

Universidad de Almería  
Escuela Superior de Ingeniería



Máster en Horticultura Mediterránea bajo Invernadero

Trabajo Fin de Máster

**Influencia de la aplicación de diferentes cantidades de restos vegetales por medio de biosolarización y la aplicación de fertirriego sobre la morfología de plantas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cv. Pitenza bajo invernadero.**

Alumna: Alejandra Rodríguez Chaves

Directores:

Dr. Julio César Tello Marquina

Dr. Miguel de Cara García

Almería, Julio 2018

## **Influencia de la aplicación de diferentes cantidades de restos vegetales por medio de biosolarización y la aplicación de fertirriego sobre la morfología de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Pitenza bajo invernadero.**

A. Rodríguez. Máster en Horticultura Mediterránea Bajo Invernadero. Universidad de Almería. Almería, España.

Palabras clave: materia orgánica, longitud de planta, diámetro de tallo, ciclo largo de cultivo.

### **RESUMEN**

Los cultivos hortícolas intensivos bajo invernadero en el sureste español generan una gran cantidad de restos vegetales al finalizar el ciclo del cultivo, y como técnica empleada para hacer uso de los residuos en fresco, la biosolarización del suelo es una alternativa beneficiosa tanto para el suelo como para las plantas. La investigación se realizó con el fin de analizar el efecto que tienen los restos del cultivo de tomate incorporados como materia orgánica en un suelo mezclado con arena con fertirriego sobre la morfología de las plantas. En un ciclo largo de producción, se establecieron seis tratamientos: T0 como testigo absoluto sin aplicación de restos de plantas ni fertilización, T1 como testigo con fertirriego, T2 con 3,5 kg de restos vegetales frescos m<sup>-2</sup> y fertirriego, T3 con 5 kg de restos vegetales frescos m<sup>-2</sup> y fertirriego, T4 con 3,5 kg de restos vegetales frescos m<sup>-2</sup> sin fertirriego, T5 con 5 kg de restos vegetales frescos m<sup>-2</sup> sin fertirriego y T6 con 6,5 kg de restos vegetales frescos m<sup>-2</sup> sin fertirriego. La incorporación de restos vegetales influyó en la morfología de la planta; la longitud, diámetro y cantidad de hojas mostraron los mejores valores en el tratamiento que incluyó 5 kg de restos vegetales frescos m<sup>-2</sup> y fertirriego. La cantidad de ramilletes a los 49 ddt fue mayor en los tratamientos que únicamente aportaron restos vegetales, sin embargo, a los 77 días eran los tratamientos con restos vegetales y fertirriego los que mostraron la mayor cantidad, inclusive hasta finalizar el ciclo del cultivo. La incorporación de cantidades adecuadas de restos vegetales a través de la biosolarización con la aplicación de fertirriego es una técnica que aumenta el potencial nutritivo del suelo proporcionando vigor a las plantas.

### **INTRODUCCIÓN**

La producción de agricultura intensiva bajo invernado implica el levantamiento del cultivo al final de la campaña, lo que conlleva a la generación de un gran volumen de restos vegetales. Al sur de España, en Almería se producen en promedio 28,5 t·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup> de residuos vegetales (Manzano, 2007; Callejón y López, 2009) lo que se traduce para un total de 30.456 hectáreas de superficie invernada en 1,8 millones de toneladas anuales (Junta de Andalucía, 2016).

La acumulación de restos vegetales son una fuente de inóculo que provoca riesgos fitosanitarios como la propagación de plagas y enfermedades, es por este motivo que la reutilización del material vegetal como una enmienda orgánica al suelo puede ayudar a disminuir el efecto como fuente de contaminación (Zanón *et al.*, 2011), además de contribuir a la mejora de las características físicas, químicas (Martínez *et al.*, 2011;

Guerrero *et al.*, 2014; Mihajlović *et al.*, 2017) y productividad del suelo proporcionando nutrientes a la planta (Gelsomino *et al.*, 2006; Seman-Varner *et al.*, 2008; Callejón *et al.*, 2010; Kanaan *et al.*, 2018;) e incrementando de esta manera los rendimientos de los cultivos (ÖZ, 2018).

Una opción en el uso de los restos vegetales es la de realizar su reincorporación al suelo por medio de un proceso de compostaje *in situ* mediante el uso de la biosolarización, la cual consiste en combinar los efectos de la solarización junto con el de la biodesinfección de suelos (Marín-Guirao *et al.*, 2016) con el objetivo de desinfectar el suelo (Díaz *et al.*, 2017).

Aunque inicialmente la técnica ha sido usada como control de enfermedades edáficas que afectan los cultivos ( Bello *et al.*, 2000; Oka *et al.*, 2007; Klein *et al.*, 2012; García *et al.*, 2013; Chamorro *et al.*, 2015; Basallote *et al.*, 2016; Fernández *et al.*, 2018), se ha estudiado que la descomposición de los restos vegetales provoca que la materia orgánica se transforme liberando ácidos orgánicos como resultado de interacciones complejas entre procesos químicos, físicos y biológicos (Tejada *et al.*, 2009); es de ésta forma que actúa sobre los minerales del suelo haciéndolos disponibles para la planta (Plaster, 2013), e incrementando la producción en diversos cultivos (Martínez *et al.*, 2006; García-Ruiz *et al.*, 2009; Núñez-Zofío, 2011; Domínguez *et al.*, 2014; Marín-Guirao, 2016) y manifestando un mayor crecimiento (Chen *et al.*, 2000; Lazcano *et al.*, 2009; Sofi *et al.*, 2014., Liu *et al.*, 2009).

Es por tal motivo que el objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia en el suelo de un invernadero de la aplicación de diferentes cantidades de restos vegetales de un cultivo de tomate mediante la técnica de biosolarización frente a la aplicación de fertirriego sobre diversos parámetros morfológicos de un cultivo de ciclo largo de tomate. Este trabajo es la continuación en su quinto año de ensayos continuados realizando la aplicación de diversas materias orgánicas mediante la técnica de biosolarización de suelos.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Ubicación y características**

El ensayo se realizó en un invernadero tipo Almería de 1600 m<sup>2</sup> de superficie con suelo y arena mezclada, ubicado en la Finca Experimental UAL-ANECOOP al sureste español (Almería).

### **Diseño experimental**

Mediante un diseño experimental de bloques aleatorios para siete tratamientos con cuatro repeticiones cada uno, se ensayaron diversas enmiendas con restos vegetales procedentes de residuos de cosecha de plantas de tomate desarrolladas el ciclo anterior de cultivo y aplicando la técnica de biosolarización para realizar un compostado "*in situ*". Los tratamientos fueron los siguientes: T0 como testigo absoluto (sin aplicación de restos de plantas ni fertilización durante el ciclo de cultivo), T1 como testigo con fertirriego (sin la incorporación de restos vegetales y aplicación de fertirriego durante el ciclo de cultivo), T2 (aplicación de 3,5 kg de restos vegetales frescos m<sup>-2</sup> y fertirriego), T3 (aplicación de 5 kg de restos vegetales frescos m<sup>-2</sup> y fertirriego), T4 (aplicación de 3,5 kg de restos vegetales frescos m<sup>-2</sup> sin fertirriego), T5 (aplicación de 5 kg de restos vegetales frescos m<sup>-2</sup> sin fertirriego) y finalmente el T6 (aplicación de 6,5 kg de restos vegetales frescos m<sup>-2</sup> sin fertirriego).

El proceso de biosolarización de los restos vegetales fue realizado del 23 de junio del 2017 al 1 de septiembre del 2017 (duración de 70 días) y una vez terminado el proceso, se instaló el 6 de septiembre del 2017 para el ciclo de producción de otoño 2017 un cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), de tipo ramillete para ciclo largo (de 219 días de duración) cv. Pitenza, a una densidad de 2 plantas·m<sup>-2</sup>.

Durante el desarrollo del cultivo para los tratamientos T0, T4, T5 y T6, se realizó el aporte de agua en base a los requerimientos hídricos y sin la aplicación de fertilizante durante el desarrollo del ciclo del cultivo, mientras que para los tratamientos T1, T2 y T3 se realizó una fertilización continua durante el ciclo por fertirriego según las recomendaciones de Steiner (1961), con 8 mM NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 2,5 mM H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, 2,5 mM SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 5 mM K<sup>+</sup>, 4 mM Ca<sup>2+</sup> y 2 mM Mg<sup>2+</sup> y realizando incrementos continuos en la conductividad eléctrica hasta alcanzar un máximo de 3 dS·m<sup>-1</sup>.

### **Parámetros analizados**

Se realizaron durante el ciclo del cultivo siete muestreos (49, 77, 103, 148, 169, 194 y 219 días después del trasplante) en los que se analizaron diferentes parámetros morfológicos de la planta, siendo: longitud total de la planta, número total de hojas, distancia de entre nudos, número total de ramilletes y diámetro del tallo medido debajo del ramillete utilizando para este último parámetro un caliper digital (MITUTOYO modelo Digital Caliper Within (MEDID) Max. 150 mm) con una precisión de ± 0,01 mm.

### **Análisis estadístico**

Los datos obtenidos fueron evaluados mediante un análisis de la varianza (ANOVA) empleando el método de las mínimas diferencias (LSD) con un nivel de confianza del 95%, utilizando el programa estadístico STATGRAPHICS Centurion XVII.II (Statgraphics Technologies, Inc.)

## **RESULTADOS**

### **Longitud total de la planta**

Los resultados referentes a este parámetro se observan en la tabla 1, donde se aprecia que existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos durante todos los muestreos realizados. En el primer muestreo (49 ddt) se observó como las plantas establecidas en el T3 que recibió fertirriego más restos de cultivo a 5 kg·m<sup>-2</sup> y los tratamientos T5 y T6 con restos de cultivo a 5 y 6,5 kg·m<sup>-2</sup> sin fertirrigación mostraron el mayor crecimiento en las plantas, seguido de los tratamientos con aplicación de 3,5 kg·m<sup>-2</sup> con y sin fertirriego (T2 y T4, respectivamente). En el segundo muestreo (77 ddt), el tratamiento T3 continuó presentando la mayor longitud de planta, seguido de los tratamientos con fertirriego (T1 y T2) y del tratamiento T5.

Es a partir del tercer muestreo (103 ddt) (Gráfica 1), donde se aprecia un mayor crecimiento de las plantas en aquellos tratamientos en que fue aplicado el fertirriego con y sin restos de plantas en el ciclo de producción (T1, T2 y T3), seguido de los tratamientos en donde solamente fueron aplicados restos vegetales (T4, T5 y T6), dicho comportamiento fue constante en los siguientes muestreos realizados.

Finalmente, el T0 (testigo blanco), presentó la menor longitud de planta durante todos los muestreos realizados.

Tabla 1. Efecto sobre la media de longitud de planta de tomate (m) y su desviación típica debido a la aplicación al suelo de diversas cantidades de restos de cultivo mediante biosolarización con y sin fertirriego durante un ciclo largo de producción.

Tratamiento	Días después de trasplante					
	49 ddt	77 ddt	103 ddt	148 ddt	169 ddt	194 ddt
T0	1,45 ± 0,10 e	2,00 ± 0,13 e	2,24 ± 0,22 e	2,31 ± 0,27 g	2,43 ± 0,29 e	2,55 ± 0,34 e
T1	1,51 ± 0,09 d	2,35 ± 0,10 bc	2,83 ± 0,12 b	3,49 ± 0,15 ab	3,69 ± 0,20 ab	3,80 ± 0,18 ab
T2	1,59 ± 0,06 bc	2,41 ± 0,11 b	2,86 ± 0,15 b	3,40 ± 0,24 bc	3,65 ± 0,23 bc	3,72 ± 0,24 b
T3	1,64 ± 0,19 a	2,49 ± 0,14 a	2,94 ± 0,12 a	3,54 ± 0,17 a	3,77 ± 0,20 a	3,84 ± 0,16 a
T4	1,54 ± 0,10 cd	2,27 ± 0,15 d	2,66 ± 0,19 d	3,24 ± 0,24 f	3,42 ± 0,29 d	3,45 ± 0,24 d
T5	1,63 ± 0,10 ab	2,35 ± 0,16 bc	2,74 ± 0,20 c	3,39 ± 0,22 cd	3,56 ± 0,29 c	3,61 ± 0,24 c
T6	1,60 ± 0,09 ab	2,34 ± 0,14 c	2,74 ± 0,15 c	3,30 ± 0,18 de	3,55 ± 0,23 c	3,51 ± 0,25 cd
Valor - P	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

ddt: días después de trasplante.

Letras diferentes entre valores de tratamientos por columnas representan diferencias significativas al 95% de confianza con el test de mínimas diferencias significativas.

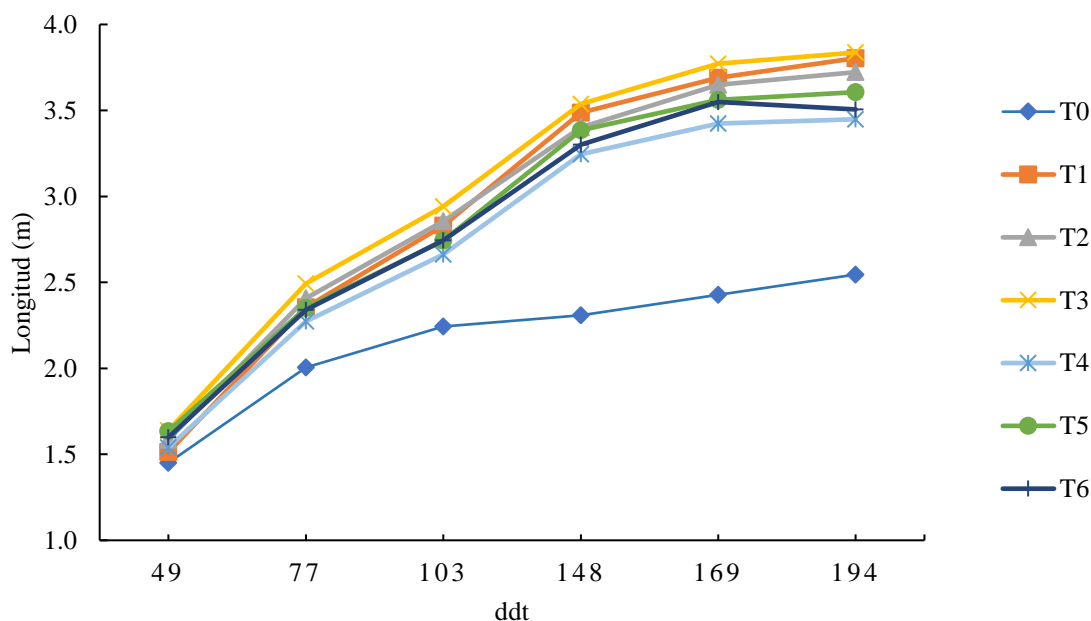


Figura 1. Longitud total de planta (m) alcanzado por las plantas de tomate c.v Pitenza por tratamiento.

### Número total de hojas

Según la variable analizada en la tabla 2, se aprecia como el número de hojas al final del ciclo de producción fueron mayores de forma estadísticamente significativa en aquellos

tratamientos donde fue aplicado el fertirriego (T1, T2 y T3), seguidos de los tratamientos con aplicación de materia orgánica sin fertirriego (T4, T5 y T6). Finalmente, el tratamiento en blanco (T0) presentó la menor cantidad de hojas al finalizar el ciclo del cultivo.

Tabla 2. Efecto sobre el número total de hojas planta<sup>-1</sup> de tomate y su desviación típica debido a la aplicación al suelo de diversas cantidades de restos de cultivo mediante biosolarización con y sin fertirriego durante un ciclo largo de producción.

Tratamiento	219 ddt
T0	29,0 ± 4,4 e
T1	42,0 ± 2,2 ab
T2	42,0 ± 2,5 a
T3	43,0 ± 1,8 a
T4	39,0 ± 2,8 d
T5	41,0 ± 3,1 bc
T6	40,0 ± 3,3 cd
<i>Valor – P</i>	0,0000

ddt: días después de trasplante.

Letras diferentes entre valores de tratamientos por muestreo representan diferencias significativas al 95% de confianza con el test de mínimas diferencias significativas.

### Distancia de entrenudos

Se presenta por la relación obtenida entre la longitud total de las plantas y el número total de hojas por tratamientos, dando como variable la distancia de entrenudos en el tallo. Según se observa en la tabla 3, no se presentó diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos, el comportamiento presente es igual en todos los casos y la proporcionalidad de crecimiento se mantuvo independientemente del tratamiento.

Sin embargo, el T1 con fertirrigación y sin aporte de materia orgánica mostró la mayor longitud de entrenudos en el tallo de las plantas y, por otra parte, el T0 sin fertirriego y sin materia orgánica durante el ciclo tuvo una distancia menor de entrenudos en el tallo.

Tabla 3. Distancia de entrenudos (cm) en el tallo de las plantas del tomate y su desviación típica debido a la aplicación al suelo de diversas cantidades de restos de cultivo mediante biosolarización con y sin fertirriego durante un ciclo largo de producción.

Tratamiento	219 ddt
T0	8,75 ± 0,61
T1	9,03 ± 0,36
T2	8,81 ± 0,45
T3	8,96 ± 0,40
T4	8,77 ± 0,62
T5	8,83 ± 0,60
T6	8,79 ± 0,46
<i>Valor – P</i>	0,1229

ddt: días después de trasplante.

Letras diferentes entre valores de tratamientos por muestreo representan diferencias significativas al 95% de confianza con el test de mínimas diferencias significativas.

### Número total de ramilletes

Para este parámetro, se apreciaron diferencias estadísticamente significativas en los diversos muestreos (Tabla 4), en el que para el primer muestreo (49 ddt) se apreció un mayor número de ramilletes en los tratamientos en que se aplicaron restos vegetales al suelo en las tres diferentes dosis ensayadas (T4, T5 y T6) en comparación a los demás tratamientos, lo que podría traducirse en una precocidad sobre la producción.

A partir del segundo muestreo (77 ddt), este comportamiento cambió ya que se observó que los tratamientos con fertirriego con y sin materia orgánica fresca (T1, T2 y T3) alcanzaron un mayor valor frente a los tratamientos con materia orgánica (T4, T5 y T6), y por último el testigo blanco (T0) mostró el menor valor entre todos los tratamientos. Dicho comportamiento se mantuvo durante el ciclo de producción en los siguientes muestreos realizados, según muestra el gráfico 2.

Tabla 4. Número total de ramilletes acumulados a través de los muestreos que presentó las plantas durante el ciclo por tratamiento y su desviación típica debido a la aplicación al suelo de diversas cantidades de restos de cultivo mediante biosolarización con y sin fertirriego durante un ciclo largo de producción.

Tratamiento	Días después de trasplante					
	49 ddt	77 ddt	103 ddt	148 ddt	169 ddt	194 ddt
T0	2,9 ± 0,4 b	4,4 ± 0,5 e	6,2 ± 0,9 d	7,0 ± 0,8 c	7,3 ± 1,2 c	8,1 ± 1,5 e
T1	2,4 ± 0,6 c	5,8 ± 0,6 b	8,4 ± 0,5 a	10,7 ± 0,8 ab	11,9 ± 0,8 a	12,4 ± 0,7 ab
T2	2,8 ± 0,4 b	6,3 ± 0,6 a	8,5 ± 0,6 a	10,7 ± 0,7 ab	12,0 ± 0,6 a	12,4 ± 0,8 a
T3	2,8 ± 0,4 b	6,4 ± 0,6 a	8,6 ± 0,6 a	10,9 ± 0,6 a	12,1 ± 0,8 a	12,6 ± 0,6 a
T4	3,5 ± 0,6 a	5,2 ± 0,7 d	7,2 ± 0,7 c	10,3 ± 0,8 b	10,6 ± 1,1 b	11,5 ± 1,0 d
T5	3,5 ± 0,6 a	5,6 ± 0,5 bc	7,4 ± 0,8 bc	10,5 ± 1,7 b	10,9 ± 1,0 b	12,0 ± 1,0 bc
T6	3,4 ± 0,7 a	5,5 ± 0,6 cd	7,5 ± 0,6 b	10,5 ± 0,6 ab	10,8 ± 0,7 b	11,7 ± 1,1 cd
Valor – P	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

ddt: días después de trasplante.

Letras diferentes entre valores de tratamientos por muestreo representan diferencias significativas al 95% de confianza con el test de mínimas diferencias significativas.

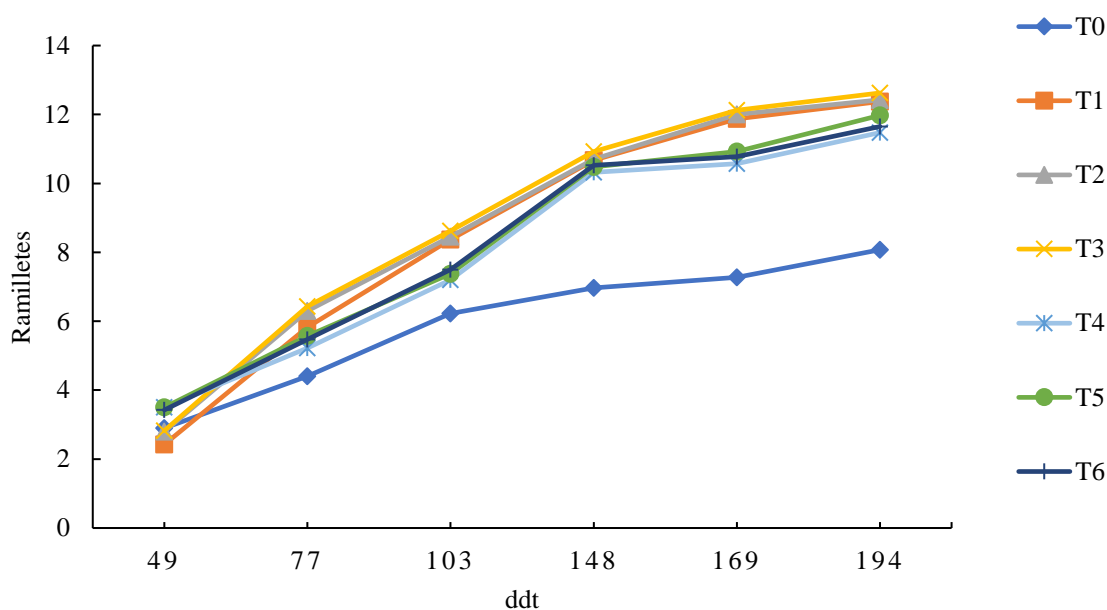


Figura 2. Efecto de los tratamientos sobre la cantidad de ramilletes evaluados durante el ciclo del cultivo de tomate.

### Diámetro del tallo

Se midió encima del ramillete el diámetro del tallo y se observó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos al evaluar este parámetro.

El tratamiento T0, el cual no contenía ninguna dosis de restos vegetales o fertirriego, presentó el menor valor en cada muestreo realizado. Al medir los dos primeros ramilletes (49 ddt), los tratamientos no mostraron diferencias entre sí. Es, sin embargo, a partir del tercer ramillete (77 ddt) donde se comenzó a apreciar un diferente comportamiento entre los tratamientos con y sin aplicación de fertirriego. En los tratamientos T1 y T3 con fertirriego y T5 con dosis de  $5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  de materia orgánica fueron los que presentaron los mayores valores.

A partir de la medida del cuarto ramillete (77 ddt), los tratamientos con fertirriego (T1, T2 y T3) manifestaron los valores más altos en comparación a los demás tratamientos, manteniendo este comportamiento hasta finalizar el ciclo del cultivo.

También, se observa en la tabla 5, que a partir del sexto muestreo (194 ddt) el T0 alcanzó un máximo de once ramilletes, por lo que no se consiguió obtener más información comparativa para este tratamiento.

En el muestreo séptimo (219 ddt), se midió el diámetro del tallo en los ramilletes décimo tercero y décimo cuarto en la reducida cantidad de plantas que los presentaron, por lo que no fue posible el análisis estadístico para este muestreo por los insuficientes datos obtenidos, se muestra únicamente una media de los datos obtenidos donde T1 (Testigo con fertirrigación) tuvo el mayor valor al medir el tallo de la planta en el décimo tercero y en el tallo del décimo cuarto, T1 y T6 ( con fertirriego y  $6,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  respectivamente) presentan los mayores valores.



Tabla 5. Efecto de la aplicación de fertirriego y dosis crecientes de materia orgánica fresca en un suelo cultivado con tomate sobre el diámetro (mm) del tallo de la planta y su desviación típica debido a la aplicación al suelo de diversas cantidades de restos de cultivo mediante biosolarización con y sin fertirriego durante un ciclo largo de producción.

Tratamiento	Días después de trasplante							
	49 ddt		77 ddt		103 ddt	148 ddt		
	Ramillete 1	Ramillete 2	Ramillete 3	Ramillete 4	Ramillete 5	Ramillete 6	Ramillete 7	
T0	10,2 ± 0,9 c	9,7 ± 1,2 c	9,6 ± 1,1 d	7,9 ± 1,4 d	7,9 ± 6,8 c	5,4 ± 1,3 e	4,6 ± 1,3 d	
T1	11,2 ± 1,1 ab	11,0 ± 1,2 ab	12,6 ± 1,4 a	12,9 ± 1,4 a	13,0 ± 1,4 a	13,7 ± 2,0 a	11,7 ± 2,0 a	
T2	11,2 ± 1,3 ab	10,8 ± 1,1 ab	11,6 ± 1,1 b	12,0 ± 1,2 b	12,1 ± 1,6 ab	12,9 ± 1,8 bc	11,2 ± 1,9 ab	
T3	11,5 ± 1,1 a	11,3 ± 1,3 a	12,0 ± 1,1 ab	13,0 ± 1,3 a	12,7 ± 1,4 a	13,5 ± 1,6 ab	11,8 ± 1,7 a	
T4	10,7 ± 1,5 bc	10,4 ± 1,7 b	10,9 ± 1,8 c	11,1 ± 2,0 c	10,8 ± 1,9 b	11,4 ± 1,8 d	10,0 ± 1,9 c	
T5	11,3 ± 1,2 a	11,4 ± 1,4 a	12,0 ± 1,5 ab	11,8 ± 1,7 b	11,2 ± 2,4 b	11,7 ± 2,1 d	10,9 ± 1,5 b	
T6	11,5 ± 1,3 a	11,2 ± 1,6 a	11,9 ± 1,5 b	11,7 ± 1,8 bc	11,9 ± 1,7 ab	12,2 ± 1,5 cd	11,3 ± 1,5 ab	
<i>Valor -P</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
	169 ddt		194 ddt			219 ddt		
	Ramillete 8	Ramillete 9	Ramillete 10	Ramillete 11	Ramillete 12	Ramillete 13	Ramillete 14	
	T0	4,8 ± 2,1 d	6,0 ± 2,1 e	7,4 ± 2,0 c	7,3 ± 1,7 abc	-	-	-
T1	11,2 ± 1,8 a	9,5 ± 1,4 a	9,4 ± 1,5 a	8,6 ± 1,5 a	8,4 ± 1,3 a	9,1	9,2	
T2	10,2 ± 1,5 b	8,8 ± 1,4 b	9,4 ± 1,4 a	8,6 ± 1,3 a	8,2 ± 1,4 a	8,7	8,0	
T3	11,0 ± 1,6 a	9,4 ± 1,4 a	9,6 ± 1,3 a	8,6 ± 1,2 a	8,2 ± 1,0 a	8,6	8,5	
T4	8,7 ± 1,7 c	7,2 ± 1,4 de	7,5 ± 1,6 c	6,9 ± 1,4 c	6,8 ± 1,1 b	7,2	-	
T5	9,6 ± 1,7 b	7,9 ± 1,4 c	8,1 ± 1,7 bc	7,6 ± 1,4 b	7,3 ± 1,3 b	8,2	8,3	
T6	9,7 ± 1,5 b	7,8 ± 1,3 cd	8,2 ± 1,6 b	7,4 ± 1,2 bc	7,2 ± 1,0 b	7,9	9,6	
<i>Valor -P</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-	

ddt: días después de trasplante.

Letras diferentes entre valores de tratamientos por muestreo representan diferencias significativas al 95% de confianza con el test de mínimas diferencias significativas.

## DISCUSIÓN

Este experimento demostró que durante la descomposición de materia orgánica en el suelo luego de la incorporación de restos vegetales y biosolarización, la disponibilidad de elementos minerales en el suelo pudo aumentar (Seman-Varner *et al.*, 2008; Guerrero *et al.*, 2014). Además, durante ésta descomposición posiblemente fueron liberados compuestos que promovieron el crecimiento de las raíces (Mauromicale *et al.*, 2011) y las plantas de forma directa (Plaster, 2013), posiblemente a través de una mejor nutrición (Grünzweig *et al.*, 1998). Lo que posiblemente hizo que el desarrollo de las plantas en los tratamientos en que se sólo fueron aplicados los restos de plantas se mantuviese durante la primera parte del ciclo del cultivo con el mismo ritmo de crecimiento que aquellos en los que fue aplicado un fertirriego durante el ciclo completo de producción. Este comportamiento es el mismo al reportado por Merlo-Valverde (2015) para el mismo invernadero y cultivo durante el primer año en que estos ensayos fueron desarrollados.

También, algunos autores han reportado que al realizar aportes crecientes de enmiendas orgánicas al suelo se obtiene un mayor crecimiento de las plantas debido al proceso de conversión en pequeñas fracciones de materia orgánica soluble, lo que aumentó el contenido disponible de nitrógeno (Gelsomino *et al.*, 2006), fósforo y potasio (Chen *et al.*, 2000; Sofi *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2014), además del calcio, magnesio y zinc (Ozores *et al.*, 2005; Mauromicale *et al.*, 2011), inclusive aplicando suplementación orgánica de hasta  $0,7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  antes de la solarización (Chen *et al.*, 2000; Mauromicale *et al.*, 2010).

Según la enmienda orgánica implementada, hasta más del 50% del total de nitrógeno se mineraliza en las primeras semanas de aplicación, cuando la descomposición de los tejidos vegetales y la liberación de nitrógeno pasa por una fase inicial rápida de descomposición por los microorganismos del suelo (Figuroa *et al.*, 2012), promoviendo la rápida absorción por la planta (Liu *et al.*, 2009), y siendo usado como una enmienda de rápido efecto estimulando el crecimiento vegetativo e induciendo a la precocidad de las plantas presentando la aparición de los ramilletes florales, determinando un efecto favorable sobre la productividad de los cultivos (Scopa *et al.*, 2008).

Además de los altos niveles de nitrógeno, el crecimiento de las plantas puede deberse a una absorción de micronutrientes como resultado de la solubilización por sustancias húmicas (Chen *et al.*, 1990; Chen *et al.*, 1991) mencionado por Chen *et al.*, (2000), por aportes de materia orgánica combinados con solarización.

Para el caso de los tratamientos con combinaciones de enmiendas orgánicas con fertilizantes químicos, esta estrategia podría permitir la mejora de la biomasa microbiana, así como una mayor disponibilidad de nutrientes (Liu *et al.*, 2009), produciéndose un mejor desarrollo de la parte aérea (Lazcano *et al.*, 2009), y permitiendo que una mayor cantidad de hojas metabólicamente activas tengan una mejor actividad fotosintética.

Estudios similares con aplicaciones de enmiendas orgánicas en comparación con la aplicación de fertilizantes y usando otras hortalizas, obtuvieron mayor biomasa vegetal en los tratamientos con aplicaciones de enmiendas orgánicas (Ozores *et al.*, 2005). A lo largo del tiempo, este mismo autor sugiere en sus resultados que las aplicaciones anuales de enmiendas orgánicas a los suelos arenosos pueden aumentar el crecimiento de las plantas y producir rendimientos altos o al menos comparables con menos nutrientes inorgánicos que los programas convencionales de fertilización.

Como características de las incorporaciones de materia orgánica fresca, según Plaster (2013), cuando se tienen suelos arenosos, la materia orgánica puede absorber agua, lo que permite mantener un adecuado porcentaje de humedad en el suelo dando mejores condiciones al cultivo.

Por lo tanto, las aplicaciones constantes de materia orgánica, según Ozores *et al.*, (2005), aumentaron la producción y el estado nutricional de los cultivos en suelos arenosos, mejorando la calidad del suelo y reduciendo la necesidad de fertilización.

Estas prácticas podrían ayudar a favorecer la recuperación y mantenimiento de la fertilidad del suelo apoyadas en la gestión integral de restos vegetales, principalmente en zonas con agricultura intensiva como lo es Almería.

## CONCLUSIÓN

La aplicación de los restos vegetales en diversas cantidades al suelo mediante la biosolarización con y sin posterior aplicación de fertirriego tuvo un efecto favorable sobre los parámetros morfológicos evaluados en las plantas. Finalmente, el tratamiento con altas cantidades de materia orgánica fresca combinada con fertirriego mostró los mejores parámetros en la longitud de la planta, cantidad de hojas, cantidad de ramilletes y diámetro del tallo a partir del muestreo realizado a los 77 ddt y siguiendo con este patrón hasta el final del cultivo.

## AGRADECIMIENTOS

Al grupo de investigación AGR200 de la Universidad de Almería y a la Universidad de Costa Rica por el apoyo brindado para la formación académica en España.

## BIBLIOGRAFÍA

- Basallote, M. J., Vela, M. D., Capote, N., Melero, J. M., López, C. J., Prados, A. M., and Talavera, M. F. 2016. Control of Fusarium wilt of carnation using organic amendments combined with soil solarization, and report of associated Fusarium species in southern Spain. *Crop Protection*. 89: 84-192. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.07.013>
- Bello, A., López-Pérez, J.A., and Díaz, L. 2000. Biofumigación y solarización como alternativas al Bromuro de Metilo. *Memorias del Simposium Internacional de la Fresa Zamora*. México, p. 24-50.
- Callejón, A. J., Carreño, A., Sánchez-Hermosilla, J., and Pérez, J. 2010. Evaluación de impacto ambiental de centro de transformación y gestión de residuos sólidos agrícolas en la provincia de Almería (España). *Informes de la Construcción*. 62(518): 79-93. <https://doi.org/10.3989/ic.08.028>
- Callejón, A. J., and López, J. A. 2009. Briquettes of plant remains from the greenhouses of Almería (Spain). *Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) Spanish Journal of Agricultural Research*. 7(3): 525-534. Recuperado a partir de [www.inia.es/sjar](http://www.inia.es/sjar)
- Chamorro, M., Miranda, L., Domínguez, P., Medina, J. J., Soria, C., Romero, F., López, J.M., and De los Santos, B. 2015. Evaluation of biosolarization for the control of charcoal rot disease (*Macrophomina phaseolina*) in strawberry. *Crop Protection*. 67:279-286. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.10.021>
- Chen, Y., Katan, J., Gamliel, A., Aviad, T., and Schnitzer, M. 2000. Involvement of soluble organic matter in increased plant growth in solarized soils. *Biology and Fertility of Soils*. 32(1): 28-34. <https://doi.org/10.1007/s003740000209>
- Díaz, S., Gallo, L., Domínguez, P., and Rodríguez, A. 2017. Effect of repeated cycles of soil solarization and biosolarization on corky root, weeds and fruit yield in screen-house tomatoes

- under subtropical climate conditions in the Canary Islands. *Crop Protection*. 94:20-27. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.12.010>
- Domínguez, P., Miranda, L., Soria, C., De los Santos, B., Chamorro, M., Romero, F., Daugovish, O., López-Aranda, J. M and Medina, J. J. 2014. Soil biosolarization for sustainable strawberry production. *Agronomy for Sustainable Development*. 34(4):821-829. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0211-z>
- Fernández-Bayo, J. D., Randall, T. E., Harrold, D. R., Achmon, Y., Hestmark, K. V., Su, J., Dahlquist-Willard, R. M., Gordon, T. R., Stapleton, J. J., VanderGheynst, J.S and Simmons, C. W. 2018. Effect of management of organic wastes on inactivation of *Brassica nigra* and *Fusarium oxysporum* f.sp. *lactucae* using soil biosolarization. *Pest Management Science*. <https://doi.org/10.1002/ps.4891>
- Figuroa, A., Alvarez, J. G., Forero, A. F., Salamanca, C., and Pinzón, L. P. 2012. Determination of potentially mineralizable nitrogen and the rate of nitrogen mineralization in organic materials. *Temas Agrarios*. 17(1):32-43. Recuperado a partir de <http://www.cabdirect.org/abstracts/20133173428.html>
- García, A., Palmero, D., Valera, D. L., De Cara, M., Ruíz, C. A., Boix, A., and Camacho, F. 2013. Control de la Fusariosis vascular en clavel en el suroeste de España mediante la biodesinfección del suelo. *ITEA Información Técnica Económica Agraria*. 109(1):13-24.
- García-Ruiz A., Tello-Marquina J.C., Avilés-Guerrero M., and Ordovás-Ascaso J. 2009. Fusariosis del clavel (*Fusarium oxysporum* f. sp. *Dianthi*) últimos avances en su control. Ediciones Agrotécnicas, S.L. Madrid, España. 275 pp.
- Gelsomino, A., Badalucco, L., Landi, L., & Cacco, G. 2006. Soil Carbon, Nitrogen and Phosphorus Dynamics as Affected by Solarization Alone or Combined with Organic Amendment. *Plant and Soil*. 279:307-325. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-2155-1>
- Grünzweig, J. M., Katan, J., Ben-Tal, Y., and Rabinowitch, H. D. 1998. The role of mineral nutrients in the increased growth response of tomato plants in solarized soil. *Plant and Soil*. 206(1):21-27. <https://doi.org/10.1023/A:1004321118896>
- Guerrero, M. M., Guirao, P., Martínez-Lluch, M. C., Tello, J. C., and Lacasa, A. 2014. Soil fatigue and its specificity towards pepper plants in greenhouses. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 12(3):644-652. <https://doi.org/10.5424/sjar/2014123-5701>
- Junta de Andalucía. 2016. Estrategia de restos vegetales en la horticultura de Andalucía. 18-25. Recuperado a partir de <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/>
- Kanaan, H., Frenk, S., Raviv, M., Medina, S., & Minz, D. 2018. Long and short term effects of solarization on soil microbiome and agricultural production. *Applied Soil Ecology*. 124:54-61. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.026>
- Klein, E., Katan, J., & Gamliel, A. 2012. Soil suppressiveness to *Meloidogyne javanica* as induced by organic amendments and solarization in greenhouse crops. *Crop Protection*. 39:26-32. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.02.013>
- Lazcano, C., Arnold, J., Zaller, J., Tato, A., and Domínguez, J. 2009. Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 7(4):944-951. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3096039>
- Liu, M., Hu, F., Chen, X., Huang, Q., Jiao, J., Zhang, B., and Li, H. 2009. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: The influence of quantity, type and application time of organic amendments. *Applied Soil Ecology*. 42(2):166-175. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.03.006>

- Manzano, F. 2007. Gasificación de residuos de invernadero para la obtención de energía eléctrica en el sur de España: Ubicación mediante SIG. *Interciencia*. 32(2):131-136.
- Marín-Guirao J. I. 2016. Evaluación del efecto de distintas materias orgánicas sobre la microbiota edáfica, contenido de nitratos en suelo, y producción y calidad de cultivos de tomate y sandía en suelo arenado bajo plástico. Tesis Doctoral. Universidad de Almería.
- Marín-Guirao, J. I., Tello, J. C., Díaz, M., Boix, A., Ruiz, C. A., and Camacho, F. 2016. Effect of greenhouse soil bio-disinfection on soil nitrate content and tomato fruit yield and quality. *Soil Research*. 54(2):200-206. <https://doi.org/10.1071/SR15106>
- Martínez M.A., Guerrero M.M., Martínez M.C., Ros C., Lacasa A., and Tello J. 2006. Efecto de la biosolarización reiterada sobre la microbiota fúngica en cultivos de pimiento. VII Congreso SEAE Zaragoza, N° 212.
- Martínez, M. A., Martínez, M. C., Bielza, P., Tello, J., and Lacasa, A. 2011. Effect of biofumigation with manure amendments and repeated biosolarization on *Fusarium* densities in pepper crops. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. 38(1):3-11. <https://doi.org/10.1007/s10295-010-0826-2>
- Mauromicale, G., Longo, A. M. G., and Lo Monaco, A. 2011. The effect of organic supplementation of solarized soil on the quality of tomato fruit. *Scientia Horticulturae*. 129(2):189-196. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.024>
- Mauromicale, G., Monaco, A. Lo, and Longo, A. M. G. 2010. Improved efficiency of soil solarization for growth and yield of greenhouse tomatoes. *Agronomy for Sustainable Development*. 30:753-761.
- Merlo-Valverde J.D. 2015. Ensayo de recuperación de un suelo de invernadero mediante la utilización de diferentes tipos de materias orgánicas aplicadas mediante solarización sobre diferentes tipos de tomate (*Solanum lycopersicum*). Trabajo Fin de Carrera. Escuela Superior de Ingeniería. Universidad de Almería.
- Mihajlović, M., Rekanović, E., Hrustić, J., and Grahovac, M. 2017. Methods for management of soilborne plant pathogens. 32(1):9-24.
- Núñez-Zofío M. 2011. Evaluación de la biodesinfección para el control de *Phytophthora capsici* en el cultivo de pimiento en invernadero. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco.
- Oka, Y., Shapira, N., and Fine, P. 2007. Control of root-knot nematodes in organic farming systems by organic amendments and soil solarization. *Crop Protection*. 26(10):1556-1565. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.01.003>
- ÖZ, H. 2018. A new approach to soil solarization: Addition of biochar to the effect of soil temperature and quality and yield parameters of lettuce (*Lactuca Sativa* L. Duna). *Scientia Horticulturae*. 228:153-161. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.021>
- Ozores, M., Stansly, P. A., McSorley, R., and Obreza, T. A. 2005. Effects of Long-term Organic Amendments and Soil Solarization on Pepper and Watermelon Growth, Yield, and Soil Fertility. *HortScience*. 40(1):80-84. Recuperado a partir de <http://hortsci.ashspublications.org/content/40/1/80.abstract>
- Plaster, E. 2013. *Soil Science and Management*. (Ed.) Delmar Publishers. United States. 6th ed. 519 pp.
- Scopa, A., Candido, V., Dumontet, S., and Miccolis, V. 2008. Greenhouse solarization: effects on soil microbiological parameters and agronomic aspects. *Scientia Horticulturae*. 116(1):98-103. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.11.008>
- Seman-Varner, R., Mcsorley, R., and Gallaher, R. N. 2008. Soil nutrient and plant responses to solarization in an agroecosystem utilizing an organic nutrient source. *Renewable Agriculture*

- and Food Systems. 23(2):149-154. <https://doi.org/10.1017/S1742170507002001>
- Sofi, T. A., Tewari, A. K., Razdan, V. K., & Koul, V. K. 2014. Long term effect of soil solarization on soil properties and cauliflower vigor. *Phytoparasitica*. 42(1):1-11. <https://doi.org/10.1007/s12600-013-0331-z>
- Steiner, A. A. 1961. A Universal Method for Preparing Nutrient Solutions of a Certain Desired Composition. *Plant and Soil* XV. (2):134-154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>
- Tejada, M., García-Martínez, A. M., and Parrado, J. 2009. Relationships between biological and chemical parameters on the composting of a municipal solid waste. *Bioresource Technology*. 100(17):4062-4065. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.03.034>
- Wang, Q., Ma, Y., Yang, H., and Chang, Z. 2014. Effect of biofumigation and chemical fumigation on soil microbial community structure and control of pepper *Phytophthora* blight. *World J Microbiol Biotechnol*. 30:507-518. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1462-6>
- Zanón, M. J., Font, M. I., and Jordá, C. 2011. Use of tomato crop residues into soil for control of bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum*. *Crop Protection*. 30(9):1138-1143. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.03.025>