

# Effect of sulfur and chicken manure on physiological and performance indices in *Solanum lycopersicum* L.

## Efecto de azufre y gallinaza sobre índices fisiológicos y de rendimiento en *Solanum lycopersicum* L.

Martínez-Sías, Valeria A.<sup>1</sup>; Martínez-Hernández, José J.<sup>1</sup>, Zúñiga-Estrada, Lamberto<sup>2</sup>; Martínez-Montoya, Juan F.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Posgrado de Innovación en Manejo de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Salinas de Hidalgo, S.L.P., México CP 78620. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIFAP), Campo Experimental Las Huastecas Carretera Tampico-Mante km 55, Villa Cuauhtémoc, Tamaulipas, México C.P. 89610.

\*Autor por correspondencia: fmontoya@colpos.mx

### ABSTRACT

**Objective:** to determine the dry biomass and quantify the amount of nitrogen and potassium assimilated by *Solanum lycopersicum*, developed in a sodium saline soil, in response to the application of poultry manure, and sulfur (S<sup>o</sup>) through fertigation.

**Design/methodology/approach:** The study was modified in 2016, in the municipality of Moctezuma, SLP, in a shade mesh greenhouse, two doses of sulfur were evaluated (750 kg ha<sup>-1</sup> (S<sub>1</sub>) 1500 kg ha<sup>-1</sup> (S<sub>2</sub>)) and four levels of manure (1, 2, 3 and 4 t ha<sup>-1</sup>). Three destructive samplings were considered for the calculation of physiological indices, dry matter and the determination of nitrogen and potassium. Fresh product yield and other yield components were evaluated in six harvests.

**Results:** The highest MST production (kg ha<sup>-1</sup>) was obtained under the S<sub>1</sub> treatment throughout the growth cycle. The highest amount of total accumulated N and K in plants, under the S<sub>1</sub> treatment, represents 81.8% and 78.6% of the total applied at the end of the cycle; respectively. The highest production in total commercial fresh fruit accumulated, obtained under the treatment of 750 kg ha<sup>-1</sup> of sulfur (S<sub>1</sub>), was 162.9 t ha<sup>-1</sup>, surpassing the treatment of 1500 kg ha<sup>-1</sup> (S<sub>2</sub>).

**Study limitations/implications:** no specific differences were reported for poultry manure applications.

**Findings/conclusions:** physiological indices and dry matter rate were affected by the application of S<sub>1</sub>.

**Key words:** physiological indices, dry matter, nitrogen, potassium.

### RESUMEN

**Objetivo:** determinar la biomasa seca y cuantificar la cantidad de nitrógeno y potasio asimilado por *Solanum lycopersicum*, desarrollado en un suelo salino sódico, en respuesta a la aplicación de estiércol aviar y azufre (S<sup>o</sup>) mediante fertigación.

**Diseño/metodología/aproximación:** El estudio se estableció en 2016, en el municipio de Moctezuma, S.L.P, en un invernadero de tipo malla sombra, se evaluaron dos dosis de azufre (750 kg ha<sup>-1</sup> (S<sub>1</sub>) 1500 kg ha<sup>-1</sup> (S<sub>2</sub>)) y cuatro niveles de gallinaza (1, 2, 3 y 4 t ha<sup>-1</sup>). Se realizaron tres muestreos destructivos para el cálculo de índices fisiológicos, materia seca y la determinación de nitrógeno y potasio. Se evaluó el rendimiento de fruto en fresco y otros componentes en seis cosechas.

**Resultados:** se obtuvo la producción de MST más alta ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) bajo el tratamiento  $S_1$  considerando todo el ciclo de crecimiento. La cantidad más alta de N y K total acumulado en plantas, bajo el tratamiento  $S_1$ , representaron el 81.8% y el 78.6% del total aplicado al final del ciclo, respectivamente. La mayor producción en fruto fresco total comercial acumulado, obtenido bajo el tratamiento de  $750 \text{ kg ha}^{-1}$  de azufre ( $S_1$ ), fue de  $162.9 \text{ t ha}^{-1}$ , superando al tratamiento de  $1500 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $S_2$ ).

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** no se reportaron diferencias significativas por las aplicaciones de gallinaza.

**Hallazgos/conclusiones:** los índices fisiológicos y tasa de materia seca fueron afectados significativamente por la aplicación de  $S_1$ .

**Palabras clave:** Indicadores de crecimiento, materia seca, nitrógeno, potasio.

Es conveniente señalar, que en esta investigación se define como requerimiento, a la cantidad de nutrientes que necesita una planta para su desarrollo y producción normal, en condiciones de salinidad, durante ciertas etapas de crecimiento, y fruto fresco producido por unidad de superficie. Igualmente se determina el requerimiento de agua como la cantidad necesaria para mantener un adecuado estado hídrico en los tejidos, expresada en  $\text{m}^3 \text{ t}^{-1}$  producida. Con base en lo anterior, el objetivo fue determinar la biomasa seca y cuantificar la cantidad de nitrógeno y potasio asimilado por *Solanum lycopersicum*, desarrollado en un suelo salino sódico, en respuesta a la aplicación de estiércol aviar (gallinaza) y azufre ( $S^0$ ) mediante fertigración.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue conducida en invernadero tipo malla sombra durante el ciclo de verano-otoño (agosto-diciembre), en Moctezuma, San Luis Potosí ( $22^\circ 45' \text{ N}$  y  $101^\circ 05' \text{ O}$ ) a una altitud de 1720 m. Se utilizó un híbrido de tomate *Solanum lycopersicum*, tipo saladette (Conan USATX 2112), de crecimiento determinado. El arreglo de tratamientos fue en parcelas divididas en un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones (24 unidades experimentales), donde las parcelas grandes, fueron dos dosis de azufre  $750 (S_1)$  y  $1500 (S_2)$   $\text{kg ha}^{-1}$  y las parcelas chicas, cuatro dosis de gallinaza, una, dos, tres y cuatro  $\text{t ha}^{-1}$ . Veinte días previos al trasplante se establecieron los tratamientos enriqueciéndose con una fertilización mineral de fondo ( $40 \text{ N}$ ,  $80 \text{ P}_2\text{O}_5$ ,  $50 \text{ K}_2\text{O}$   $\text{kg ha}^{-1}$ ), utilizándose como fuentes, Sulfato de Amonio, Superfosfato de Calcio Simple y Cloruro de Potasio (KCl).

## INTRODUCCIÓN

En un estudio de análisis de crecimiento, la producción de masa seca es la que usualmente determina la importancia económica de un producto agrícola (Taiz y Zeiger, 2000; Werner y Leiher, 2005); y las curvas de crecimiento reflejan el comportamiento de una planta en un sistema de producción con respecto al tiempo. Su elaboración es indispensable para la aplicación racional de agua, nutrientes y realizar prácticas agronómicas en el momento adecuado, que garanticen una respuesta adecuada del cultivo (Casierra-Posada *et al.*, 2003; Casierra-Posada *et al.*, 2004). Dado que el cálculo de la demanda de los nutrientes de los cultivos juega un papel relevante, la estimación realista y adecuada del rendimiento alcanzable debe lograrse mediante el manejo de tecnología, de lo contrario, causaría un incremento en los costos de insumos produciendo además un riesgo de contaminación del medio ambiente.

Independientemente del sistema de producción (campo o invernadero), el rendimiento de *Solanum lycopersicum* L., sin restricciones de humedad, depende de la nutrición mineral, los cuales son definidos en términos de lo que una planta necesita para completar su ciclo de vida y registrar un rendimiento. La técnica de fertigración permite un suministro preciso de nutrientes a las plantas al aplicar pequeñas y frecuentes cantidades de fertilizante, de tal forma que cumplan los requerimientos del cultivo, aumentando la eficiencia de la absorción de nutrientes y reduciendo la pérdida de minerales por lixiviación (Bar-Yosef, 1999). Para analizar el rendimiento de una planta, es necesario el estudio de componentes que involucran procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, tales como: la tasa de crecimiento absoluto (TCA), tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), reproductivo, y número y peso de frutos por planta (Santiago *et al.*, 1998).

Para el cálculo de la extracción neta de nutrientes es necesario determinar la formación de biomasa en el tiempo y conocer la concentración mínima óptima del nutriente en la materia seca (Rodríguez *et al.*, 2001).

La unidad experimental se formó de 576 m<sup>2</sup> provenientes de 12 parcelas de cultivo de 30 × 1.6 m en cada parcela. Los análisis físicos y químicos del suelo experimental y agua utilizada se realizaron de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). El aporte de agua y fertilizante fue por goteo. La lámina de riego total aplicada durante el ciclo de cultivo fue de 378 mm (3780 m<sup>3</sup>), y una fertilización de 384 N-129 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-476 K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>.

Durante el desarrollo del cultivo se registró la temperatura promedio (T med.), máxima (T máx.) y mínima (T mín.), mediante dos equipos HOBBO U23 PRO v2; la humedad del suelo mediante dos tensiómetros colocados a 15 y 30 cm de profundidad; en la solución del suelo mediante tres extractores de solución instalados a una profundidad de 30 cm, se analizó, pH, CE, nitratos, potasio y sodio utilizando medidores portables cardis. En tres plantas por tratamiento, se realizaron tres muestreos destructivos a los 54, 63 y 83 días después de trasplante (ddt), los muestreos fueron a inicio de floración, cuajado de fruto e inicio de cosecha; respectivamente; determinando peso en fresco. Las muestras se fraccionaron en tallo, hojas y frutos y se colocaron en una estufa de circulación de aire forzado a 80 °C hasta peso constante para determinar su biomasa seca. El N se determinó por micro Kjeldahl y el K por espectrofotometría de absorción atómica. Los índices de crecimiento (TCA, TCC, TAN) se estimaron utilizando las fórmulas indicadas por Escalante y Kohashi, (2015), basadas en masa seca, área foliar y tiempo.

El rendimiento de fruto y otros componentes se evaluaron a los 89, 98, 107, 120, 127 y 137 ddt. En cada uno de ellos se determinó el número y peso de frutos, °Brix de fruto, diámetro polar y ecuatorial de fruto, peso total de frutos, además del rendimiento total por superficie, uso eficiente de agua e índice de productividad. Con base en la ecuación de regresión generada de materia seca de los muestreos destructivos y el análisis del tejido vegetal en las diferentes estructuras



de la planta en relación al contenido de nitrógeno y potasio, se estimó la materia seca producida en los seis cortes obtenidos y se relacionó con el rendimiento de fruto fresco para determinar la acumulación de nitrógeno y potasio durante todo el ciclo. Al finalizar la cosecha, se recolectaron muestras de suelo, a una profundidad de 0-30 cm, correspondientes a cada uno de los tratamientos estudiados para conocer las variaciones químicas del suelo. En total se analizaron ocho

muestras de suelo para conocer la variación de la composición química por efecto de aplicación de los tratamientos de S<sup>o</sup> y gallinaza.

El análisis físico-químico del suelo, previo al trasplante, registró 43.3% de arena, 30.7% de limo, y 24.0% de arcilla, pH de 8.4 y C.E. de 4.8 dS m<sup>-1</sup>. El suelo experimental se caracterizó por un porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) mayor a 15% (30.4 cmol (+)/kg) y la relación de adsorción de sodio (RAS) calculada fue 5.2 clasificándose como suelo salino sódico (Garrido, 1994). El tomate es una especie medianamente sensible a las sales, con un umbral de conductividad eléctrica (CE) de 2.5 dS m<sup>-1</sup> determinada en el extracto de saturación del suelo (Chinnusamy et al., 2005). El contenido de materia orgánica fue de 4.7% (Pavón-Chocano, 2003), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue de 43.8 cmol (+) /kg. El Na intercambiable, (cmol (+) /kg), fue extremadamente alto (30.3%), considerando el rango deseable (<6%). Las cantidades de los aniones: HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (2562), Cl<sup>-</sup> (1491) y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (2016), en ppm, resultaron extremadamente altas.

El análisis químico del agua reportó un valor de pH de 7.6, representando una alcalinidad superior al rango deseado (5.0-7.0), lo cual está relacionada con altos contenidos de bicarbonatos (495.5 ppm). El valor del RAS (4.1 meq L<sup>-1</sup>) y de C.E. (1.6 dS m<sup>-1</sup>) clasifican el agua de alta salinidad con bajo contenido en sodio (C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>), recomendada a utilizar en suelos con buen drenaje y en cultivos muy tolerantes a



la salinidad (Blasco y de la Rubia, 1973). Se encontró 7.8 meq L<sup>-1</sup> de Na (179.4 ppm) este valor es superior al rango deseable (< de 50 ppm) (Ayers y Westcot, 1985), y de riesgo medio de toxicidad para los cultivos. (3 a 9 meq L<sup>-1</sup>). De acuerdo al valor de CRS (0.3) no existe peligro de sodificación del suelo. La relación entre calcio y magnesio del agua utilizada para riego fue de 4.48 ppm de calcio por 1.0 ppm de magnesio. Estos pueden disminuirse al acidificar la solución nutritiva previo a su inyección. De lo contrario, pueden causar deficiencias severas nutrimentales principalmente de P y Fe en el cultivo de tomate. Con excepción de los sulfatos (129.6), los aniones (ppm) de bicarbonatos (495.5), y cloruros (173.95) registraron valores fuera del rango deseable en la calidad del agua (<240, <90 y <140 respectivamente) (Tayama y Roth, 1990). El análisis de Varianza (ANOVA) y las comparaciones de medias de los productos medios fueron comparados con prueba de Tukey (0=0.05), y diferencia significativa honesta (DSH) con SAS (9.0) (SAS, 2003).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis del suelo posterior a la cosecha (Cuadro 1) reportaron que la aplicación de los tratamientos causó una disminución del pH inicial (8.3) del suelo con valores de 7.7 y 7.5 para S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub> respectivamente, debido a la oxidación-reducción del S<sup>o</sup> a sulfato, como resultado, la acidificación del suelo reduce la alcalinidad (Cox y Koenig, 2010). De igual manera la CE disminuyó a 0.66 dS m<sup>-1</sup> para S<sub>1</sub> y 1.0 dS m<sup>-1</sup> para S<sub>2</sub> en comparación de la C.E. inicial (4.8 dS m<sup>-1</sup>) que se explica por la disminución en las cantidades totales de sales solubles por abatimiento en aniones y cationes en solución del suelo, en respuesta a la aplicación de azufre.

El valor mayor para aniones y cationes se observaron en S<sub>2</sub>. Si existen altos niveles de un solo catión, las deficiencias en la planta de otros cationes pueden ocurrir debido a la competencia de absorción o intercambio catiónico de la planta. En K<sup>+</sup> y Mg<sup>++</sup>, para S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub> se encuentran con valores mayores. El Ca<sup>++</sup>, en S<sub>1</sub>

mostró valores inferiores, lo contrario se registró en S<sub>2</sub>. El proceso de oxidación del S<sup>o</sup> es progresivo en el tiempo, y en este estudio se registró mayor eficiencia con el tratamiento S<sub>1</sub> (750 kg ha<sup>-1</sup>), lo cual es coincidente con García y Castillo (1993) quienes reportan que con aplicaciones superiores a 1000 kg ha<sup>-1</sup> el proceso de oxidación es más lento. Las altas cantidades de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> encontradas en el tratamiento S<sub>2</sub>, pueden atribuirse a mayor actividad y eficiencia de organismos oxidantes del S (bacterias *Thiobacillus*) (García y Castillo, 1993). En este estudio, la humedad en el suelo se mantuvo en capacidad de campo, mediante el riego por goteo y a su respectiva programación de irrigación durante la conducción del experimento, lo que pudo favorecer la formación de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

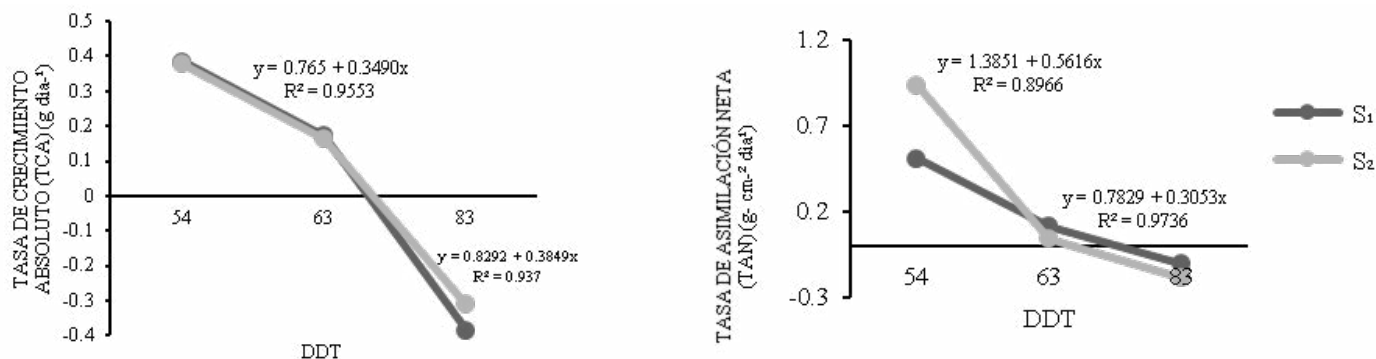
## Índices fisiológicos

La tasa de crecimiento absoluto (TCA) mostró tendencia a disminuir conforme avanzó el ciclo de cultivo (regresión S<sub>1</sub>:R<sup>2</sup> 0.95, y S<sub>2</sub>:R<sup>2</sup> 0.93). Casierra-Posada et al. (2007) reportan una ecuación de regresión con valores de R<sup>2</sup> 0.83, R<sup>2</sup> 0.92 y R<sup>2</sup> 0.94 de este índice fisiológico en tres variedades de tomate (Figura 1). La TAN que es una medida indirecta de la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar en una unidad de tiempo, no es constante y decrece con la edad de la planta o población, mostrando valores con diferencias altamente significativas por efecto de las parcelas grandes (S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub>). La tendencia de los valores estimados en la TAN, fue disminución en el tiempo a partir de los 54 ddt hasta los 83 ddt (Figura 1), mientras que el ANOVA mostró diferencias significativas entre dos tratamientos de azufre a 54, 63 y 83 ddt (Figura 1).

La tasa de crecimiento del cultivo (TCC), variable que describe la acumulación de materia seca por unidad de área por unidad de tiempo (g dm<sup>2</sup> día<sup>-1</sup>), mostró diferencias significativas a los 63 ddt, siendo las plantas desarrolladas en el tratamiento S<sub>1</sub> las de mayor valor con 1.114 g dm<sup>2</sup> día<sup>-1</sup> en comparación a S<sub>2</sub> (0.363 g dm<sup>2</sup> día<sup>-1</sup>). A los 83 ddt los valores disminuyeron a 0.194 y 0.189 (g dm<sup>2</sup>

**Cuadro 1.** Análisis químicos del suelo posterior al experimento en Moctezuma, San Luis Potosí, México

Indicador	Unidades	Cantidad de S <sup>o</sup> aplicado	
		750 kg ha <sup>-1</sup> (S <sub>1</sub> )	1500 kg ha <sup>-1</sup> (S <sub>2</sub> )
pH		7.7	7.5
C.E. ex	dS m <sup>-1</sup>	0.664	1.6
M.O.	%	4.9	4.8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mEq /100g	2.2	4.5
Cl <sup>-</sup>	mEq /100g	1.35	3.2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mEq /100g	3.5	20.4
K <sup>+</sup>	mEq /100g	0.94	1.4
Mg <sup>++</sup>	mEq /100g	5.1	35.1
Ca <sup>++</sup>	mEq /100g	2.9	23.2
Na <sup>+</sup>	mEq /100g	1.1	1.4
CIC	cmol(+)/kg	10.1	61.2
PSI		10.9	2.2
RAS		0.82	0.36



**Figura 1.** Tasa de crecimiento absoluto (g día<sup>-1</sup>) y Tasa de asimilación neta (g cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>) en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 (S<sub>1</sub>) y 1500 (S<sub>2</sub>) kg ha<sup>-1</sup>.

día<sup>-1</sup>) en S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub> respectivamente. Estos resultados coinciden con los reportados por Barraza et al. (2004) en *S. lycopersicum*, donde la TCC aumentó rápidamente hasta alcanzar un valor máximo, y posteriormente decreció en forma acelerada.

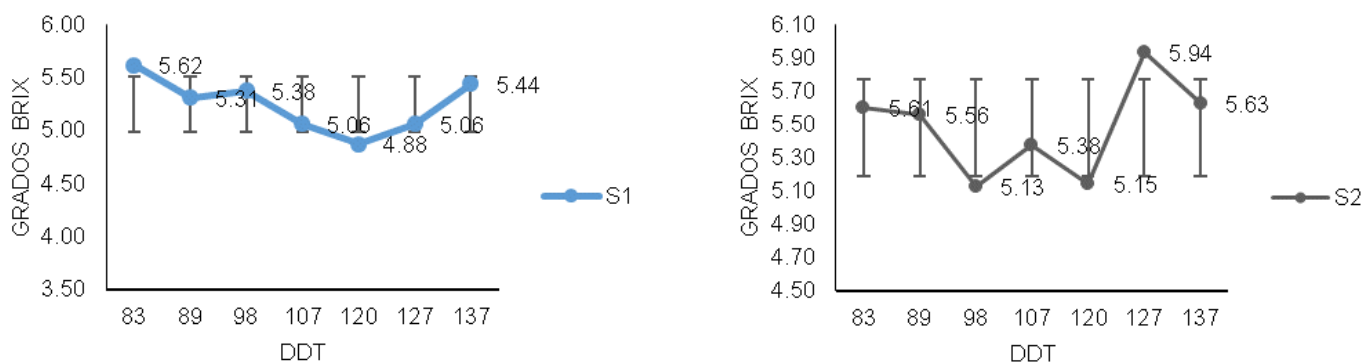
### Componentes de rendimiento

En las plantas de tomate desarrolladas bajo los tratamientos S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub> se registró diferencia significativa. El peso de fruto fue de 177 y 124 (g planta<sup>-1</sup>), lo cual representa un peso total de fruto fresco acumulado de 6.3 y 5.1 kg planta<sup>-1</sup>; respectivamente. El híbrido evaluado se caracteriza por producir frutos uniformes con peso individual de entre 160-170 g.

En referencia a sólidos solubles totales en fruto, en el tratamiento S<sub>1</sub> se registró 5.38 °Brix en 107 ddt, y disminuyeron a 4.88 a los 127 ddt. Lo anterior fue significativamente diferente respecto a los valores registrados en frutos del tratamiento S<sub>2</sub>, cuyos valores fueron 5.13 y 5.94 a los 107 y 127 ddt, respectivamente (Figura 2). Aguayo y Artes (2001) mencionan que los rangos de sólidos solubles totales en tomate oscilan de 4.0 a 6.0,

por lo tanto, los resultados obtenidos en la investigación indican estar dentro de este rango. Por su parte, Casierra-Posada et al. (2007) encontraron incremento en el contenido de grados brix (superior a 6.0) en frutos de plantas cultivadas a campo abierto, ya que las condiciones de luminosidad y transpiración favorecen incremento constante de la concentración de sólidos solubles en los frutos (Herrmann, 2001), mientras que en invernadero, esta variable es altamente dependiente de la migración de fotosintatos a los frutos, y también de la toma de agua realizada por los frutos, la cual diluye o concentra los grados Brix.

Con base en la CE del agua de riego (1.6 dS m<sup>-1</sup>), y considerando que el umbral de salinidad para el tomate es de 2.5 dS m<sup>-1</sup> y que la CE de la solución nutritiva aplicada a través del sistema de riego fue de 4.5 dS m<sup>-1</sup>, se esperaría que los componentes de rendimiento y de fruto por planta fueran afectados negativamente. Bustomi et al. (2014) mencionan que el crecimiento y rendimiento de tomate empieza a disminuir cuando el rango de la CE de la solución nutritiva con la cual es cultivado excede a 2.5-4.0 dS m<sup>-1</sup>.



**Figura 2.** Variación de los Grados Brix de la planta *Solanum lycopersicum* a partir de los 83 DDT en respuesta a tratamientos de azufre: 750 kg ha<sup>-1</sup> (S<sub>1</sub>) y 1500 kg ha<sup>-1</sup> (S<sub>2</sub>).



Los valores del diámetro ecuatorial (DE) y diámetro polar (DP) de los frutos en los dos tratamientos de azufre elemental, fueron estadísticamente iguales. En  $S_1$  los valores del DE fluctuaron entre 4.9 y 5.9 cm, mientras que en  $S_2$  fueron de 4.7 y 4.96 cm al inicio de la cosecha (83 DD) y al final de la cosecha (137 ddt) respectivamente. Preciado *et al.* (2011), encontraron que en el tomate saladette cultivar 'Cid' producido con la solución Steiner al 100%, el diámetro ecuatorial llegó a ser de 5.09 a 5.9 cm.

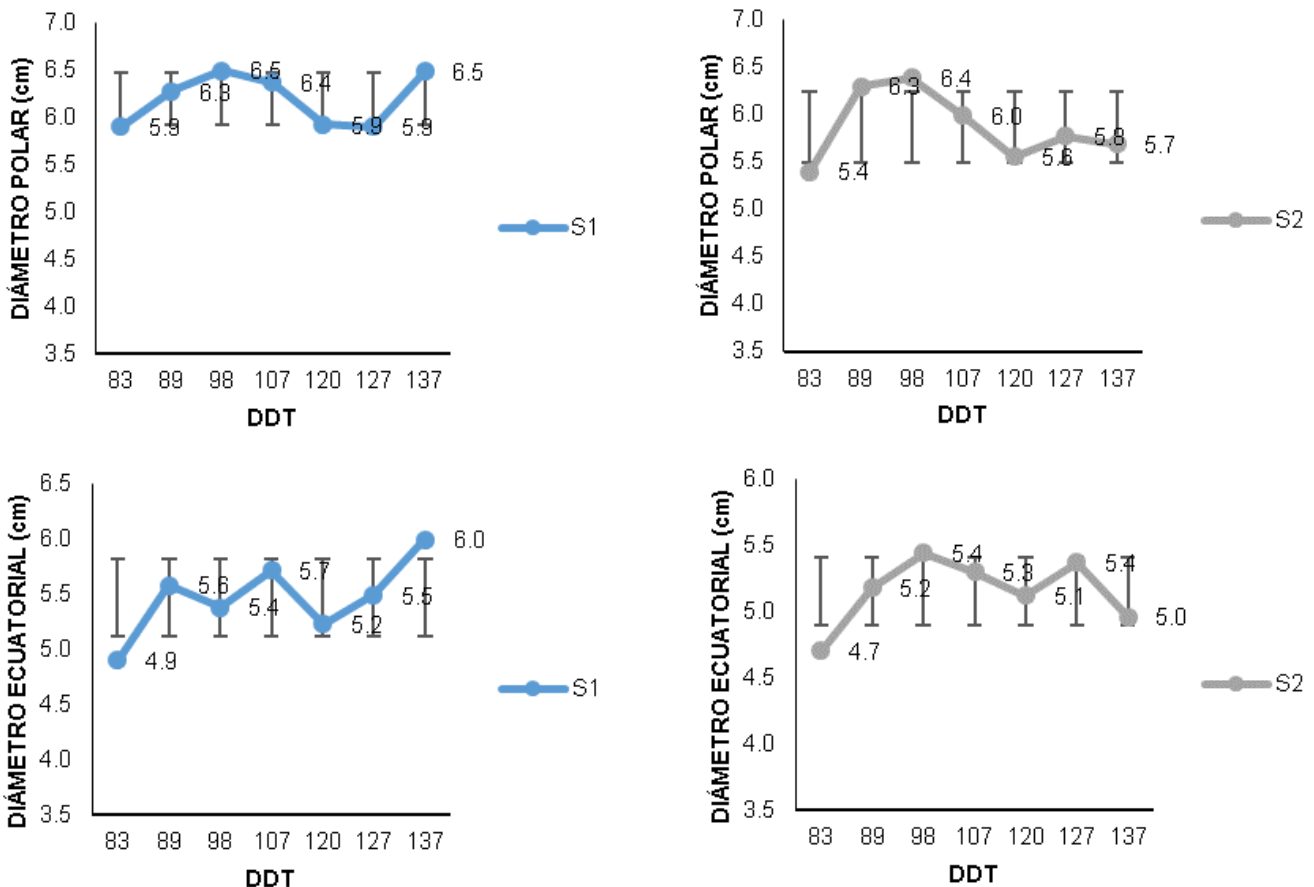
Con respecto al DP, en el tratamiento  $S_1$ , sus valores estuvieron dentro del rango 5.9 y 6.48 cm, ligeramente más altos, similares también a los encontrados en  $S_2$  (de 5.4-5.9). Moreno *et al.* (2004) mencionan que el diámetro polar en fruto de tomate promedio oscila entre 5.9 y 6.1 cm. Otros autores como, De la Cruz *et al.* (2009) obtuvieron diámetro polar promedio de 5.9 cm en tomate saladette híbrido SUN 7705, desarrollado en invernadero. La tendencia del DP y DE durante el ciclo se aprecian en la Figura 3.

Este comportamiento indica que tanto DE como el DP del fruto se mantuvieron relativamente constantes du-

rante todo el ciclo. Se reporta que los primeros dos racimos tienen mayor ventaja y presentan valores más altos, ya que inicialmente, crecen sin competencia por lo que tienen la posibilidad de mantener su desarrollo adecuado y reflejado en ganancia de peso y tamaño (Fisher, 1977; Wolf y Rudish, 1988); sin embargo, Monselise *et al.* (1978), señalan que el crecimiento de los frutos de tomate tiende a seguir una curva sigmoideal simétrica. Mientras que Casierra *et al.* (2007) encontraron que el incremento del diámetro transversal de los frutos de tres cultivares (Sofía, Bravona y Granitio) describieron curvas sigmoideales simples. En frutos de tomate, se han utilizado también otras funciones para modelar el crecimiento, y entre estas, se destacan la función de Gompertz (Grange y Andrews, 1993), la de Richards (Heuvelink, 1999; Marcelis *et al.*, 2006) y la cúbica (Casierra y Cardozo, 2009; Casierra *et al.*, 2007).

### Producción de materia seca, concentración y acumulación de N y K

La producción de MST y el rendimiento de fruto de tomate se incrementó de 23 a 34% mediante la aplicación de azufre en el suelo. La producción de MST que pre-



**Figura 3.** Variación del Diámetro Ecuatorial y Polar del fruto de *Solanum lycopersicum* durante la cosecha del cultivo, en respuesta a los dos tratamientos de azufre: 750 kg ha<sup>-1</sup> ( $S_1$ ), 1500 kg ha<sup>-1</sup> ( $S_2$ )

sentaron las plantas desarrolladas con la dosis de 750 kg ha<sup>-1</sup> de S<sub>1</sub> superó en 42.2% a aquella obtenida en plantas desarrolladas bajo el tratamiento S<sub>2</sub> (Cuadro 2). En las plantas del tratamiento S<sub>1</sub> se incrementó la MST desde 63 ddt, hasta 107 ddt, posteriormente disminuyó hasta los 137 ddt, registrando su mayor tasa diaria de producción entre 63 y 83 ddt (196.7 g pt<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). En este mismo periodo, la concentración de N y K en la MST disminuyeron de 6.35 a 3.48% y de 5.0 a 3.85% respectivamente. Ambos nutrientes mostraron una disminución en la MS al avanzar la edad. Esta disminución en la concentración de N y K en la MST, no se presentó en las plantas del tratamiento S<sub>2</sub>, la cual consistentemente se incrementó desde los 63 hasta los 137 ddt; registrando la mayor tasa de producción de MS entre 83 y 89 ddt (110.9 g pt<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), no observándose un efecto de dilución en la concentración de N en la MST durante este periodo.

El comportamiento diferencial en los valores de producción de MST y concentración de N y K en S<sub>2</sub> con respecto a S<sub>1</sub>, puede asociarse a que el proceso de oxidación fuera más lento cuando las plantas recibieron mayor dosis de S (1500 kg ha<sup>-1</sup>) (García y Castillo, 1993), originando que el tratamiento S<sub>2</sub> causara un retraso de 20 ddt en las etapas iniciales de crecimiento de la planta, afectando negativamente las características morfológicas, fisiológicas y de componentes del rendimiento. Lo anterior significa que, con limitación de S en el suelo, las plantas limitan la absorción de nitrógeno y otros nutri-

mentos, y con ello, su desarrollo potencial. Los suelos con alta disponibilidad de S, conduce a mayor cantidad de absorción a sus necesidades (N, K y S), caracterizándose como un consumo superfluo (Álvarez et al., 2011). Una relación N/S de 2.36 en la parte vegetativa es la que presenta equilibrio entre estos nutrimentos para el rendimiento del tomate. Bajo el tratamiento S<sub>2</sub> se obtuvo menor biomasa seca, no obstante, se registró mayor concentración de N y K. Lo contrario ocurrió con S<sub>1</sub> donde se observó mayor biomasa y menor concentración nutricional para N y K.

La MS producida en plantas desarrolladas en el tratamiento S<sub>1</sub> se ajustó a una ecuación cuadrática (R<sup>2</sup>=0.85) y aquella MS producida en S<sub>2</sub> ajustada a una ecuación lineal (R<sup>2</sup>=0.99, Figura 4). La MS obtenida en plantas del tratamiento S<sub>1</sub> a los 98 ddt, la MST fue de 319 g pt<sup>-1</sup>. Resultados similares consignaron Gandica y Peña (2015) quienes evaluaron dos cultivares de tomate, con hábito de crecimiento determinado bajo ambiente protegido, determinando que la acumulación de MS y absorción de los macronutrimentos se ajustaron a un modelo polinómico de tercer grado, generando una curva sigmoide con la biomasa seca por planta a 98 ddt de 343.8 g y 219.10 g.

Bajo el tratamiento S<sub>2</sub> se obtuvo menor biomasa seca, no obstante, a mayor concentración de N y K. Lo contrario ocurrió con S<sub>1</sub> donde se obtuvo mayor biomasa y

**Cuadro 2.** Materia seca total (kg ha<sup>-1</sup>), contenido (%) y acumulación de N y K (kg ha<sup>-1</sup>) durante el ciclo de tomate (*Solanum lycopersicum*), en respuesta a azufre elemental (S<sup>0</sup>).

ddt	63	83	89	98	107	120	127	137
Materia Seca Total (kg ha <sup>-1</sup> )								
S <sub>1</sub>	3870.3	7805.5	7966.5	8136.5	8220.5	8190.1	8099.5	7879.9
S <sub>2</sub>	1777.4	2073.3	2739.2	3059	3372	3812.1	4043.2	4366.3
Nitrógeno (%)								
S <sub>1</sub>	6.35	3.48	3.84	3.82	3.82	3.82	3.80	3.71
S <sub>2</sub>	7.39	7.22	7.14	7.15	7.14	7.15	7.15	7.15
Nitrógeno Acumulado (kg ha <sup>-1</sup> )								
S <sub>1</sub>	245.7	271.7	305.7	311	314.2	313.1	308	292.5
S <sub>2</sub>	131.3	149.6	195.7	218.6	240.9	272.4	288.9	312
Potasio (%)								
S <sub>1</sub>	5.00	3.85	4.55	4.55	4.55	4.55	4.59	4.56
S <sub>2</sub>	7.09	6.48	6.95	7.02	6.95	6.95	6.95	6.95
Potasio Acumulado (kg ha <sup>-1</sup> )								
S <sub>1</sub>	193.4	300.7	362.4	370.1	373.9	372.6	371.7	359.7
S <sub>2</sub>	126	134.3	190.5	214.8	234.5	265.1	281.2	303.6

ddt: días después de trasplante.

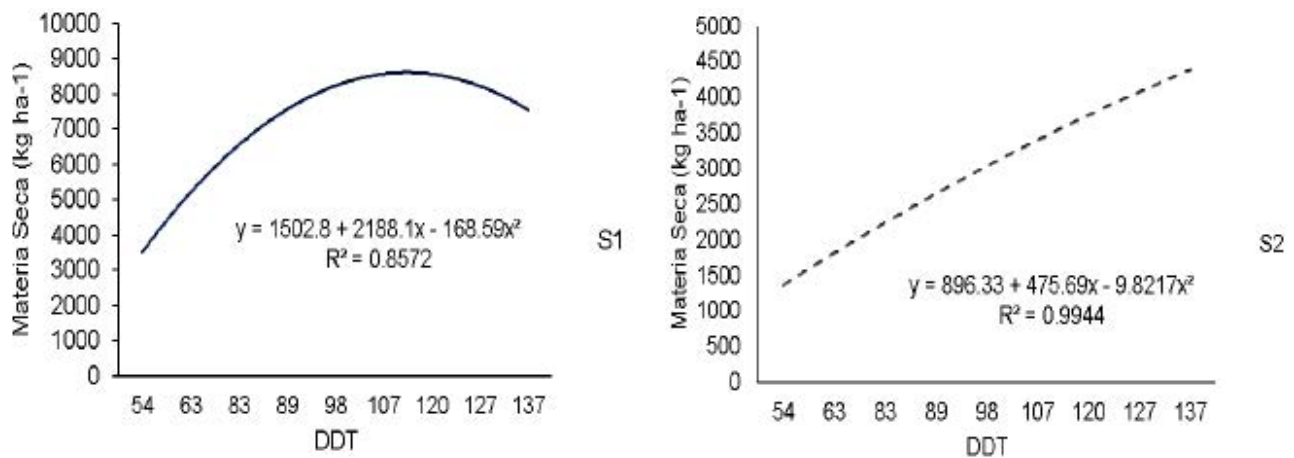


Figura 4. Dinámica de producción de MS total durante el ciclo de tomate (*Solanum lycopersicum*) en respuesta a azufre elemental (S<sup>0</sup>).

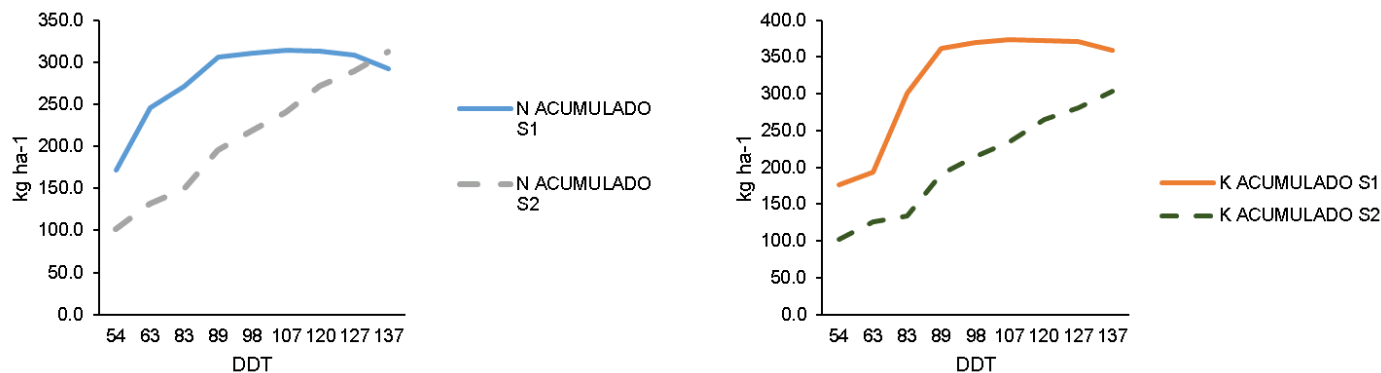
menor concentración nutrimental para N y K. A partir de las concentraciones (%) de N y K determinados en la MST de las estructuras de la planta, se multiplicó por el valor de MST (kg), para obtener el total de N y K acumulado por planta (kg), en cada una de las cosechas realizadas (Cuadro 3). En este estudio en plantas desarrolladas en el tratamiento S<sub>1</sub>, el N acumulado mostró un incremento desde los 63 ddt hasta los 107 ddt (245.7 y 314.2 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente), para enseguida disminuir ligeramente a 292.5 kg ha<sup>-1</sup> a los 137 ddt. Lo contrario ocurrió con la S<sub>2</sub>, donde la acumulación de N se incrementó a lo largo de las cosechas. La cantidad de N a los 63 ddt fue de 131.3 kg ha<sup>-1</sup>, hasta alcanzar un total de 312 kg N acumulado en 137 ddt (Cuadro 3). Este comportamiento de N acumulado en ambos tratamientos de S, fue observado para K durante todo el ciclo del cultivo, únicamente que en S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub>, el total de K acumulado fue de 373.9 (107 ddt) y 303.7 (137 ddt) respectivamente. Valores de K ligeramente más altos con respecto al N total acumulado, dado que las aplicaciones de K fueron más altas que las de N y se mantuvieron hasta la última cosecha, puede atribuirse a la eliminación de las hojas inferiores por senescencia (<MST), así como a cierto desplazamiento del N-NO<sub>3</sub> fuera del sistema radical originadas por el riego al existir menor demanda de este nutrimento durante la cosecha. La cantidad más alta de N y K total acumulado en plantas bajo el tratamiento S1 representaron el 81.8% y 78.6% del total aplicado al final del ciclo respectivamente. Los valores fueron muy similares en N (81.2%) y menor para K (63.8%) en el tratamiento S<sub>2</sub> con respecto al tratamiento S<sub>1</sub>. Las cantidades de N y K acumulado en la MST de plantas desarrolladas en S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub> durante todo

el ciclo del cultivo fueron opuestos entre ellos (Figura 5).

Un estudio realizado por Jamal *et al.* (2010) relacionado con la interacción S y N, reportó que la relación N/S está directamente relacionada con los cambios de respuestas fisiológicas y biológicas de las plantas, y pueden ayudar a sugerir recomendaciones de fertilización balanceada de estos nutrimentos para ciertos sistemas de producción. La cantidad total de N acumulado en este experimento (S<sub>1</sub>) fue ligeramente más bajos al reportado por Cuadrado-García *et al.* (2014), quienes encontraron un total de nitrógeno acumulado en la planta de tomate de 379.6 kg ha<sup>-1</sup> y reportaron, además, que el N es necesario para las plantas, pero debido a la ineficacia de éstas para absorberlo, tan solo un bajo porcentaje es

Cuadro 3. Variación de los rendimientos medios de fruto fresco comercial (kg planta<sup>-1</sup>) de *Solanum lycopersicum*, de acuerdo al tratamiento con S.

ddt	63	83	89	98	107	120	127	137	Total
Rendimiento de fruto fresco (kg planta <sup>-1</sup> )									
S <sub>1</sub>	0.359	0.559	0.863	1.416	1.234	0.968	0.883	1.027	6.3
S <sub>2</sub>	0.309	0.49	0.822	0.995	0.901	0.734	0.874	0.852	5.1
Rendimiento de fruto fresco acumulado (t ha <sup>-1</sup> )									
S <sub>1</sub>	9.154	14.254	22.006	36.108	31.467	24.684	22.516	26.188	163.2
S <sub>2</sub>	7.8795	12.495	20.961	25.3725	22.975	18.717	22.287	21.726	132.6



**Figura 5.** N y K acumulado (kg) durante el ciclo de tomate (*Solanum lycopersicum*) en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 kg ha<sup>-1</sup> (S<sub>1</sub>) y 1500 kg ha<sup>-1</sup> (S<sub>2</sub>).

asimilado, y el resto se libera al ambiente (Cuadrado-García et al., 2014).

### Rendimiento total de fruto fresco comercial y acumulado

Considerando el peso de fruto por planta y una densidad de población real cosechada de 25,500 plantas ha<sup>-1</sup>, la producción en fruto fresco total acumulado bajo el tratamiento de 750 kg ha<sup>-1</sup> de azufre (S<sub>1</sub>), ascendió a 162.9 t ha<sup>-1</sup>, rendimiento en fruto fresco superior en 19% (30.6 t), al tratamiento de 1500 kg ha<sup>-1</sup> (S<sub>2</sub>), donde se produjo un rendimiento de 132.0 t ha<sup>-1</sup> de tomate al final del ciclo, producto de seis cosechas (Cuadro 3). Asimismo, la aplicación eficiente de agua hace referencia a su aplicación con las mínimas pérdidas posibles por percolación o por escurrimiento superficial; por lo tanto, la cantidad de agua que se aplicó en cada riego fue suficiente para cubrir el consumo por la planta de tomate en el período entre dos riegos, y, además, cubrió las pérdidas dentro del invernadero. El Índice de Productividad (IP) en el tratamiento S<sub>1</sub> fue 43.1 kg de fruto m<sup>3</sup>, mientras que en S<sub>2</sub> disminuyó significativamente a 34.9 kg m<sup>3</sup>. Sin embargo, estas diferencias no pueden asociarse a diferencias por salinidad causadas por Na presentes en la solución del suelo al inicio del experimento, y a los contenidos de éste en el agua de riego, sino que todo indica que la aplicación de S<sup>0</sup> al suelo creó condiciones favorables nutrimentalmente para un mejor aprovechamiento del nitrógeno (Jamal et al., 2010).

Para producir una tonelada de tomate fresco comercial, en el tratamiento S<sub>1</sub>, se requirieron 1.9 y 2.2 kg de N y K, respectivamente. Mientras que en S<sub>2</sub>, fue de 2.3 y 2.2 kg de N y K por tonelada de fruto, respectivamente. El mayor rendimiento total de fruto de tomate por superficie (16.32 kg m<sup>2</sup>) registrado mediante la aplicación del

tratamiento de 750 kg ha<sup>-1</sup> de azufre elemental (S<sub>1</sub>), fue similar al que reporta Valenzuela et al. (2014), con aplicaciones de la solución Steiner en concentración nutrimental del 50 a 100% (16.07 kg m<sup>-2</sup>) con el tomate híbrido Imperial injertado tipo bola, de crecimiento indeterminado, producido en invernadero. La alta salinidad en las soluciones nutritivas aplicadas (CE 4.5 dS m<sup>-1</sup>) y altas aplicaciones de potasio, generalmente producen una deficiencia de calcio en los frutos debido a que ésta reduce la absorción de calcio y su distribución en la parte distal del fruto (Guichard et al., 2001; Taylor y Locassio, 2004). En el estudio, los frutos de tomate cosechados no mostraron esta fisiopatía. También la adición de N (Hu y Schimdhalter, 2005) y K (Satti-Sme et al., 1994) en tomates mejoró el crecimiento y rendimiento. Además, el contenido de potasio en el tomate suele asociarse a la calidad de sus frutos en términos de peso por fruto y cualitativos (Bugarín-Montoya et al., 2002). La aplicación de gallinaza no registró estadísticamente algún efecto significativo durante el experimento.

### CONCLUSIONES

Los índices fisiológicos TAN (a los 53, 63 y 83 ddt) y TCC (sólo a los 63 ddt) fueron afectados significativamente por la aplicación de azufre (750 kg ha<sup>-1</sup>). La mayor tasa de producción de materia seca (TMS) de tomate, en plantas bajo el tratamiento S<sub>1</sub>, ocurrió entre los 63 y 83 ddt (196.7 g pt<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). Asimismo, se obtuvo la más alta producción de MST (kg ha<sup>-1</sup>) durante todo el ciclo de crecimiento, superando en 42.2% a la obtenida bajo el tratamiento S<sub>2</sub>. En este último, la TMS se determinó entre los 83 y 89 ddt (110.9 g planta<sup>-1</sup>) y fue menor significativamente. La mayor producción en fruto fresco total comercial acumulado, obtenido bajo el tratamiento de 750 kg ha<sup>-1</sup> de azufre (S<sub>1</sub>) fue de 162.9 t ha<sup>-1</sup>, superando en 19% (30.6 t) al tratamiento de 1500



kg ha<sup>-1</sup> (S<sub>2</sub>). El IP en el tratamiento S<sub>1</sub> fue de 43.1 kg de fruto m<sup>3</sup>, mientras que en S<sub>2</sub> disminuyó significativamente a 34.9 kg m<sup>3</sup>.

## LITERATURA CITADA

- Aguayo, E., Escalona, V.H., Artés, F. 2001. Procesado en fresco y conservación en atmósfera modificada de 16 variedades de tomate. *Alimentación, Equipos y Tecnología* 160: 127-132.
- Álvarez-Sánchez, M. E.; Cristóbal-Acevedo, D.; Álvarez-Sánchez, M. E.; Hernández-Acosta, E.; Améndola-Massiotti, R. Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional *Terra Latinoamericana*, vol. 29, núm. 3, julio-septiembre, 2011, pp. 325-332 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- D.W. (1985). *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1, Roma, 174 p
- Bar Yosef, B. 1999. *Advances in fertigation*. *Advances in Agroomy* 65: 1-77
- Barraza, F.V. 2004. Crecimiento del Chile Manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestro en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 142 p.
- Blasco y de la Rubia (Lab. de suelos IRYDA,1973). Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego (U.S. Soil Salinity Laboratory).
- Bugarín Montoya, R.; Galvis Spinola, A.; Sánchez García, P.; García Paredes, D. Demanda de potasio del tomate tipo saladette. *Terra Latinoamericana*, vol. 20, núm. 4, octubre-diciembre, 2002, pp. 391-399
- Bustomi Rosadi RA, Senge MSTR, Suhandy D, Tusi A. 2014. The effect of EC levels of nutrient solution on the growth, yield, and quality of tomatoes (*Solanum lycopersicum*) under the hydroponic system. *Journal of Agricultural Engineering and Biotechnology* 2(1):7-12.
- Casierra-Posada, F., D.I. Hernández, P. Lüdders y G. Ebert. 2003. Crecimiento de frutos y ramas de manzano Anna (*Malus domestica* Borkh.) cultivado en los altiplanos colombianos. *Agron. Colomb.* 21(1-2), 69-74.
- Casierra-Posada, F.; V.E. Barreto y O.L. Fonseca. 2004. Crecimiento de frutos y ramas de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch, cv. Conservero) en los altiplanos colombianos. *Agron. Colomb.* 22(1), 40-45.
- Casierra-Posada, F., Cardozo, M.C. y Cárdenas-Hernández, J.F 2007. Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. *Agron. Colomb.* 25(2), 299-305
- Casierra-Posada, F.; Cardozo-Constanza, M. 2009. Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. 'Quindío') cultivados a campo abierto. *Rev.Fac.Nal.Agr. Medellín* 62(1): 4815-4822. 2009
- Chinnusamy V, Jagendorf A, Zhu JK. 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci*, 45: 437-448
- Cox, L., and Koenig, R. 2010. Solutions to Soil Problems ii. High pH (Alkaline Soil).
- Cuadrado-García, L., López-Roa, E., Bojacá-Aldana, C., Almanza-Merchan, P., 2014. Influencia del nitrógeno en la producción del tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) sembrado en sustrato en Sutamarchá (Bocayá). *Ciencia y Agricultura* Vol. 11 - Nº. 1 - enero - junio 2014, p.85-90 ISSN 0122-8420.
- De La Cruz, L. E.; Estrada, B. M. A.; Robledo, T. V.; Osorio, O. R.; Márquez, H. C. y Sánchez, H. R. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia*. 25:59-67.
- Escalante-Estrada, J. A. S. y Kohashi-Shibata, J. 2015. El rendimiento y crecimiento del frijol. Un manual para toma de datos. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- Fisher K., J. 1977. Competition effect in fruit trusses of tomato. *Science Horticulturae* 7: 37-42.
- Gandica-Omaña, H., Peña, H. 2015. Acumulación de materia seca y balance de nutrientes en tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) cultivado en ambiente protegido.
- García, A. y Castillo, L.E. 1993. Oxidación del azufre en suelos alcalinos del Valle del Cauca. En: *Fertilidad de Suelos: Diagnóstico y control*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, pp: 473-505.
- Garrido, F. 1994. Comentarios sobre la acidez de los suelos forestales En: *Bosques y Futuro*. II (Enero/Abril). P. 18-19
- Grange, R.I., Andrews-Growth, J. 1993. A rates of glasshouse tomato fruit in relation to final size. *Hortic. Sci.*, 68.pp. 747-754
- Guichard, S., Bertin, N., Leonardi, C., Gary, C., 2001. Tomato fruit quality in relation to water and carbon fluxes. *Agronomie*. 21: 385-392.
- Hermann, K. 2001. *Inhaltsstoffe von obst und gemüse*. Verlag Ulmer, Stuttgart. 200 p.
- Heuvelink, E. 1999. Evaluation of a dynamic simulation model for tomato crop growth and development. *Ann. Bot.* 83:413-422
- Jamal A, Moon YS, Abdin MZ 2010. Enzyme activity assessment of peanut (*Arachis hypogea*) under slow-release sulphur fertilization. *Aust J Crop Sci* 4(3):169-174
- Marcelis, L. F. M.; Elings, A.; Dieleman, J. A.; De Visser, P. H. B.; Bakker, M. J. and Heuvelink, M. J. 2006. Modeling dry matter production and partitioning in sweet pepper. *Acta Hort.* 718:121-128.
- Monselise, S.P. 1979. The use of growth regulators in citriculture; a review Author links open overlay panel. *Scientia Horticulturae* Volume 11, Issue 2, September 1979, Pages 151-162.
- Moreno R., A., Gómez F., P. L., Cano R., P., Martínez, C.V., Carrillo, J. L. y Márquez, C. H. 2004 Comportamiento de genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en mezclas de vermicomposta y arena bajo condiciones de invernadero. In: *Memorias de la XV Semana. Internacional de Agronomía FAZ-UJED en Gómez Palacio Durango*. Septiembre 2004.
- Pavón-Chocano A.B. 2003. Instalación de riego por goteo en una parcela de maíz. Anejo III: Análisis de suelo. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real, España. [https://previa.uclm.es/area/ing\\_rural/Proyectos/AntonioPavon/05-AnejosIII.pdf](https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/AntonioPavon/05-AnejosIII.pdf)
- Preciado, R. P.; Fortis, H. M.; García, H. J. L.; Rueda, P. E.; Esparza, R. J. R.; Lara, H. A.; Segura, C. M. A. y Orozco, V. J. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*. 36(9):689-693.
- Rodríguez, J., Pinochet, D. y Matus, F. 2001. La Fertilización de los cultivos. Ediciones LOM. Santiago, Chile. 117 p.
- Santiago, J.; Mendoza M.; Borrego, F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, MILL) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA* 9(1): 59-65. 1998

- SAS, Statal Analysis System (1989) User's Guide: Basic. Versión JMP 3.2.5. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Satti-Sme; Ibrahim-Aa; Al-Kindi-Sm. 1994. Enhancement of salinity tolerance in tomato: implications of potassium and calcium in flowering and yield. *Communications-in-Soil-Science-and-Plant-Analysis*. 25 (15-16): 2825-2840.
- Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Segunda edición. DOF martes 31 de diciembre. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2000. *Physiologie der pflanzen*. pp. 445- 485. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. 773 p.
- Taylor-Mattew, D.; Locassio-Salvadore J. 2004. Blossom-end rot: A calcium deficiency. *Journal of Plant Nutrition*. 27 (1): 123-139.
- Valenzuela-López, M., Partida-Ruvalcaba, L., Díaz -Valdés T., Velázquez-Alcaraz, T., Bojórquez-Bojórquez, G., Enciso-Osuna, T. 2014 Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol. 5 Núm. 5 p. 807-818.
- Werner, R. y D. Leihner. 2005. Análisis del crecimiento vegetal. pp. 4-20. Villalobos R.E. (ed.). Volumen siete. Editorial Universidad de Costa Rica, Turrialba. 41 p.
- Wolf, S. y J. Rudich. 1988. The growth rates of fruits on different parts of tomato plants and the effect of water stress on dry weight acumulation. *ScienceHorticulturae* 34: 1-11.

