TABLA 2. Láminas de riego y Kc en función a las diferentes etapas fenológica del cultivo**

Etapas de desarrollo días después de la siembra (dds*)	Kc
Estado inicial (0 a 20)	0,6
Estado de máximo crecimiento y desarrollo (21 a 55)	0,9
Estado intermedio (56 a 90)	1,25
Estado final (91 a 115)	0,95

Fuente: FAO. (2006); Valencia, k. y Jaime Proaño. J. (2005)

La preparación del semillero se lo realizó el 27 de mayo del 2018 en bandejas germinadoras colocando una semilla por cavidad, posteriormente fue cubierta por turba y desinfectada con captan y carbofuran. A partir de los 15 de la siembra se realizó el trasplante (10 de junio del 2018), para lo cual se empleó un distanciamiento de 1,30 m entre líneas por 0,60 m entre plantas, obteniéndose de esta forma una población de 12820 plantas por hectárea. Además, para el manejo del riego se tomaron en cuenta los factores agroclimáticos los cuales son fundamentales para la determinación de las necesidades hídricas de los cultivos, para la realización de la programación teórica y práctica del riego se utilizaron los datos climáticos de la estación agrometeorológica del Campus de la ESPAM comprendidos entre el mes de junio a septiembre del año 2018. Que comprendió la temperatura máxima, media y mínima, humedad relativa, precipitación, evaporación, velocidad del viento y horas luz.

**Datos a tomar y método de evaluación del bulbo húmedo y sistema radicular**

Las evaluaciones del cono de humedecimiento o bulbo húmedo por efecto de las láminas riego por goteo y en relación al desarrollo del sistema radicular del cultivo de tomate, se llevó a cabo a partir de los 20 días posteriores al transplante. Considerando 5 plantas de tomate por cada unidad experimental o parcelas y en relación a las cuatro etapas fenológicas del cultivo, para lo cual se realizaron pequeñas calicatas cerca del sistema radicular por cada unidad experimental (24 calicatas), con una profundidad de 1 m, con un ancho de 0,40 m y una longitud de 3,5 m sin provocar la eliminación de la planta, para lo cual se registraron los siguientes datos:

**Evaluación del cono de humedecimiento o bulbo húmedo**

Para conseguir ésta información se determinó el diámetro del bulbo húmedo en el plano horizontal, considerando la parte superficial y subterráneo del suelo, además de la profundidad de humedecimiento del gotero, que fue expresado en centímetro mediante la utilización de un flexómetro, tomando 5 plantas por parcela, por cada etapa fenológica del cultivo y en cada tratamiento.

**Evaluación del sistema radicular**

Simultáneamente a la información ante mencionada, se registraron los datos de la profundidad de la raíz primaria y adventicias (70% de las raíces) y además se determinó su desarrollo en el plano horizontal, a partir de los 20 días posteriores al transplante hasta la culminación del estudio para cada etapa fenológica del cultivo.

**Esquema de análisis de varianza (Tabla 3)**

**TABLA 3. Láminas de riego con su respectivo análisis de la varianza (ADEVA)**

Fuente de Variación	Grado de libertad
Total	23
Repeticiones	5
Factor A (Láminas de riego)	3
Error	15

**Análisis funcional**

Las variables citadas en los literales a y b, fueron analizadas estadísticamente mediante el programa SPSS versión 20, para lo cual se consideró los supuestos de la distribución normal y la prueba de homogeneidad de las varianzas. Las variables cuyo ADEVA presentaron significancia estadística fueron sometidas a las pruebas HSD de post Hoc de Tukey al 95% y 99% de confianza y al 5% y 1% de nivel de significancia. Paralelamente se determinó



el coeficiente de variación entre los tratamientos con el fin de determinar la precisión de cada etapa fenológica del cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento del desarrollo del bulbo húmedo del tomate en relación a las diferentes láminas de riego por goteo y etapas fenológicas

En la Tabla 4 de resultados, se registran la relación del bulbo húmedo superficial en función a las diferentes láminas de riego y de acuerdo a las etapas fenológicas del cultivo de tomate. Considerándose que el bulbo superficial esta entendida a la capacidad de humedecimiento superficial que provoca el gotero sobre una cantidad de suelo. De acuerdo al estadístico de Fisher (F) con su respectivo análisis de las varianzas ADEVA, presentó significancia estadística según Tukey al 1% en la etapa fenológica inicial que corresponden a 20 días después del transplante, plasmando un valor significativo  $P<0,001$  demostrando que el mayor diámetro de bulbo superficial lo mantuvo el tratamiento 77% de ETc (Testigo), los otros tratamientos

presentaron medias iguales. Esta significancia de mayor media que corresponde a 22,85 cm de diámetro de mojado superficial es simultaneo con Conde, (2013).

En referente a la etapa de desarrollo (Tabla 4), arrojó significancia del 1% de acuerdo a Tukey para las diferentes láminas de riego en esta investigación, reportando para este caso la mayor media de 20,65 cm de diámetro de bulbo superficial la lámina de riego de 120% ETc, seguido por la lámina de 100% ETc y el Testigo. Finalmente, el ADEVA no presentó significancia estadística para la etapa fenológica intermedia y etapa final del cultivo de tomate. Demostrando en este sentido que la zona húmeda superficial del suelo llegó a la capacidad de campo no permitiendo que el bulbo siga desarrollándose de forma horizontal, estos hallazgos están en concordancia con (Fernández, 2010), indicando que el suelo aumenta su humedad, la velocidad de infiltración del agua disminuye y con ello el bulbo húmedo reduce su tamaño de expansión.

TABLA 4 Análisis de la varianza del diámetro del bulbo

húmedo superficial en las diferentes láminas de riego en el cultivo de tomate								
Láminas de riego	Etapa fenológicas							
	Etapa inicial		Etapa desarrollo		Etapa intermedia		Etapa final	
	Media	(***)	Media	(***)	Media	NS	Media	NS
Lámina de 80% de ETc	19,60 cm	b	17,93 cm	c	20,23 cm	a	20,20 cm	a
Lámina de 100% de ETc	19,60 cm	b	18,86 cm	b	20,37 cm	a	20,45 cm	a
Lámina de 120% de ETc	19,25 cm	b	20,66 cm	a	20,74 cm	a	20,90 cm	a
Lámina (Testigo)	22,86 cm	a	19,34 cm	b	20,46 cm	a	20,55 cm	a
CV (%)	12,93		9,22		6,43		6,34	

Test Tukey; \*\*\*<0,001; NS>0,05; Letras iguales no difieren estadísticamente

Con respecto a la relación del bulbo húmedo horizontal subterráneo en las diferentes láminas de riego por goteo y en función a las etapas fenológicas (Tabla 5), el análisis de la varianza presentó significancia estadística según Tukey al 1% para la etapa fenológica inicial y desarrollo. Prevalciendo la lámina de riego por goteo a 77% de ETc en la primera etapa, ( $P<0,001$ ). Del mismo modo en la etapa de desarrollo plasmaron el mayor diámetro de bulbo horizontal la lámina de riego al 120% ETc y el Testigo. Estos datos permiten inferir que a mayor cantidad de agua aplicada existe un incremento del bulbo húmedo. Finalmente, con la etapa intermedia y final no se evidenció significancia, dado estos hechos se puede presumir que la capacidad de humedecer el gotero sobre el suelo llego a la capacidad máxima de expansión normalizándose de esta manera el diámetro del bulbo húmedo subterráneo en las etapas finales y compartiendo este criterio con Sandoval (2007), indicando que el agua gotea lentamente sobre el suelo y expandiéndose hacia abajo y lateralmente.

TABLA 5. Comportamiento del Adeva en relación al bulbo húmedo horizontal subterráneo en función a las diferentes láminas de riego aplicadas

Láminas de riego	Etapa fenológicas							
	Etapa inicial		Etapa desarrollo		Etapa intermedia		Etapa final	
	Media	(***)	Media	(***)	Media	(NS)	Media	(NS)
Lámina de 80% de ETc	19,60 cm	b	17,93 cm	c	20,23 cm	a	20,20 cm	a
Lámina de 100% de ETc	19,60 cm	b	18,86 cm	b	20,37 cm	a	20,45 cm	a
Lámina de 120% de ETc	19,25 cm	b	20,66 cm	a	20,74 cm	a	20,90 cm	a
Lámina (Testigo)	22,86 cm	a	19,34 cm	a	20,46 cm	a	20,55 cm	a
CV (%)	12,94		9,22		6,43		6,34	

Test Tukey; \*\*\*<0,001; NS>0,05; Letras iguales no difieren estadísticamente

Con respecto a la capacidad de humedecimiento vertical (Tabla 6), o también conocida como profundidad que alcanza el bulbo húmedo por el efecto de las diferentes láminas de riego. El análisis de las varianzas presentó significancia al 1% con respecto al estadístico de Tukey en todos los tratamientos estudiados.

Prevaleciendo de manera general las láminas de riego con mayor evapotranspiración del cultivo (100 y 120% de ETc) compartiendo estos hallazgos con (Brito, 2014) indicando que caudal de goteo y el tiempo de riego influyen en la profundidad y radio del bulbo de humedecimiento o volumen de suelo húmedo.

**TABLA 6. Dinámica de la prueba de Tukey para el comportamiento de la profundidad del bulbo húmedo (cm) en las diferentes láminas de riego en el cultivo de tomate**

Láminas de riego	Etapas fenológicas							
	Etapas inicial		Etapas desarrollo		Etapas intermedia		Etapas final	
	Media	(***)	Media	(***)	Media	(***)	Media	(***)
Lámina de 80% de ETc	28,43 cm	b	33,69 cm	c	54,31 cm	b	48,10 cm	b
Lámina de 100% de ETc	28,44 cm	b	45,91 cm	a	65,26 cm	a	58,35 cm	a
Lámina de 120% de ETc	32,10 cm	a	43,17 cm	b	65,34 cm	a	59,15 cm	a
Lámina (Testigo)	28,45 cm	b	42,09 cm	b	65,09 cm	a	49,40 cm	b
CV (%)	8,23		14,16		9,68		11,47	

Test Tukey; \*\*\*<0,001; Letras iguales no difieren estadísticamente

**Comportamiento del desarrollo radicular del tomate**

De manera general, en la Tabla 7 consta el comportamiento del desarrollo radicular de la raíz pivotante en las diferentes láminas de riego por goteo en el cultivo de tomate. Considerando el ADEVA al 1% y la prueba de Tukey, las láminas de riego por goteo al 100% ETc; 120% ETc y el Testigo, plasmaron los promedios más altos de profundidad de raíz.

**TABLA 7. Comportamiento de Tukey en la profundidad de raíz pivotante en relación a las diferentes láminas aplicadas**

Lamina de riego	Media	(***)
Lámina de 80% de ETc	36,42 cm	b
Lámina de 100% de ETc	44,67 cm	a
Lámina de 120% de ETc	44,35 cm	a
Lámina (Testigo)	44,65 cm	a
CV (%)	32,1	

Test Tukey; \*\*\*<0,001; Letras iguales no difieren estadísticamente

Para fortalecer lo mencionado en la Tabla 8, se procedió a ser más exhaustivo con la información de las diferentes láminas de riego, pero en este caso contrastando con todas las etapas fenológicas en relación a la raíz pivotantes del cultivo.

De acuerdo al análisis de varianzas (Tabla 8) plasmó significancia al 1% de acuerdo Tukey en todas las etapas fenológicas del cultivo (P<0,001). Con respecto a la etapa inicial el mayor promedio de profundidad de la raíz principal lo indicó la lámina de riego al 77% de ETc (Testigo), no obstante, en la etapa fenológica desarrollo lo manifestó igualmente para el Testigo y la lámina de riego al 100% ETc. Adicionalmente la etapa intermedia las mayores relevancias la indicaron las láminas de riego al 100% y 120% de ETc. Y por último en la etapa intermedia el mayor crecimiento vertical de la raíz lo reportó la lámina de riego de 100% evapotranspiración. Estas diferencias significativas dejan visualizar que con una lámina de riego del 100% ETc en las diferentes etapas del cultivo se obtienen los mejores crecimientos verticales del sistema radicular de la planta de tomate.

**TABLA 8. Análisis de varianzas y prueba de Tukey para los promedios de profundidad de raíz pivotante de acuerdo a las diferentes láminas de riego aplicadas y etapas fenológicas**

Láminas de riego	Etapas fenológicas							
	Etapas inicial		Etapas desarrollo		Etapas intermedia		Etapas final	
	Media	(***)	Media	(***)	Media	(***)	Media	(***)
Lámina de 80% de ETc	20,75 cm	b	32,46 cm	c	42,89 cm	c	47,70 cm	c
Lámina de 100% de ETc	20,80 cm	b	41,14 cm	a	54,69 cm	b	57,20 cm	a
Lámina de 120% de ETc	20,70 cm	b	36,60 cm	b	57,17 cm	a	59,15 cm	a
Lámina (Testigo)	23,10 cm	a	42,54 cm	a	53,71 cm	b	54,05 cm	b
CV (%)	7,50		17,23		16,00		11,25	

Test Tukey; \*\*\*<0,001; Letras iguales no difieren estadísticamente

En la Tabla 9 se reportan los datos del crecimiento radicular de las raíces adventicias, es decir las raíces secundarias en la cuales las mayorías de ella se concentran en un total del 70% y en relación a las diferentes etapas fenológicas y tratamientos en estudio.

**TABLA 9. Prueba de Tukey de acuerdo al crecimiento de las raíces adventicias en las diferentes láminas de riego y etapas fenológicas en el cultivo de tomate**

Láminas de riego	Etapas fenológicas							
	Etapas inicial		Etapas desarrollo		Etapas intermedia		Etapas intermedia	
	Media	(**)	Media	(***)	Media	NS	Media	NS
Lámina de 80% de ETc	13,26 cm	b	19,69 cm	b	27,93 cm	a	33,55 cm	a
Lámina de 100% de ETc	13,32 cm	b	19,37 cm	b	27,43 cm	a	34,50 cm	a
Lámina de 120% de ETc	13,24 cm	b	23,20 cm	a	27,77 cm	a	35,20 cm	a
Lámina (Testigo)	14,30 cm	a	19,66 cm	b	27,37 cm	a	33,80 cm	a
CV (%)	8,8		14,78		4,29		6,7	

Test Tukey; \*\*\*<0,001; NS>0,05; Letras iguales no difieren estadísticamente

El análisis de la varianza estableció significancia estadística para la etapa fenológica inicial y de desarrollo con respecto a la prueba de Tukey al 1% ( $P<0,001$ ), en la primera etapa fenológica el mayor promedio de crecimiento de las raíces secundaria lo plasmó la lámina empleada por el agricultor (Testigo). Mientras que, en la segunda etapa que corresponde a la de desarrollo, la media más alta la indicó la lámina de riego al 120% ETc. Estos datos permiten presumir que el mayor crecimiento de raíces secundarias que ocurre en la planta, se debe por el efecto a la mayor cantidad de agua aplicada en los primeros días del cultivo compartiendo esta información con Rodríguez y Sarmiento (2005). Vale resaltar que la etapa intermedia y final el ADEVA no presentó significancia para estos dos tratamientos, pero no obstante si presentaron los mayores promedios en la lámina de riego por goteo a 120% de evaporación y 100% de ETc.

Y, por último, en la Tabla 10, con el fin de conocer el crecimiento horizontal de las raíces por efecto de las diferentes láminas de riego por goteo aplicadas en el cultivo de tomate, el ADEVA presentó significancia al 1% (Tukey), reportando las mayores medias de crecimiento el tratamiento al 100% ETc, y el Testigo.

**TABLA 10. Dinámica del Adeva en función al crecimiento horizontal de la raíz y en relación a las diferentes láminas de riego aplicadas**

Láminas de riego	Media	(**)
Lámina de 80% de ETc	33,40 cm	c
Lámina de 100% de ETc	39,12 cm	a
Lámina de 120% de ETc	38,94 cm	b
Lámina (Testigo)	39,31 cm	a
CV (%)	35,68	

Test Tukey; \*\*<0,01; Letras iguales no difieren estadísticamente

Al presentar significancia estadística los tratamientos en estudio de manera general se procedieron a realizar un estudio

más sigiloso, pero en este caso para las diferentes etapas fenológica del cultivo en función del crecimiento horizontal de la raíz. En ese sentido en la Tabla 11, se evidencia que el ADEVA reportó significancia en todas las etapas fenológicas del cultivo al 1% de acuerdo a Tukey ( $P<0,001$ ;  $P<0,01$ ). Con respecto a la etapa inicial se reporta el mayor promedio de crecimiento la lámina de riego empleada por el agricultor (Testigo), y de igual manera en la etapa de desarrollo el mayor promedio lo deja visualizar el Testigo y la lámina de riego al 120% de ETc. De la misma forma la etapa intermedia presentó su significancia, plasmando los mejores promedios el tratamiento Testigo acompañado de la láminas del 100% y 120% de ETc. Por ultimo en la etapa final plasmaron la mayor relevancia de crecimiento de raíces verticales en la lámina de riego empleada por el agricultor y 100% ETc. Por otra parte, las otras láminas registraron valores inferiores, además el coeficiente de variación ( $CV<18\%$ ) se pronuncia con altas confiabilidad de los datos. Estos resultados hacen tener una previsión de que el sistema radicular se desarrolla horizontalmente de acuerdo a la mayor cantidad de agua aplicada, pero de forma continua como lo manifestó (Daza et al., 2015),

Finalmente, en la Tabla 12 se registra la correlación bivariada de Pearson entre el bulbo húmedo y el desarrollo radicular en las diferentes etapas fenológicas del cultivo. Evidenciando en la etapa inicial, que la correlación es más fuerte del bulbo horizontal superficial y subterráneo con la longitud de raíz primaria, adventicia y horizontal, contrastando en la etapa desarrollo e intermedia que presenta una prevalencia de la profundidad del bulbo húmedo frente a los diferentes crecimientos de raíces. Finalmente, en la etapa final del cultivo sólo presentó correlación el bulbo con el crecimiento vertical de la raíz, compartiendo estos hallazgos con (Sabando, 2018; Véliz, 2017) demostrando que el cono de humedecimiento y del desarrollo radicular de las plantas está fuertemente correlacionado tanto en el plano vertical como horizontal.

**TABLA 11. Distribución del crecimiento horizontal de la raíz en las diferentes láminas de riego aplicadas y etapas fenológicas**

Láminas de riego	Etapas fenológicas							
	Etapas inicial		Etapas desarrollo		Etapas intermedia		Etapas final	
	Media	(***)	Media	(***)	Media	(***)	Media	(**)
Lámina de 80% de ETc	12,98 cm	d	32,94 cm	c	40,34 cm	b	42,50 cm	c
Lámina de 100% de ETc	13,12 cm	b	37,54 cm	b	49,74 cm	a	49,30 cm	a

Láminas de riego	Etapas fenológicas							
	Etapa inicial		Etapa desarrollo		Etapa intermedia		Etapa final	
	Media	(***)	Media	(***)	Media	(***)	Media	(**)
Lámina de 120% de ETc	13,17 cm	b	38,57 cm	a	49,09 cm	a	47,60 cm	b
Lámina (Testigo)	16,50 cm	a	38,26 cm	a	48,23 cm	a	48,40 cm	a
CV (%)	12,98		17,53		14,24		13,86	

Test Tukey; \*\*\*<0,001; Letras iguales no difieren estadísticamente

**TABLA 12. Correlación de Pearson del bulbo húmedo entre el desarrollo radicular en la diferentes etapas fenológicas del cultivo de tomate**

Etapa inicial		Etapa Desarrollo			Etapa intermedia			Etapa final		
		LRP	LRA	LRH	LRP	LRA	LRH	LRP	LRA	LRH
Longitud horizontal superficial del bulbo	R <sup>2</sup>	0,459**	0,346**	0,387**	0,024	0,107	0,170*	0,024	0,107	0,170*
	Pearson									
	P	0,000	0,002	,000	0,775	0,208	0,045	0,775	0,208	0,045
Longitud horizontal subterránea bulbo	N	80	80	80	140	140	140	140	140	140
	R <sup>2</sup>	0,443**	0,258*	0,547**	0,218**	0,118	0,085	0,218**	0,118	0,085
	Pearson									
Profundidad del bulbo	P	0,000	0,021	0,000	0,010	0,164	0,319	0,010	0,164	0,319
	N	80	80	80	140	140	140	140	140	140
	R <sup>2</sup>	-0,122	-0,057	-0,191	0,529**	0,178*	0,347**	0,529**	0,178*	0,347**
	Pearson									
	P	0,281	0,618	0,090	0,000	0,035	0,000	0,000	0,035	0,000
	N	80	80	80	140	140	140	140	140	140

\*\*La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral) \*La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

Leyenda: LRP=Longitud de la raíz pivotante; LRA= Longitud de la raíz adventicia; LRH= Longitud de la raíz horizontal.

### CONCLUSIONES

- Las láminas de riego por goteo influyen sobre el crecimiento del bulbo húmedo tanto en el plano horizontal superficial, subterráneo y vertical y de acuerdo a las diferentes etapas fenológica del cultivo.
- El uso de la lámina de riego de 100% de evapotranspiración como la mejor alternativa de humedecimiento para buen desarrollo del sistema radicular dentro de las dimensiones del bulbo húmedo en las diferentes etapas fenológicas.
- El sistema radicular del cultivo de tomate está estrechamente correlacionado con el bulbo húmedo por efecto de las láminas de riego aplicadas y con mayor relevancia en la etapa fenológica inicial, desarrollo e intermedia.

### CONTRIBUCIONES DE AUTOR:

Conceptualización: A. Sabando, J. Chavarría. Curación de datos: A. Sabando, E. Vega, M. Ugando. Análisis formal: A. Sabando, E. Vega, J. Chavarría, B. Sabando, W. Delgado. Investigación: A. Sabando, E. Vega, J. Chavarría, B. Sabando, W. Delgado. Metodología: A. Sabando, E. Vega, J. Chavarría, W. Delgado, M. Ugando. Supervisión: A. Sabando, E. Vega, J. Chavarría, B. Sabando, W. Delgado, M. Ugando. Papeles/Redacción, proyecto original: A. Sabando, J. Chavarría. Redacción, revisión y edición: A. Sabando, J. Chavarría, E. Vega, M. Ugando.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, H. J. G., Balaguera, L. H. E., & Pardo, E. C. (2010). Efecto de la aplicación de diversas láminas y frecuencias de riego en la propagación del romero (*Rosmarinus officinalis* L.). *Ingeniería e Investigación*, 30(1), 86-90. <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n1/v30n1a15.pdf>
- Brito, O. C. J. (2014). *Estudio de la influencia del tipo de suelo, caudal de goteo y tiempo de riego en la geometría del bulbo de humedecimiento* [Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional. Santiago Antúnez de Mayolo. Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agrícola]. <http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1173/T%20190%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Conde, S. J. L. (2013). *Evaluar el rendimiento del cultivo de papa (solanum tuberosum L.) con aplicación de fertirrigación en dos sistemas de riego por goteo, superficial y subsuperficial* [Tesis Previa a la Obtención del Grado de Magister en Riego, Universidad Nacional de Loja, Maestría en Riego]. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11535/1/Tesis%20Ing.%20Jos%C3%A9%20Lauro%20Conde%20Solano%20EVALUAR%20EL%20RENDIMIENTO%20DEL%20CULTIVO%20DE%20PAPA%20%28Solanum%20tuberosum%20.pdf>



- Cosgrove, W. Y., & Rijisberman, F. (2014). *World water vision: Making water everybody's business* (second). FAO. <https://www.taylorfrancis.com/books/9781315071763>
- Cruz, B. F., Zermeño, G. A., Álvarez, V., Cano, R. P., Rivera, G. M., & Siller, G. M. (2015). Modelo para estimar la extensión del bulbo de humedecimiento del suelo en riego por goteo. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(4), 131-140. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v6n4/v6n4a9.pdf>
- Daza, T. M. C., Jurado, J. A., & Torres, V. M. (2015). Efecto de aplicación de diferentes láminas de riego en estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.) bajo invernadero. *Temas agrarios*, 20(1), 81-90.
- Deaquiz, Y. A., Álvarez, H. J. G., & Pinzón, G. L. P. (2014). Efecto de diferentes láminas de riego sobre la producción y calidad de fresa (*Fragaria* sp.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 192-205. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v8n2/v8n2a03.pdf>
- Evans, R. G., Wu, I. P., & Smajstrala, A. G. (2007). Microirrigation systems. En *Design and Operation of Farm Irrigation Systems, 2nd Edition* (2.<sup>a</sup> ed., pp. 632-683). American Society of Agricultural and Biological Engineers. <http://irrigationtoolbox.com/IrrigationToolBox/Section%20%20Irrigation%20System%20Planning/ASABE%20DesignandOperationofFarmIrrigationSystems/Preface.pdf>
- Fernández, R. (2010). *Riego localizado* [Informe institucional]. Consejería de Agricultura y Pesca. [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego\\_por\\_aspersixn.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersixn.pdf)
- Galarza, L. (2010). *Módulo de Riegos y Drenajes* (p. 3,5, 6; 68 y 69). Dspace. <http://dspace.ueb.edu.ec/bitstream/123456789/1126/1/108.pdf>
- Gil, M. J. A. (2001). Forma y dimensiones del bulbo húmedo con fines de diseño de riego por goteo en dos suelos típicos de sabana. *Revista Científica UDO Agrícola*, 1(1), 42-47. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2221476>
- Jensen, M. E., Burman, R. D., & Allen, R. G. (1990). *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice 70.
- Michi, U. (2009). *Sistemas de Riego Tecnificado*. Seminario de Riego tecnificado 2009, Guayaquil, Ecuador. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11535/1/Tesis%20Ing.%20Jos%C3%A9%20Lauro%20Conde%20Solano%20EVALUAR%20EL%20RENDIMIENTO%20DEL%20CULTIVO%20DE%20PAPA%20%28Solanum%20tuberosum%20.pdf>
- Rodas, H., & Cisneros, P. (2000). *Principios de riego por goteo*. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Ordenamiento Forestal Cuencas y Riego, División de Riego y Drenaje, Gestión y Tecnología de Riego. [https://hortintl.cals.ncsu.edu/sites/default/files/articles/riego\\_por\\_goteo.doc](https://hortintl.cals.ncsu.edu/sites/default/files/articles/riego_por_goteo.doc)
- Rodríguez, M., Rey, R., & Sarmiento, O. (2005). Influencia del riego por goteo superficial y subterráneo sobre la distribución radical del banano. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 14(2), 44-48. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93214208>
- Sabando, A. (2018). *Efecto de cuatro láminas de riego por goteo en el comportamiento productivo del cultivo de tomate* [Tesis para optar el grado de Magister en Ingeniería Agrícola, Universidad Técnica De Manabí, Instituto de Posgrado, Programa de maestría en Ingeniería Agrícola]. <https://docplayer.es/49930474-Universidad-tecnica-de-manabi.html>
- Ticona, A. Y. (2013). *Determinación del bulbo húmedo con goteros de diferente caudal en dos suelos, La Molina -Lima y Viru-Trujillo* (p. 104). Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola., <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1845>
- Véliz, F. W. (2017). *Efecto del riego por goteo en indicadores de crecimiento del cultivo del maíz (Zea mays L.) bajo diferentes densidades y profundidad de siembra* [Tesis de grado previo a La obtención del título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería Agronómica]. <https://docplayer.es/49930474-Universidad-tecnica-de-manabi.html>

Ángel Ramón Sabando-García, Profesor, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Santo Domingo, Ecuador, e-mail: [arsabando@pucesd.edu.ec](mailto:arsabando@pucesd.edu.ec) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5438-9590>

Willintong Manuel Delgado-Sabando, Profesor, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador, e-mail: [wsabando@espm.edu.ec](mailto:wsabando@espm.edu.ec) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9315-3596>

Jesús Enrique Chavarría-Párraga, Profesor, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí, Ecuador, e-mail: [jchavarría@pucem.edu.ec](mailto:jchavarría@pucem.edu.ec) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8868-394X>

Bosco Xavier Sabando-García, Profesor, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador, e-mail: [bsabando@espm.edu.ec](mailto:bsabando@espm.edu.ec) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6718-1764>

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.