

Mejoradores de suelo salino-sódico y su efecto en el desarrollo de jitomate (*Solanum lycopersicum*)

Saline-sodic soil improvers and their effect on the development of tomato (*Solanum lycopersicum*)

Valeria Abigail Martínez-Sias¹ ,
 José de Jesús Martínez-Hernández¹ ,
 Lamberto Zúñiga-Estrada² ,
 Juan Felipe Martínez-Montoya^{1*} 

¹Posgrado de Innovación en Manejo de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, C. de Iturbide 73, San Agustín, CP. 78622. Salinas de Hidalgo, S.L.P., México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Campo Experimental Las Huastecas. Carretera Tampico-Mante km 55, CP. 89610. Villa Cuauhtémoc, Tamaulipas, México.

*Autor de correspondencia: fmontoya@colpos.mx

Artículo científico

Recibido: 20 de julio 2021

Aceptado: 18 de enero 2022

Como citar: Martínez-Sias VA, Martínez-Hernández JJ, Zúñiga-Estrada L, Martínez-Montoya JF (2022) Mejoradores de suelo salino-sódico y su efecto en el desarrollo de jitomate (*Solanum lycopersicum*). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 9(1): e3086. DOI: 10.19136/era.a9n1.3086

RESUMEN. El jitomate es la principal hortaliza de mayor importancia económica a nivel internacional y nacional, cuya producción es limitada cuando se establece en suelos salino-sódicos e irrigado con agua salina, condiciones abióticas presentes en regiones áridas y semiáridas de México. El objetivo fue evaluar el efecto del azufre elemental (S°) y la gallinaza en los índices morfológicos, producción de biomasa y rendimiento en jitomate, cultivado en un suelo salino-sódico e irrigado con agua salina. El híbrido de jitomate saladette Conan USATX 2112, se estableció en invernadero tipo malla sombra en Moctezuma San Luis Potosí, en suelo salino-sódico; se utilizó un diseño de tratamientos factorial 2×4 , con dos dosis de azufre, 750 (S_1) y 1 500 $kg\ ha^{-1}$ (S_2) y cuatro dosis de gallinaza (1, 2, 3 y 4 $t\ ha^{-1}$). En planta se realizaron cinco muestreos no destructivos a los 14, 24, 30, 45, 69 días después del trasplante (DDT) estimándose los componentes morfológicos. De igual forma a los 54, 63 y 83 DDT se realizaron muestreos destructivos evaluándose la materia fresca y seca total, y su distribución por estructura de la planta, peso y rendimiento de fruto. Los componentes morfológicos fueron afectados positiva y significativamente por la adición de 750 $kg\ ha^{-1}$ (S_1), con respecto al tratamiento de 1 500 $kg\ ha^{-1}$ (S_2). En el tratamiento S_1 tuvo mayor porcentaje de MS en fruto (35%), mientras que S_2 sólo un 18%. Las dosis de gallinaza no presentaron diferencias significativas en ninguna variable evaluada.

Palabras clave: Agua salino-sódica, azufre elemental-gallinaza, cultivo tolerante a sales, rendimiento de cultivos.

ABSTRACT. The tomato is the main vegetable of greater economic importance at international and national level, whose production is limited when it is established in saline-sodium soils and irrigated with saline water, abiotic conditions present in arid and semi-arid regions of Mexico. The objective was to evaluate the effect of elemental sulfur (S°) and chicken manure on morphological indices, biomass production and tomato yield, grown in a saline-sodium soil and irrigated with saline water. The tomato saladette hybrid Conan USATX 2112 was established in a shade-mesh greenhouse at Moctezuma S.L.P., on saline-sodium soil; A 2×4 factorial treatment design was used, with two doses of sulfur, 750 (S_1) and 1 500 $kg\ ha^{-1}$ (S_2) and four doses of chicken manure (1, 2, 3 and 4 $t\ ha^{-1}$). In the plant, five non-destructive samplings were carried out at 14, 24, 30, 45, 69 days after transplantation (DAT), estimating the morphological components. In the same way, at 54, 63 and 83 DAT, destructive samplings were carried out, evaluating the total fresh and dry matter (DM), and its distribution by plant structure, weight and fruit yield. The morphological components were positively and significantly affected by the addition of 750 $kg\ ha^{-1}$ (S_1), with respect to the treatment of 1 500 $kg\ ha^{-1}$ (S_2). In treatment S_1 had a higher percentage of DM in fruit (35%), while S_2 only 18%. The doses of chicken manure did not show significant differences in any of the evaluated variables.

Key words: Crop yield, elemental sulfur-chicken manure, salt tolerant crop, saline-sodic water.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, más de 900 millones de ha de tierras arables están afectadas por sales (Meena *et al.* 2019, Bello *et al.* 2021) y reducen la productividad al 8% (Meena *et al.* 2019), en 2019 existían 265.09 millones de hectáreas irrigadas (FAO 2021) y cerca del 10% de esa superficie está saturada de sal; en las regiones áridas y semiáridas es cercano al 25%, lo que impacta en la seguridad alimentaria (FAO 2002), ya que la salinidad es el factor abiótico principal que afecta a los cultivos (Parada *et al.* 2006), incrementa la conductividad eléctrica, empobrece la estructura del suelo, baja densidad aparente y el potencial hídrico (El hasini *et al.* 2020, Mukhopadhyay *et al.* 2021), reduce la absorción de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (Ibrahim, Osman y Mohamed 2019). El azufre elemental (S^0) ha sido utilizado para disminuir el pH (Miyamoto 2020), recuperar y mejorar suelos salinos y alcalinos con problemas de estructura, aireación y permeabilidad. El S regula varios procesos bioquímicos y fisiológicos e induce la biosíntesis, el transporte y secreción de compuestos orgánicos (Bello *et al.* 2021), y síntesis de proteína y clorofila (Essa *et al.* 2019); en trigo incrementó la absorción total de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (Ibrahim 2019). El pH alcalino influye en el crecimiento de las plantas disminuyendo la disponibilidad de nutrientes para los cultivos como el cobre, hierro, zinc, manganeso, entre otros (Sierra *et al.* 2007). Además, el azufre es uno de los elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Woo *et al.* 2004). Para poder ser absorbido por las raíces de las plantas, el S elemental primero debe ser oxidado a sulfato por los microorganismos del suelo, como *Thiobacillus* spp. (Essa *et al.* 2019); ya que su oxidación se incrementa a temperatura alta del suelo, en suelos húmedos, a pH más alto y con alta cantidad de materia orgánica (FAO 2017, Essa *et al.* 2019). Con potencial de agua cercano a capacidad de campo, la oxidación del azufre es más rápida (Essa *et al.* 2019, Miyamoto 2020).

Los materiales orgánicos aplicados al suelo tienen varios efectos benéficos, tales como reducir el porcentaje de sodio intercambiable y la conductivi-

dad eléctrica, aumentar la capacidad de intercambio catiónico y la saturación de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ de los sitios de intercambio del suelo, amortiguar el pH, entre otros (Sundha *et al.* 2020). La gallinaza en dosis de 10 a 50 ton ha^{-1} mejora las propiedades físicas de suelos salino-sódicos (Agbede *et al.* 2008, Ewulo *et al.* 2008). Además, altas cantidades de gallinaza mejoran la disponibilidad de agua y nutrientes, el crecimiento y rendimiento de la planta (Ewulo *et al.* 2008). También neutraliza los efectos nocivos del sodio en suelo y cultivos, y son una fuente de energía para los microorganismos, lo que induce la formación de agregados estables (Agbede *et al.* 2008). La incorporación de vermicomposta a cultivo de jitomate incrementa la absorción de N, P, K, Fe, Mn y Zn (Hafeez y Ewees 2018). El jitomate es medianamente sensible a las sales y el umbral es de 2.5 $dS\ m^{-1}$ (Chinnusamy *et al.* 2005). Las sales disminuyen el crecimiento de la raíz del jitomate, por lo que se altera la absorción de agua, afectando la altura, número de hojas, área foliar y el rendimiento (Goykovic y Saavedra 2007). Con base en lo anterior, el objetivo fue evaluar el efecto del azufre y la gallinaza en los índices morfológicos y de producción de biomasa en jitomate, cultivado en un suelo salino-sódico e irrigado con agua salina.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó de agosto a diciembre de 2016, en invernadero tipo malla sombra, localizado en el municipio de Moctezuma, San Luis Potosí (22° 45' LN y 101° 05' LO); a altitud de 1 720 msnm, con clima cálido, y temperatura media anual de 18.2 °C. Se utilizó semilla híbrida de jitomate saladette (Conan USATX 2112), de crecimiento determinado precoz. Los tratamientos provinieron de un factorial 2x4; dos dosis de azufre 750 (S_1) y 1 500 (S_2) $kg\ ha^{-1}$ y cuatro de gallinaza (1, 2, 3 y 4 $t\ ha^{-1}$). El arreglo de tratamientos fue en parcelas divididas, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Las parcelas grandes correspondieron a los niveles de azufre y las chicas a los de gallinaza. En total se establecieron

24 unidades experimentales, con 12 camas de cultivo cada una de 30 m de longitud y 1.6 m de ancho.

Al inicio del estudio, se realizaron análisis físicos y químicos del suelo y del agua de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (SEMARNAT 2002). El suelo presentó textura franca, alto contenido de materia orgánica (M.O.) (4.7%) (SEMARNAT 2002), 0.235% de N-total y 43.8 cmol (+) kg como capacidad de intercambio catiónico (CIC). El Ca^{++} , Na^+ , Mg^{++} y K^+ ocuparon el 40.4, 30.3 17.45 y 11.8%, respectivamente, del valor total de la CIC. La concentración de aniones HCO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^- resultaron prácticamente iguales (42 mEq L⁻¹). El pH alcalino (8.4) y conductividad eléctrica (C.E.) de 4.8 dS m⁻¹. Se estimó un valor de 5.2 en la relación de adsorción de sodio (RAS) y 30.4 cmol (+) kg como el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) conforme a la ecuación de Richards (1954); clasificando el suelo salino-sódico Garrido (1994), Tabla 1. El agua presentó una CE de 1.6 dSm⁻¹ (1 024 ppm de sales disueltas) considerada como de alto riesgo de salinidad (Ayers y Westcot 1985). Con base a la RAS estimada de 4.1 meq L⁻¹ y a la CE, el agua se clasificó como clase C3-S1 de alta salinidad con bajo contenido de sodio, recomendada para utilizarse en suelos con buen drenaje y en cultivos muy tolerantes a la salinidad (Blasco y de la Rubia 1973). El agua presentó 7.8 meq L⁻¹ de Na^+ (179.4 ppm) valor alto con respecto al contenido deseable (< de 50 ppm) (Ayers y Westcot 1985), con riesgo medio de toxicidad para los cultivos de 3 a 9 meq L⁻¹, además el problema se agrava por la presencia de carbonato o bicarbonato de sodio, lo que puede explicar el alto contenido del sodio en el suelo al inicio del experimento. Al finalizar el experimento se colectaron cuatro muestras de suelo compuestas de seis submuestras, tomadas al azar y a una profundidad de 0 a 30 cm.

Previo al trasplante, se realizó una fertilización mineral de fondo (40 N - 80 P₂O₅ - 50 - K₂O kg ha⁻¹) utilizando Sulfato de amonio, Superfosfato de calcio simple y Cloruro de potasio, respectivamente. Al mismo tiempo se aplicaron los tratamientos de azufre y de gallinaza. El trasplante se realizó el tres de agosto de 2016, utilizándose plántulas de 34 días

de emergidas, con altura de 12 a 14 cm y vigor uniforme, las cuales, previamente fueron desinfectadas por inmersión en una solución de Previcur, Derosal y Manzate (1 g o mL L⁻¹). Se estableció una hilera de plantas por cama de cultivo, con distancia entre plantas de 20 cm, estableciéndose una densidad de 3 plantas por m². El riego y la fertilización fue por goteo con distancia entre goteros de 20 cm. El tallo de las plantas fue sostenido verticalmente con rafia y se mantuvo a una altura de 2.3 m. La cosecha inició a 63 y 83 días después del trasplante (DDT). La información incluida en el estudio sólo comprende lo correspondiente hasta 83 días después del trasplante (DDT).

La irrigación y fertilización, se realizó por cintilla, la cual se distribuyó en cuatro etapas fenológicas: a) Trasplante-Desarrollo vegetativo, b) Inicio de floración, c) Cuajado de fruto y d) Maduración (cosecha). La cantidad de agua total aplicada fue de 3 780 m³, distribuida: 157.5 m³ en desarrollo vegetativo, 1 102.5 m³ floración, 630 m³ cuajado de fruto, 787.5 m³ maduración de fruto y 1 102.5 m³ en cosecha; se aplicaron tres riegos diarios en las etapas a y b y dos en las etapas c y d; en todos los casos la duración del riego fue de 60 minutos. Desde el trasplante hasta la cosecha se aplicaron 350 N - 130 P₂O₅ - 450 K₂O kg ha⁻¹ mediante el riego, distribuida: el N en las etapas a y b 26.1, 55.2 en c y 18.4% en d; el P 38.9 en las etapas a y b, 41.3 en c y 17.7% en d; el K 17.1 en a y b, 52.0 en c y 29.18% en d.

En la planta de jitomate, se realizaron cinco muestreos no destructivos a los 14, 24, 30, 45, 69 DDT, en 12 plantas por tratamiento con tres repeticiones. A cada planta se le midió la altura (cm), diámetro del tallo (cm), número de hojas, largo y ancho de hoja para calcular el área foliar mediante el método del triángulo (Escalante-Estrada 1999). Mientras que a los 54, 63 y 83 DDT, correspondientes a las etapas de inicio de floración, cuajado de fruto e inicio de cosecha, respectivamente, se realizaron muestreos destructivos; en tres plantas por tratamiento. El material vegetativo se fraccionó en tallo, hojas y frutos, y se determinó peso en fresco y seco, para lo cual las muestras se colo-

cando en bolsas de papel de estraza y se secaron en estufa de circulación de aire forzado a 80 °C hasta peso constante. El índice y duración del área foliar se estimaron con la misma frecuencia de las medidas directas, utilizando las fórmulas indicadas por Escalante y Kohashi (2015), basadas en masa seca, área foliar y tiempo.

El rendimiento se evaluó a los 63 y 83 DDT, se le determinó el peso total y por fruto. Con los resultados de las variables medidas y los índices estimados se realizó un análisis de varianza y comparaciones de medias mediante la prueba de Tukey a un nivel de significancia de $p = 0.05$. Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico SAS (9.0) (SAS 2003). Mientras que las curvas de crecimiento se elaboraron con el programa de Excel y Curve Expert 1.4 y se ajustaron con base a una ecuación de regresión cuadrática específica para cada variable medida.

RESULTADOS

Características del suelo

Las características químicas evaluadas en el suelo previo al establecimiento del experimento no fueron modificadas significativamente con las dosis de gallinaza estudiados, ni tampoco en la interacción azufre-gallinaza (Tabla 1). Respecto al pH inicial, de 8.4, el azufre incorporado lo disminuyó, proceso. De igual manera, la conductividad eléctrica disminuyó a 0.66 dS m^{-1} para S_1 y 1.6 dS m^{-1} para S_2 a comparación de la CE de 4.8 dS m^{-1} al inicio del experimento, se explican 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. En este estudio, la CE disminuyó con la adicionarse de S y gallinaza como mejoradores del suelo. Los valores más altos para aniones y cationes se presentaron en S_2 . En cuanto a los cationes, el Ca^{++} en S_1 presenta valores bajos, con relación a S_2 . El Mg^{++} tanto en S_1 como en S_2 es alto. Los valores de los aniones para ambas dosis de azufre se interpretan como valores altos.

La aplicación de una tonelada de gallinaza, con excepción del pH (7.7) y Cl ($1.9 \text{ mEq } 100 \text{ g}^{-1}$),

generó valores más bajos de MO (4%), CE (0.83 dS m^{-1}), aniones ($\text{mEq } 100 \text{ g}^{-1}$) HCO_3^- (2.30), SO_4^{2-} (4.8), de cationes ($\text{mEq } 100 \text{ g}^{-1}$), Mg^{++} (9.6), Na^+ (1.0) K^+ (1.1) y Cl (17.3) y de PSI más alto (5.7). La cantidad de MO, HCO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++} y Cl se incrementó al aumentar la dosis de gallinaza, lo inverso ocurrió con el PSI. Por otro lado, los valores más altos de Cl^- , SO_4^{2-} y Na^+ se alcanzaron con tres t ha⁻¹ de gallinaza. Con base al análisis de varianza realizado no se encontraron diferencias significativas de las dosis de gallinaza, ni para la interacción azufre-gallinaza.

Índices morfológicos

Las características evaluadas en la planta presentaron diferencias por efecto de las dosis de gallinaza estudiados, sin embargo, estas diferencias y las presentadas por efecto de la interacción S y gallinaza no fueron significativas ($p \leq 0.05$). La altura de la planta de jitomate tuvo cambios significativos durante su desarrollo. La altura significativa más alta se tuvo desde los 30 días después del trasplante (DDT) (50.9 cm) hasta los 83 DDT (136.2 cm) para el tratamiento S_1 , en contraste con el tratamiento S_2 durante el mismo periodo fue de 45.5 hasta 117.5 cm de altura en las mismas etapas, respectivamente (Tablas 2 y 3, Figura 1 a y b). La tasa diaria de crecimiento, en términos de altura, fue de 1.74 cm en el tratamiento S_1 y de 1.45 cm en el tratamiento S_2 por DDT. Con respecto al diámetro de tallo no se observan diferencias significativas en la planta por efecto del azufre. El diámetro final del tallo fluctuó entre 1.97 y 2.075 cm. El número de hojas presentó diferencias significativas entre los tratamientos de azufre a los 45 y 83 DDT, las plantas desarrolladas en S_1 presentaron 35.75 y 36.2 hojas por planta, respectivamente, y superaron el número de hojas de las plantas desarrolladas en S_2 (27.4 y 17.5). En la Figura 1 e y f, se muestran los valores de coeficiente de regresión (R^2) de 0.98 para S_1 y 0.96 para S_2 .

Los valores de área foliar (AF, cm^2) presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a los 30 (755.1) y 45 (1173.5) DDT en S_1 , posteriormente disminuyó, manteniéndose hasta los 83 DDT (759.3 cm^2 hoja⁻¹). Lo anterior significó un crecimiento vigoroso

Tabla 1. Análisis químicos del suelo en función del tratamiento de S° y de gallinaza.

	M.O. %	CE dSm ⁻¹	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	ClC	PSI	RAS
mEq/100g													
	Datos iniciales del suelo												
t ha ⁻¹	4.7	4.8	8.4	42	42	42	40.4	17.45	30.3	11.8	43.8	5.2	30.4
	Después del tratamiento con gallinaza												
1	4.0	0.8	7.7	2.3	1.9	4.8	5.6	9.6	1	1.1	17.3	5.7	0.51
2	4.2	1.4	7.6	3.1	1.7	15.6	8.6	15.2	1.2	1.2	26.3	4.5	0.49
3	5.3	1.3	7.6	3.4	2.9	17.7	13.1	21.6	1.5	1.1	37.3	4	0.5
4	6.0	1.0	7.8	4.6	2.7	9.7	24.8	34.2	1.4	1.2	61.7	2.3	0.37
kg ha ⁻¹	Después del tratamiento con azufre (S)												
750	4.9	0.67	7.7	2.2	1.35	3.5	2.9	5.1	1.1	0.94	10.1	10.9	0.82
1500	4.8	1.6	7.5	4.5	3.2	20.4	23.2	35.1	1.4	1.40	61.2	2.2	0.36

Tabla 2. Cuadrados medios del análisis factorial completo para los índices morfológicos evaluados por tratamiento de azufre.

DDT	14	24	30	45	54	63	69	83
	Altura (cm)							
S1	19.83	42.25	50.92	77.00	47.50	65.92	118.58	136.25
S2	20.17	35.83	45.50	62.92	43.33	77.42	100.58	117.50
Promedio	20.00	39.04	48.21	69.96	45.42	71.67	109.58	126.88
	Área foliar (cm ²)							
S1	113.25	510.5	755.19	1173.54	1005.74	674.26	659.33	759.30
S2	116.53	485.80	874.50	604.78	960.11	526.08	538.16	874.0
Promedio	114.89	620.50	1024.02	607.77	982.92	600.17	598.75	698.70
	Diámetro de tallo (cm)							
S1	0.50	0.75	0.96	1.30	0.73	1.43	1.49	1.97
S2	0.60	0.68	1.02	1.25	0.75	1.27	1.38	2.07
Promedio	0.55	0.72	0.99	1.28	0.74	1.35	1.43	1.87
	Número de hojas por planta pl ⁻¹							
S1	6.50	18.25	22.00	35.75	16.00	23.25	32.58	36.2
S2	6.25	15.08	19.25	27.42	14.42	23.42	29.25	17.5
Promedio	6.38	16.67	20.63	31.58	15.21	23.33	30.92	40.40
	Índice de área foliar							
S1	0.34	1.2	2.26	3.52	2.81			
S2	0.33	0.98	1.45	2.62	3.11			
Promedio	0.34	1.09	1.86	3.07	2.96			
	Duración de área foliar							
S1	130.27	173.59	401.47	218.23	226.80	120.02	218	
S2	90.35	122.43	332.84	211.26	200.64	95.78	211	
Promedio	110.31	148.01	367.15	214.74	213.72	107.90	214.5	

Tabla 3. Diferencias significativas de los índices morfológicos evaluados por tratamiento de azufre.

Dosis de azufre	Altura final (cm)	Diámetro de tallo	No de hojas	Área foliar (cm ²)	Índice de área foliar	Duración de área foliar
S1	136.2 ^a	2.1 ^a	45 ^a	759.30 ^a	73.71 ^a	218 ^a
S2	117 ^b	1.6 ^a	35 ^b	638.10 ^b	71.08 ^b	211 ^b
Prob. de F	0.53	0.059	0.5	0.58	0.054	0.052

Valores con la misma letra no son significativamente diferentes.

durante los primeros 45 DDT para después reducirse ligeramente y sostenerse conforme se incrementa la formación y producción de frutos. Los valores de AF en el tratamiento S₂, a los 30 y 45 DDT, fue de 485.8 y 874 g cm², respectivamente; este último valor de AF, se mantiene en floración y cuajado del fruto (Figura 1a y b). Durante los siguientes 40 días, el

área se mantuvo próxima a los 1 450 cm² hoja⁻¹ para después descender a los 750 cm² hoja⁻¹ y sostenerse hasta los 83 DDT.

Con el ANOVA del IAF se muestran diferencias significativas a los 30 y 45 DDT entre el tratamiento S₁ (2.26 y 3.52) en contraste con S₂ (1.45 y 2.62), respectivamente (Tablas 2 y 3, Figura 1 e y f). Los

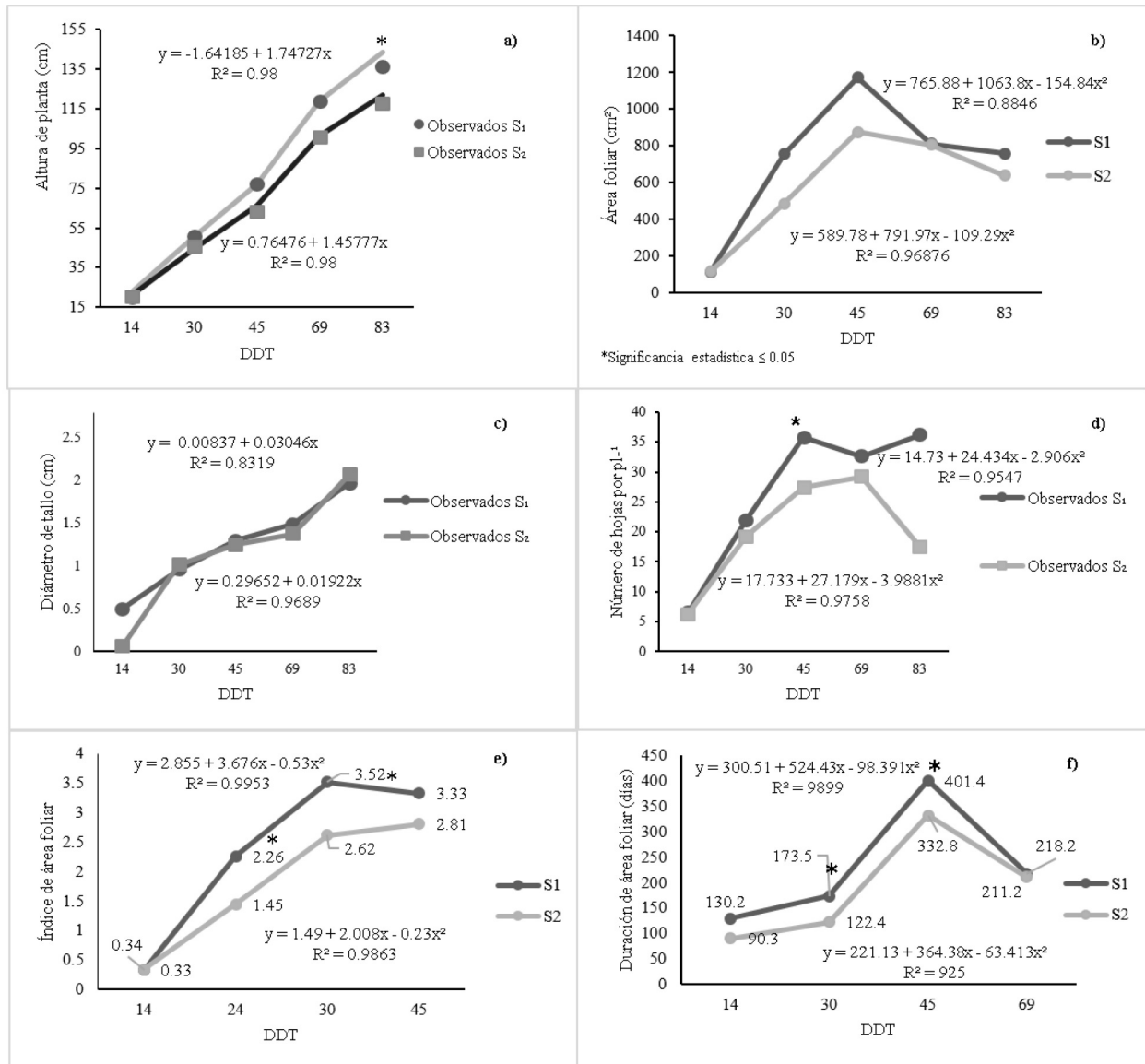


Figura 1. Altura de planta (cm) y área foliar (cm²) en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 (S₁) y 1500 (S₂) kg ha⁻¹.

valores de índice de área foliar (IAF) y duración de área foliar (DAF) corresponden con los valores de AF anteriormente expuestos, desde los 14 hasta los 45 DDT, lo que coincide con la floración que ocurrió a los 40 DDT. El IAF fue significativo y coincide con el valor más alto en AF determinado durante el ciclo del cultivo. La DAF en jitomate correspondiente al tratamiento S₁ fue significativamente superior a 14 (130.2 días), 30 (173.5 días) y 45 DDT (401.4) con respecto a los encontrados en el tratamiento S₂ (90.3,

122.4 y 332.8 días; respectivamente).

Peso seco total y su distribución en hoja, tallo y fruto

Los valores de masa seca (MS) de la planta que recibió 750 kg ha⁻¹ de S (S₁) fueron significativos (p ≤ 0.05) y superiores a los registrados a los del tratamiento S₂. A la etapa de floración (54 DDT) y al inicio de cosecha (83 DDT) la MS producida en la planta desarrollada en S₁ superó 2.13 y 1.8 ve-

ces el valor de la MS registrada con 1500 kg ha^{-1} (S_2), respectivamente. La tendencia ($p \leq 0.05$) antes mencionada, se observó también en la MS de hojas y tallos. Las plantas desarrolladas con el tratamiento S_1 presentaron mayor peso seco total por planta (PSTo) con respecto a S_2 , tendencia registrada en el peso seco de todos los órganos de la planta. El peso seco de hojas (PSH) y PSTo alcanzaron su máximo valor a los 83 DDT. A estos DDT, el PSTo obtenido con el tratamiento S_1 (75.6 g pt^{-1}) superó significativamente al PSTo del tratamiento S_2 (31.2 g pt^{-1}). El PSH presentó el mismo comportamiento y resultó significativamente menor en S_2 (38.04 g pt^{-1}) que en S_1 (68.28 g pt^{-1}), a los 83 DDT, algo similar resultó a las 54 DDT. No hubo diferencias significativas en peso seco del fruto (PSFr). El PSTo por planta a los 83 DDT, en el tratamiento S_1 fue significativamente mayor (177.42 g pt^{-1}) al del S_2 (98.64 g pt^{-1}). A los 54 DDT, el PSH con respecto al total en ambos tratamientos de azufre, fue similar, dado que sus valores oscilaron entre 50.83 y 56.9%. El porcentaje de PSH disminuyó a los 63 y 83 DDT en ambos tratamientos de azufre S_1 (35.28 y 38.57%) y S_2 (37.9 y 38.5%), respectivamente. Comportamiento similar se tuvo a los 83 DDT, donde el PSH tanto en S_1 como en S_2 resultó igual (38.5%). Con respecto al porcentaje de PSFr en S_1 (18.94%) fue menor al del tratamiento S_2 (29.8%). Para ambos tratamientos, los porcentajes en PST y PSH disminuyeron a medida que desarrolló el fruto de jitomate. Para la materia seca, el mayor porcentaje de biomasa seca por fruto y plantas más desarrolladas se obtuvo a los 83 DDT en el tratamiento S_1 , lo que significa que los frutos del primer tratamiento tuvieron hidratación y peso mayores por unidad (Tabla 4).

Componentes de rendimiento de fruto fresco

Los valores de la biomasa fresca total (BFt) fueron siempre superiores y estadísticamente diferentes a los registrados en las plantas desarrolladas en S_1 ; el peso de fruto fresco (PFrF) mostró la misma tendencia, sólo que las diferencias significativas se tuvieron a los 83 DDT (Tabla 5). Esta diferencia se asocia al mayor peso por fruto (PF) obtenido con el tratamiento S_1 (93.16 g pt^{-1}) con

respecto a S_2 (69.7 g pt^{-1}). El peso de fruto en los tratamientos S_1 y S_2 resultó significativamente diferente, 177 y 124 (g pt^{-1}), lo cual representa un peso total acumulado de 6.3 y 5.1 kg pt^{-1} , respectivamente. No hubo diferencias en el número de fruto por planta entre ambos tratamientos (6 y 7; respectivamente). La tendencia de estas variables cuantificadas mediante muestreo destructivo, se ajustaron a una ecuación de regresión cuadrática específica para cada variable medida (Figura 2a y b). En relación con el peso fresco del fruto (PFF), a los 83 DDT con el ANOVA se encontró diferencia en esta variable entre los tratamientos de azufre (S_1 y S_2), de 0.559 y 0.490 kg pt^{-1} , respectivamente. Los valores obtenidos en esta variable se ajustan a una ecuación lineal.

DISCUSIÓN

Características del suelo

La salinidad reduce la calidad del suelo y afecta la producción de la gran mayoría de las especies agrícolas (Ruiz *et al.* 2014, Ibrahim *et al.* 2019). La disminución de la CE se explica por la disminución de las sales solubles por el abatimiento de aniones y cationes en solución del suelo, en respuesta a la aplicación de azufre y gallinaza, estos mejoradores posiblemente indujeron la conversión de CaCO_3 a CaSO_4 y a $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Con altos niveles de un solo catión, puede ocurrir deficiencias en la planta de otros cationes por competencia de absorción o intercambio catiónico de la planta, por ejemplo, el ion sodio afecta el metabolismo de la planta y reduce la eficiencia fotosintética (El hasini *et al.* 2020). El K^+ para S_1 y S_2 presentó valores de 0.6 a 2 $\text{mEq } 100 \text{ g}^{-1}$ suelo. Con base en los valores medios finales obtenidos y en respuesta a la cantidad de gallinaza aplicada, independientemente de la cantidad de azufre elemental, S° , el pH, la CE, el HCO_3^- , Na y el PSI (2.3), el suelo al final del experimento no presentó problemas por salinidad ni por sodio, lo cual concuerda con lo mencionado por Garrido (1993), contrario a la clasificación del suelo salino-sódico al inicio del experimento. Para su recuperación es indispensable caracterizar el problema, entender las causas de la acumulación de sales, evaluar la

calidad del agua para riego y predecir su posible participación en la causa de salinidad o sodicidad. Para corregir deficiencias nutricionales, en suelos alcalinos, se recomienda disminuir el pH mediante la adición de azufre elemental (S°) (Cifuentes y Lindemann 1993, Miyamoto 2020, Bello *et al.* 2021), ya que también reduce la CE y el SAR y se incrementa la solubilidad de los nutrientes para la planta (Ibrahim *et al.* 2019). Al respecto, existió mayor eficiencia con el tratamiento S_1 (750 kg ha^{-1}) que con S_2 (1500 kg ha^{-1}). Lo cual coincide con García y Castillo (1993) quienes reportan mayor eficiencia relativa de oxidación con dosis inferiores a 1000 kg ha^{-1} , dosis mayores ralentizan el proceso de oxidación. Las altas cantidades de SO_4^{2-} del tratamiento S_2 , puede atribuirse a alta población o actividad y eficiencia de las bacterias oxidantes del S° (*Thiobacillus* spp.) y, probablemente, también a un desequilibrio químico en el medio bajo esta condición (García y Castillo 1993). Nuestros resultados también coinciden con lo mencionado por Ibrahim *et al.* (2019) quienes reportan mayor absorción de NPK en trigo con la aplicación de azufre. Para que ocurra la oxidación del S° es indispensable equilibrio en la distribución de los poros por tamaño y humedad a capacidad de campo (Miyamoto 2020). También es importante que el tamaño de partícula del S° permita una mayor superficie de contacto y reactividad con el suelo, y un tiempo razonable para que la reacción avance hasta el estado final de la forma SO_4^{2-} (García y Castillo 1993, Essa *et al.* 2019).

El efecto benéfico de la materia orgánica sobre la oxidación del S° , observado en este estudio, coincide con lo reportado por Cifuentes y Lindemann (1993) quienes encontraron mayores tasas de oxidación de S° en suelos ricos en materia orgánica. Lawrence y Germida (1988) encontraron que a mayor disponibilidad de fósforo se favorece la oxidación de azufre. Lo anterior coincide con nuestros resultados ya que se hicieron aplicaciones de ácido fosfórico con fines de acidulación, por lo que este P favoreció la oxidación del S° , la reducción del contenido de Na soluble y la consecuente disminución del PSI. Con base en los valores medios obtenidos en respuesta a la cantidad de gallinaza aplicada, independiente-

mente de la cantidad de S° , el pH, CE, HCO, Na, RAS y PSI, determinados al final del ciclo, se observó disminución en los problemas por salinidad y por sodio (Garrido, 1994); contrario a la clasificación del suelo salino-sódico al inicio del experimento.

Tabla 4. Peso seco de las distintas estructuras de la planta jitomate en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 kg ha^{-1} (S_1) y 1500 kg ha^{-1} (S_2).

Tratamiento	Días después del trasplante		
	54	63	83
Peso seco hojas (g pt^{-1})			
S_1	67.2 ^a	52.44 ^a	68.28 ^a
S_2	31.5 ^b	49.56 ^a	38.04 ^b
Pr > F	0.045	0.851	0.006
Peso seco tallo (g pt^{-1})			
S_1	65 ^a	45.98 ^a	75.6 ^a
S_2	23.8 ^b	37.884 ^a	31.2 ^b
Pr > F	0.008	0.623	0.053
Peso seco frutos (g pt^{-1})			
S_1		21.54 ^a	33.54 ^a
S_2		18.74 ^a	29.4 ^a
Pr > F		0.792	0.816
Peso seco total (g pt^{-1})			
S_1	132.2 ^a	119.96 ^a	177.42 ^a
S_2	55.3 ^b	106.184 ^a	98.64 ^b
Pr > F	0.0069	0.846	0.0359

Valores con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 5. Peso fresco de frutos y de la planta jitomate en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 kg ha^{-1} (S_1) y 1500 kg ha^{-1} (S_2).

Tratamiento	DDT	
	54	63
Peso total de frutos (kg pt^{-1})		
S_1	0.359 ^a	0.559 ^a
S_2	0.309 ^a	0.490 ^b
Pr > F	0.5752	0.0591
Peso total de la planta en fresco (kg pt^{-1})		
S_1	0.213 ^a	1.345 ^a
S_2	0.079 ^b	1.174 ^b
Pr > F	0.0593	0.0328

Valores con la misma letra no son significativamente diferentes.

El azufre aplicado al suelo estuvo sujeto a oxidación a SO_4^-S por autótrofos como especies de *Thiobacillus* spp. (Essa *et al.* 2019), especialmente por *T. thiooxidans* (Chapman 1990, Miyamoto 2020), lo que transforma el azufre a sulfato en condiciones aeróbicas, disminuyendo el pH del suelo (Deng y Dick 1990, Miyamoto 2020). Además de los microorganismos del suelo, existen factores físicos que influyen en

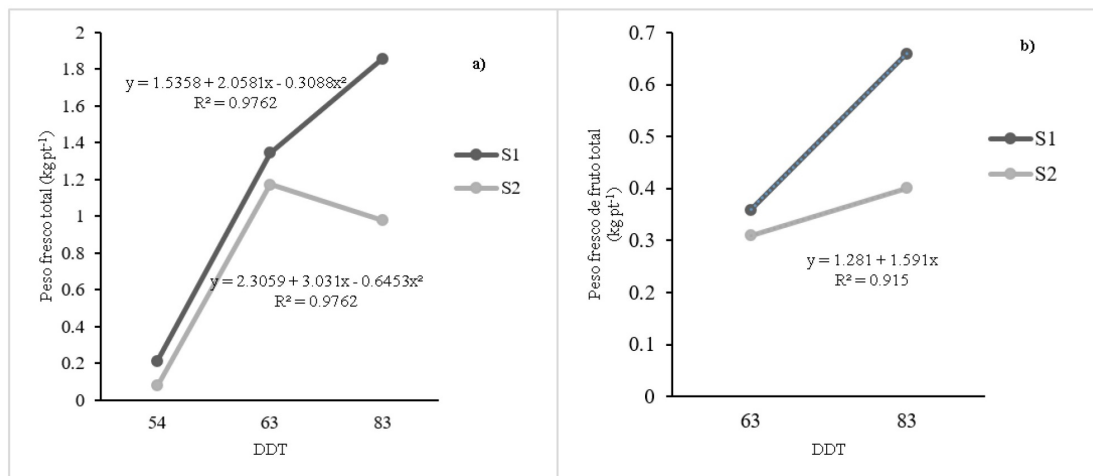


Figura 2. Diámetro de tallo (cm) y número de hojas pl^{-1} en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 (S₁) y 1500 (S₂) kg ha⁻¹.

la tasa de oxidación del azufre, los más importantes son: humedad, temperatura, tipo de suelo y tamaño de la partícula de azufre (Deng y Dick 1990, Essa et al. 2019). La tasa de oxidación del azufre mineral se incrementa con la disminución del diámetro de la partícula e incremento de la temperatura (Essa et al. 2019), siendo recomendable un tamaño menor a 0.14 mm (Sierra et al. 2007). La humedad alta limita la oxidación, posiblemente por reducción de la aireación del suelo, siendo más eficiente a capacidad de campo (Essa et al. 2019). La saturación de un suelo favorece la reducción de sulfatos y puede contribuir a la formación de suelos sódicos debido a la formación de carbonato de sodio (Na₂CO₃). Se ha encontrado que una concentración de NaCl mayor a 9% reduce la tasa de oxidación del azufre, inhibiéndola en 11% (Miyamoto 2020). En suelos moderadamente sódicos, los microorganismos oxidantes de azufre, que toleran altos niveles de sales libres y sodio intercambiable, son un factor importante que influye en la oxidación del S^o. Para el crecimiento y desarrollo del jitomate en este estudio, el haber mantenido el suelo a capacidad de campo, no tuvo disminución del grado de oxidación del S^o, sino lo contrario. El efecto benéfico de la materia orgánica sobre el proceso de oxidación del S^o observado, también ha sido reportado por Cifuentes y Lindemann (1993) quienes encontraron mayores tasas de oxi-

dación de S^o en suelos ricos en materia orgánica. Mientras que Lawrence y Germida (1988) encontraron que a mayor disponibilidad de fósforo mayor oxidación de azufre. Nuestros resultados se pueden explicar por el hecho de que los abonos orgánicos además, mejoran la densidad aparente del suelo, la estabilidad de agregados, la conductividad hidráulica y reducen el pH, la CE y la ESP de los suelos afectados por sales (Mukhopadhyay et al. 2021), así como la capacidad de retención de agua, porosidad, capacidad de infiltración, conductividad hidráulica, entre otros beneficios (Hafeez y Ewees 2018, Meena et al. 2019, Sundha et al. 2020), reflejándose en el crecimiento, en la cantidad y rendimiento del jitomate en presencia de azufre (Essa et al. 2019). Nuestros resultados también coinciden con lo encontrado por Hafeez y Ewees (2018) quienes, para jitomate, también reportan aumento en la absorción de N, P, K, Fe, Mn y Zn.

Índices morfológicos

Los cambios significativos de la altura de la planta se manifestaron en una curva sigmoidea, comportamiento similar al reportado por Barraza (2004) para jitomate con crecimiento indeterminado. Por otro lado, respecto a las diferencias significativas del número de hojas impacta favorablemente en el desarrollo del cultivo; en este sentido, Aguilar-García

et al. (2005), para girasol, encontraron alta relación del rendimiento de semilla, biomasa, área foliar y duración de la misma. El área foliar mayor en el tratamiento S₁ se debe al tamaño de las hojas y no a su número. Al respecto se sabe que las plantas con mayor área foliar y ambiente favorable, son más eficientes en la captación de energía solar y en la fotosíntesis, que conlleva a un mejor rendimiento de fruto por planta, tal como sucedió en este estudio (Figura 1a y b). Como resultado se tuvo mayor IAF con S₁ (2.26 y 3.52) que con S₂ (1.45 a 2.62), lo cual es mayor a lo reportado (0.5 a 4.5) por Barraza *et al.* (2004), quienes, para jitomate, reportan IAF mayor durante los primeros 40 DDT, y agregan que dependió del número de hojas, de la velocidad de crecimiento y del tamaño final. En ese mismo sentido, Ponce *et al.* (2013) mencionan que a mayor IAF la planta intercepta mayor porcentaje de luz, por lo tanto, el IAF óptimo varía con la radiación solar. Aunque valores altos de este índice, en algunas ocasiones, no están siempre se relacionan con una mayor fotosíntesis, ya que el IAF es promedio de los estratos de follaje expandidos, y varían con la morfología de las especies y las condiciones ambientales (Barraza 2004). El comportamiento de la DAF, mayor en S₁ que en S₂ (Figura 1e y f), creciente desde el trasplante, coincide con lo mencionado por Cayón (1992) respecto a que la fotosíntesis aumenta hasta la madurez, disminuyendo con la edad; con los mayores valores al comienzo del ciclo del cultivo en la etapa fenológica de desarrollo de hojas (Santos *et al.* 2010), y con el máximo número de hojas (Barraza *et al.* 2004). Lo cual tal vez se deba a que el contenido de nutrimentos de torna limitante y las hojas jóvenes y frutos se convierten en depósito preferencial, a donde serán exportados estos nutrimentos (Cayón 1992).

Peso seco total y su distribución en hoja, tallo y fruto

Los mejores rendimientos de jitomate y frutos con mayor peso e hidratación en el tratamiento S₁, se puede deber al mayor desarrollo de las plantas. Al respecto, Ho y Grimby (1990) afirman que la fotosíntesis sólo es responsable de menos de 10% de la acumulación de materia seca de la fruta; ya

que la mayor cantidad proviene de los fotoasimilados producidos en las hojas y transportados a los frutos (Casierra-Posada *et al.* 2009). A diferencia de los resultados a los 83 DDT, Heuvelink *et al.* (2005) reportan que la mayor cantidad de materia seca fue destinada hacia los frutos y en menor proporción a los tejidos foliares. En referencia a la influencia de la salinidad, Andriolo *et al.* (2003) para jitomate cultivado en invernadero a varios niveles de salinidad, reportan desarrollo y crecimiento diferente entre estaciones, con mayor acumulación de biomasa en primavera que en otoño.

La aplicación de S^o mantiene la productividad del suelo y se obtienen los mejores atributos de rendimiento del cultivo (Hafeez *et al.* 2018). La disminución de la CE y del pH se debió a la adición del S^o y de gallinaza, lo cual coincide con lo mencionado por Sundha *et al.* (2020) respecto a que los abonos orgánicos reducen el PSI, la CE, aumentan la CIC y la saturación de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ de los sitios de intercambio. Lo anterior se reflejó en el mayor rendimiento con S₁, y coincide con lo reportado por Essa *et al.* (2019) respecto a que la adición de vermicomposta junto con azufre mejoró la productividad y crecimiento de jitomate. No se observó relación entre el contenido original de sulfatos en el suelo y la eficiencia de oxidación de S^o, lo cual hace suponer que el exceso de sulfatos en el medio restringe el proceso de oxidación. Los altos contenidos de SO₄²⁻ encontrados en las muestras de suelo al inicio del experimento pudieron provenir de altas aplicaciones históricas de sulfato de potasio como fertilizante. La influencia probable de los iones SO₄²⁻ en el intercambio catiónico en suelos sódicos no ha recibido mucha atención probablemente a causa de que los SO₄ de Ca y Mg son más solubles que los CO₃. Con base en lo anterior, se asume que el posible desbalance nutricional esperado para el jitomate, se vio superado por la adición de S^o y de gallinaza, los cuales disminuyeron significativamente el pH, CE, Na, PSI y RAS, conjuntamente con abastecimiento nutrimental adecuado. No obstante, se observó que el tratamiento S₂ causó un retraso en las etapas iniciales de crecimiento de la planta, recuperándose en la etapa final del experimento, por

lo que las características morfológicas y sus componentes de rendimientos fueron afectados de manera negativa y significativa al crearse condiciones no favorables para un desarrollo normal del jitomate.

CONCLUSIONES

El azufre y la gallinaza mejoraron el suelo al disminuir el contenido de sodio y la salinidad. No obstante, los índices morfológicos y los componentes de rendimiento solamente se vieron favorecidos significativamente por el azufre. La cantidad de SO_4 disminuyó un 91.4% con la adición de 750 kg ha^{-1} y 51.4% con $1\ 500 \text{ kg ha}^{-1}$. La adición de 750 kg S ha^{-1} benefició los componentes morfológicos:

altura de planta, NH, AF, IAF y DF. Con esa misma dosis de azufre, a los 83 DDT, la planta en el fruto acumuló 177.4 g pt^{-1} (35%) de materia seca, y con $15\ 00$ solamente un 18%, la mayor cantidad de MS se relacionó con mayor rendimiento de fruto fresco obtenido con 750 kg ha^{-1} de S (550 g pt^{-1}) en comparación con $1\ 500 \text{ kg ha}^{-1}$ (490 g pt^{-1}). Así mismo, los frutos tuvieron mayor peso 98.6 y 69.7 g p^{-1} con la dosis de S más baja y alta, respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haber otorgado beca para realizar estudios de Maestría en Ciencias a la primera autora.

LITERATURA CITADA

- Agbede TM, Ojeniyi SO y Adeyemo AJ (2008) Effect of poultry manure on soil physical and chemical properties, growth and grain yield of sorghum in Southwest, Nigeria, Am. Eurasian Journal of Sustainable Agriculture 2: 72-77.
- Aguilar-García L, Escalante-Estrada JA, Fucikovskiy-Zak L, Tijerina-Chávez L, Mark Engleman E (2005) Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. Terra Latinoamericana 23: 303-310.
- Andriolo JL, Witter M, Dal-Ross T y Godói RS (2003) Crescimento e desenvolvimento do jitomate iro cultivado em substrato com reutilização da solução nutritiva drenada. Horticultura Brasileira 21: 485-489.
- Ayers RS y Westcot DW (1985) Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1. Roma. 174p.
- Barraza V, Fischer G, Cardona C (2004) Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú Medio, Colombia. Agronomía Colombiana 22: 81-90.
- Bello SK, Alayafi AH, AL-Solaimani SG, Abo-Elyousr KAM (2021) Mitigating soil salinity stress with gypsum and bio-organic amendments: a review. Agronomy 11: 1735: 1-18. DOI: 10.3390/agronomy11091735.
- Blasco F, De la Rubia J (1973) Guía para clasificar las aguas en relación con su calidad para el riego. Instituto para la Reforma y Desarrollo Agrario. Madrid, España. 322p.
- Casierra-Posada F, Cardozo MC (2009) Análisis básico del crecimiento en frutos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Quindío) cultivado a campo abierto. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 62: 4815-4822.
- Cayón G (1992) Fotosíntesis y productividad de cultivos. Revista de la Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología 19: 23-31.
- Chapman SJ (1990) *Thiobacillus* populations in some agricultural soils. Soil Biology and Biochemistry 22: 479-482.

- Chinnusamy V, Jagendorf A, Zhu-Kang J (2005) Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science* 45: 437-448.
- Cifuentes FR, Lindemann W (1993) Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soils. *Soil Science Society of America Journal* 57: 727-731.
- Deng S, Dick RP (1990) Sulfur oxidation and Rhodanese activity in soils. *Soil Science* 150: 552-560.
- Escalante-Estrada JA (1999) Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra* 17: 149-157.
- El hasini S, De Nobile M, El Azzouzi M, Azim K, Douaik A, Laghrour M, El Idrissi Y, El alaoui El Belghiti M, Zouahri A (2020) The influence of compost humic acid quality and its ability to alleviate soil salinity stress. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 9: 21-31.
- Essa EM, Abd El-Rheem KhMA, Yassen AA, Elsayy AM (2019) Effect of vermicompost and sulfur on growth, yield and nutritional status of tomato plants grown on calcareous soil. *World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development* 5: 46-50.
- Escalante-Estrada JAS, Kohashi-Shibata J (2015) El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para toma de datos. No. Folleto 13969. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. Centro de Botánica. 84p.
- Ewulo BS, Ojeniyi SO, Akanni DA (2008) Effect of poultry manure on selected soil physical and chemical properties, growth, yield and nutrient status of tomato. *African Journal of Agricultural Research* 3: 612-616.
- FAO (2002) La sal de la tierra: peligro para la producción de alimentos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. <http://www.fao.org/worldfoodsummit/spanish/newsroom/focus/focus1.htm>. Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2020.
- FAO (2007) FAOSTAT Land use. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RL>. Fecha de consulta: 29 de noviembre de 2021.
- FAO (2017) Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. <http://www.fao.org/3/I6937ES/i6937es.pdf>. Fecha de consulta: 10 de marzo de 2021.
- FAO (2021) FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RL>. Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2021.
- García A, Castillo LE (1993) Oxidación del azufre en suelos alcalinos del Valle del Cauca. En: Silva F (ed) *Fertilidad de suelos: Diagnóstico y control*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. pp: 473-505.
- Garrido GF (1993) Comentario sobre la acidez de los suelos forestales. *CORMA* 231: 37-39.
- Goykovic CV, Saavedra G (2007) Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *IDESIA, Revista de Agricultura en Zonas Áridas* 25: 47-58.
- Hafeez AAAA, Ewees MSA (2018) The effective role of vermicompost, elemental sulphur and ascorbic acid on tomato plants grown on a newly reclaimed calcareous soil at Fayoum Depression. *Egyptian Journal of Soil Scienc* 58: 255-273.
- Heuvelink E, Bakker MJ, Elings A, Kaarsemaker R, Marcelis LFM (2005) Effect of leaf area on tomato yield. *Acta Horticulturae* 691: 43-50.
- Ho LC, Grimbley P (1990) The physiological basis for tomato quality. *Grower* 22: 33-36.
- Ibrahim MA, Osman MA, Mohamed AO (2019) Effect of sulphur application and water salinity on soil and plant properties. *Journal of Soil Science and Environmental Management* 10: 29-38.

- Lawrence JR, Germida JJ (1998) Relationship between microbial biomass and elemental sulfur oxidation in agricultural soils. *Soil Science Society of America Journal* 52: 672-677.
- Meena MD, Yadav RK, Narjary B, Yadav G, Jat HS, Sheoran P, Meena MK, Antil RS, Meena BL, Singh HV, Meena VS, Rai PK, Ghosh A, Moharana PC (2019) Municipal solid waste (MSW): strategies to improve salt affected soil sustainability: a review. *Waste Management* 84: 38-53.
- Miyamoto S (2020) Use of acids and acidulants on alkali soils and water. In: Wallace A, Terry RE (eds) *Handbook of soil conditioners. Substances that enhance the physical properties of soil*. CRC Press Taylor & Francis Group. USA. pp: 217-256.
- Mukhopadhyay R, Sarkar B, Sahay JH, Chander SP, Bolan NS (2021) Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. *Journal of Environmental Management*, 280: 111736. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111736.
- Parada R, Castro S, Serrano R, Castillo B, Ayala J, Vides E, Romero J (2006) First report of a phytoplasma associated with *Spondias purpurea* (Jocote de Corona) in El Salvador. *Journal of General Plant Pathology* 72: 40-42.
- Ponce VM, Pandey RP, Ercan S (2013) Characterization of drought across climatic spectrum. *Journal of Hydrological Engineering* 5: 222-224.
- Richards LA (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA Agricultural Handbook* 60. 160p.
- Ruiz EFH, Villalpando GRL, Murillo AB, Beltrán MFA y Hernández MLG (2014) Respuesta diferencial a la salinidad de genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en primeras etapas fenológicas. *Terra Latinoamericana* 32: 311-323.
- SAS (2003) User's guide: Basic. Version JMP 3.2.5. Statistical Analysis System, SAS Institute. Cary, NC, USA 315p.
- Santos CM, Segura AM y Núñez LCE (2010) Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 63: 5253-5266
- SEMARNAT (2002) Norma Oficial Mexicana Nom-021-RECNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial, Segunda Sección.
- Sierra BC, Lancelloti MA, Vidal PA (2007) Azufre elemental como corrector del pH y la fertilidad de algunos suelos de la III y IV región de Chile. *Agricultura Técnica* 67: 173-181
- Sundha P, Basak N, Rai AK, Yadav RK, Sharma, PC, Sharma DK (2020) Can conjunctive use of gypsum, city waste composts and marginal quality water rehabilitate saline-sodic soils? *Soil and Tillage Research* 200: 104608. DOI: 10.1016/j.still.2020.104608
- Woo RJL, Vázquez-Alvarado R, Olivares SE, Zavala GF, González GR, Valdez CR, Gallegos VC (2004) Análisis de crecimiento en maíz (*Zea mays* L.) aplicando lodos activados y urea. *Agrofaz* 4: 437-441.