

## APLICACIÓN DE RIEGO DEFICITARIO, BIOESTIMULACIÓN Y MICORRIZAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN TOMATE DE INVERNADERO EN NATABUELA, ECUADOR.

Javier Ezequiel Colimba Limaico<sup>1, 2\*</sup>; Lilian Marcela Chuquín Farinango<sup>1</sup>

<sup>1</sup>MJ Producción Agropecuaria Sostenible. Velasco Ibarra y González Suárez, C.P. 100217, Natabuela, Ecuador.

[javiercolimbarfe@gmail.com](mailto:javiercolimbarfe@gmail.com) - +593 999571363 (\*Autor de correspondencia)

<sup>2</sup>Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección Distrital Imbabura, Guallupe y Olimpia Gudiño Nro.4-03, Barrio El Ejido, Ibarra, C.P. 100101. Ecuador.

### Resumen

En el Ecuador el cultivo de tomate bajo invernadero se ha convertido en una alternativa de producción de muchos agricultores. Sin embargo, uno de los principales problemas con el que se enfrentan es la escases de agua de regadío. A esto se suma la baja eficiencia en el uso del agua que obtienen, debido a que no toman en cuenta parámetros técnicos a la hora de regar. El objetivo de la presente investigación se centra en buscar alternativas que permitan mejorar la producción de tomate e incrementar la eficiencia en el uso del agua. Los factores en estudio fueron láminas de riego, bioestimulación y aplicación de micorrizas. Los resultados muestran que el riego deficitario permite ahorrar agua sin que el rendimiento se vea afectado. Por otra parte, la aplicación de micorrizas permitió incrementar el rendimiento y la eficiencia en el uso del agua. Ninguno de los factores en estudio incidió significativamente en la calidad interna de los frutos de tomate.

**Palabras claves:** micorrizas, bioestimulación, eficiencia en el uso del agua.

## Introducción

En los últimos 30 años ha habido un incremento considerable de la producción de tomate a nivel mundial. Por el contrario, en Ecuador ha habido una disminución en la producción de esta hortaliza (FAOSTAT, 2022). Pese a esto, en la provincia de Imbabura el cultivo de tomate bajo invernadero se ha convertido en un rubro muy importante. Sin embargo, uno de los principales problemas a los que se enfrentan los agricultores es la baja disponibilidad de agua para riego (Colimba, et al., 2022). En Ecuador ya existe un déficit de agua y, para 2035 este déficit será de 46,3% de la demanda, lo que generará conflictos entre oferta y demanda de este recurso (SENAGUA, 2019). Entre 2019 y 2022 se realizaron varios experimentos con la finalidad de incrementar la eficiencia en el uso del agua (EUA) en el cultivo de tomate de invernadero, lográndose obtener una EUA comercial de 52,68 kg m<sup>-3</sup> con riego deficitario (80% ETc) y 53,80 kg m<sup>-3</sup> con mulch color plateado (Colimba, 2022). Por otra parte, se conoce que el uso de micorrizas promueve una modificación del sistema radicular que contribuye a mejorar la absorción y transporte de agua y nutrientes del suelo (Read, 1991). Así mismo, Eulenstein et al. (2017) lograron incrementar la eficiencia en el uso del agua aplicando micorrizas en cultivos como maíz, girasol, trébol dulce, pasto sudanés y pasto de trigo alto. En este sentido, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la incidencia del riego deficitario, bioestimulación y aplicación de micorrizas en la eficiencia en el uso del agua en tomate de invernadero en Natabuela, Ecuador.

## Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en la parroquia de Natabuela, cantón Antonio Ante, jurisdicción del Pueblo Indígena Natabuela, provincia de Imbabura, Ecuador. En un invernadero metálico tipo capilla con cubierta curva, de 24,5 m de largo y 14,5 m de ancho, con una superficie de 355 m<sup>2</sup>. El invernadero se encuentra ubicado en la latitud 0° 20' 16,67" N, y longitud 78° 12' 0,65" O, a una altitud de 2445 msnm. La zona tiene una precipitación media anual entre 630 a 1000 mm, una temperatura promedio de 15°C. El suelo es franco arenoso con una densidad aparente de 1,22 gcm<sup>-3</sup>, tiene una capacidad de campo de 34,81% y un punto de marchitez de 14,31% de humedad volumétrica (Colimba, 2022). El experimento se llevó a cabo desde el 28 de enero al 15 de julio de 2024. Se utilizó la variedad Sheila injertada en patrón Briomino, las plantas fueron trasplantadas a los 60 días de sembradas. Las camas de siembra fueron cubiertas con mulch plástico color plateado. La distancia entre hileras fue 1,40 m y la distancia entre plantas fue 0,40 m. En cada unidad experimental hubo 16 plantas. Las plantas fueron manejadas a doble eje.

Se colocaron dos laterales de riego por unidad experimental, con goteros no compensados de 2,1 L h<sup>-1</sup> cada 0,20 m.

## Estimación del requerimiento hídrico

Para la estimación del requerimiento hídrico del cultivo se utilizó la metodología empleada por Colimba, Zulbelzu y Rodríguez (2022) en la misma localidad:

$$ET_o = K_p E_{pan} \quad (1)$$

donde  $E_{pan}$  es la evaporación diaria medida en un tanque evaporímetro artesanal (Sivisaca, 2013; Colimba et al., 2022), y  $K_p$  es el coeficiente del tanque cuyo valor fue 1,0 (Blanco y Folegatti, 2003; Macías, 2009; Colimba, 2022). El tanque evaporímetro estuvo ubicado en la parte central del invernadero. Las lecturas se hicieron todos los días a las 7:00 horas (hora local).

Una vez obtenida la  $ET_o$  se utilizó la siguiente ecuación para estimar la  $ET_c$ :

$$ET_c = ET_o K_c \quad (2)$$

donde  $ET_c$  es la evapotranspiración del cultivo,  $K_c$  el coeficiente del cultivo y  $ET_o$  es la evapotranspiración de referencia.

Los valores de  $K_c$  utilizados fueron los siguientes (Colimba, 2022):

**Cuadro 1.** Valores de  $K_c$  utilizados en el experimento

Fases	Duración (días)	$K_c$
Inicio	35	0.50
Desarrollo	45	1.05
Producción	60	1.20
Finalización	30	0.90

## Láminas de riego

Se aplicaron dos cantidades de agua, la primera consistió en el 100% del requerimiento hídrico durante todo el cultivo, y la segunda consistió en bajar al 80% del requerimiento hídrico durante los primeros 30 días de la fase de desarrollo, el resto del tiempo se aplicó el 100% del requerimiento hídrico.

## Bioestimulación

La bioestimulación fue aplicada vía fertirriego. Las dosis de los productos que se utilizaron fueron las establecidas por el fabricante. En total se hicieron 8 bioestimulaciones con intervalo de 15 días, iniciando la primera al trasplante.

## Aplicación de micorrizas

La aplicación de las micorrizas se realizó previo a la siembra, para lo cual se utilizó el producto ORGEVIT (EUROAGRO S.A.). Se aplicaron 10 g de producto por planta. Las características del producto se detallan a continuación:

**Cuadro 2.** Composición del producto utilizado

Composición	% p/p
Materia Seca	90.0
Materia Orgánica total	75.0
Ácidos húmicos	50.0

Micorrizas	100 mil esporas por Libra
Nitrógeno (N)	4.00
Fosforo (P)	3.00
Potasio (K)	2.50
Oxido de Calcio (Ca)	9.00
Azufre (S)	1.00



Figura 1. Aplicación de micorrizas en la cama de siembra

## Tratamientos

De la interacción de los factores mencionados se obtuvieron 8 tratamientos:

**Cuadro 3.** Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Código	Descripción
1	L1B1M1	100% ETc + Bioestimulación + Sin micorrizas
2	L1B1M2	100% ETc + Bioestimulación + Con micorrizas
3	L1B2M1	100% ETc + Sin Bioestimulación + Sin micorrizas
4	L1B2M2	100% ETc + Sin Bioestimulación + Con micorrizas
5	L2B1M1	80% ETc (30 días) + Bioestimulación + Sin micorrizas
6	L2B1M2	80% ETc (30 días) + Bioestimulación + Con micorrizas
7	L2B2M1	80% ETc (30 días) + Sin Bioestimulación + Sin micorrizas
8	L2B2M2	80% ETc (30 días) + Sin Bioestimulación + Con micorrizas

Para la evaluación de los tratamientos se utilizó un diseño de Parcelas Subdivididas bajo una distribución de bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones.

Las variables de respuesta fueron: rendimiento total y comercial, EUA total y comercial, pH, acidez titulable y sólidos solubles totales. Los datos obtenidos fueron analizados con el software estadístico de diseño experimental SEDEX 1.0 (Jurado, 2013). La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Duncan al 5%.

## Resultados y Discusión

### Requerimiento hídrico del cultivo

A continuación, se presenta el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa dentro del invernadero, así como también el comportamiento de la evaporación y la evapotranspiración del cultivo:

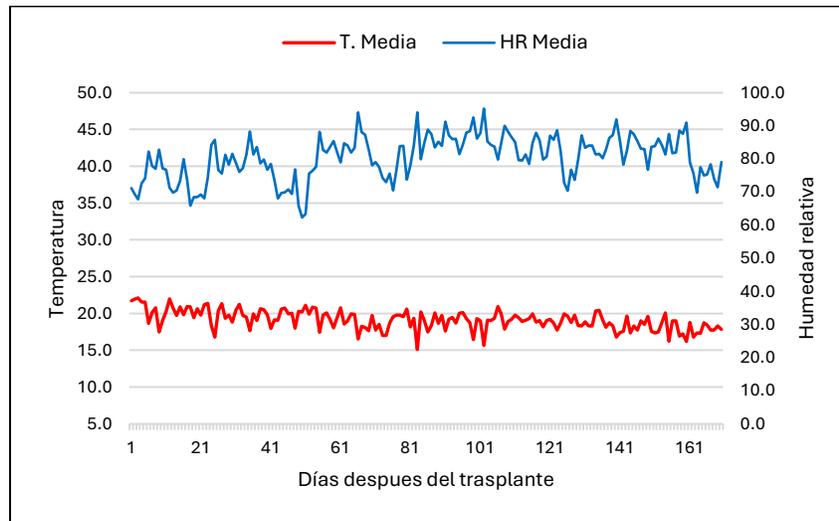


Figura 2. Temperatura y humedad relativa dentro del invernadero

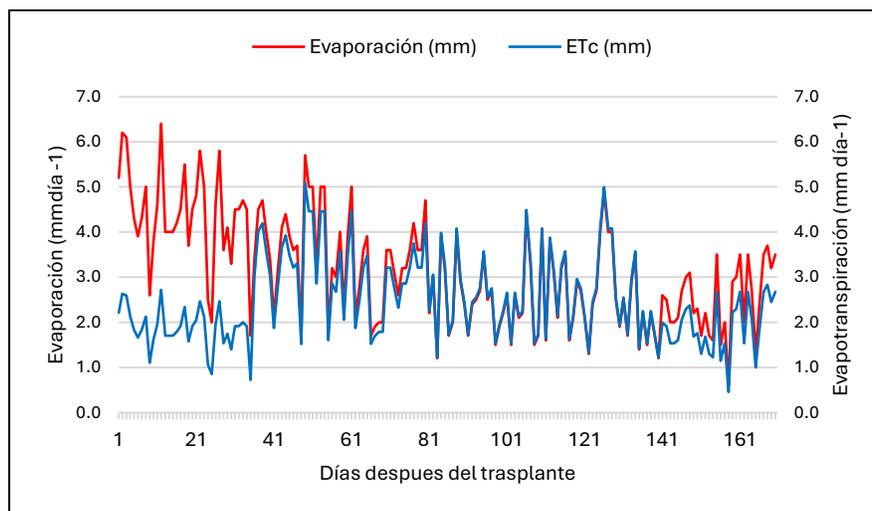


Figura 3. Comportamiento de la evaporación y evapotranspiración

## Cantidad de agua aplicada al cultivo

En los siguientes cuadros se presenta la cantidad de agua aplicada al cultivo:

**Cuadro 4.** Cantidad de agua aplicada al cultivo, Lámina 1

Fase	Duración (días)	Agua aplicada (L planta <sup>-1</sup> fase <sup>-1</sup> )	Agua aplicada (L planta <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )
Inicial	35	10.36	0.30
Desarrollo	45	44.02	0.98
Producción	60	74.57	1.24
Final	30	27.20	0.91
<b>Total</b>	<b>170</b>	<b>156.15</b>	

**Cuadro 5.** Cantidad de agua aplicada al cultivo, Lámina 2

Fase	Duración (días)	Agua aplicada (L planta <sup>-1</sup> fase <sup>-1</sup> )	Agua aplicada (L planta <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )
Inicial	35	10.27	0.29
Desarrollo	45	38.69	0.86
Producción	60	74.57	1.24
Final	30	27.20	0.91
<b>Total</b>	<b>170</b>	<b>150.73</b>	

Como se aprecia en los cuadros 4 y 5, las cantidades totales de agua aplicada por planta son diferentes habiendo una diferencia de 5,42 litros. Lo que quiere decir que con la lámina 2 se obtiene un ahorro de 96785 litros de agua por hectárea.

## Rendimiento y Eficiencia en el uso del agua

En el siguiente cuadro se observa que la aplicación de micorrizas incide significativamente en el rendimiento y en la eficiencia en el uso del agua.

**Cuadro 6.** Análisis de varianza y prueba de Duncan al 5% para rendimiento y eficiencia en el uso del agua

Factor	Rendimiento total	Rendimiento comercial	EUA Total	EUA comercial
	(kg planta <sup>-1</sup> )	(kg planta <sup>-1</sup> )	(kg m <sup>-3</sup> )	(kg m <sup>-3</sup> )
Láminas de agua				
L1	5.14 a	4.99 a	34.09 a	33.11 a
L2	5.49 a	5.34 a	35.18 a	34.20 a
Bioestimulantes				

B1	5.29 a	5.14 a	34.4 a	33.52 a
B2	5.34 a	5.19 a	34.78 a	33.79 a
Micorrizas				
M1	5.08 b	4.94 b	33.11 b	32.21 b
M2	5.55 a	5.39 a	36.16 a	35.10 a
ANOVA				
L	ns	ns	ns	ns
B	ns	ns	ns	ns
M	*	*	*	*
L x B	ns	ns	ns	ns
L x C	ns	ns	ns	ns
B x M	ns	ns	ns	ns
LxBxC	ns	ns	ns	ns

L, B y M representan láminas de agua, bioestimulación y micorrizas, respectivamente. L1: 80% ETc; L2: 100% ETc; B1: con bioestimulación; B2: sin bioestimulación; EUA: eficiencia en el uso del agua. \*: significativo al  $P < 0,05$ ; ns: no significativo al  $P < 0,05$ . Valores dentro de la misma columna acompañados de letras diferentes varían significativamente.

Así mismo, se observa que las láminas de agua y la aplicación de bioestimulante no afectan significativamente al rendimiento y a la eficiencia en el uso del agua. En el caso de la lámina de agua, al no haber diferencias, quiere decir que el bajar la cantidad de agua al 80% de la ETc durante los primeros 30 días de la fase de desarrollo, permite ahorrar agua sin que el rendimiento y la EUA se vean afectadas negativamente.

En el caso de la bioestimulación, se considera que las dosis recomendadas por el fabricantes fueron muy bajas, por esta razón no hubo una respuesta significativa.

### Variables de calidad

El análisis de varianza no detectó diferencias significativas para ninguno de los factores en estudio. Lo que indica que ni el pH, ni la acidez titulable, ni los sólidos solubles totales se vieron afectados.

**Cuadro 7.** Análisis de varianza y prueba de Duncan al 5% para pH, acidez titulable y grados Brix

Factor	pH	Acidez titulable	Sólidos solubles totales
	(-)	(%)	(°Brix)
Láminas de agua			
L1	4.29 a	0.45 a	5.58 a
L2	4.28 a	0.46 a	5.47 a
Bioestimulación			
B1	4.29 a	0.46 a	5.56 a
B2	4.28 a	0.44 a	5.49 a
Micorrizas			
M1	4.29 a	0.45 a	5.62 a
M2	4.28 a	0.46 a	5.43 a

ANOVA			
L	ns	ns	ns
B	ns	ns	ns
M	ns	ns	ns
L x B	ns	ns	ns
L x C	ns	ns	ns
B x M	ns	ns	ns
LxBxC	ns	ns	ns

L, B y M representan láminas de agua, bioestimulación y micorrizas, respectivamente. L1: 80% ETc; L2: 100% ETc; B1: con bioestimulación; B2: sin bioestimulación. \*: significativo al  $P < 0,05$ ; ns: no significativo al  $P < 0,05$ . Valores dentro de la misma columna acompañados de letras diferentes varían significativamente.

## Conclusiones

La aplicación de 80% de la ETc durante los primeros 30 días de la fase de desarrollo del cultivo permite ahorrar agua sin que el rendimiento se vea afectado.

La aplicación de bioestimulación via fertirriego en las dosis propuestas por el fabricante de los productos no incidió significativamente en el rendimiento, EUA y variables de calidad.

La aplicación de endomicorrizas permitió incrementar el rendimiento y la EUA.

## Referencias Bibliográficas

- Blanco, F. y Folegatti, M. (2003). Evapotranspiration and crop coefficient of cucumber in greenhouse. *Rev. Bras. De Eng. Agrícola e Ambient.*, 7, 285–291.
- Colimba Limaico, J. E. (2022). Eficiencia en el uso del agua en el cultivo de tomate bajo invernadero en Natabuela, Ecuador. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.73024>
- Colimba-Limaico, J. E., Zobelzu-Minguez, S., Rodríguez-Sinobas, L. (2022). Optimal Irrigation Scheduling for Greenhouse Tomato Crop (*Solanum Lycopersicum* L.) in Ecuador. *Agronomy*, 12(5), 1020. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051020>
- Eulenstein, F., Tauschke, M., Behrendt, A., Monk, J., Schindler, U., Lana, M. A., & Monk, S. 2016. The application of mycorrhizal fungi and organic fertilisers in horticultural potting soils to improve water use efficiency of crops. *Horticulturae*, 3(1), 8. doi:10.3390/horticulturae3010008
- FAOSTAT. Food and Agriculture Data. Disponible online: <http://www.fao.org/faostat/es/> (Accedido el 15 de julio de 2022).
- Macías, R. (2009). *Estimación de la evapotranspiración del cultivo y requerimientos hídricos del tomate (Solanum lycopersicum Mill. Cv. El Cid) en invernadero*. (Tesis de Maestría), Instituto Politécnico Nacional, Jiquilpan, México.
- Jurado, M. (2013). Software Estadístico Didáctico de Diseño Experimental *SEDEX Versión 1.0*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Read, D.J. Mycorrhizas in ecosystems. 1991. *Experientia* 47, 376–391. <https://doi.org/10.1007/BF01972080>

- SENAGUA (Secretaría del Agua). (2019). Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019–2027; SENAGUA: Quito, Ecuador. pp. 1–160.
- Sivisaca, J. (2013). *Efecto de tres frecuencias de riego por goteo en la producción del cultivo de fréjol (Phaseolus vulgaris L.), según la evaporación del tanque evaporímetro Clase A*. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.