



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ

POSTGRADO EN
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

**EFFECTO DEL AZUFRE ELEMENTAL (S⁰) Y GALLINAZA SOBRE
CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y ACUMULACIÓN NUTRIMENTAL DEL
TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) BAJO INVERNADERO TIPO CASA
SOMBRA**

VALERIA ABIGAIL MARTÍNEZ SÍAS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México
Mayo, 2018



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN


En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el (la) que suscribe VALERIA ABIGAIL MARTÍNEZ SIAS, alumno(a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del (la) Profesor(a) DR. JUAN FELIPE MARTÍNEZ MONTOYA, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis EFFECTO DEL AZUFRE ELEMENTAL (S^o) Y GALLINAZA SOBRE CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y ACUMULACIÓN NUTRIMENTAL DEL TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) BAJO INVERNADERO TIPO CASA SOMBRA y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución. El (la) Consejero (a) o Director (a) de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, a 5 de junio de 2018.



VALERIA ABIGAIL MARTÍNEZ SIAS

Firma



DR. JUAN FELIPE MARTÍNEZ MONTOYA
Vo. Bo. Profesor(a) Consejero(a) o Director(a) de Tesis

La presente tesis, titulada: Efecto del azufre elemental (S⁰) y gallinaza sobre crecimiento, rendimiento y acumulación nutrimental del tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) bajo invernadero tipo casa sombra, realizada por la alumna: Valeria Abigail Martínez Sías, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:


DR. JUAN FELIPE MARTÍNEZ
MONTÓYA

DIRECTOR DE TESIS:


DR. JOSÉ DE JESÚS MARTÍNEZ
HERNÁNDEZ

ASESOR EXTERNO:


DR. LAMBERTO ZÚNIGA ESTRADA

ASESOR EXTERNO:


DR. FRANCELINO A. RODRIGUES
JUNIOR

SALINAS DE HIDALGO., SAN LUIS POTOSÍ
MAYO, 2018

Efecto del azufre elemental (S⁰) y gallinaza sobre crecimiento, rendimiento y acumulación nutrimental del tomate (*Solanum lycopersicum L.*) bajo invernadero tipo casa sombra.

Valeria Abigail Martínez Sias, M.C

Colegio de Postgraduados, 2018

Una investigación se realizó bajo invernadero tipo casa sombra. El objetivo fue evaluar el efecto de la aplicación de azufre elemental (S⁰) y gallinaza como mejoradores de un suelo salino-sódico, sobre la acumulación y distribución de materia seca, nutrimentos (N y K) e índices morfológicos y fisiológicos del cultivo de tomate, mediante la técnica de fertigación utilizando agua de riego de mala calidad y riego por goteo. Algunas características del suelo fueron: textura franca, contenido medio de materia orgánica (4.0%), un pH de 8.6, su CE de 5.1 dS m⁻¹ con un RAS de 5.2 y un PSI de 30.4 cmol (+) /kg. Mientras que el agua para irrigación tuvo valores de CE de 1.6 dS m⁻¹ y de RAS de 4.1 meq L⁻¹ que la clasifican de clase C₃-S₁ de alta salinidad con un contenido 7.8 meq L⁻¹ de Na⁺. El diseño de tratamientos fue un factorial completo (2X4) dos dosis de S⁰:750 y 1500 kg ha⁻¹ y cuatro de gallinaza (una, dos, tres y cuatro toneladas ha⁻¹); el arreglo de tratamientos fue en parcelas divididas en un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Se aplicó una fertilización mineral de fondo (40 N-80 P₂O₅ 50 K₂O kg ha⁻¹). La densidad de plantación fue de 3 plantas por m². La lámina de riego total aplicada ascendió a 378 mm. Durante el ciclo de cultivo se fertigò con 384 N -129 P₂O₅ – 476 K₂O ha⁻¹ mediante riego localizado. Se realizaron muestreos destructivos (3) y no destructivos (6) de plantas. Se midieron altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas por planta; materia fresca y seca total, en cada estructura de la planta (hoja, tallo, fruto) y se estimaron índices morfológicos y fisiológicos del tomate. Al final del ciclo se cuantificó el número, peso y rendimiento de fruto fresco total (RFFT); la materia seca total (MST), concentración y acumulación de N y K en la biomasa. Entre los resultados a diferenciar, el S⁰ incorporado causó una recuperación y mejoramiento de las propiedades del suelo salino-sódico al disminuir su pH, CE, PSI y RAS al final de la cosecha. El ANOVA sólo reportó diferencias significativas por la aplicación de (S⁰). Ningún efecto por gallinaza ni efecto de interacción entre ellos. La aplicación de 750 kg ha⁻¹ de (S⁰) afectó significativamente, los índices de crecimientos (AF, IAF y DF, TAN y TCC), la altura final, número de hojas, número, peso por fruto, RFFT por planta y al final de la cosecha. Su producción en MST (kg ha⁻¹) superó un 42.2 % y un 19% su RFFT acumulado (162.9 ton ha⁻¹) al tratamiento de 1500 kg ha⁻¹. Su Índice de Productividad fue 43.1 kg de fruto m³. Las cantidades de N y K acumulado entre los dos tratamientos de S⁰, durante todo el ciclo del cultivo, resultaron extremadamente contrastantes.

Palabras clave: tomate, azufre, gallinaza, análisis de crecimiento, materia seca.

Effect of elemental sulfur (S^o) and poultry manure on growth, yield and nutritional accumulation of tomato (*Solanum lycopersicum L.*) under shade mesh greenhouse.

Valeria Abigail Martínez Sias, M.C
Colegio de Postgraduados, 2018

One research was conducted under shade mesh greenhouse. The objective was to evaluate the effect of the application of elemental sulfur (S^o) and poultry manure as a saline-sodic soil improver, on the accumulation and distribution of dry matter, nutrimental (N and K) and morphological and physiological indices of tomato, by fertigation technique using poor quality irrigation water and drip irrigation. Some soil characteristics were: loamy texture, average content of organic matter (4.0%), a pH of 8.6, EC of 5.1 dS m⁻¹ with a RAS of 5.2 and a PSI of 30.4 cmol (+) / kg. While the water for irrigation had EC values of 1.6 dS m⁻¹ and RAS of 4.1 meq L⁻¹ that classified it as class C₃-S₁ with a high salinity content of 7.8 meq L⁻¹ of Na⁺. The design treatments were a complete factorial (2X4) two doses of S^o: 750 and 1500 kg ha⁻¹ and four of poultry manure (one, two, three and four tons ha⁻¹); the treatment arrangement was in plots divided into an experimental design of randomized complete blocks, with three repetitions. A mineral fertilization was applied (40 N-80 P₂O₅ 50 K₂O kg ha⁻¹). Planting density was 3 plants per m². The total irrigation sheet applied amounted to 378 mm. During the crop cycle, it was fertilized with 350 N-130 P₂O₅- 450 K₂O ha⁻¹ by localized irrigation. Destructive (3) and non-destructive (6) samplings of plants were carried out. Plant height, stem diameter, number of leaves per plant were measured; fresh and dry total matter, in each structure of the plant (leaf, stem, fruit) and morphological and physiological indexes of the tomato were estimated. At the end of the cycle the number, weight and yield of total fresh fruit (TFFY) was quantified; the total dry matter (TDM), concentration and accumulation of N and K in the biomass. The most important results were, the S^o incorporated caused a recovery and improvement of the properties of the saline-sodium soil by decreasing its pH, EC, PSI and RAS at the end of the harvest. The ANOVA only reported significant differences by the application of (S^o). The ANOVA only reported significant differences by the application of (S^o). No effect per poultry litter or interaction effect between them. The application of 750 kg ha⁻¹ of (S^o) affected significantly, the growth rates (AF, IAF and DF, TAN and TCC), the final height, number of leaves, number, weight per fruit, TFFY per plant and at the end of the harvest. Its production in MST (kg ha⁻¹) exceeded 42.2% and 19% its accumulated RFFT (162.9 ton ha⁻¹) to the treatment of 1500 kg ha⁻¹. Its Productivity Index was 43.1 kg of m³ fruit. The amounts of N and K accumulated between the two treatments of S^o, throughout the crop cycle, were extremely contrasting.

Key words: tomato, sulfur, poultry manure, growth analysis, dry matter

DEDICATORIA

A mis padres María Guadalupe Sías Rodríguez y Orlando Martínez Rodríguez porque son las personas más importantes en mi vida y han sido mi más grande apoyo; sin su esfuerzo no hubiera llegado hasta aquí. Les agradezco todo lo que han hecho por mí; por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida y sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida. Gracias por nunca haber dudado de mí y apoyarme cuando más los necesité estando lejos de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por el camino recorrido.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado para realizar esta maestría.

Al Dr. José de Jesús Martínez Hernández le agradezco su orientación, ayuda, apoyo y dedicación de tiempo para poder concluir con este trabajo.

Al Dr. Juan Felipe Montoya Martínez por sus consejos y apoyo en el presente trabajo.

Al Dr. Lamberto Zúñiga Estrada por su apoyo, sus valiosas aportaciones y sugerencias al documento de tesis.

Al Dr. Francelino Rodrigues Junior que institucionalmente apoyó esta investigación como Asesor Externo.

A la Dra. Margarita Torres Aquino por sus sugerencias, apoyo y consejos.

A la profesora Ana Ma. Sánchez Flores y su familia por el apoyo otorgado, así como al personal de apoyo en el invernadero donde se realizó la investigación (Guadalupe, Roberto).

Al Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí por su apoyo en mi formación académica, y al personal que labora en el campus (Lidia, Karina, Normita, Lety, Susy y a la M.C. Clarita).

A la M.C. Tita, y su equipo de trabajo del laboratorio COLMERN (Berenice, Jesús, Roberto, Froid).

A mis amistades y compañeros de la maestría en especial a Abraham e Isabel.

A Javier, gracias por tu apoyo en la última etapa de mi investigación, por no dejarme sola en los momentos más difíciles, gracias por la felicidad que me has traído y pese a los obstáculos siempre estás a mi lado.

A la comunidad de Salinas de Hidalgo.

CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Origen del tomate	5
2.1.1 Características botánicas	5
2.1.2 Taxonomía.....	5
2.1.3 Morfología.....	6
2.1.4 Requerimientos ambientales.....	7
2.2 Importancia del tomate	7
2.2.1 Producción mundial de tomate	8
2.2.2 Producción nacional de tomate.....	8
2.2.3 Producción Nacional de tomate en Agricultura Protegida	8
2.3 Salinidad	10
2.3.1 Salinidad en el agua de riego y en los suelos	11
2.3.2 Efecto de la salinidad en la planta	11
2.3.3 Manejo de suelos y aguas con problemas de salinidad.	12
2.3.4 Salinidad en el cultivo de tomate.....	13
2.4 Abonos orgánicos	14
2.4.1 Gallinaza.....	15
2.4.1.1 Calidad de la gallinaza	16
2.4.1.2 Valor de la gallinaza	16
2.5 Azufre elemental (S°).....	16
2.6 Análisis de crecimiento vegetal	17
2.6.1 Índices morfológicos	18
2.6.2 Índices fisiológicos.....	19
2.6.3 Materia seca.....	20
CAPÍTULO III. APLICACIÓN DE MEJORADORES EN SUELO SALINO-SÓDICO Y ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL TOMATE (<i>Solanum lycopersicum L.</i>) EN INVERNADERO	21

3.1	Introducción.....	21
3.2	Materiales y Métodos	22
3.3	Resultados.....	26
3.3.1	Elementos del clima	26
3.3.2	Análisis de suelo después de la cosecha.....	28
3.3.3	Componentes morfológicos durante el desarrollo del cultivo	31
3.3.4	Peso seco total y su distribución en diferentes órganos reproductivos del tomate	34
3.3.5	Coefficientes de partición (materia seca).....	36
3.3.6	Componentes de rendimiento de fruto fresco.....	37
3.4	Discusión	38
3.5	Conclusiones.....	41
	CAPITULO IV. EFECTO DE AZUFRE ELEMENTAL (S^o) Y GALLINAZA SOBRE ÍNDICES FISIOLÓGICOS, MATERIA SECA, NITRÓGENO Y POTASIO EN TOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	43
4.1	Introducción.....	43
4.2	Materiales y métodos	44
4.3	Resultados.....	47
4.3.1	Análisis de suelo y agua previo al trasplante.....	47
4.3.2	Programación de irrigación-fertilización durante el crecimiento y desarrollo del tomate.....	48
4.3.3	Humedad aprovechable y nutrimentos en la solución del suelo.....	49
4.3.4	Análisis de suelo después de la cosecha.....	51
4.3.5	Índices fisiológicos.....	53
4.3.6	Rendimientos de fruto fresco (kg pt ⁻¹) y componentes de rendimiento.....	54
4.3.7	Producción de materia seca, concentración y acumulación de N y K.....	57
4.3.8	Rendimiento total de fruto fresco comercial y acumulado, al final del ciclo	61
4.4	Conclusiones.....	63
	CAPITULO V. DISCUSIÓN GENERAL	65
	CAPITULO VI. LITERATURA CITADA	70

LISTA DE CUADROS

	CAPITULO II	PÁGINA
Cuadro 1	Clasificación taxonómica del tomate	5
Cuadro 2	Producción de tomate en México en 2013	9
CAPITULO III		
Cuadro 3	Análisis químicos del suelo posterior al experimento en Moctezuma, San Luis Potosí	29
Cuadro 4	Análisis químicos del suelo en función de gallinaza del experimento en Moctezuma, San Luis Potosí	30
Cuadro 5	Peso seco de las distintas estructuras de la planta tomate en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 kg ha ⁻¹ (S ₁) y 1500 kg ha ⁻¹ (S ₂).	35
Cuadro 6	Peso fresco de frutos y peso fresco total de la planta tomate en respuesta a los tratamientos de azufre 750 kg ha ⁻¹ (S ₁) y 1500 kg ha ⁻¹ (S ₂).	37
CAPITULO IV		
Cuadro 7	Ecuaciones para el cálculo de los valores índices de crecimiento	46
Cuadro 8	Análisis químicos del suelo posterior al experimento en Moctezuma, San Luis Potosí	52
Cuadro 9	Materia seca total (kg ha ⁻¹), contenido (%) y acumulación de N y K (kg ha ⁻¹) durante el ciclo de tomate, en respuesta a azufre elemental (S ^o)	58
Cuadro 10	Rendimientos medios de fruto fresco comercial (kg pl ⁻¹), rendimiento acumulado (ton ha ⁻¹)	62

LISTA DE FIGURAS

	CAPITULO III	PÁGINA
Figura 1	Comportamiento de la temperatura durante el desarrollo del cultivo en el municipio de Moctezuma, San Luis Potosí.	27
Figura 2	Altura de planta (cm) en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 (S ₁) y 1500 (S ₂) kg ha ⁻¹	31
Figura 3	Diámetro de tallo (cm) y número de hojas pl-1 en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 (S ₁) y 1500 (S ₂) kg ha ⁻¹	32
Figura 4	Área Foliar (cm ²) en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 (S ₁) y 1500 (S ₂) kg ha ⁻¹	33
Figura 5	Índice y Duración de Área Foliar (días) en respuesta a los tratamientos de azufre: : 750 (S ₁) y 1500 (S ₂) kg ha ⁻¹	34
Figura 6	Peso fresco total de la planta de tomate en respuesta a los tratamientos de azufre: : 750 (S ₁) y 1500 (S ₂) kg ha ⁻¹	38
Figura 7	Peso fresco total de frutos por planta de tomate en respuesta a los tratamientos de azufre: : 750 (S ₁) y 1500 (S ₂) kg ha ⁻¹	38
	CAPITULO IV	
Figura 8	Tasa de crecimiento absoluto (g día ⁻¹) y Tasa de asimilación neta (g- cm ⁻² día ⁻¹) en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 (S ₁) y 1500 (S ₂) kg ha ⁻¹	54
Figura 9	Grados Brix de la planta tomate, a los 63 y 83 DDT, en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 kg ha ⁻¹ (S ₁) y 1500 kg ha ⁻¹ (S ₂)	55
Figura 10	Diámetro Ecuatorial y Polar del fruto durante la cosecha del cultivo, en respuesta a los dos tratamientos de azufre: 750 kg ha ⁻¹ (S ₁) y 1500 kg ha ⁻¹ (S ₂)	57
Figura 11	Dinámica de producción de MS total durante el ciclo de tomate, en respuesta a azufre elemental (S ^o)	59
Figura 12	N y K acumulado (kg) durante el ciclo de tomate, en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 kg ha ⁻¹ (S ₁) y 1500 kg ha ⁻¹ (S ₂)	61

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El tomate (*Solanum lycopersicum L.*), es un cultivo importante en el mundo. En México, es cultivado en riego y temporal, bajo diversos suelos y condiciones climáticas; la producción se concentra en cinco entidades del país: Sinaloa (27.4%), Michoacán (7.2%), San Luis Potosí (7.2%), Baja California (7.1%), y Jalisco (5.2%); que representan el 54.1% del total nacional con un rendimiento promedio de 52 toneladas por hectárea (SIAP, 2015). En las últimas décadas, la disminución de los recursos hídricos ha afectado la superficie de producción de tomate, originando también el uso de aguas salinas con propósitos de irrigación, lo que representa riesgo de generar acumulación de sales en la zona radical de las plantas y detrimento en la producción del cultivo y la fertilidad del suelo a largo plazo. Además de lo antes mencionado, también contribuyen a generar salinidad el excesivo empleo de fertilizantes y a malas prácticas de irrigación realizadas por el productor, entre otros (Tanwar, 2003). Situación que se evidencia, después de cinco años de cultivo en suelo en los invernaderos, debido a un mal manejo en el riego, ya que en muchos casos se riega con agua de mala calidad y una inadecuada técnica de riego (Tanwar, 2003). La salinidad es el principal factor abiótico limitante del crecimiento y rendimiento de fruto del cultivo (Parada *et al.*, 2006).

En las regiones áridas, la salinidad del suelo y agua están continuamente incrementándose (Cook *et al.*, 2005). En el mundo existen aproximadamente 397 y 493 millones de has de suelos salinos y sódicos; respectivamente; asimismo, de 230 millones de has irrigadas, 45 millones (19.5%) son suelos agrícolas afectados por sales, mientras que de los 1,500 millones de has de agricultura de temporal, alrededor de 32 millones (2.1%) están afectadas por sales. (Munss, 2005; FAO, 2000). En México cada año, se siembran entre 5 y 6 millones de hectáreas con riego (IMTA, 1997), equivalente al 20% de la superficie total destinada a la agricultura. Específicamente, en las zonas áridas y semiáridas con riego, se estiman alrededor de 1 064 mil has (FAO, 1998) que están afectadas por salinización-alcalinización causando una disminución del rendimiento de los cultivos. Dentro de sus posibles causas están: la precipitación restringida y evaporación alta; el riego excesivo y suelos con drenaje deficiente; y el uso de sistemas de riego que utilizan agua con una alta concentración de sodio, entre otras (SEMARNAT, 2003; INEGI, 1997; Fernández, 1990; Serrato-Sánchez *et al.*, 2002).

Un suelo se considera sódico cuando el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es mayor de 15% y presenta además conductividad eléctrica (C.E.) de 4 dS/m y pH de un rango de 8.5 a 10

(Kochba *et al.*,2004; Mueller *et al.*, 2004; Shukla *et al.*, 2004). El tomate es una especie medianamente sensible a las sales, presenta un umbral respecto al contenido total de sales expresadas como conductividad eléctrica (CE) de 2.5 dS m⁻¹ determinadas en el extracto de saturación del suelo (Chinnusamy *et al.*, 2005). Cuando es cultivado en áreas con problemas de salinidad las plantas presentan diversos efectos: a nivel de raíces, las sales alteran la absorción del agua y el crecimiento de los órganos; en la parte aérea: se presenta una disminución en altura, número de hojas, área foliar, número y peso de frutos y producción (Romero, 2001; Al.Karaki, 2000; Bugarín-Montoya *et al.*, 2002; Martínez, 1992, Goykovic y Saavedra, 2007; SAGAR, 1997).

Actualmente resulta evidente un cambio gradual de producción de campo abierto a producción protegida de diversas tecnologías. En México, en el año 2015 se reporta una superficie de 25 mil hectáreas bajo agricultura protegida (invernaderos, casa o malla sombra, macro túnel y micro túnel), de las cuales 6367 hectáreas corresponden a la modalidad casa o malla sombra; estas son estructuras altas cubiertas con malla o tela tejida de plásticos entramados, que sirven como cubierta protectora (SIAP, 2016). Los rendimientos en condiciones protegidas varían significativamente entre productores, tipos de tomate y estado, oscilando entre 150 y 200 t ha⁻¹ según el nivel tecnología empleada. En el estado de San Luis Potosí en el año 2011 se reportó una superficie de 437 mil hectáreas de tomate bajo casa sombra. Las zonas áridas y semiáridas, del estado de San Luis Potosí representan el 81.8% (51,352 km²) de un total de 62,848 km² (Juárez, *et al.*, 1997; citado por Cardona y Carrillo, 1998); por lo que, la superficie cultivable depende de la factibilidad del riego para producir rentablemente, debido a lo escaso y a lo errático de las lluvias. De ahí que, se necesita hacer más eficiente en el uso del agua que es el insumo más limitante en las zonas áridas y semiáridas del estado. De los sistemas de riego la aplicación localizada presenta las mejores bondades, con eficiencias de hasta 90% en la aplicación, con ahorros hasta de un 50% del agua, con respecto al agua que se utiliza en los sistemas de riego por gravedad, por otra parte la característica del cultivar, del agro sistema y el manejo, determinan la eficiencia con la cual una planta usa el agua; así, en el caso de cultivos como jitomate produce 3.3 kg de fruto por m³ de agua cuando se aplica con riego de gravedad, y en fertigración 12.5 kg de fruto por m³ agua de riego (Castellanos,2000).

En el estado de San Luis Potosí los problemas de salinidad-alcalinidad afectan 6 mil hectáreas (SEMARNAT, 2003), producto de las aguas utilizadas para riego dado que presentan restricción para su uso. Este tipo de aguas es el único recurso hídrico disponible, y aunque la producción no

sea óptima, constituye un valioso ingreso económico para quienes la practican. Específicamente, en los municipios de Villa de Arista, Moctezuma, Villa de Ramos (El Barril), entre otros, se evidencian estos problemas de salinidad en la producción del cultivo de tomate (Cisneros, 2001). La disponibilidad y la calidad del agua en estos municipios del estado, es usualmente el factor más importante que limita producción de tomate y el desarrollo de la agricultura en general. El riego por goteo ha sido utilizado exitosamente en aguas salinas ($CE > 3 \text{ dS/m}$). Mediante este método las plantas pueden tolerar niveles mayores de salinidad, comparado con otros métodos. No obstante, con el riego por goteo se desarrollan altas concentraciones de sales en el frente húmedo y es necesario producir un lavado antes de plantar un nuevo cultivo. Asimismo, durante la década pasada el gobierno federal y estatal, apoyaron a los productores para instalación de sistemas de riego localizado. Sistema de riego, cuya superficie ha crecido notablemente cada año en la región. Sin embargo, la información sobre la respuesta del tomate en rendimiento con riego por goteo es limitada, especialmente en condiciones de baja disponibilidad y mala calidad del agua; de igual forma ha recibido poca atención los estudios sobre uso eficiente de agua en términos de productividad y rentabilidad del tomate desarrollado en suelos salinos-sódicos, mediante la técnica de fertigación.

No obstante, la importancia social y económica del tomate, el uso intensivo del suelo y el no incorporar abonos orgánicos, causan una disminución de su fertilidad y del rendimiento obtenido por el productor en campo. Al respecto, se conoce que la aplicación de abonos orgánicos puede aportar nutrimentos a la planta, así como mejorar la estructura de los suelos salinos, también mejora la actividad microbiana, la capacidad de intercambio catiónico y la capacidad buffer. Sin embargo, aplicados en exceso contribuyen a la contaminación del suelo y las sales tienden a acumularse en el mismo (Wafaa, 2013); por lo que llegan a afectar el crecimiento, el rendimiento y la calidad de los cultivos (Chang *et al.*, 2010 y Marzouka & Kassem, 2011). Específicamente, el estiércol aviar (gallinaza) es efectivo y esencial para establecer y mantener condiciones físicas óptimas para el crecimiento y rendimiento de una planta (Mangila *et al.*, 2007 y Enujeke *et al.*, 2013). Ewulo *et al.*, (2008) y Agbede *et al.*, (2008) reportan que al aplicar gallinaza ($10\text{-}50 \text{ t ha}^{-1}$) se mejoran las propiedades físicas del suelo, al reducir la temperatura y densidad aparente e incrementar la porosidad total del mismo. Ewulo *et al.*, (2008) también reporta que altas cantidades de gallinaza mejoran la disponibilidad de agua que resulta en una mayor liberación de nutrimentos para un mejor crecimiento y rendimiento de una planta. Agbede *et al.*, (2008), señala que la gallinaza

incrementó la altura de la planta, diámetro del tallo, número de raíces, peso de grano y planta, en sorgo. Los suelos afectados por sales contrarrestan los efectos nocivos del sodio sobre el suelo y del cultivo, además constituye la fuente de energía para los microorganismos lo que induce en la formación de agregados estables. En resumen, el abono orgánico es un componente esencial para la rehabilitación intensiva de los suelos áridos y semiáridos, ya que proporciona efectos favorables en las propiedades físicas, químicas, microbiológicas y morfológicas del suelo. La composición nutrimental de la gallinaza oscila entre 1.0-1.8% N, 0.4-0.8% P y 0.5-1.9% K (DIPA, 2006).

Por varios años, el azufre elemental (S°) ha sido utilizado para la recuperación y mejoramiento de suelos salinos y alcalinos que contiene excesos de sodio; y en el tratamiento de cierta agua de riego. El exceso de sodio afecta la estructura, aireación y permeabilidad del suelo, lo que interfiere en el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Se han propuesto diferentes métodos para disminuir el pH de los suelos alcalinos. Siendo una alternativa la adición de azufre elemental (S°); además el azufre es uno de los elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Wafaa, 2013). Para ello el S elemental debe ser primeramente oxidado a sulfato por los microorganismos del suelo, para su posterior absorción por la planta. La oxidación del S elemental es baja, principalmente bajo el sistema de riego por goteo, por lo que este método puede ser de valor limitado. Su oxidación se incrementa a temperaturas más altas del suelo, en suelos húmedos, a pH más altos y con altas cantidades de materia orgánica.

Se conoce también que el crecimiento de un cultivo está influenciado por factores como el clima, suelo, nutrición, entre otros (Naresh y Singh, 2001). El análisis de crecimiento usa medidas directas como el peso de la materia seca, que depende del tamaño, actividad y duración del área foliar (Tekalign y Hammes, 2005), para explicar el comportamiento de un cultivar en términos de rendimiento de materia seca y rendimiento del producto (Woo *et al.*, 2004).

Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de azufre elemental (S°) y gallinaza como mejorador de un suelo salino-sódico sobre la acumulación y distribución de materia seca, nutrimental (N y K) e índices morfológicos y fisiológicos del cultivo de tomate, mediante la técnica de fertigación utilizando agua de riego de mala calidad y riego por goteo, bajo invernadero tipo casa sombra.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen del tomate

El tomate es originario de Sudamérica, (Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú), en estos países se encuentra una gran diversidad genética y abundancia de tipos silvestres (Rodríguez *et al.*, 2001). Jenkis, (1948) propuso a México como origen de la domesticación del tomate; debido a la evidencia de la diversidad de tipos cultivados, así como los usos culinarios y la abundancia de los nombres nativos del fruto (ORTEGA, 2011)

2.1.1 Características botánicas

El tomate pertenece a la familia de las solanáceas, es una planta perenne, ya que es muy sensible a las heladas su ciclo anual se determina según la variedad (Rodríguez *et al.*, 2001; ORTEGA, 2010).

2.1.2 Taxonomía

La clasificación taxonómica (Cuadro 1) generalmente aceptada según Hunziker (1979)

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del tomate.

<i>Clase:</i>	Dicotyledoneas
<i>Orden:</i>	<i>Solanales (personatae)</i>
<i>Familia:</i>	<i>Solanaceae</i>
	Subfamilia: <i>Solanoidea</i>
	Tribu: <i>Solaneae</i>
	Género: <i>Solanum</i>
	Especie: <i>lycopersicum</i>

2.1.3 Morfología

- **Raíz:** pivotante, con raíces secundarias y adventicias que pueden llegar a profundizar hasta 1.5 m (Rodríguez *et al.*, 2001). Alrededor del 75% de las raíces se encuentran en los primeros 45 cm superiores del suelo (Rodríguez *et al.*, 2001).
- **Tallo:** presenta alrededor de 4 cm de diámetro en la base y cubierto con pelos glandulares y no glandulares; el tallo puede llegar a tener una longitud de 2.5 metros (Rodríguez *et al.*, 2001); el tallo principal forma de 6 a 12 hojas. Si el tallo principal crece de forma continua con inflorescencias internodales laterales cada 3 hojas, cuando este proceso se repite indefinidamente son cultivares de tipo indeterminados (son recomendados para los invernaderos); los cultivares de tipo determinados tienen un crecimiento limitados que pueden extenderse unos 2 m (Nuez, 2001)
- **Hoja:** compuesta e imparipinnada, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo. Los bordes de las hojas son dentados, presenta un haz de color verde en el envés color grisáceo (Garza, 1985).
- **Flor:** es regular e hipógina y consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo. La flor forma inflorescencias que pueden ser de cuatro tipos; racimo simple, cima unípura, cima bípara y cima múltipara, se pueden presentar hasta 50 flores por inflorescencia (Rodríguez *et al.*, 2001)
- **Fruto:** es una baya que puede ser de color amarillo, rosado o rojo, esto se debe a la presencia del licopeno y caroteno en distintas variables y proporciones. Su forma puede ser redonda, achatada, en forma de pera, su superficie lisa o asurcada, debido a la variedad. Puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos gramos y 600 gramos (INFOAGRO, 2009).
- **Semilla:** es de forma lenticular con dimensiones de 5 x 4 x 2 mm aproximadamente, se encuentra constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal (Castellanos y Borbón, 2009)

2.1.4 Requerimientos ambientales

Los factores ambientales influyen en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas, debido a que afectan su fisiología. En la producción de cultivos, otros factores que se deben tomar en cuenta son los económicos, técnicos y fitopatológicos; el hábitat es la combinación de los efectos del clima, suelo y factores bióticos (Wien, 1997).

- **Temperatura:** El tomate es una planta de clima cálido que no tolera heladas. La temperatura óptima en el ambiente de la raíz es de 12 a 16°C. Para un buen desarrollo del cultivo se requiere de 15 a 18°C en la noche; 24 a 25 °C en el día; 21°C en floración, 22 a 23°C en el desarrollo vegetativo y con 12 °C se detiene el desarrollo vegetativo (Valdez *et al.*, 2015). Para la formación adecuada de los frutos y un buen proceso de fecundación se recomienda una temperatura diurna de 22 a 30 °C. Para la formación de licopeno la temperatura óptima es la que coincide con el óptimo para el crecimiento o un poco menor (Duggar, 1913).
- **Humedad:** La humedad relativa tiene una influencia positiva sobre el crecimiento de las plantas, en el caso del tomate el valor óptimo oscila entre 60 y 80 %. Con humedad superior al 80 % se incrementa la incidencia de enfermedades en la parte aérea de la planta y puede ocasionar, además, el agrietamiento de los frutos o dificultades en la polinización ya que el polen se apelmaza (Martínez y García, 1993).
- **Luminosidad:** El tomate necesita de condiciones de muy buena luminosidad, de lo contrario los procesos de crecimiento, desarrollo, floración, polinización y maduración de los frutos pueden verse afectados (INFOAGRO, 2009).

2.2 Importancia del tomate

El tomate es una de las hortalizas más cultivadas a nivel mundial por su alto contenido de vitaminas y minerales (Mondragón, 2005); y una de las más demandadas por la población (Ezquivel, 2001). En 2012, fue la segunda hortaliza en el mundo, en cuanto a producción se refiere (FAO, 2015). En los últimos cinco años, la comercialización de esta hortaliza ha crecido 8% anual, rematando con 2.4 millones de toneladas en el año 2007 (FAS/USDA, 2008).

2.2.1 Producción mundial de tomate

Durante el período de 2005 a 2012 los países principales productores de tomate fueron China, Estados Unidos, Turquía, India, Egipto, Italia, Irán, España, Brasil y México; en conjunto aportan alrededor del 70 % de la producción total de tomate tanto para consumo en fresco como para la industria (FAO 2003; FIRA 2010). China es por mucho el país que más produce tomate, sin embargo, no es un país exportador (FAO. 2015). México ocupa el décimo lugar con una producción alrededor de 3 millones de toneladas, cuya producción no ha variado mucho desde 2005 (FAO, 2015).

2.2.2 Producción nacional de tomate

El tomate es el octavo cultivo con mayor valor en México, las principales variedades son saladette y bola (SE, 2014). En México se consume fresco o procesado (FAO, 2003); en 2011 se obtuvo una producción de fruto de tomate de 1 millón 872 mil 482 toneladas con un valor de la producción superior a 10 mil mdp, con un rendimiento promedio por hectárea de 41.67 toneladas (SIAP, 2012), con lo cual se satisface la demanda nacional, y parte del mercado internacional, en particular el de Estados Unidos de Norteamérica. Por lo que el jitomate se considera la segunda hortaliza más importante después de la papa; es también el principal producto hortícola de exportación, que representa el 24 % de valor total de las exportaciones de frutas y hortalizas y el 10% del valor total de las exportaciones agropecuarias; de aquí que su cultivo tenga influencia en la economía, desarrollo tecnológico y social de la población (FAO, 2015). En México durante 2013 se sembraron 48 mil 234 hectáreas, de las cuales se cosecharon 47 mil 099 hectáreas, en riego y temporal (SIAP, 2012), de igual manera en distintos sistemas de cultivo, campo abierto o agricultura protegida.

2.2.3 Producción Nacional de tomate en Agricultura Protegida

En México la agricultura protegida se ha desarrollado bajo condiciones muy heterogéneas; la superficie en la que se desarrolla la agricultura protegida registró un crecimiento de 43% desde 2010 a 2016, según datos de la Asociación Mexicana de Horticultura Protegida A.C. (AMHPAC, 2012). De los 195 millones de hectáreas con que cuenta, 30.2 millones están destinadas para la producción agrícola y 12540.1 ha son de agricultura protegida (FIRA, 2009). Los principales

Estados con agricultura protegida son: Sinaloa, Baja California Norte, Estado de México y Jalisco (SAGARPA, 2008).

Con base a datos de la Asociación Mexicana de Horticultura Protegida A.C. (AMHPAC, 2012) la superficie de invernadero en el país sigue creciendo, el tomate en invernadero representa el 8% y 12% del volumen total de esta hortaliza con aproximadamente 3200 ha, distribuidas en todo el país (Cook, 2007; FAS/USDA, 2009) donde los rendimientos varían de 150 a 200 t ha⁻¹, dependiendo del nivel tecnológico de producción.

En 2013 la producción de tomate cosechada en México fue de 2694 421.39 toneladas (SIAP, 2015; SAGARPA, 2014), como se observa en el cuadro 2. Los principales tipos de tomate cultivados son saladette, bola y cherry, los mayores rendimientos se obtuvieron para cultivos en invernadero con 173.91 mg ha⁻¹ y jitomate saladette bajo invernadero de tipo malla o casa sombra con 103.93 mg ha⁻¹, sin embargo, la mayoría de los sistemas de producción aportan bajos rendimientos, lo cual indica que es necesario el uso de mejores tecnologías como el uso de invernaderos de alta tecnología, sin embargo para tener una mejor producción de tomate son indispensables el conocimiento y la aplicación de tecnologías para obtener mejores rendimientos.

Cuadro 2. Producción de tomate en México en 2013 (Adaptada con datos de SIAP, SAGARPA, 2014).

Tipo/Variiedad	Superficie sembrada, ha ⁻¹	Superficie cosechada, ha ⁻¹	Producción, mg	Rendimiento, mg ha ⁻¹
Bola	1 886.5	1 796.5	59 381.7	33.1
Bola invernadero	1 631.3	1 631.3	237 076.0	145.3
Bola malla sombra	1 170.5	1 170.5	100 378.0	85.8
Cherry	449.9	401.9	10 485.6	26.1
Cherry invernadero exportación	10.0	10.0	97.0	97.0

Cherry invernadero	42.0	42.0	1 596.0	38.0
Cherry malla sombra	26.5	26.5	1 813.0	68.4
Cherry orgánico	317.5	302.5	5 898.4	19.5
Exportación	599.84	599.84	35637.3	59.4
Industrial	20.0	20.0	480.0	24.0
Invernadero	3606.11	3583.3	623 156.3	173.9
Invernadero exportación	578.3	578.3	75 483.7	130.5
Malla sombra	360.9	360.9	43 693.5	121.1
Malla sombra exportación	1 545.50	1 545.5	130 081.3	84.2
Orgánico	280.7	280.7	11 954.0	42.6
Saladette	32 631.2	31 729.5	1 0270760.8	32.4
Saladette invernadero	1 732.17	1 732.0	223 523.9	129.1
Saladette malla sombra	940.5	940.54	97 753.9	103.9
Jitomate semilla	12.0	12.0	63.2	5.3
Total	48 246.0	47 111.4	2 694 421.4	1 420.0

2.3 Salinidad

En el mundo, la salinidad en los suelos es cada vez más común, con efectos en la producción de los cultivos, la superficie de los suelos salinos en el mundo varía de 400 a 950 millones de hectáreas, México y Centro América tienen una superficie de 0.24 millones de hectáreas con fuerte salinidad 1.72 millones de hectáreas con moderada salinidad, sumando un total de 1.96 millones de hectáreas (Cisneros, 2001). La recuperación de suelos, el drenaje y el control del agua de riego puede minimizar los problemas ocasionados por la salinidad; sin embargo, los costos de manejo e

ingeniería son altos, los incrementos en los costos de agua y energía acentúan la necesidad de nuevas estrategias (Cisneros, 2001).

2.3.1 Salinidad en el agua de riego y en los suelos

La calidad del agua para la agricultura está determinada por la concentración y composición de sus constituyentes disueltos. Ayers y Wescot (1985) mencionan que las sales que contribuyen a la salinidad del agua son solubles en agua y son transportados por la misma, consideran cuatro aspectos para evaluar los problemas relacionados con la calidad del agua y su aplicación en el riego agrícola: salinidad, velocidad de infiltración, toxicidad de iones específicos y problemas misceláneos; la combinación de estos problemas puede afectar severamente los rendimientos de los cultivos. El control de la salinidad es el principal objetivo del manejo del agua de riego, pero el objetivo primario es mantener el potencial mátrico del suelo en un intervalo en el que se obtengan rendimientos máximos de los cultivos; estos objetivos están relacionados ya que la salinidad constituye una amenaza en áreas donde el agua de riego contiene cantidades importantes de sales disueltas (Cisneros, 2001)

La acumulación de sales en el suelo está relacionada con el relieve, geomorfología y condiciones hidrogeológicas. Ortega (1983), menciona que para la comprensión de los procesos de acumulación de sales se debe considerar: 1) Concentración crítica de las aguas freáticas; 2) Profundidad crítica de las aguas freáticas mineralizadas; 3) Inicio de la toxicidad fisiológica de las sales; 4) Concentración óptima de las sales en las soluciones de los suelos; 5) Cantidades tóxicas de sodio intercambiable; y 6) Efecto del exceso de sales en las plantas.

Aguilera y Martínez (1986) mencionan que para saber si el agua se puede utilizar con fines de riego, debe tomarse en cuenta la composición química de ésta, la tolerancia de los cultivos a las sales, las propiedades físicas y químicas de suelos, las prácticas de manejo de suelos, aguas y cultivo, las condiciones meteorológicas, el método de riego y las condiciones de drenaje interno y superficial del suelo

2.3.2 Efecto de la salinidad en la planta

El efecto que producen las sales en los sistemas vegetativos va a depender de las características fisiológicas y genéticas. Los efectos de la salinidad son (Mengel y Kirkby, 1982; Marschner, 1986, FAO, 1988; Landis, 1989):

- Estrés total, por reducción de la disponibilidad de agua.
- Toxicidad por iones específicos.
- Alteración de la disponibilidad de nutrimentos minerales por antagonismos entre iones

El estrés por sales proviene de una excesiva cantidad de sales en el área radical (Luttge y Smith, 1984; Marchner, 1986). Las sales disueltas en la solución del suelo afectan a las plantas por dos mecanismos: aumento en la presión osmótica y por su efecto tóxico (Cisneros, 2001). En general, las plantas no responden a la salinidad de manera similar; esto se debe a que algunas especies tienen mayor capacidad para realizar ajustes osmóticos y extraer más agua de los suelos salinos, (Cisneros, 2001). En ciertos casos los síntomas de la planta expuesta a un estrés por sales pueden presentarse de forma parecida al estrés por sequía, así como la marchitez, las hojas se vuelven cerosas, el color de la planta se torna azul verdoso y a veces más denso (Ayers y Wescot, 1985). La influencia predominante de la salinidad sobre las plantas es la supresión del crecimiento, en la medida en que se incrementa la salinidad se incrementa la supresión en el crecimiento hasta que las plantas mueren (Hoffman *et al.*, 1983).

Los problemas de toxicidad ocurren si los iones presentes en el suelo o en el agua son absorbidos por la planta y se acumulan en concentraciones suficientes para causar daño a los cultivos o para reducir los rendimientos. Los daños por toxicidad resultan cuando los iones potencialmente tóxicos son absorbidos en cantidades significativas en el agua de absorción radical. Los iones absorbidos son transportados hacia las hojas donde se acumulan durante la transpiración. El daño dependerá del tiempo de exposición, de la concentración del ion tóxico, de la sensibilidad del cultivo y del volumen de agua transpirada por el cultivo. Al parecer la toxicidad de las sales no es debida al efecto directo de los iones, sino a que estos inducen alteraciones en el metabolismo ocasionando la acumulación.

2.3.3 Manejo de suelos y aguas con problemas de salinidad.

La tolerancia a las sales de un cultivo se puede evaluar de acuerdo a tres criterios (Riverside 1962):

- La capacidad del cultivo para sobrevivir en suelos salinos.
- El rendimiento del cultivo en suelos salinos.

- El rendimiento del cultivo en un suelo salino, en comparación con los obtenidos en un suelo no salino bajo condiciones similares.

El control de la salinidad se logra con un adecuado manejo del riego y con lavados del suelo; la reducción del daño en todo el cultivo se logra con el uso de métodos y diseños adecuados de siembra; y la reducción del daño de la planta se logra con el uso de diferentes concentraciones de CO₂, diferente fertilización y mejoras en los métodos de aplicar el agua de riego, de acuerdo con cada etapa de su desarrollo (Meiri y Plau, 1985).

2.3.4 Salinidad en el cultivo de tomate.

El tomate cuando se cultiva en suelos salinos no se encuentra ajeno a una disminución de los rendimientos (Chinnusamy *et al.*, 2005). El cultivo del tomate en áreas con problemas de salinidad provoca en las plantas un sinnúmero de efectos fisiológicos, morfológicos y bioquímicos, tales como disminución de la fotosíntesis (Singh y Chatrath, 2001a), menor peso de los frutos (Del Rosario *et al.*, 1990; Pérez-Alfocea *et al.*, 1996) y cambios cuantitativos y cualitativos en la síntesis de proteínas por cambios en la expresión de genes a causa de la salinidad, entre otros (Singh y Chatrath, 2001b).

Al examinar los efectos de las sales en la germinación y órganos de las plantas de tomates, la gran mayoría son adversos, pocos presentan un carácter positivo. A nivel de germinación, a medida que aumenta la concentración de sales en el medio, el porcentaje de germinación disminuye y el periodo en que este proceso se lleva a cabo se prolonga (Singer-Sm, 1994; El-Habbasha *et al.*, 1996; Foolad y Lin, 1997; Cuartero y Fernández-Muñoz, 1999).

A nivel de raíces, las sales alteran la absorción de agua afectando el crecimiento de estos órganos; también actúan produciendo efectos tóxicos. La magnitud de las respuestas de las plantas se encuentra estrechamente relacionada a la concentración de las sales, a la duración del estrés a que están expuestas y a la especie o cultivar que se trate (Cisneros, 2001). La parte aérea de las plantas de tomates igualmente es afectada por la salinidad: las plantas alcanzan una menor altura, las hojas se presentan en menor número y a la vez manifiestan una disminución en su densidad estomática en la cara adaxial (Romero, 2001), presentan clorosis y necrosis principalmente en los bordes de las hojas. El área foliar también disminuye (Al-Karaki, 2000; Romero, 2001). Los frutos se afectan adversamente en su rendimiento (Faiz *et al.*, 1994; Pérez-Alfocea, 1996; Grainferberg *et al.*, 2000; Carvajal *et al.*, 2006), pero positivamente en cuanto a algunos atributos organolépticos

y/o de interés para la agroindustria, puesto que presentan un mayor contenido de compuestos solubles, sólidos totales, acidez titulable y carotenoides.

Para atenuar el efecto adverso de las sales en el rendimiento del cultivo del tomate existe una serie de prácticas agronómicas posibles de implementar, tales como el lavado de los suelos, su micro nivelación, mejoramiento del drenaje (FAO, 1994), inoculación con micorrizas (Copeman *et al.*, 1996; Al-Karaki y Hammad, 2001; Martínez *et al.*, 2004), aplicación de una fertilización potásica (Satti-Sme *et al.*, 1994), injerto sobre patrones tolerantes (Rivero *et al.*, 2003; Estañ *et al.*, 2005), y uso de mantillo (Munns *et al.*, 2005), entre otras.

2.4 Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos se han recomendado para los suelos sometidos a un cultivo intenso; para mejorar la estructura del suelo, aumentar la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (López *et al.*, 2001). Durante la Revolución Verde en México, la práctica general sobre la fertilización al suelo se concentraba en aplicar fertilizantes químicos de nitrógeno y fósforo, marginando a los abonos orgánicos, que fueron la base y sustento de la agricultura por siglos (Arredondo, 1996).

Los abonos orgánicos se han usado desde tiempos remotos y se ha demostrado su influencia sobre la fertilidad de los suelos, aunque su composición química, el aporte de nutrimentos a los cultivos y su efecto en el suelo varían según su procedencia, antigüedad, manejo y contenido de humedad (Romero *et al.*, 2000). Además, el valor de la materia orgánica debido a lo que contiene ofrece grandes ventajas que difícilmente pueden lograrse con los fertilizantes inorgánicos (Castellanos, 1986).

En la actualidad, la estructura del suelo es el factor principal que condiciona la fertilidad y productividad de los suelos agrícolas; someter el terreno a un intenso laboreo y compresión mecánica tiende a deteriorar la estructura. Los abonos orgánicos (estiércoles, compostas y residuos de cosecha) se han recomendado en aquellas tierras sometidas a cultivo intenso para mantener y mejorar la estructura del suelo, aumentar la capacidad de retención de humedad y facilitar la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (Castellanos *et al.*, 2000).

2.4.1 Gallinaza

El excremento de gallinas (*Gallus domesticus*) de granja contiene más nutrientes para la planta que cualquier otro estiércol, sin embargo, requiere un manejo eficaz para que no pierda rápidamente el nitrógeno. Varias razones explican la insignificante utilización de gallinaza, entre otras, la falta de información acerca de su valor como abono y los cuidados que necesita, el desconocimiento de cómo y cuándo utilizarlo (Agricultura de las Américas, 1965). Actualmente, algunos granjeros están considerando la posibilidad de comercializar la gallinaza ya que la demanda de este estiércol está incrementándose.

La producción avícola intensiva, genera desperdicios con alto contenido de nutrientes y material orgánico, que causan la contaminación de suelos y aguas, emiten olores desagradables y altas concentraciones de gases, además de propiciar la proliferación de vectores y microorganismos patógenos; todo ello con un impacto negativo en el medio ambiente.

Dentro de los diferentes sistemas de producción avícola, se debe contemplar un plan de manejo adecuado de los desechos, para que, en vez de generar contaminación ambiental, se conviertan en una fuente de ingresos, que permita a los productores avícolas contemplar la posibilidad de buscar alternativas económicas para el uso y manejo eficiente de la gallinaza.

La gallinaza se utiliza tradicionalmente como abono, su composición depende principalmente de la dieta y del sistema de alojamiento de las aves. La gallinaza obtenida de explotaciones en piso, se compone de una mezcla de deyecciones y de un material absorbente que puede ser viruta, pasto seco, cascarillas, entre otros y este material se conoce con el nombre de cama; esta mezcla permanece en el galpón durante todo el ciclo productivo. La gallinaza obtenida de las explotaciones de jaula, resulta de las deyecciones, plumas, residuo de alimento y huevos rotos, que caen al piso y se mezclan. Este tipo de gallinaza tiene un alto contenido de humedad y altos niveles de nitrógeno, que se volatiliza rápidamente, creando malos y fuertes olores, perdiendo calidad como fertilizante. Para solucionar este problema es necesario someter la gallinaza a secado, que además facilita su manejo. Al ser deshidratada, se produce un proceso de fermentación aeróbica que genera nitrógeno orgánico, siendo mucho más estable.

2.4.1.1 Calidad de la gallinaza

La calidad de la gallinaza está determinada principalmente por: el tipo de alimento, la edad del ave, la cantidad de alimento desperdiciado, la cantidad de plumas, la temperatura ambiente y la ventilación del galpón. También son muy importantes el tiempo de permanencia en la granja avícola (una conservación prolongada en el gallinero), con desprendimiento abundante de olores amoniacales, reduce considerablemente su contenido de nitrógeno y, finalmente, el tratamiento que se le haya dado a la gallinaza durante el secado.

2.4.1.2 Valor de la gallinaza

La gallinaza seca posee una mayor concentración de nutrientes, este valor depende del tiempo y rapidez del secado, así como de la composición de N, P (P_2O_5), K (K_2O). Esto tiene especial relevancia en el caso del nitrógeno y el fósforo ya que, aparte de su valor como abono, en muchas ocasiones, con una excesiva densidad animal en el área, estos elementos se consideran contaminantes del suelo.

2.5 Azufre elemental (S^0)

Para mejorar la disponibilidad de nutrientes e incrementar su nivel productivo en los suelos alcalinos se aplican materiales de naturaleza acidificante, como es el caso del azufre elemental (S^0). El azufre al ser aplicado al suelo está sujeto a una oxidación microbiana, a través de la cual se transforma a sulfato en condiciones aeróbicas, lo que conduce a una disminución del pH del suelo (Brady, 1990; Deng y Dick, 1990; Miyamoto, 1998). Los microorganismos que intervienen en el proceso de oxidación del azufre son principalmente del género *Thiobacillus*, siendo *Thiobacillus thiooxidans* la especie más importante (Chapman, 1990; Miyamoto, 1998). Sin embargo, otros autores señalan que las bacterias heterotróficas y autotróficas facultativas del suelo, pueden ser de mayor relevancia, debido a que se encuentran en mayor cantidad que el género *Thiobacillus* (Miyamoto, 1998). También, sugieren que el segundo género es importante en la oxidación del azufre sólo a pH ácido, y que las heterotróficas son las principales en suelos neutros a alcalinos (Miyamoto, 1998).

Existen además de los microorganismos del suelo, factores físicos que influyen en 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). La temperatura que debe tener el suelo para la oxidación del azufre se encuentra en el rango de 4 a 45°C, con un rango óptimo entre los 25 y 40°C para la mayoría de ellos (Deng y Dick, 1990; Miyamoto, 1998). Se ha demostrado que, con potenciales de agua cercanos a capacidad de campo, la oxidación del azufre procede más rápidamente (Miyamoto, 1998), con un menor contenido de agua, la actividad microbiana se ve limitada y se reduce la accesibilidad de las partículas de azufre, que es altamente hidrofóbico.

Por el contrario, con un contenido alto de humedad, la oxidación está limitada posiblemente por una reducción de la aireación del suelo. Por otra parte, la tasa de oxidación del azufre mineral se incrementa con una disminución del diámetro de la partícula, siendo mayor cuando éstas presentan un tamaño menor a 0.14 mm, es decir cuando pasan la malla de 100. Además, la oxidación del azufre es una reacción exclusivamente superficial y las moléculas del exterior de las partículas están expuestas a una mayor actividad química y biológica. Consecuentemente, la cantidad de sulfato producido por unidad de tiempo es una función total del área superficial del azufre y no de su masa.

2.6 Análisis de crecimiento vegetal

El crecimiento vegetal es la transformación en tamaño y forma de la planta, esto se debe a la interacción de procesos internos y factores externos. Los procesos internos son: la fotosíntesis, la respiración, división celular, elongación y diferenciación y los factores externos: temperatura, intensidad de luz, densidad de población, calidad de semilla, disponibilidad de agua y nutrientes; (Hunt, 1978, Taiz y Zeiger, 2006).

El análisis de crecimiento permite evaluar los cambios que ocurren durante el crecimiento del cultivar, medir la asignación de materia seca, estimar la eficiencia de la planta y de sus órganos, y evaluar respuestas frente a cambios en el ambiente (Patrón, 1992). El número de muestras y la frecuencia de los nuestros dependen de las características de la planta, de los objetivos del estudio y de los recursos disponibles; en forma general, se determina el área foliar, peso seco total y e órganos de interés en varias fechas (Patrón, 1992).

El análisis de crecimiento utiliza medidas directas como el peso de la materia seca, que depende del tamaño, actividad y duración del área foliar (Tekalign y Hammes, 2005). Con los datos obtenidos se puede establecer el patrón de crecimiento de la planta, que se describe mediante la curva sigmoidea, en la que se observan las fases logarítmicas, lineal y de senescencia. Además, en ésta se pueden marcar las etapas fenológicas de la planta. Así mismo, se puede realizar análisis mediante el método de regresión, el cual será válido dentro del intervalo de datos que se tenga (Radford, 1967; Escalante y Kohashi, 2015).

Con la información obtenida se puede determinar la viabilidad de una especie en diferentes hábitats, la compatibilidad entre especies, las diferencias genéticas en la capacidad productiva; así como conocer el efecto de tratamientos agrícolas sobre el crecimiento y la producción de los cultivos (Escalante y Kohashi, 2015).

2.6.1 Índices morfológicos

Los cambios en los componentes morfológicos son los que afectan de manera directa el rendimiento; algunos componentes morfológicos son número de flores, número de frutos, número de racimos, número de ramas, por mencionar algunos; en cambio los componentes fisiológicos ocasionan cambios en los componentes morfológicos y por lo tanto en el rendimiento, algunos de estos componentes son (en este caso se hace una breve descripción de cada uno de ellos, ya que son los que se analizarán):

- **Número de hojas:** en cierta fecha de muestreo se contabilizan las hojas verdes, ya que en estas hojas ocurre la actividad fotosintética,
- **Área foliar:** se utiliza para denotar la magnitud de la maquinaria fotosintética, ya que se considera como la principal fuente de fotosintatos para satisfacer la demanda ejercida por los órganos vegetativos y reproductivos de crecimiento
- **Índice de área foliar (IAF):** este índice representa el área foliar de las plantas que ocupan una determinada superficie de terreno, es decir, el área foliar por unidad de área sembrada, este índice es adimensional ya que las unidades de área son las mismas para el follaje y para la superficie de terreno que ocupa el cultivo
- **Duración de área foliar (DAF):** la DAF puede ser útil como un criterio para definir el grado de eficiencia en la producción de materia seca de variedades (Escalante y Kohashi, 2015).

2.6.2 Índices fisiológicos

El crecimiento vegetal también se puede analizar mediante índices de eficiencia fisiológica o funciones de crecimiento, aunque al calcularlos en forma tradicional necesariamente incluyen el efecto de las variables ambientales controladas o incontroladas. Entre estos índices está la tasa relativa de crecimiento, la tasa de asimilación neta, el índice de área foliar y la duración de ésta, que se pueden calcular con los datos periódicos de la biomasa total o de algunos órganos del área foliar de la planta (Escalante, 2016).

En análisis mediante funciones del crecimiento se puede realizar en plantas individuales y en comunidades vegetales. En plantas individuales se utiliza la tasa absoluta de crecimiento (TAC), la tasa relativa del crecimiento (TCR), la tasa de asimilación neta (TAN). Para el análisis de comunidades, se utiliza el índice de área foliar (IAF), la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y la duración del área foliar (DAF); sin embargo, no existe razón por la cual no se pueda utilizar en el análisis de comunidades, los índices utilizados en el análisis de plantas individuales (Escalante, 2016).

- **Tasa absoluta de crecimiento (TAC):** El peso seco por unidad de área o por individuo de cualquier cultivo y especie, en función del tiempo, expresada en $\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, adopta por lo común una forma sigmoidea y la diferencia entre dos puntos consecutivos de cualquier serie proporciona la tasa de crecimiento en ese período. (Milthorpe y Moorby, 1982).
- **Tasa relativa de crecimiento (TRC):** El crecimiento ya efectuado, contribuye al nuevo, por lo que el índice apropiado a utilizar es la tasa relativa de crecimiento (TCR), que representa el incremento en peso seco por unidad de peso seco presente por unidad de tiempo (Milthorpe y Moorby, 1982; Hunt, 1978; Radford, 1967), generalmente se expresa en $\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y se debe calcular para un intervalo de tiempo, que corresponde a la sección específica de una curva que resulta de graficar el peso seco contra el tiempo.
- **Tasa de asimilación neta (TAN):** La tasa de asimilación neta (TAN) se refiere al aumento en peso seco por unidad de área foliar por unidad de tiempo en $\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ (Hunt, 1982; Radford, 1967; Watson, 1952) y es una medida indirecta de la fotosíntesis.
- **Tasa de crecimiento del cultivo (TCC).** La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) es un simple pero importante índice de productividad en agricultura, que significa la tasa de producción de biomasa por unidad de área de suelo en un periodo determinado y se expresa en $\text{g m}^2 \text{ día}^{-1}$.

2.6.3 Materia seca

Para calcular la demanda total del cultivo, Galvis *et al.*, (1994) sugirieron hacerlo a través de la meta de rendimiento de materia seca total y el requerimiento interno del nutrimento de interés. Aunque esto se ha validado exitosamente (Rodríguez *et al.*, 2001), este procedimiento no permite conocer la demanda parcial durante un periodo determinado del ciclo de crecimiento y desarrollo del cultivo. La distribución de la materia seca entre varias partes de la planta se ha descrito como un equilibrio funcional (Brouwer, 1962) o como funciones de distribución dependientes del tiempo o estado de desarrollo (Heuvelink *et al.*, 2005); esto ha facilitado predecir de manera razonable la producción de materia seca a lo largo del ciclo de crecimiento en cultivos de crecimiento determinado, como maíz y trigo. Sin embargo, en plantas de crecimiento indeterminado como tomate, pepino y pimiento morrón es necesario considerar otros factores ya que la dinámica de acumulación de materia seca es diferente (De Koning, 1989).

CAPÍTULO III. APLICACIÓN DE MEJORADORES EN SUELO SALINO-SÓDICO Y ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL TOMATE (*Solanum lycopersicum L.*) EN INVERNADERO

3.1 Introducción

En las zonas áridas y semiáridas con riego en el mundo, se estiman alrededor de 1 064 mil has (FAO, 1998) que están afectadas por salinización-alcalinización, principal factor abiótico limitante del crecimiento y rendimiento de fruto del cultivo (Parada *et al.*, 2006).

La adición de S elemental (S^0), ha sido utilizada para disminuir el pH (Miyamoto, 1998) y la recuperación y mejoramiento de suelos salinos y alcalinos con excesos de sodio que afecta la estructura, aireación y permeabilidad del suelo. Este problema afecta el cultivo en diverso grado dependiendo de la especie de planta y del grado de alcalinización (Porta *et al.*, 1994). El pH alcalino influye indirectamente en el crecimiento de la planta a través de su efecto en la disponibilidad de nutrimentos para los cultivos como es el fósforo, Fe y Zn entre otros (Tan, 1993). Además, el azufre es uno de los elementos esenciales necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Woo *et al.*, 2004). Para ser absorbido por las raíces de las plantas, el S elemental (S^0) debe ser primeramente oxidado a sulfato por los microorganismos del suelo. Sin embargo, la oxidación del S elemental es baja, principalmente bajo el sistema de riego por goteo, debido a los bajos volúmenes de agua que se utilizan en comparación con el riego tradicional, por lo que este método puede ser de valor limitado. Su oxidación se incrementa a temperaturas más altas del suelo, en suelos húmedos, a pH más altos y con altas cantidades de materia orgánica. Se ha demostrado que, con potenciales de agua cercanos a capacidad de campo, la oxidación del azufre procede más rápidamente (Miyamoto, 1998).

Otra práctica estudiada en los suelos salinos-sódicos es la aplicación de gallinaza. Ewulo *et al.*, 2008 y Agbede *et al.*, 2008 reportaron que al aplicar gallinaza (10-50 ton ha⁻¹) se mejoran en las propiedades físicas del suelo, al reducir la temperatura y densidad aparente e incrementar la porosidad total del mismo. Altas cantidades de gallinaza mejoran la disponibilidad de agua y nutrimentos para un mejor crecimiento y rendimiento de una planta (Ewulo *et al.*, 2008); neutraliza también los efectos nocivos del sodio sobre el suelo y del cultivo, y constituye la fuente de energía

para los microorganismos lo que induce en la formación de agregados estables (Agbede *et al.*, 2008).

La planta de tomate es medianamente sensible a las sales, presenta un umbral respecto al contenido total de sales expresadas como conductividad eléctrica (C.E.) de 2.5 dS m^{-1} determinadas en el extracto de saturación del suelo (Chinnusamy *et al.*, 2005). Cuando es cultivado en áreas con problemas de salinidad el tomate es afectado a nivel de raíces, las sales alteran la absorción del agua lo que afecta el crecimiento de los órganos; en la parte aérea: la altura, número de hojas y área foliar presentan una disminución, se observa un menor número de frutos y menor peso de estos lo cual provoca la restricción de la producción del cultivo (Goykovic y Saavedra, 2007).

Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar la aplicación de azufre elemental (S°) y gallinaza como mejorador de un suelo salino-sódico y su efecto sobre la acumulación y distribución de materia seca durante sus distintas etapas fenológicas (análisis de crecimiento), entre otros componentes de rendimiento del cultivo de tomate mediante la técnica de fertirrigación utilizando agua de riego de mala calidad y el riego por goteo, bajo invernadero tipo casa sombra.

3.2 Materiales y Métodos

La investigación se realizó en invernadero tipo casa sombra, localizado en el Municipio de Moctezuma, San Luis Potosí ($22^{\circ} 45' \text{ N}$ y $101^{\circ} 05' \text{ O}$); a una altitud de 1720 m.s.n.m y se caracteriza por un clima cálido; la temperatura media anual es de 18.2°C ; durante el ciclo de verano-otoño 2016 (agosto-diciembre). Se utilizó semilla de un híbrido de tomate tipo saladette (Conan USATX 2112), de crecimiento determinado, precoz con excelentes rendimientos, y calidad.

Se estudiaron dos dosis de azufre $750 (\text{S}_1)$ y $1500 (\text{S}_2) \text{ kg ha}^{-1}$ y cuatro de gallinaza (una, dos, tres y cuatro toneladas ha^{-1}); el arreglo de tratamientos fue en parcelas divididas en un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones; en total se establecieron 24 unidades experimentales. Los niveles de azufre fueron las parcelas grandes y a los niveles de gallinaza como parcelas chicas. Cada unidad experimental se formó de 576 m^2 provenientes de 12 camas de cultivo de 30 m de longitud y 1.6 m de ancho en cada cama.

Con el propósito de conocer las propiedades físicas y químicas del suelo experimental, previo al trasplante y a la aplicación de los tratamientos, se colectaron 4 muestras de suelo compuestas (constituidas de 6 submuestras) a una profundidad de 0-30 cm para su posterior análisis en el laboratorio. Un segundo muestreo de suelo al finalizar el estudio para ver los efectos de los mejoradores aplicados. También se determinó la composición química del agua de riego utilizada en el estudio.

Los análisis físicos y químicos del suelo y agua se realizaron de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (2000). Con base en los resultados obtenidos, el suelo presentó una textura franca, un alto contenido de materia orgánica (M.O.) (4.7%) (Pavón-Chocano, 2009), un contenido de nitrógeno total (0.235%) y una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 43.8 cmol (+) /kg. 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 del suelo es alcalino (8.4) y su 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). Por su valor de PSI Massoud (1971) lo clasifica como un suelo extremadamente sódico. Mientras que Garrido (1994) considerando el valor del RAS (5.2) y el de conductividad eléctrica (C.E.) de 4.8 dS m^{-1} lo clasifica como un suelo salino-sódico.

Con respecto al análisis del agua, Los resultados reportan un valor de C.E. de 1.6 dS m^{-1} (1024 ppm de sales disueltas) que se considera de alto riesgo de salinidad (Ayers y Westcot, 1985). El valor estimado del RAS de 4.1 meq L^{-1} y los valores de C.E. permiten clasificar el agua como clase $\text{C}_3\text{-S}_1$; de alta salinidad con bajo contenido en sodio, recomendada a utilizar en suelos con buen drenaje y en cultivos muy tolerantes a la salinidad (Blasco y de la Rubia, 1973). Se determinaron 7.8 meq L^{-1} de Na^+ (179.4 ppm) que se considera alto al rango deseables (< de 50) Ayers y Westcot, (1985), de un riesgo medio de toxicidad para los cultivos. (3 a 9 meq L^{-1}). El valor de PSP (93.97%) rebasa el umbral (50%) que es agravado y acelerado por la presencia de carbonato o bicarbonato de sodio y con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, lo que fue en cierta forma explica los altos contenidos del sodio determinado en el suelo al inicio del experimento.

Previo al trasplante, se realizó una fertilización mineral de fondo (40 N - 80 P₂O₅-50 - K₂O kg ha⁻¹) utilizándose Sulfato de Amonio, Superfosfato de Calcio Simple y Cloruro de Potasio (KCl) como fuentes de N, P₂O₅ y K₂O; respectivamente. Conjuntamente con ésta fertilización se aplicaron los tratamientos de azufre y gallinaza anteriormente mencionados. Se trasplantó el día tres de agosto del 2016, utilizándose plántulas de 34 días después de emergidas, con una altura media de 12-14 cm y vigor uniforme, las cuales, previamente fueron desinfectadas por inmersión en una solución de 1 g o ml L⁻¹ de agua con productos químicos: Previcur, Derosal y Manzate. Se estableció una hilera de plantas por cama de cultivo, con un distanciamiento entre plantas de 20 cm. La densidad de plantación fue de 6 plantas por m², el sistema de riego fue por goteo con una distancia entre goteros de 20 cm. Las plantas fueron guiadas verticalmente sujetando la planta con rafia y guiando el tallo conforme fue creciendo hasta llegar a una altura de 2.3 m. aproximadamente. La cosecha se inició cuando los frutos que tenían el color característico del híbrido lo que sucedió aproximadamente a los 63 y 83 DDT (04 y 24 de octubre del 2016; respectivamente). La información incluida en el estudio sólo comprende lo correspondiente hasta los 83 DDT.

La irrigación y fertirrigación del cultivo se realizó mediante el riego por goteo. Ambas, fueron distribuidas en cuatro etapas fenológicas: a) Trasplante – Desarrollo Vegetativo, b) Inicio de Floración, c) Cuajado de Fruto y d) Maduración (cosecha). La lámina de riego total aplicada durante el ciclo ascendió a 378 mm (3780 m³). Desde el trasplante hasta la cosecha se aplicó una fertilización de 384 N -129 P₂O₅ – 476 K₂O ha⁻¹ mediante riego por goteo (fertirrigación).

Durante el desarrollo del estudio se registró la temperatura promedio (T med.), temperatura máxima (T máx.) y mínima (T mín.), la humedad relativa y punto de rocío mediante dos equipos HOBBO U23 PRO v2 que registran estos factores cada 15 minutos, se instalaron en la sección media del invernadero a una distancia entre ellos de 20 metros y a una altura de dos metros de la superficie del suelo. La cinética de crecimiento se relacionó gráficamente con las unidades calor para el cultivo (UC, °C d), acumuladas, a partir de los valores de temperaturas registradas, mediante el método residual, descrito por la siguiente ecuación, (Snyder, 1985):

$$Ec 1. UC = \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - TB$$

Dónde:

T máx. = temperatura máxima diaria (°C)

T mín = = temperatura mínima diaria (°C)

TB = temperatura base considerada de 10 °C, (Villalpando y Ruiz, 1993).

La humedad del suelo se monitoreó utilizando dos tensiómetros instalados a 15 y 30 cm de profundidad. Donde es mayor la actividad radical de los cultivos desarrollados mediante riego por goteo (Morín, 1985).

Con respecto a la planta de tomate, se realizaron cinco muestreos no destructivos a los 14, 24, 30, 45, 69 días después trasplante (DDT). Se evaluaron 12 plantas por tratamiento (3 repeticiones). A cada planta se le hicieron mediciones de: altura de la planta (cm), diámetro del tallo (cm), número de hojas; largo y ancho de hoja para poder calcular el área foliar, mediante el método del triángulo (método indirecto). Además, 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. Las muestras se fraccionaron en tallo, hojas y frutos, determinándose peso en fresco; posteriormente las muestras se introdujeron en bolsas de papel de estraza y fueron colocadas en una estufa de circulación de aire forzado a 80 °C hasta peso constante para determinar su biomasa seca. Los índices de crecimiento (índice de área foliar 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, como se indica.

$$\text{Ec 2. } IAF = \frac{AF}{A}$$

IAF = Índice de área foliar (adimensional)

AF = área foliar (dm²),

A = m² de suelo

$$\text{Ec 3. } DAF = \frac{\Sigma(IAF1+IAF2) \times (T2-T1)}{2}$$

DAF = Duración del área foliar (días o semanas)

Σ = sumatoria de la duración del área foliar para cada periodo estudiado,

IAF1 = índice de área foliar en un tiempo inicial (T1, en días),

IAF2 = índice de área foliar en un tiempo final (T2, en días),

A la cosecha realizada a los 63 y 83 DDT se determinó: peso por fruto, peso total de frutos. A todas las variables medidas y a los índices estimados se sometieron un análisis de Varianza (ANOVA) y las comparaciones de medias de los productos medios fueron comparados mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), diferencia significativa honesta (DSH), por medio del programa estadístico SAS (9.0) (SAS, 2003). Asimismo, se elaboraron curvas de crecimiento mediante el programa de Excel (Microsoft Office) y Curve Expert 1.4 y se ajustaron mediante la ecuación de Richard $y = a / (1 + e^{-bcx})^{1/d}$.

3.3 Resultados

3.3.1 Elementos del clima

La T máx osciló entre 30 y 24 grados Celsius (°C) y la T mín. entre 13 y 5 °C. Hasta la etapa de cuajado de fruto (63 DDT), se registraron valores superiores a los 25 °C, alcanzando la temperatura más alta (30 °C) en la primera semana de octubre casi al inicio de la floración (53 DDT) y las más baja (17 °C) durante el llenado de fruto (Figura 1). Mientras que las T mín., a partir del inicio de la floración, fueron menores de los 15 °C. La temperatura más baja (5 °C) se presentó durante la cosecha (83 DDT) en la segunda semana de diciembre. De acuerdo a lo anterior, y considerando el rango térmico entre 15 y 18°C en la noche y entre 24 y 25 °C durante el día para un buen desarrollo del cultivo de tomate reportados por Valdez *et al.*, (2015); en el presente estudio el cultivo de tomate se desarrolló en condiciones no favorables de temperatura. Dado que UC es una unidad de medida que combina temperatura y tiempo la duración del desarrollo de un ciclo de vida del organismo, o en cualquier etapa o parte del ciclo de vida, éstos disminuyen a medida que la temperatura aumenta.

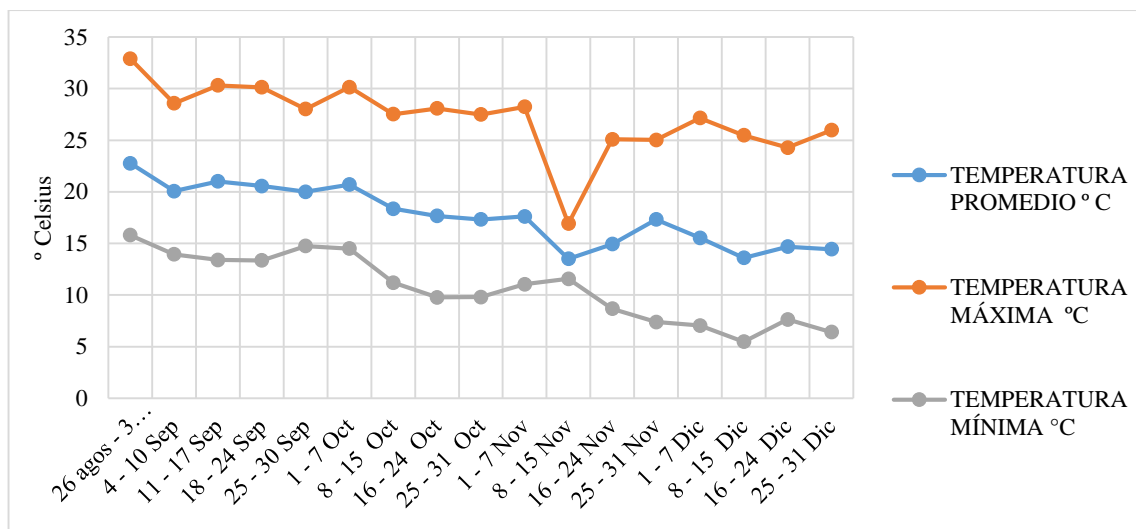


Figura 1. Comportamiento de la temperatura durante el desarrollo del cultivo en el municipio de Moctezuma, San Luis Potosí.

En este estudio el valor más bajo de UC se presentó en la maduración del fruto y el valor más alto fue al inicio de la floración (178.56 y 307.9; respectivamente). Enseguida disminuyó a 192.6 (cuajado de fruto), a 178.5 (madurez de fruto) y por último a 258.8 UC °C; a cosecha. Los grados-día calor acumulados total al final del ciclo fue de 1131.05 (UC, °C). Durante el proceso de cosecha se siguió teniendo el crecimiento vegetativo y llenado de fruto, no se interrumpió el proceso.

El volumen de agua de riego aplicado durante el ciclo fue de 3780 m³ distribuido en las diferentes etapas de crecimiento: desarrollo vegetativo 157.5 m³; floración, 1102.5 m³, cuajado de fruto 630 m³ y en la maduración de fruto se utilizaron 787.5 m³. Todas las lecturas del tensiómetro independientemente de la profundidad fueron inferiores a 30 cb, lo que indica que la humedad del suelo siempre fue superior a capacidad de campo. Particularmente, durante las etapas de cuajado y maduración del fruto de tomate, donde la planta requiere de más agua y de nutrimentos (K y Ca) para no causar daños al fruto, los valores del tensiómetro fueron de 13.4 ± 2 , indicando que el volumen del agua de riego aplicado superó la demanda del cultivo y la demanda evaporativa del ambiente, ésta última asociada a la disminución de temperatura que se registró en los meses de noviembre y diciembre.

3.3.2 Análisis de suelo después de la cosecha

La adición de azufre, con respecto al valor del pH de 8.3 registrado en el suelo inicialmente, causó una disminución en el pH del suelo, Cuadro 3. Asociado con una variación considerable en los procesos de oxidación-reducción en el suelo, la oxidación de azufre elemental (S°) a sulfato da como resultado la acidificación del suelo, el ácido producido por el proceso de oxidación ayuda a reducir la alcalinidad del suelo (Cox y Koenig, 2010). Estos procesos no se efectúan a igual velocidad en todos los suelos y en muchos casos, la enmienda puede permanecer en su forma física original aún un año después de su aplicación (García y Castillo, 1993). Los valores de sulfatos, muestran que, en un mismo suelo, el proceso de oxidación del S es progresivo en el tiempo.

En este estudio existió mayor eficiencia al adicionarse el tratamiento S_1 (750 kg ha^{-1}) que el tratamiento S_2 (1500 kg ha^{-1}). Lo cual es coincidente con García y Castillo, (1993) quién reporta que existe una mayor eficiencia relativa de oxidación con la aplicación de dosis inferiores a 1000 kg ha^{-1} . Aplicaciones superiores hacen que el proceso de oxidación sea más lento. Sin embargo, las altas cantidades de SO_4^{2-} encontradas en el tratamiento S_2 , en principio puede atribuirse a una alta población o a una alta actividad y eficiencia de los organismos oxidantes del S (bacterias del género *Thiobacillus* y, probablemente, también a un desequilibrio químico en el medio bajo esta condición (García y Castillo, 1993). Además, para que esto ocurra también es indispensable que en los suelos se tenga suficiente porosidad con equilibrio en la distribución de los poros por tamaño (suelo franco), humedad adecuada siendo ideal el mantenimiento del suelo a capacidad de campo Miyamoto, 1998. Como se logró mediante el riego por goteo y su programación durante el experimento. También es importante que un tamaño de partícula del S que permita una mayor superficie de contacto posible 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). En nuestro caso el periodo fue de cinco meses.

De igual manera, la conductividad eléctrica disminuyó a 0.66 dS/m para S_1 y 1.6 dS/m^{-1} para S_2 a comparación de la C.E. de 4.8 dS/m^{-1} en los resultados obtenidos en el análisis realizado previo al establecimiento del experimento (Cuadro 3). Estas disminuciones en conductividad eléctrica 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. También se puede observar que los valores más altos para aniones y cationes se presentaron en S_2 . De los tres cationes

primarios (potasio (K^+), calcio (Ca^{++}) y magnesio (Mg^{++}), el K^+ es el que requiere más atención en su manejo y aplicación. 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^+ para S_1 y S_2 se encuentran con valores altos (el rango es de 0.6 a 2 mEq /100 g suelo). Para Ca^{++} en S_1 presenta valores bajos, con relación a S_2 . Para Mg^{++} ambos valores para S_1 y S_2 se clasifican como altos. Los valores de los aniones para ambas dosis de azufre se interpretan como valores altos.

Cuadro 3. Análisis químicos del suelo posterior al experimento en Moctezuma, San Luis Potosí.

Indicador	Unidades	Cantidad de S° aplicado	
		750 kg ha ⁻¹ (S_1)	1500 kg ha ⁻¹ (S_2)
pH		7.7	7.5
C.E. _{ex}	dS m ⁻¹	0.664	1.6
M.O.	%	4.9	4.8
HCO ₃ ⁻	mEq /100g	2.2	4.5
Cl ⁻	mEq /100g	1.35	3.2
SO ₄ ²⁻	mEq /100g	3.5	20.4
K ⁺	mEq /100g	0.94	1.4
Mg ⁺⁺	mEq /100g	5.1	35.1
Ca ⁺⁺	mEq /100g	2.9	23.2
Na ⁺	mEq /100g	1.1	1.4
CIC		10.1	61.2
PSI		10.9	2.2
RAS		0.82	0.36

Con respecto a la materia orgánica, con excepción del pH (7.7) y Cl (1.9 mEq /100g), la aplicación de una tonelada de gallinaza mostró los valores más bajos en M.O. (4%), C.E. (0.83 dS m⁻¹) de aniones (mEq /100g) HCO₃⁻ (2.30), SO₄²⁻ (4.8) y de cationes (mEq /100g), Mg⁺⁺ (9.6), Na⁺ (1.0) K⁺ (1.1) y CIC (17.3) y el valor de PSI más alto (5.7). Se observó que la cantidad de M.O., HCO₃⁻, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y CIC se incrementó al aumentar la dosis de una hasta cuatro ton ha⁻¹ de gallinaza, lo inverso ocurrió con el PSI. Mientras que las cantidades de Cl⁻, SO₄²⁻ y Na⁺ los valores más altos se alcanzaron al aplicarse tres ton ha⁻¹ de gallinaza (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis químicos del suelo en función de gallinaza del experimento en Moctezuma, San Luis Potosí.

Gallinaza (ton ha ⁻¹)	% M.O.	C.E. (dSm ⁻¹)	pH	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CIC	PSI	RAS
				mEq /100g									
1	4.0	0.8	7.7	2.3	1.9	4.8	5.6	9.6	1.0	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	0.50
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

Con base en los valores medios obtenidos en respuesta a la cantidad de gallinaza aplicada, independientemente de la cantidad de S°, el pH, C.E., la cantidad de HCO₃ y Na, conjuntamente con el valor del PSI (2.3), determinado en suelo al final del ciclo, éste no presenta problemas por salinidad ni por sodio (Garrido, 1994), Muy contrario a la clasificación del suelo salino-sódico al inicio del experimento.

3.3.3 Componentes morfológicos durante el desarrollo del cultivo

El análisis de varianza realizado no reportó diferencias significativas de las dosis aplicadas de gallinaza ni para la interacción azufre-gallinaza, por lo tanto, solamente se hará la presentación y discusión de azufre de las variables evaluadas.

La altura de la planta reportó cambios significativos durante el desarrollo de la planta de tomate. Los valores más altos significativamente se determinaron desde los 30 días después del trasplante (DDT) (50.9 cm) hasta los 83 DDT (136.2 cm) para el tratamiento de azufre S₁ en contraste con el tratamiento S₂ durante el mismo periodo (45.5 cm hasta 117.5 cm de altura de la planta; respectivamente, Figura 2. En dicha Figura se observa la dinámica de una curva sigmoidea, comportamiento similar al reportado en tomate tipo indeterminado por Barraza (2004). La tasa de crecimiento en término de altura fue de 1.74 cm por DDT en las plantas desarrolladas en el tratamiento S₁ mientras que en plantas del tratamiento S₂ su tasa fue de 1.45 cm por DDT.

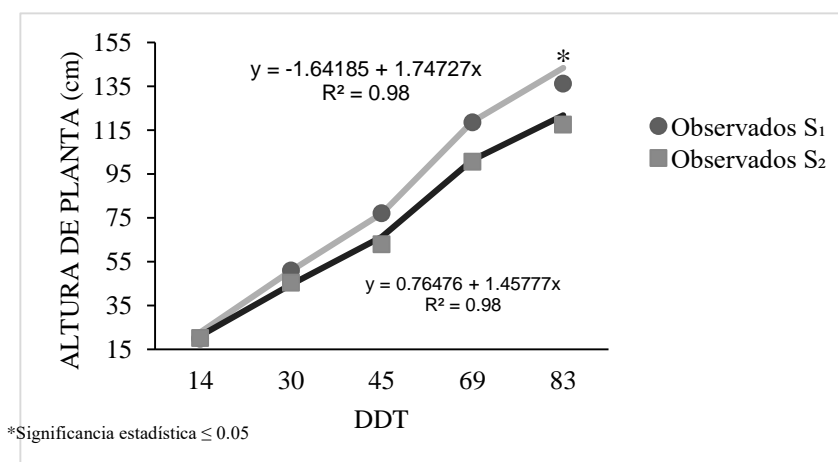


Figura 2. Altura de planta (cm) en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 (S₁) y 1500 (S₂) kg ha⁻¹

En diámetro de tallo no se observan diferencias significativas entre los tratamientos S₁ y S₂, Figura 3. El diámetro de tallo al final alcanzó un diámetro entre 1.97 y 2.075 cm. La Figura 3, muestra los valores de coeficiente de regresión (R₂) para S₁ (0.98) y S₂ (0.96). El número de hojas mostró diferencias significativas entre los tratamientos de azufre a los 45 y 83 DDT, las plantas

desarrolladas en donde S₁ presentaron 35.75 y 36.2 hojas por planta, respectivamente, y superaron el número de hojas de las plantas desarrolladas en S₂ (27.4 y 17.5); Figura 3.

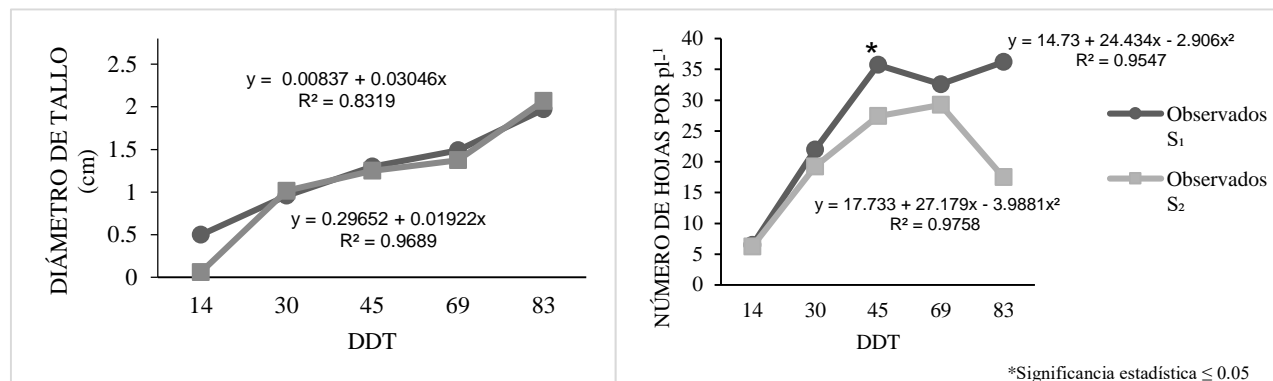


Figura 3. Diámetro de tallo (cm) y número de hojas pl^{-1} en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 (S₁) y 1500 (S₂) $kg\ ha^{-1}$.

Fogg (1967) señala que un mayor número de hojas es favorable para la producción del cultivo, ya que la actividad fotosintética laminar y crecimiento están relacionados, ya que la cantidad de fotosíntesis depende de la superficie de la hoja u órganos fotosintéticos que posea y de la actividad fotosintética por unidad de área de estos tejidos. Al mismo tiempo, el área foliar depende del número de hojas, de su velocidad de crecimiento y de su tamaño final (Barraza, 2004).

El área foliar (cm^2) mostró cambios significativos a los 30 (755.1) y 45 (1173.5) DDT cuando la planta se desarrolló en S₁ posteriormente disminuyó manteniéndose hasta los 83 DDT ($759.3\ cm^2\ hoja^{-1}$). Lo anterior significa un crecimiento vigoroso durante los primeros 45 DDT para después reducirse ligeramente y sostenerse conforme se incrementaba la formación y producción de frutos. Los valores de AF en el tratamiento S₂, a los 30 y 45 DDT, fueron 485.8 y 874 $g\ cm^2$; respectivamente, este último valor de AF, se mantiene conforme se inició la floración y cuajado del fruto (Figura 4).

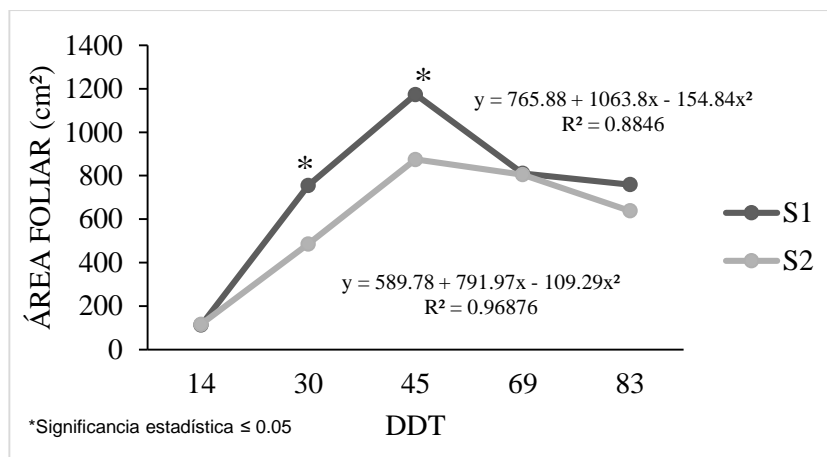


Figura 4. Área Foliar (cm²) en respuesta a los tratamientos de azufre 750 (S₁) y 1500 (S₂) kg ha⁻¹

Estos mayores valores de AF en el tratamiento S₁ son provenientes del tamaño de las hojas y no al mayor número de hojas cuantificadas en este tratamiento. Las plantas con mayor área foliar y ambiente favorable, son capaces de utilizar mejor la energía solar con una fotosíntesis más eficiente, que conlleva a un mejor rendimiento de fruto por planta, como se apreciará en un apartado más adelante. En la Figura 4 se aprecia con mayor detalle estos cambios. Barraza *et al.*, (2004) reportan que el AF durante los primeros 40 DDT, fue mayor a los 200 cm². Durante los siguientes 40 días, el área se mantuvo en el orden de los 1450 cm² hoja⁻¹ para después descender a los 750 cm² hoja⁻¹ y sostenerse en el tiempo hasta los 83 ddt.

El ANOVA realizado para IAF reportó sólo 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 (Figura 5), estos valores coinciden con lo reportado por Barraza *et al.*, 2004 donde encontraron valores de 0.5 a 4.5 de tomate cultivado bajos distintas densidades de población. Los valores de IAF y DAF obtenidos se corresponden a los valores de AF anteriormente expuestos (Figura 5), desde los 14 hasta los 45 DDT, esto coincide con la etapa fenológica de la floración que ocurrió a los 40 DDT. El valor más alto de IAF determinado en S₁ (3.52) y en S₂ (2.62) a los 45 DDT, fueron significativas estadísticamente entre ellos y coincide con el valor más alto en AF determinado durante el ciclo del cultivo. Ponce *et al.*, (2013) menciona que a mayor IAF, el porcentaje de luz que sea interceptado por la planta será también mayor, por lo tanto, el índice óptimo de área foliar variará de acuerdo a las condiciones prevalecientes de radiación solar. Aunque valores altos de este índice

en algunas ocasiones no están relacionados necesariamente con una mayor cantidad de fotosíntesis, ya que el IAF es un concepto que representa para todo cultivo, un promedio de los estratos de follaje que están expandidos, que varían con la morfología de las especies y con las condiciones ambientales en que estén creciendo (Barraza, 2004).

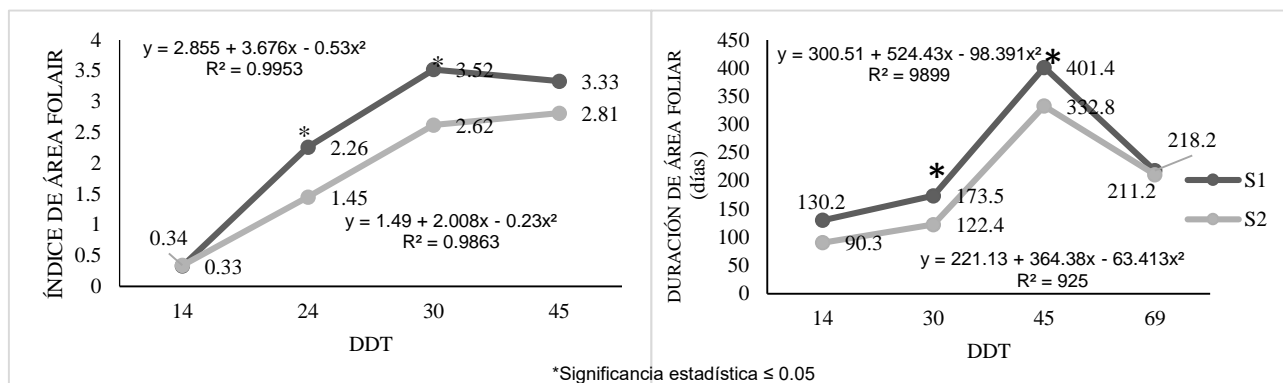


Figura 5. Índice y Duración de Área Foliar (días) en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 (S₁) y 1500 (S₂) kg ha⁻¹.

Mientras que la DAF en las plantas de tomate correspondiente al tratamiento S₁, mostraron valores significativamente superiores 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) (Figura 5). En general, el comportamiento de la DAF durante los días posteriores al trasplante es creciente, lo cual cobra importancia al tener en cuenta lo indicado por Cayón (1992). La capacidad para realizar fotosíntesis por parte de las hojas aumenta hasta la madurez, o un poco más, disminuyendo luego con la edad. Tal vez, uno de los factores que más contribuye para el envejecimiento de las hojas es que el contenido de nutrientes se torna limitante y las hojas jóvenes y frutos se convierten en depósito preferencial, para donde serán exportados estos nutrientes (Cayón, 1992).

3.3.4 Peso seco total y su distribución en diferentes órganos reproductivos del tomate

Los valores de peso seco total por planta (PSTo) así como también los de hoja (PSH), tallo (PST); y fruto (PSFr), expresados en g pt⁻¹ se muestran el Cuadro 5. Las plantas desarrolladas con

S₁ presentaron durante su ciclo mayor (PSTo) con respecto a las plantas desarrolladas en S₂; tendencia que se registró en el peso seco de todos los órganos de la planta. Particularmente, el PSH y PST alcanzaron su máxima producción a los 83 DDT. A esta etapa, el PST determinado en plantas del tratamiento S₁ (75.6 g pt⁻¹), superó significativamente al PST obtenido en el tratamiento S₂ (31.2 g pt⁻¹). El PSH presentó el mismo comportamiento, Cuadro 3. Este último tratamiento también resultó significativamente menor en PSH (38.04 g pt⁻¹) con respecto al tratamiento S₁ (68.28 g pt⁻¹), a los 83 DDT. El mismo comportamiento se observó a los 54 DDT en el PSH y PST entre S₁ y S₂. No hubo diferencias significativas en la variable PSFr, entre ambos tratamientos de azufre.

El peso seco total (PSTo) por planta (g pt⁻¹), a los 83 DDT, en las plantas desarrolladas con S₁, produjeron significativamente un mayor PSTo (177.42 g pt⁻¹) con respecto al PSTo registrado en plantas desarrolladas con S₂, en estas plantas el PSTo fue de solo 98.64 g pt⁻¹.

A 54 DDT, las plantas desarrolladas en ambos tratamientos de azufre el porcentaje asignado en PSH con respecto al total, fue similar, dado que sus valores oscilaron entre el 50.83 y 56.9%. Este porcentaje en PSH disminuyó a los 63 y 83 DDT en ambos tratamientos de azufre: S₁ (35.28 y 38.57%) y S₂ (37.9 y 38.5 %), respectivamente. En la misma magnitud se observó a los 83 DDT, donde el PSH en S₁ y S₂ resultó prácticamente igual (38.5 %). Con respecto al porcentaje en PSFr en S₁ (18.94 %) fue menor al estimado en el tratamiento S₂ (29.8%) Los porcentajes en PST y PSH disminuyeron a medida que desarrollo el fruto de tomate; esto se observó en ambos tratamientos.

Cuadro 5. Peso seco de las distintas estructuras de la planta tomate en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 kg ha⁻¹ (S₁ S₁y 1500 kg ha⁻¹ (S₂).

DDT	54	63	83
	Peso seco hojas (g pt⁻¹)		
S₁	67.2 a	52.44 a	68.28 a
S₂	31.5 b	49.56 a	38.04 b

Pr > F	0.045	0.851	0.006
Peso seco tallo (g pt⁻¹)			
S₁	65 a	45.98 a	75.6 a
S₂	23.8 b	37.884 a	31.2 b
Pr > F	0.008	0.623	0.053
Peso seco frutos (g pt⁻¹)			
S₁		21.54 a	33.54 a
S₂		18.74 a	29.4 a
Pr > F		0.792	0.816
Peso seco total (g pt⁻¹)			
S₁	132.2 a	119.96 a	177.42 a
S₂	55.3 b	106.184 a	98.64 b
Pr > F	0.0069	0.846	0.0359

3.3.5 Coeficientes de partición (materia seca)

Para biomasa seca de fruto, a los 83 DDT, se observan los mayores porcentajes en fruto de plantas desarrolladas en S₁ a comparación de S₂; lo que indica que los frutos del primer tratamiento tuvieron mayor hidratación y peso por unidad. Ho y Grimbly, (1990) afirman que la fotosíntesis sólo es responsable de una parte pequeña (menos de 10%) de la materia seca presente en la fruta, la mayoría de la materia seca de los frutos del tomate proviene de los fotoasimilados producidos en las hojas y transportados a los frutos (Casierra-Posada *et al.* 2009). A diferencia de lo encontrado a los 83 DDT en esta investigación, Heuvelink *et al.* (2005) encontraron que la mayor cantidad de materia seca, era destinada en mayor proporción hacia los frutos y en menor proporción hacia los

tejidos foliares. En referencia a la influencia de la salinidad Andriolo *et al.* (2003) estudiaron el crecimiento de plantas de tomate de invernadero sometidas a niveles de salinidad encontraron que el desarrollo y crecimiento resultó ser diferente entre estaciones, resultando una mayor acumulación de biomasa durante la primavera en relación al cultivo de otoño.

3.3.6 Componentes de rendimiento de fruto fresco.

Los valores de la biomasa fresca total (PFto) fueron siempre superiores y estadísticamente diferentes a los registrados en las plantas desarrolladas en S₁; el peso de fruto fresco (PFRF), mostró la misma tendencia, solo que las diferencias significativas se observaron a los 83 DDT, Cuadro 6.

Cuadro 6. Peso fresco de frutos y peso fresco total de la planta tomate en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 kg ha⁻¹ (S₁) y 1500 kg ha⁻¹ (S₂).

DDT	54	63	83
Peso de frutos total (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 fresco total (kg pt⁻¹)			
S ₁	0.213 a	1.345 a	1.759 a
S ₂	0.079 b	1.174 b	1.068 b
Pr > F	0.0593	0.0328	0.0277

Esta diferencia se asocia al mayor peso por fruto (PF) obtenido con el tratamiento S₁ (93.16 g pt⁻¹) con respecto a S₂ (69.7 g pt⁻¹). No hubo diferencias en el número de fruto por planta entre ambos tratamientos (6 y 7; respectivamente); datos no presentados. En la Figura 6 se aprecia la tendencia de estas variables cuantificadas mediante un muestreo destructivo realizado durante este periodo, ajustándose a una ecuación de regresión cuadrática específica para cada variable medida.

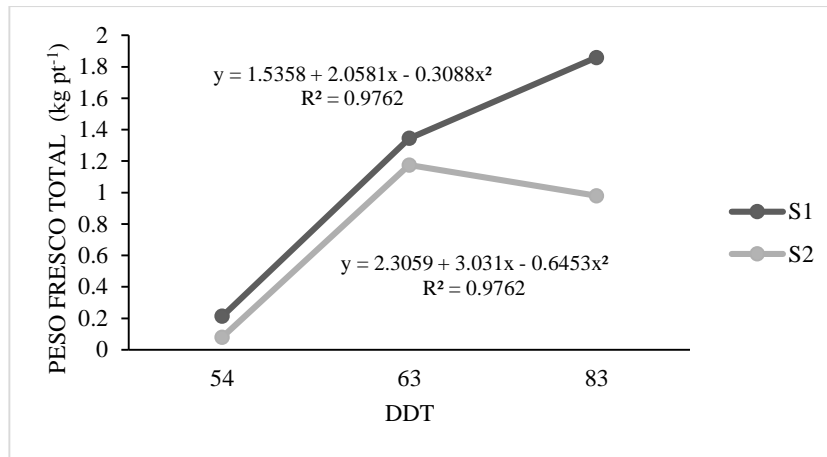


Figura 6. Peso fresco total de la planta de tomate en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 kg ha⁻¹ (S₁) y 1500 kg ha⁻¹ (S₂).

En relación con PFF, el ANOVA sólo reportó diferencia en esta variable, entre los dos tratamientos de azufre, a los 83 DDT (0.559 y 0.490 kg pt⁻¹) en el tratamiento S₁ y S₂; respectivamente. En la Figura 7 se aprecia que los valores obtenidos en esta variable se ajustan a una ecuación lineal.

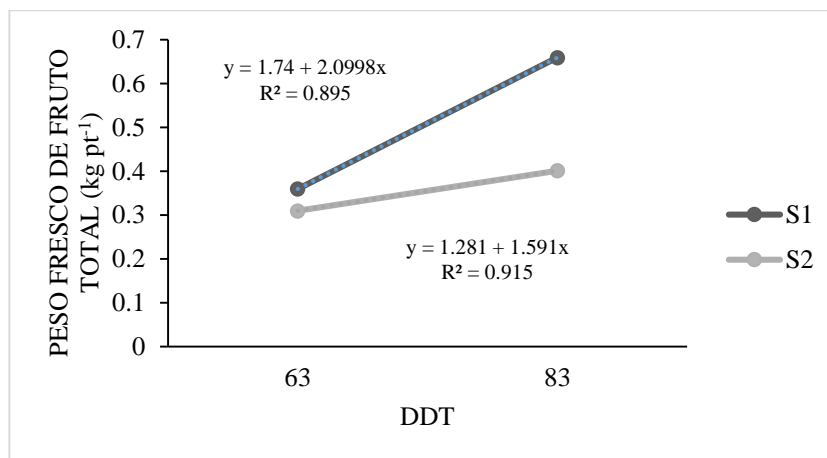


Figura 7. Peso fresco total de frutos por planta de tomate en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 kg ha⁻¹ (S₁) y 1500 kg ha⁻¹ (S₂).

3.4 Discusión

Las distintas formas de salinidad reducen la productividad del suelo y afectan la producción de la gran mayoría de las especies agrícolas de importancia económica para la producción de

alimentos. Es importante considerar el uso de prácticas económicas que eliminen el problema y permitan recuperar el suelo; incluyendo la capacidad de adaptación del cultivo a la salinidad y el uso de materiales de enmiendas de bajo costo y fácil consecución que resuelvan el problema. En un suelo sódico predomina el ión Na^+ en el complejo de intercambio y se deterioran las condiciones físicas del suelo. Se presentan desbalances nutricionales que afectan el desarrollo normal de los cultivos. Para su recuperación es indispensable caracterizar íntegramente el problema para entender las causas de la acumulación sales y luego evaluar la calidad del agua para riego para predecir el efecto de su uso como causa de salinidad y/o sodicidad.

Para corregir deficiencias nutricionales, en suelos alcalinos, se han propuesto diferentes métodos para disminuir el pH, siendo una alternativa la adición de azufre elemental (S^0) (Fenn *et al.*, 1990; Cifuentes y Lindemann, 1993; Miyamoto, 1998). El azufre (S^0) es un elemento que no es soluble en agua y debe de ser oxidado por las bacterias del suelo a sulfato (SO_4^{2-}), que es la forma en que la planta lo absorbe; tiene distintos usos como el de fertilizante ya que posee un efecto acidificante sobre el suelo, otro uso es el de fungicida; el S elemental y el ácido sulfúrico se utilizan comúnmente en la recuperación de suelos que contienen excesos de sodio y en el tratamiento de cierta agua de riego.

En este estudio fue evidente que el azufre al ser aplicado al suelo estuvo sujeto a una oxidación microbiológica, a través de la cual se transformó a sulfato en condiciones aeróbicas, lo que condujo a una disminución del pH del suelo (Brady, 1990; Deng y Dick, 1990; Miyamoto, 1998). Los microorganismos que intervienen en el proceso de oxidación del azufre son principalmente del género *Thiobacillus*, y *Thiobacillus thiooxidans* la especie más importante (Chapman, 1990; Miyamoto, 1998). En suelos moderadamente sódicos, la tolerancia de los microorganismos oxidantes de azufre a altos niveles de sales libres y sodio intercambiable son un factor importante que influye en su grado de oxidación. Existen además de los microorganismos del suelo, factores físicos que influyen en 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). La tasa de oxidación del azufre mineral se incrementa con una disminución del diámetro de la partícula, siendo recomendable un tamaño menor a 0.14 mm, es decir cuando pasan la malla de 100 mesh. La cantidad de sulfato producido por unidad de tiempo es una función total del área superficial del azufre y no de su masa.

Con un contenido alto de humedad, la oxidación está limitada posiblemente por una reducción de la aireación del suelo. 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 (Na_2CO_3). El efecto que provocan las sales de los suelos, principalmente de sodio, sobre la oxidación del azufre, y se ha encontrado que una concentración de NaCl mayor a 9% reduce su tasa de oxidación, inhibiéndola en 11% (Miyamoto, 1998). En estos suelos moderadamente sódicos, la tolerancia de los microorganismos oxidantes de azufre a altos niveles de sales libres y sodio intercambiable son un factor importante que influye en su grado de oxidación. Para el crecimiento y desarrollo del tomate en este estudio, el suelo se mantuvo alrededor de su capacidad de campo, al utilizarse el riego por goteo ni se observó una disminución sobre el grado de oxidación del S° sino todo lo contrario.

El efecto benéfico de la materia orgánica sobre el proceso de oxidación del S observado en este estudio, también ha sido 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 una mayor oxidación de azufre. Durante el ciclo del cultivo, se hicieron aplicaciones de ácido fosfórico con fines de acidulación y la aportación de este nutrimento mediante la solución nutritiva inyectada a través del sistema, lo que favoreció la oxidación del S° y una reducción en el contenido de Na soluble y a una disminución del PSI. En los suelos sódicos debido a la dispersión de la materia orgánica las cantidades de N presentes son inadecuadas para el sostenimiento de los cultivos.

Las características de los suelos que más influyen sobre la magnitud del efecto acidificante del azufre elemental son los contenidos de CaCO_3 , materia orgánica y arena. Las reducciones de pH significativas se presentaron en los suelos con una menor capacidad de campo, como consecuencia del menor contenido de CaCO_3 y materia orgánica. Comúnmente la conductividad eléctrica se incrementa por la aplicación del azufre elemental, debido al aumento de sales solubles en el suelo. Lo cual no se observó en este estudio, dado que el análisis de suelo al inicio y final del experimento reportaron altos y bajos contenidos de MO y CO_3 , respectivamente y la C.E. disminuyó al adicionarse el S° y gallinaza como mejoradores del suelo. La aplicación busca inducir la conversión de CaCO_3 a CaSO_4 y $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. No se manifestó una relación inversa entre el contenido original de sulfatos en el suelo y la eficiencia de oxidación de S , lo cual hace suponer

que el exceso de sulfatos en el medio restringe el proceso de oxidación. Los altos contenidos de SO_4^{2-} encontrados en las muestras de suelo al inicio del experimento pudieron provenir de altas aplicaciones de sulfato de potasio como fertilizantes, anteriormente realizadas. La influencia probable de los iones SO_4 en el intercambio catiónico en suelos sódicos no ha recibido mucha atención probablemente a causa de que los SO_4 de Ca y Mg son más solubles que los CO_3 .

Con base en la información anterior, se asume que el posible desbalance nutricional esperado que limitara el crecimiento normal del tomate al establecerse en un suelo salino-sódico, se vio superado y favorecido por las adiciones de S° y gallinaza al disminuirse significativamente el pH, C.E., contenido de Na el PSI y RAS, conjuntamente con un buen abastecimiento nutrimental, a los 30 cm de profundidad del suelo donde se desarrolló el sistema radical del cultivo de tomate por la utilización del riego localizado. No obstante, se observó que el tratamiento S_2 causó un retraso en las etapas iniciales de crecimiento de la planta, recuperándose no totalmente 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 tomate.

3.5 Conclusiones

1. El tomate de hábito determinado y desarrollado bajo invernadero tipo casa sombra, al final del ciclo, acumuló un total de 1131.05 (UC, °C). Los grados-día calor acumulados más altos fue al inicio de la floración (307.9) y el más bajo se presentó en la maduración del fruto (178.5 UC °C), sin afectar el rendimiento de fruto por planta.

2. Con base en los valores obtenidos de pH, C.E., Na soluble, PSI y RAS el azufre y gallinaza como mejoradores del suelo, al final del estudio, clasifican al suelo sin problemas de salinidad ni por sodio. No obstante, los índices morfológicos y los componentes de rendimiento medidos solamente se vieron afectados significativamente por la aplicación de azufre

3. La cantidad de SO_4 determinado en suelo al final del estudio, disminuyó un 91.4 y 51.4 %, cuando se adicionó S_1 (750 kg ha^{-1}) y S_2 (1500 kg ha^{-1}); respectivamente, con respecto a aquel obtenido al inicio.

4. Bajo las condiciones en que se desarrolló el presente estudio, los componentes morfológicos: altura de plantas, NH, AF, IAF y DF fueron afectados positivamente y

significativamente por la adición del tratamiento S_1 (750 kg ha^{-1}), con respecto al tratamiento S_2 (1500 kg ha^{-1}).

5. En el último muestreo destructivo (a los 83 DDT), en el tratamiento S_1 (750 kg ha^{-1}), la planta acumuló un total de 177.4 g pt^{-1} de materia seca. En S_1 se obtuvo un mayor porcentaje de MS en fruto (35%), mientras que S_2 solo un 18%.

6. La mayor cantidad de MS en fruto se relacionó con el mayor rendimiento de fruto fresco obtenido en S_1 (550 g pt^{-1}) en comparación con S_2 (490 g pt^{-1}). Lo anterior se asoció al mayor peso por fruto 98.6 y 69.7 g p^{-1} ; respectivamente.

CAPITULO IV. EFECTO DE AZUFRE ELEMENTAL (S^o) Y GALLINAZA SOBRE ÍNDICES FISIOLÓGICOS, MATERIA SECA, NITRÓGENO Y POTASIO EN TOMATE (*Solanum lycopersicum L.*)

4.1 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 Leihner, 2005). Asimismo, 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, nutrimentos y algunas prácticas agronómicas en el momento adecuado, para garantizar una respuesta óptima del cultivo de acuerdo con sus necesidades y exigencias (Casierra-Posada *et al.*, 2003; Casierra-Posada *et al.*, 2004). Dado que el cálculo de la demanda de los nutrimentos de los cultivos juega un papel relevante, la estimación realista y adecuada del rendimiento alcanzable debe lograrse mediante un manejo de un alto nivel tecnológico, imprescindible en una agricultura competitiva. De lo contrario, causaría un incremento en los costos de insumos produciendo además un riesgo de contaminación del medio ambiente.

El rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum L.*), independientemente del sistema de producción (campo o invernadero) donde no existen restricciones de humedad, depende de otros factores como es la nutrición mineral de la planta. Investigaciones se han realizado para determinar los requerimientos nutricionales de las plantas en las diferentes etapas fenológicas sin que hasta el presente se haya alcanzado totalmente tal propósito. Estos requerimientos son definidos en términos de lo que una planta necesita para completar su ciclo de vida y producir una determinada cosecha o también como lo que una planta consume durante un tiempo definido o como lo que las plantas consumen en la unidad de tiempo por unidad de superficie etc. Investigadores encuentran apropiado relacionar los requerimientos de las plantas con los volúmenes extraídos de nutrimentos por el producto cosechado. El uso de la técnica de fertigración permite un preciso suministro de nutrimentos a las plantas al aplicar pequeñas y frecuentes de fertilizantes, en cantidades que cumplan con los requerimientos del cultivo, aumentando la eficiencia de la absorción de nutrimentos y la pérdida de nutrimentos por lixiviación se reduce al mínimo, principalmente cuando se realiza mediante el riego localizado (Bar-Yosef, 1999).

Para analizar el rendimiento de una planta es necesario el estudio de sus componentes que involucran procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo: tasa de crecimiento absoluto (TCA), tasa de asimilación neta (TAN) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y reproductivo: el número y peso de frutos por planta de tomate. Mismos que están fuertemente influenciados por la relación fuente demanda en diferentes fases del ciclo de vida de la planta (Santiago *et al.*, 1998).

Para el cálculo de la extracción neta de nutrimentos es necesario determinar la formación de biomasa en el tiempo y conocer la concentración mínima óptima del nutrimento en la materia seca de los distintos órganos de la planta como frutos, hojas, tallos, etc. A esta concentración, Rodríguez *et al.* (2001) denomina requerimiento interno del cultivo. Es conveniente señalar, que en esta investigación se define como requerimiento la cantidad de nutrimentos que necesita una planta para su normal desarrollo y producción, en condiciones de salinidad, durante ciertas etapas de crecimiento, expresados en kg ton^{-1} de fruto fresco producido por unidad de superficie. Igualmente se determina el requerimiento de agua como la cantidad de agua necesaria para mantener un adecuado estado hídrico en los tejidos expresada en m^3 por ton^{-1} producida. El objetivo de ésta investigación, fue analizar procesos fisiológicos, determinar la biomasa seca y cuantificar la cantidad de N y K que absorbió el cultivo de tomate, desarrollado en un suelo salino sódico, en respuesta a la aplicación de estiércol aviar y S° como mejoradores del suelo en invernadero tipo malla; y abastecido nutrimental mediante la técnica de fertigación.

4.2 Materiales y métodos

La investigación fue conducida en invernadero tipo casa sombra durante el ciclo de verano-otoño 2016 (agosto-diciembre), en el municipio de Moctezuma, San Luis Potosí ($22^\circ 45' \text{ N}$ y $101^\circ 05' \text{ O}$) a una altitud de 1720 m.s.n.m; y se caracteriza por un clima cálido; la temperatura media anual es de 18.2°C . Se utilizó un híbrido de tomate tipo saladette (Conan USATX 2112), de crecimiento determinado, precoz con excelentes rendimientos, y calidad. Se caracteriza por un fruto uniforme de pared gruesa y muy firme con forma alargada cuadrada, color rojo intenso y un peso por fruto de 160-170 gramos y excelente vida de anaquel. El arreglo de tratamientos fue en parcelas divididas en un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones; en total se establecieron 24 unidades experimentales. Las parcelas grandes, fueron dos dosis de

azufre 750 (S₁) y 1500 (S₂) kg ha⁻¹ y las parcelas chicas, cuatro dosis de gallinaza, una, dos, tres y cuatro toneladas ha⁻¹, 20 días previos al trasplante se establecieron los tratamientos enriqueciéndose con una fertilización mineral de fondo (40 N 80 P₂O₅ 50 K₂O kg ha⁻¹), utilizándose como fuentes, Sulfato de Amonio, Superfosfato de Calcio Simple y Cloruro de Potasio (KCl). La unidad experimental se formó de 576 m² provenientes de 12 camas de cultivo de 30 m de longitud y 1.6 m de ancho en cada cama. Los análisis físicos y químicos del suelo experimental y agua utilizada se realizaron de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (2000).

El aporte de agua y fertilizantes, se realizó mediante el riego por goteo. La lámina de riego total aplicada durante el ciclo ascendió a 378 mm (3780 m³), y una fertilización de 384 N -129 P₂O₅ – 476 K₂O ha⁻¹. En el apartado de resultados se describe la programación de irrigación y fertigación durante el crecimiento y desarrollo del tomate.

Durante el desarrollo del cultivo se registró la temperatura promedio (T med.), temperatura 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 (chupatubos) instalados a una profundidad de 30 cm, se analizó, pH, CE, nitratos, potasio y sodio, éstos tres nutrientes mediante medidores portables cardis. En tres plantas por tratamiento, se realizaron tres muestreos destructivos a los 54, 63 y 83 ddt, los tres muestreos coincidieron con cierta etapa fenológica: etapa inicio de floración, cuajado de fruto e inicio de cosecha; respectivamente; determinándose peso en fresco y se hicieron evaluaciones de los componentes fisiológicos.

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; posteriormente se molieron y guardaron en frascos etiquetados, determinándose nitrógeno y potasio. 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 (Cuadro 7).

Cuadro 7. Ecuaciones para el cálculo de los valores índices de crecimiento (según Escalante y Kohashi, 2015).

Índice de crecimiento	Ecuación	Descripción del componente	Unidades
Tasa de crecimiento absoluto (TCA)	$TCA = \frac{PS2 - PS1}{T2 - T1}$	PS2 y PS1 representan el peso seco de la planta en los tiempos T2 y T1 respectivamente	$g\ día^{-1}$
Tasa de crecimiento relativo (TCR)	$TCR = \frac{\log PS2 - \log PS1}{T2 - T1}$	Log PS2 y log PS1 representan el logaritmo natural del peso seco de la planta en los tiempos T2 y T1 respectivamente	$g\ g^{-1}\ día^{-1}$
Tasa de asimilación neta (TAN),	$TAN = \frac{PS2 - PS1}{T2 - T1} \times \frac{\ln AF2 - \ln AF1}{AF2 - AF1}$	PS2 y PS1 representan el peso seco de la planta en los tiempos T2 y T1, lnAF2 y lnAF1 representan el logaritmo natural del área foliar, AF2 y AF1 el área foliar.	$g\ cm^{-2}\ día^{-1}$

El rendimiento de fruto en fresco y otros componentes de rendimiento se evaluaron a los 89, 98, 107, 120, 127 y 137 DDT. En cada uno de ellos se determinó: número y peso de frutos, grados brix de fruto, diámetro polar y ecuatorial de fruto, peso total de frutos; asimismo se evaluó el rendimiento total por superficie, uso eficiente de agua e índice de productividad. Con base en la ecuación de regresión generada de materia seca obtenida en 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 las 6 cosechas realizadas y se relacionó con el rendimiento de fruto fresco para determinar la acumulación de nitrógeno y potasio durante todo el ciclo del cultivo de tomate. Al finalizar la cosecha se colectaron 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 al final del experimento. En total se analizaron ocho muestras

de suelo para conocer la composición química por efecto de aplicación de los tratamientos: S° y Gallinaza.

A todas las variables medidas y a los índices estimados se sometieron un análisis de Varianza (ANOVA) y las comparaciones de medias de los productos medios fueron comparados mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), diferencia significativa honesta (DSH), por medio del programa estadístico SAS (9.0) (SAS, 2003). A las variables de materia seca total se representaron gráficamente con el programa Microsoft Excel.

4.3 Resultados

El ANOVA no reportó diferencias significativas por las aplicaciones de Gallinaza ni un efecto de la interacción con la dosis de S° aplicado. Por tanto, sólo se hará un análisis de la información obtenida en respuesta a las cantidades de S° aplicada al suelo.

4.3.1 Análisis de suelo y agua previo al trasplante

Con base en los resultados del análisis del suelo previo al trasplante, los porcentajes de arena (43.32), limo (30.72) y arcilla (23.96) obtenidos dan una clasificación textural del suelo de franco. Su pH es alcalino es (8.4) y la C.E. en el suelo (expresada en dS m^{-1}), tuvo un valor de 4.8 dS m^{-1} . El Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), determinado fue $30.4 \text{ cmol (+) /kg}$, donde es de esperarse deficiencias de micronutrientes (Fe, Zn,) en el cultivo de tomate. El suelo experimental se caracteriza por un PSI mayor del 15% y la relación de adsorción de sodio (RAS) calculada fue 5.2 proveniente de la salinidad y sodicidad del uso de agua de mala calidad por el exceso de sales, al excesivo empleo de fertilizantes y a malas prácticas de irrigación realizadas por el productor, entre otros (Tanwar, 2003). El tomate es una especie que es medianamente sensible a las sales, con un umbral de expresado como conductividad eléctrica (CE) de 2.5 dS m^{-1} determinadas en el extracto de saturación del suelo (Chinnusamy *et al.*, 2005).

La relación de adsorción de sodio (RAS) calculada fue 5.2; considerando este valor y el de CE (4.8 dS m^{-1}), se clasifica como suelo salino sódico (Garrido, 1994). Por su contenido de materia orgánica (M.O.) 4.7%, se interpreta con niveles muy altos (Pavón-Chocano, 2009), lo cual es un buen indicativo del contenido de nitrógeno total (0.235%) en el suelo, de su actividad biológica y física a la vez que es un buen indicador de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) determinado

que fue de 43.8 cmol (+) /kg. Para los cationes (cmol (+) /kg), Na (30.3%) intercambiable se encuentran extremadamente alto del rango deseable (<6 %). Las cantidades de los aniones: HCO_3^- (2562), Cl^- (1491) y SO_4^{2-} (2016) determinadas (ppm) resultaron extremadamente altas.

El análisis químico del agua reportó un valor de pH de 7.6 e indica que la alcalinidad se encuentra por encima del rango deseado (5.0-7.0). Esta alcalinidad está relacionada con los altos contenidos de bicarbonatos determinados (495.5 ppm). El valor del RAS (4.1 meq L^{-1}) y de C.E. (1.6 dS m^{-1}) clasifican el agua de alta salinidad con bajo contenido en sodio (C3-S1), recomendada a utilizar en suelos con buen drenaje y en cultivos muy tolerantes a la salinidad (Blasco y de la Rubia, 1973). Se determinaron 7.8 meq L^{-1} de Na (179.4 ppm) siendo éste valor alto al rango deseable (< de 50) Ayers y Westcot (1985) y de un riesgo medio de toxicidad para los cultivos. (3 a 9 meq L^{-1}). Según el 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 ppm de magnesio; por lo que no es de esperarse un bloqueo en la absorción de uno u otro elemento, pero si cierta obstrucción del sistema de riego al asociarse con bicarbonatos. Estos pueden disminuirse al acidificar la SN con algún ácido 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) arrojaron valores fuera del rango deseable en la calidad del agua (<240, < 90 y <140; respectivamente), Tayama y Roth (1990).

4.3.2 Programación de irrigación-fertilización durante el crecimiento y desarrollo del tomate

Según algunos investigadores el cultivo de tomate presenta tres períodos críticos con relación al riego que comprenden: desde el trasplante al inicio de formación del fruto, desde la formación del fruto hasta el primer corte, y el periodo de cosecha que requiere el mayor número de riegos. La cantidad de riego aplicado durante el ciclo ascendió a 3780 m^3 , y se distribuyó en las diferentes etapas de crecimiento: desarrollo vegetativo la planta recibió 157.5 m^3 , durante proceso de floración $1,102.5 \text{ m}^3$, cuajado de fruto 630 m^3 , en la maduración de fruto 787.5 m^3 y durante la cosecha $1,102.5 \text{ m}^3$. Con base en los volúmenes de agua aplicada en cada etapa, se hicieron los cálculos de los nutrimentos en ppm adicionados en mediante las láminas de riego fueron en m^3

correspondientes. Desde el trasplante hasta la cosecha se realizó una fertigación real de 384 N -129 P₂O₅ – 475 K₂O kg ha⁻¹. Cantidades que se distribuyeron de la manera siguiente: del trasplante hasta inicio de floración N el 26.1%, P el 38.9% y K el 17.1%. Del cuajado del fruto hasta la maduración del fruto: N (55.2%), P (41.3%) y K (52.0%). El resto de N (18.4%, P (17.07%) y K (29.18%) durante todo el periodo de cosecha. El criterio de fertigación fue considerando que el cultivo requiere una mayor cantidad de nitrógeno desde el inicio de floración hasta el cuajado de fruto, mientras que el K desde el cuajado de fruto, maduración y cosecha. El incremento del K después del cuajado del fruto fue para asegurar buena calidad de frutos (pared gruesa indispensable para la vida de anaquel del producto) y contenido en azúcares (grados Brix). Al momento de cosecha se continuó aplicando nitrógeno debido a que hay un crecimiento de follaje para alimentar los frutos ya existentes y los nuevos. En el caso de fósforo desde el trasplante hasta inicio de floración, manteniéndose la cantidad hasta inicio de cosecha para disminuir la cantidad a aplicar durante el periodo de cosecha. Al final el potasio y algo de calcio son de gran relevancia para una buena calidad de frutos. La cantidad total de calcio (Ca) y magnesio (Mg) aplicadas mediante el riego al cultivo fueron 72.3 y 34.8 kg ha⁻¹; respectivamente, datos no presentados.

4.3.3 Humedad aprovechable y nutrientes en la solución del suelo

El agua aprovechable para la planta en el suelo es esencial para un adecuado desarrollo y crecimiento del tomate y depende de las propiedades del suelo. Un suelo franco tiene una propiedad típica de densidad aparente de 1.2-1.3 (g cm⁻³). Para medir la relación entre tensión y contenido de humedad del suelo, el tensiómetro se adapta muy bien a los sistemas de riego por goteo, pero deben colocarse a la profundidad de mayor actividad radical de los cultivos (Domínguez, 1993; Morín, 1985). Los valores registrados en los tensiómetros indican que la humedad del suelo fue homogénea durante todo el ciclo del cultivo de tomate. Durante el periodo de agosto-octubre, el tensiómetro colocado a 15 cm de profundidad registró un promedio de 12.9 cbs; ligeramente menor a 16.8 cbs, valor medio del tensiómetro colocado a 30 cm de profundidad. Durante los meses de noviembre y diciembre, los valores medios de las lecturas de los tensiómetros a 15 cm (9.6 cbs) y a 30 cm (10.5) resultaron prácticamente iguales. Lo anterior coincidió con las etapas fenológicas correspondientes al cuajado y maduración del fruto de tomate donde la planta requiere de más agua y de nutrientes (K y Ca) para no causar daños al fruto; no observándose síntomas de estrés hídrica

y nutrimental en el cultivo. Es conveniente señalar que, en los meses de noviembre y diciembre, se registraron temperaturas mínimas promedio de 10 °C por lo que la demanda evapotranspirativa del cultivo de tomate disminuyó significativamente.

Al presente, la calidad del agua de riego es una dificultad para los productores agrícolas, en ambas condiciones: invernadero y campo. Consecuentemente se deben controlar ciertos factores técnicos relacionados con las soluciones nutritivas que son: calidad del agua, pH de la solución, balance de los elementos nutritivos (Huett y Rose. 1988). En este momento, en la agricultura moderna se requiere buscar estrategias que permitan tener datos en el menor tiempo posible (en campo), análisis que indiquen el status de salinidad y nutricional de la solución del suelo (SS) en un momento preciso de crecimiento del cultivo.

En el estudio, las soluciones nutritivas aplicadas durante el riego fueron acidificadas a un pH 6.3 ± 0.1 , con Ac. Fosfórico (85%), los valores de pH determinados en la SS oscilaron entre 7.72 y 8.05 con un valor promedio de 7.9. Este valor de pH fue ligeramente menor al pH (8.3) determinado en el extracto de saturación del suelo previo al establecimiento del experimento. En relación a la CE, ésta osciló entre 3.9 y 4.8 dS m^{-1} , con un valor medio de CE de 4.5 dS m^{-1} , solución de alto riesgo de salinidad. Valores muy por arriba de la determinada en el agua de riego utilizada (1.6 dS m^{-1}) y muy similar aquella cuantificada en el extracto de saturación del suelo, previo al experimento (4.8 dS m^{-1}). Burgueño (1999) reporta una conductividad eléctrica de 2.5 (mS m^{-1}) en la SS en etapa de producción, muy inferior al valor medio determinado en este experimento en la misma etapa de crecimiento. Esto confirma que el crecimiento de una planta es afectado por la interacción de los elementos químicos disueltos en el agua aplicada (salinidad), de las propiedades químicas del medio de crecimiento (suelo) a la cual el agua es aplicada y al programa de fertilización empleado.

Para que el tomate exprese 100% de su rendimiento potencial, requiere que la CE en el agua de riego sea inferior a 1.7 dS m^{-1} , siempre que el resto de los factores ambientales se encuentren en su rango óptimo (Aguilar, 1988). Considerando el valor medio de CE (4.5 dS m^{-1}) determinada en la SS, el rendimiento potencial del cultivo de tomate se reduciría en un 35%. Para efectos prácticos, el umbral de salinidad del agua de riego para uso a largo plazo es alrededor de 2.0 dS m^{-1} en suelos francos y 1.2 dS m^{-1} en suelos arcillosos (Ayers y Westcot, 1985).

Las cantidades determinadas de potasio (ppm) en la SS, durante los meses agosto, septiembre y octubre (163, 160.0, 92.2; respectivamente) son considerados bajos (Burgueño, 1999), incrementándose significativamente a 442.5 y 350.3 en los meses de noviembre y diciembre (durante el periodo de cosecha); respectivamente. Éstos valores son considerados muy altos y altos; respectivamente. El valor medio de K determinado en la SS durante todo el ciclo del tomate fue de 241.7 ppm, el cual es considerado una concentración media.

Contrario, al comportamiento del K en el suelo, la concentración de Na en la SS disminuyó conforme avanzó el ciclo de cultivo de tomate. En el mes de agosto los valores medios ascendieron hasta 363.3 ppm de Na, para enseguida disminuir a 228.5, 103.4, 98.7 y 72.5 ppm, en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre; respectivamente. La cantidad de Na determinado en los dos primeros meses son considerados muy altos y altos; respectivamente. Mientras que los meses restantes sus contenidos de Na son considerados bajos. El valor medio cuantificado durante todo el ciclo de cultivo fue 173.3 ppm de Na y es considerado un contenido medio.

Por otra parte, la concentración de N-NO₃ en la SS osciló entre 37.8 y 89.3 ppm correspondiendo el valor más bajo al inicio del crecimiento de la planta y el valor más alto al final del experimento (89.3 ppm). Valores menores de 50 ppm son bajos, valores menores de 200 ppm son intermedios (Romo, 2006); mientras que Burgueño (1999) afirma que se debe mantener una concentración constante de nitratos en solución arriba de 500 ppm en el caso de cultivos exigentes en nitrógeno; Sin embargo, en este cultivo desarrollado en suelo franco, no obstante, que se tuvo una menor concentración de nitratos no se presentaron falta de firmeza en frutos ni frutos rajeteados como afirma Burgueño (1999), ni pérdidas de nitratos por lixiviación en el suelo.

4.3.4 Análisis de suelo después de la cosecha

Los resultados del análisis del suelo posterior a la cosecha (Cuadro 2) reportaron que la aplicación de los tratamientos causó una disminución en el pH del suelo con 7.7 y 7.5 para S₁ y S₂ respectivamente; producto de los procesos de oxidación-reducción en el suelo del S^o a sulfato como resultado la acidificación del suelo, el ácido producido por el proceso de oxidación ayuda a reducir la alcalinidad del suelo (Cox y Koenig, 2010). De igual manera la CE disminuyó a 0.66 dS m⁻¹ para S₁ y 1. dS m⁻¹ para S₂ en comparación de la C.E. de (4.8 dS m⁻¹) determinada en suelo previo al establecimiento del experimento (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis químicos del suelo posterior al experimento en Moctezuma, San Luis Potosí

Indicador	Unidades	Cantidad de S° aplicado	
		750 kg ha ⁻¹ (S ₁)	1500 kg ha ⁻¹ (S ₂)
pH		7.7	7.5
C.E. ex	dS m ⁻¹	0.7	1.6
M.O.	%	4.9	4.8
HCO ₃ ⁻	mEq /100g	2.2	4.5
Cl ⁻	mEq /100g	1.4	3.2
SO ₄ ²⁻	mEq /100g	3.5	20.4
K ⁺	mEq /100g	0.9	1.4
Mg ⁺⁺	mEq /100g	5.1	35.1
Ca ⁺⁺	mEq /100g	2.9	23.2
Na ⁺	mEq /100g	1.1	1.4
CIC		10.1	61.2
PSI		10.9	2.2
RAS		0.82	0.4

Se puede observar que los valores más altos para aniones y cationes se presentaron en S₂. 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 potasio (K⁺) para S₁ y S₂ se encuentran con valores altos (el rango es de 0.6 a 2 mEq /100 g suelo). Para calcio (Ca⁺⁺) en S₁ arroja valores bajos, a comparación de S₂ que mostró valores altos. Para magnesio ambos valores para S₁ y S₂ se clasifican como altos. Los valores de los aniones para ambas dosis de azufre se interpretan como valores altos.

El proceso de oxidación del S° es progresivo en el tiempo. En este estudio existió mayor eficiencia al adicionarse el tratamiento S₁ (750 kg ha⁻¹) que el tratamiento S₂ (1500 kg ha⁻¹). Lo cual es coincidente con García y Castillo, (1993) quién reporta que existe una mayor eficiencia relativa de oxidación con la aplicación de dosis inferiores a 1000 kg/ha, que aplicaciones superiores a 1000 kg ha⁻¹ ya que hacen que el proceso de oxidación sea más lento. Sin embargo, las altas cantidades de SO₄²⁻ encontradas en el tratamiento S₂, en principio pueden atribuirse a una alta población o a una alta actividad y eficiencia de los organismos oxidantes del S (bacterias del género *Thiobacillus*), a un desequilibrio químico en el medio bajo esta condición (García y Castillo, 1993), también por mantener una humedad en el suelo alrededor de capacidad de campo, mediante el riego por goteo y a su respectiva programación de irrigación durante la conducción del experimento.

4.3.5 Índices fisiológicos

La tasa de crecimiento absoluto (TCA) mostró una tendencia a disminuir conforme avanzó el ciclo de cultivo. La ecuación de regresión que evidencia lo anteriormente señalado se aprecia en la Figura 1 (S₁:R² 0.95) y (S₂: R² 0.93), Casierra-Posada *et al.*, (2007) reportan valores de R² de 0.83, 0.92 y 0.94 de este índice fisiológico para tres variedades de tomate, respectivamente.

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, presentó valores con diferencias altamente significativas por efecto de las parcelas grandes (S₁ y S₂). La tendencia de los valores estimados en la TAN, fue a disminuir en el tiempo a partir de los 54 DDT hasta los 83 DDT. Las ecuaciones de regresión que evidencia lo anteriormente señalado se aprecia en la Figura 1 (S₁: R² 0.97) y (S₂: R² 0.89). El ANOVA mostró diferencias significativas entre los dos tratamientos de azufre a los 54, 63 y 83 DDT (Figura 8).

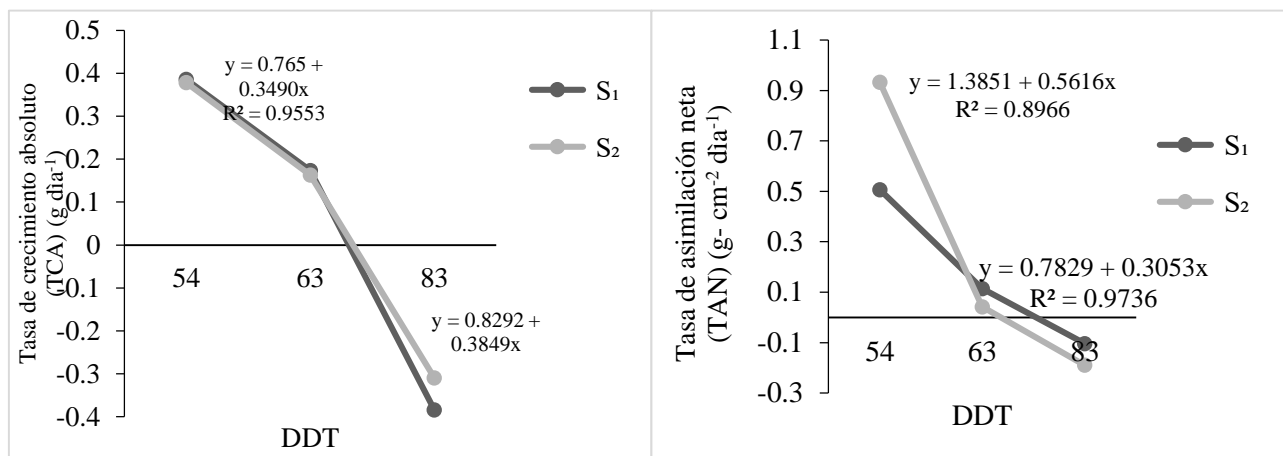


Figura 8. Tasa de crecimiento absoluto (g día⁻¹) y Tasa de asimilación neta (g cm⁻² día⁻¹) en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 (S₁) y 1500 (S₂) kg ha⁻¹

Por otra parte, en la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), que es el término que describe la acumulación de materia seca por unidad de área por unidad de tiempo (g dm² día⁻¹), los valores estimados presentaron diferencias significativas a los 63 DDT, siendo las plantas desarrolladas en el tratamiento S₁ el de mayor valor con 1.114 g dm² día⁻¹ en comparación a S₂ cuya valor fue de 0.363 g dm² día⁻¹. A los 83 DDT los valores disminuyeron a 0.194 y 0.189 (g dm² día⁻¹) en S₁ y S₂; respectivamente. Estos resultados coinciden con los reportados por Barraza *et al.*, (2004) en tomate (*Solanum lycopersicum L.*), en donde la TCC aumentó rápidamente hasta alcanzar un máximo, y posteriormente este índice de crecimiento decreció en forma acelerada.

4.3.6 Rendimientos de fruto fresco (kg pt⁻¹) y componentes de rendimiento

En las plantas de tomate desarrolladas bajo los tratamientos S₁ y S₂ resultó significativamente diferente, el peso de fruto fue de 177 y 124 (g pt⁻¹), lo cual representa un peso total de fruto fresco acumulado de 6.3 y 5.1 kg pt⁻¹; respectivamente. El híbrido (Conan USATX 2112) evaluado se caracterizaron por un fruto uniforme con un peso por fruto de 160-170 gramos. En referencia a los grados brix (sólido solubles totales) determinados en el fruto de tomate en el tratamiento S₁, fueron de 5.38 a los 107 DDT y éstos disminuyeron a 4.88 a los 127 DDT; valores que fueron significativamente diferentes con respecto a los valores de grados brix registrados en los frutos cosechados en el tratamiento S₂, donde los valores de grados brix fueron 5.13 y 5.94 a los 107 y

127 DDT; respectivamente (Figura 9). El valor promedio en grados brix del fruto fue de 5.25 ± 0.15 . Aguayo y Artes (2001) mencionan que los rangos del tomate en contenido de grados brix oscilan entre 4 a 6, por lo tanto, los resultados obtenidos en la investigación indican estar dentro de este rango. Por su parte, Casierra-Posada *et al.*, (2007) encontraron un incremento en los grados brix (arriba de 6) en los frutos de tomate de plantas cultivadas a campo abierto, ya que las condiciones de luminosidad y transpiración favorecen un 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.

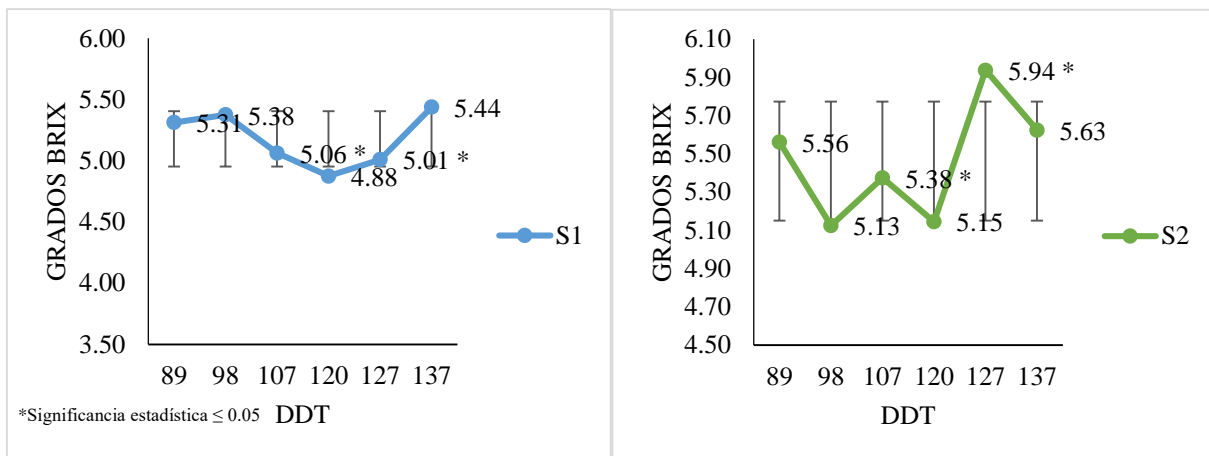


Figura 9. Grados Brix de la planta tomate, a los 63 y 83 DDT, en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 kg ha^{-1} (S1) y 1500 kg ha^{-1} (S₂).

Con base en la CE (1.6 dS m^{-1}) del agua de riego, en el umbral de salinidad para el tomate es de 2.5 dS m^{-1} y considerando que la CE de la solución nutritiva aplicada a través del sistema de riego fue de 4.5 dS m^{-1} , se esperaba que los componentes de rendimiento y el rendimiento de fruto de tomate por planta fueran afectados negativamente, lo cual en este estudio no ocurrió. 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 $2.5\text{-}4.0 \text{ dS m}^{-1}$. Sin embargo, la producción de masa seca es la que usualmente determina la importancia económica de un producto agrícola (Taiz y Zeiger, 2000; Werner y Leiber, 2005).

Los valores del diámetro ecuatorial (DE) y diámetro polar (DP) de los frutos de las plantas desarrolladas en los dos tratamientos de azufre elemental, fueron estadísticamente iguales. En S₁ los valores del DE fluctuaron entre 4.9 y 5.9 cm, mientras que en S₂ fueron de 4.7 y 4.96 cm; al inicio de la cosecha (83 DDT) y al final de la cosecha (137 DDT) considerada en el estudio; 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 S₁, sus valores estuvieron dentro del rango 5.9 y 6.48 cm, ligeramente más altos, similares también a los encontrados en S₂ (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. De la Cruz *et al.*, (2009) obtuvo 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 10. Este comportamiento nos indica que tanto DE como el DP del fruto se mantuvieron durante todo el ciclo. Se reporta que los primeros dos racimos tienen una mayor ventaja de presentar 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). 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) describen curvas sigmoideales simples. En frutos de tomate, se han utilizado también otras funciones para modelar el crecimiento, entre estas destacan las funciones 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).

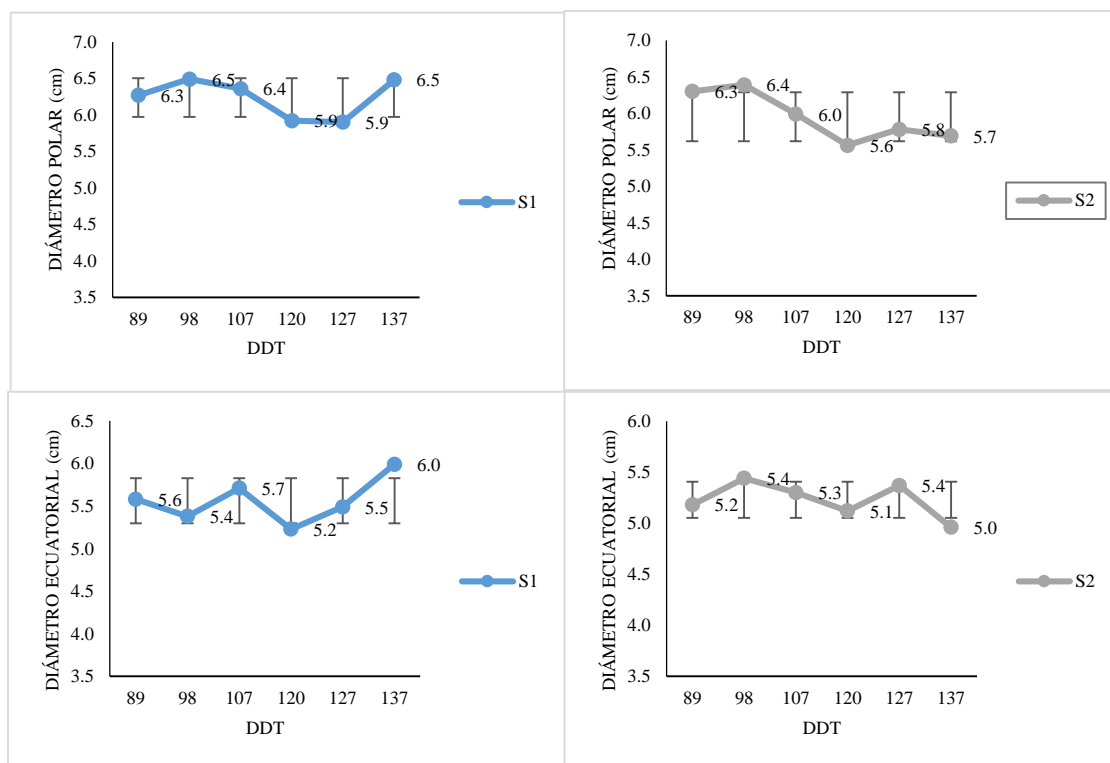


Figura 10. Diámetro Ecuatorial y Polar del fruto durante la cosecha del cultivo, en respuesta a los dos tratamientos de azufre: 750 kg ha⁻¹ (S₁), 1500 kg ha⁻¹ (S₂)

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

La producción de materia seca total (MST) y el rendimiento de fruto de tomate se incrementaron de un 23 hasta un 34% mediante la aplicación de S en el suelo. (Cuadro 9). La producción de MST que presentaron las plantas desarrolladas con la dosis de 750 kg ha⁻¹ de S₁ superó 42.2% a aquella obtenida en plantas desarrolladas bajo el tratamiento S₂ (Cuadro 9). En las plantas del tratamiento S₁ se incrementó la MST desde los 63 hasta los 107 DDT, posteriormente disminuyó gradualmente hasta los 137 DDT; su mayor tasa diaria de producción de MS se registró entre 63 y 83 DDT (196.7 g pt⁻¹ d⁻¹); en este mismo periodo, la concentración de N y K en la MST disminuyó de 6.35 a 3.48 % y de 5.00 a 3.85%; respectivamente. Ambos nutrientes mostraron una dilución en la MS al avanzar la edad. Esta dilución no se presentó en las plantas del tratamiento S₂, la cual consistentemente también se incrementó desde los 63 hasta los 137 DDT; registrándose la mayor tasa de producción de MS entre 83 y 89 DDT (110.9 g pt⁻¹ d⁻¹), no observándose un efecto de dilución en la concentración de N en la MST durante este período. Gráficamente se aprecia en

la Figura 11, la MS producida por S₁ que se ajustó a una ecuación cuadrática (R²=0.85) y aquella MS producida en S₂ ajustada a una ecuación lineal (R²=0.99).

Cuadro 9. Materia seca total (kg ha⁻¹), contenido (%) y acumulación de N y K (kg ha⁻¹) durante el ciclo de tomate, en respuesta a azufre elemental (S°)

DDT	63	83	89	98	107	120	127	137
Materia Seca Total (kg ha⁻¹)								
S₁	3870.3	7805.5	7966.5	8136.5	8220.5	8190.1	8099.5	7879.9
S₂	1777.4	2073.3	2739.2	3059	3372	3812.1	4043.2	4366.3
Nitrógeno (%)								
S₁	6.35	3.48	3.84	3.82	3.82	3.82	3.80	3.71
S₂	7.39	7.22	7.14	7.15	7.14	7.15	7.15	7.15
Nitrógeno Acumulado (kg ha⁻¹)								
S₁	245.7	271.7	305.7	311	314.2	313.1	308	292.5
S₂	131.3	149.6	195.7	218.6	240.9	272.4	288.9	312
Potasio (%)								
S₁	5.00	3.85	4.55	4.55	4.55	4.55	4.59	4.56
S₂	7.09	6.48	6.95	7.02	6.95	6.95	6.95	6.95
Potasio Acumulado (kg ha⁻¹)								
S₁	193.4	300.7	362.4	370.1	373.9	372.6	371.7	359.7
S₂	126	134.3	190.5	214.8	234.5	265.1	281.2	303.6

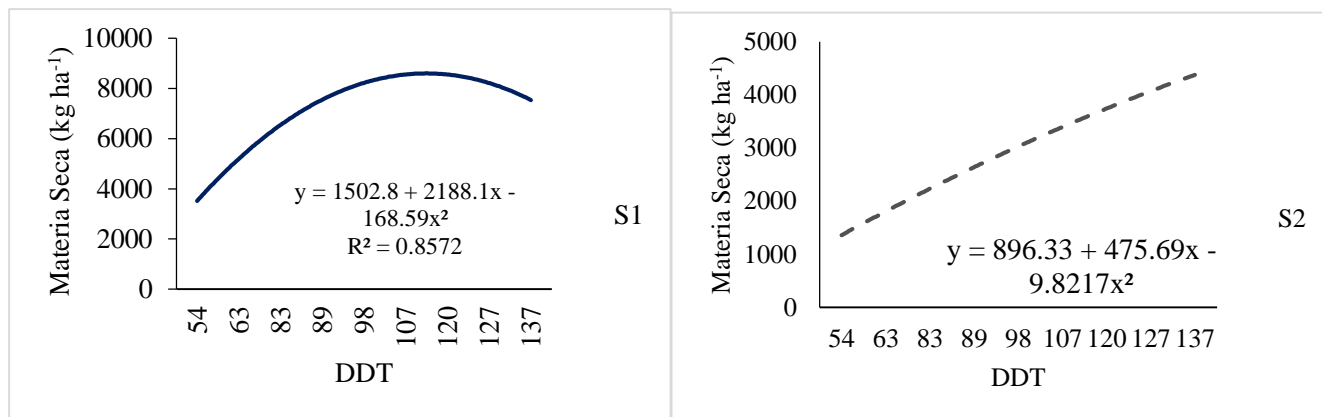


Figura 11. Dinámica de producción de MS total durante el ciclo de tomate, en respuesta a azufre elemental (S°).

El comportamiento diferencial en los valores de producción de MST y concentración de N y K en S_2 con respecto a S_1 , puede asociarse al proceso de oxidación, el cual posiblemente fue más lento cuando las plantas recibieron la mayor dosis de S (1500 kg ha^{-1}) (García y Castillo, 1993), originando que el tratamiento S_2 causara un retraso de 20 DDT en las etapas iniciales de crecimiento de la planta, afectándose negativa y significativa las características morfológicas, fisiológicas y sus componentes de rendimientos. Lo anterior pone en evidencia que, con limitación de S en el suelo, las plantas limitan la absorción de nitrógeno y otros nutrientes y su desarrollo potencial. Los suelos con alta disponibilidad de S° conduce a una absorción de N, K y S mayor a sus necesidades 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 nutrientes en la obtención del rendimiento del tomate. Bajo el tratamiento S_2 se obtuvo una menor biomasa seca, no obstante, una mayor concentración de N y K. Lo contrario ocurrió con S_1 donde se obtuvo una mayor biomasa y una menor concentración nutrimental para N y K

La MS producida en plantas desarrolladas en el tratamiento S_1 se ajustó a una ecuación cuadrática ($R^2=0.85$) y en S_2 a una ecuación lineal ($R^2=0.99$), (Figura 4). La MS obtenida en plantas del tratamiento S_1 a los 98 DDT, la MST fue de 319 g pt^{-1} ; resultados similares consignaron Gandica y Peña (2015) quienes evaluaron dos cultivares de tomate, con hábito de crecimiento determinado cultivados bajo ambiente protegido, determinando que la acumulación de MS y la absorción de los macronutrientes se ajustaron a un modelo polinómico de tercer grado; generando una curva sigmoideal con una biomasa seca por planta a los 98 DDT de 343.8 g y 219.10 g .

Bajo el tratamiento S_2 se obtuvo una menor biomasa seca, no obstante, una mayor concentración de N y K. Lo contrario ocurrió con S_1 donde se obtuvo una mayor biomasa y una 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_1 , el N acumulado mostró un incremento desde los 63 DDT hasta los 107 DDT (245.7 y 314.2 kg ha⁻¹, respectivamente), para enseguida disminuir ligeramente a 292.5 kg ha⁻¹ a los 137 DDT. Lo contrario ocurre con la S_2 donde la acumulación de N se fue incrementando a lo largo de las cosechas. La cantidad de N a los 63 DDT fue de 131.3 kg ha⁻¹, hasta alcanzar un total de N acumulado de 312 kg a los 137 DDT (Cuadro 3). Este comportamiento de N acumulado, en ambos tratamientos de S, fue observado para K durante todo el ciclo del cultivo. Sólo que en S_1 y S_2 , el total de K acumulado fue de 373.9 (107 DDT) y 303.7 (137 DDT) kg ha⁻¹, respectivamente. Valores ligeramente más altos que los de N total acumulado dado que las aplicaciones de K fueron más altas que las de N y se mantuvieron hasta la última cosecha, esto puede atribuirse a la eliminación de las hojas inferiores por senescencia (< MST) y a cierto desplazamiento del N-NO₃ 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 S_1 representaron el 81.8% y el 78.6% del total aplicado al final del ciclo; respectivamente. Porcentaje, muy similar en N (81.2%) y menor para K, (63.8%) en el tratamiento S_2 con respecto al tratamiento S_1 . Las cantidades de N y K acumulado en la MST de plantas desarrolladas en S_1 y S_2 durante todo el ciclo del cultivo fueron opuestos entre ellos (Figura 12). Lo que explica el mejor comportamiento de las plantas de tomate donde se incorporó el azufre elemental a la dosis más baja. 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 recomendaciones de fertilización balanceada de estos nutrimentos para ciertos sistemas de producción. Dado que en el presente estudio no se analizó el contenido de S en el tejido vegetal, para definir y entender la importancia de la relación N/S y su contribución en la nutrición del tomate es recomendable realizar su determinación en estudios posteriores. La cantidad total de N acumulado en este experimento (S_1) fue ligeramente más bajos al reportado por Cuadrado-García *et al.*, (2014), quienes encontraron una total de nitrógeno acumulado en la planta de tomate de

379.6 kg ha⁻¹ y reportaron, además, que el N es necesario para las plantas, pero debido a la ineficacia de estas para absorberlo, tan solo un bajo porcentaje es asimilado, y el restante es liberado al ambiente. (Cuadrado-García *et al.*, 2014). Las cantidades de N y K acumulado en S₁ y S₂ durante todo el ciclo del cultivo resultaron extremadamente contrastantes entre ellos (Figura 12).

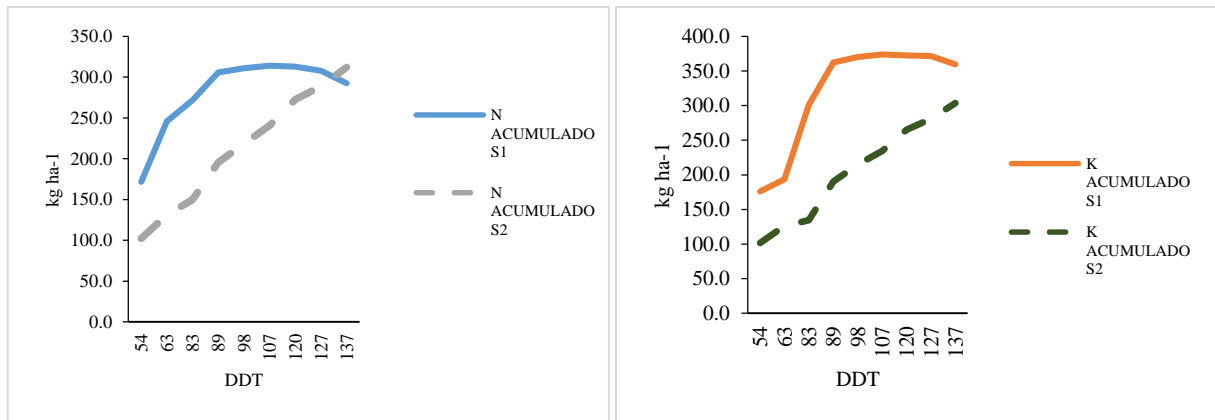


Figura 12. N y K acumulado (kg) durante el ciclo de tomate, en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 kg ha⁻¹ (S₁) y 1500 kg ha⁻¹ (S₂).

4.3.8 Rendimiento total de fruto fresco comercial y acumulado, al final del ciclo

La información de este apartado incluye prácticamente el inicio y final del periodo de cosecha de fruto fresco comercial, que comprende desde los 89 hasta los 137 DDT (Cuadro 10). La mayor MS total producida, en correspondencia con un buen balance entre N y K a nivel tejido vegetal y más acorde con la demanda nutrimental durante las etapas vegetativas y floración, y su mejor acumulación de N al inicio de la cosecha de las plantas del tomate, originó la mayor producción de fruto fresco comercial y acumulado, bajo el tratamiento S₁, durante y al final del ciclo (Cuadro 10). Considerando el peso de fruto por planta y una densidad de población real cosechada de 25,500 plantas ha⁻¹ la producción en fruto fresco total acumulado bajo el tratamiento de 750 kg ha⁻¹ de azufre (S₁), ascendió a 162.9 ton ha⁻¹. Rendimiento en fruto fresco superior en un 19% (30.6 ton), al tratamiento de 1500 kg ha⁻¹ (S₂), donde se produjo un rendimiento de 132.0 ton ha⁻¹ de tomate al final del ciclo, producto de seis cosechas (Cuadro 4). 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 agua consumida por la planta de tomate en el período entre dos riegos y, además, cubrió las pérdidas inevitables dentro del invernadero. El Índice de Productividad (IP), que es un indicador de importancia económica y ambiental, así lo demuestra. El IP en el tratamiento S₁ fue 43.1 kg de fruto m³, mientras que en S₂ disminuyó significativamente a 34.9 kg m³. Sin embargo, éstas 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^o al suelo creó condiciones favorables nutrimentalmente para un mejor aprovechamiento del nitrógeno (Jamal *et al.*, 2010).

Cuadro 10. Rendimientos medios de fruto fresco comercial (kg pl⁻¹), rendimiento acumulado (ton ha⁻¹)

DDT	63	83	89	98	107	120	127	137	Total
Rendimiento de Fruto Fresco (kg pl⁻¹)									
S ₁	0.359	0.559	0.863	1.416	1.234	0.968	0.883	1.027	6.3
S ₂	0.309	0.49	0.822	0.995	0.901	0.734	0.874	0.852	5.1
Rendimiento de Fruto Fresco Acumulado (ton ha⁻¹)									
S ₁	9.1545	14.2545	22.0065	36.108	31.467	24.684	22.5165	26.1885	163.2
S ₂	7.8795	12.495	20.961	25.3725	22.9755	18.717	22.287	21.726	132.6

Una práctica de manejo que puede ayudar a disminuir el posible efecto dañino del Na y Cl y mejorar la producción de tomate en condiciones salinas es la fertilización con N-NO₃ y potasio (Al-Karaki, 2000). Lo cual coincide con la mayor producción de materia seca total producida (ton ha⁻¹) obtenida bajo el tratamiento S₁ y no con S₂, lo cual se reflejó en el rendimiento fresco comercial y el peso por fruto. Con base en esta información, se ratifica que el crecimiento de una planta es afectado por la interacción de los nutrimentos químicos disueltos en el agua aplicada, de las propiedades químicas del medio de crecimiento (suelo) a la cual el agua es aplicada y al programa de fertilización empleado.

Para producir una tonelada de tomate fresco comercial, en el tratamiento S_1 , se requirió 1.9 y 2.2 kg de N y K; respectivamente. Mientras que en S_2 , 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^{-2}) registrado mediante la aplicación del tratamiento de 750 kg ha^{-1} de azufre elemental (S_1), es similar al que reporta Valenzuela *et al.*, (2014), con aplicaciones de la solución Steiner en concentración nutrimental al 50 o 100% (16.07 kg m^{-2}), con el tomate híbrido Imperial injertado tipo bola, de crecimiento indeterminado en invernadero. La alta salinidad en las soluciones nutritivas aplicadas ($\text{CE } 4.5 \text{ dS m}^{-1}$) y las 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 (*Solanum lycopersicum esculentum*) suele asociarse a la calidad de sus frutos en términos peso por fruto y cualitativos (Bugarín-Montoya *et al.*, 2002).

4.4 Conclusiones

1. 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^{-1}).
2. La mayor tasa de producción de materia seca (TMS) de tomate, bajo el tratamiento S_1 , ocurrió entre los 63 y 83 DDT ($196.7 \text{ g pt}^{-1} \text{ d}^{-1}$). Asimismo, se obtuvo la más alta producción de MST (kg ha^{-1}) durante todo ciclo de crecimiento, superando en un 42.2% a aquella obtenida bajo el tratamiento S_2 . En este último, la TMS se determinó entre los 83 y 89 DDT (110.9 g pt^{-1}) y esta fue menor significativamente.
3. Resultó muy evidente que la MST producida por S_1 se ajustó a una ecuación cuadrática ($R^2=0.85$) en cambio aquella producida en S_2 se ajustó a una ecuación lineal ($R^2=0.99$).
4. En este estudio, las plantas de tomate correspondiente a S_1 , el N acumulado se incrementó desde los 63 DDT hasta los 107 DDT (245.7 y 314.2 kg ha^{-1} , respectivamente), observándose un efecto de dilución en la concentración de N y K durante este periodo. En S_2 no se observó el efecto de dilución y la cantidad de N a los 63 DDT fue de sólo de 131.3 kg ha^{-1} , hasta alcanzar un total de N acumulado de 312 kg a los 137 DDT. Esto ocurrió, no obstante

que se fertigó en cantidad, tiempo y forma de manera igual en ambos tratamientos. La CE de la SN adicionada, tuvo un valor medio de CE de 4.5 dS m^{-1} , solución de alto riesgo de salinidad.

5. 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. Porcentaje, muy similar y menor para N (81.2%) y K, (63.8%) calculado en el tratamiento S_2 ; respectivamente. Para producir una tonelada de tomate fresco comercial, en el tratamiento S_1 y S_2 , se requirieron 1.9 y 2.3 kg de N; respectivamente. Mientras que, en K, en ambos tratamientos fue de 2.25 ± 0.5 kg por tonelada de fruto.

6. La mayor producción en fruto fresco total comercial acumulado, bajo el tratamiento de 750 kg ha^{-1} de azufre (S_1), fue de $162.9 \text{ ton ha}^{-1}$. Superando en un 19% (30.6 ton), al tratamiento de 1500 kg ha^{-1} (S_2). El IP en el tratamiento S_1 fue $43.1 \text{ kg de fruto m}^3$, mientras que en S_2 disminuyó significativamente a 34.9 kg m^3 .

CAPITULO V. DISCUSIÓN GENERAL

Las distintas formas de salinidad reducen la productividad del suelo y afectan la producción de la gran mayoría de las especies agrícolas de importancia económica para la producción de alimentos. El uso de prácticas que permitan recuperar el suelo como el uso de materiales de enmiendas de bajo costo, pueden contribuir a resolver el problema. En un suelo sódico predomina el ión Na^+ en el complejo de intercambio deteriorando las condiciones físicas del suelo. Además, origina desbalances nutricionales que afectan el desarrollo normal de los cultivos; su recuperación es indispensable caracterizar el problema, y entender las causas de la acumulación sales la calidad del agua para riego.

La adición de azufre elemental (S°) (Fenn *et al.*, 1990; Cifuentes y Lindemann, 1993; Miyamoto, 1998) disminuye el pH y corrige deficiencias nutricionales de Fe y P en suelos alcalinos. La magnitud del efecto acidificante del azufre elemental son los contenidos bajos de CaCO_3 , materia orgánica; y arena. El azufre (S°) debe de ser oxidado por las bacterias del suelo, principalmente del género *Thiobacillus thiooxidans* la especie más importante (Chapman, 1990; Miyamoto, 1998), a sulfato (SO_4^{2-}) que es la forma en que la planta lo absorbe. Existen además de los microorganismos del suelo, factores físicos que influyen en 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). En este proceso, la saturación de un suelo (< aireación del suelo) favorece la reducción de sulfatos y puede contribuir a la formación de suelos sódicos debido a la formación de carbonato de sodio (Na_2CO_3); situación tal que se desea corregir.

En este estudio, la CE disminuyó al adicionarse el S° y gallinaza como mejoradores del suelo. Su aplicación buscó inducir la conversión de CaCO_3 a CaSO_4 y $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. No se manifestó una relación inversa entre el contenido original de sulfatos en el suelo y la eficiencia de oxidación de S, lo cual hace suponer que el exceso de sulfatos en el medio restringe el proceso de oxidación. En el tratamiento S_2 hubo mayor acumulación de SO_4 al final que en S_1 . Desafortunadamente, la influencia probable de los iones SO_4 en el intercambio catiónico en suelos sódicos no ha recibido mucha atención probablemente a causa de que los SO_4 de Ca y Mg son más solubles que los CO_3 .

Con base en lo información anterior, se asume que el posible desbalance nutricional esperado que limitara el crecimiento normal del tomate al establecerse en un suelo salino-sódico, se vio superado y favorecido por las adiciones de S° y gallinaza al disminuirse significativamente

el pH, CE, contenido de Na el PSI y RAS, conjuntamente con un buen abastecimiento nutrimental, a los 30 cm de profundidad del suelo donde se desarrolló el sistema radical del cultivo de tomate por la utilización del riego localizado para nutrir al tomate. El fenómeno básico involucrado en la recuperación del suelo fue la dilución y movimiento de las sales para llevarlas fuera del perfil radical. Sin embargo, se observó que aplicaciones superiores a una tonelada de S° hacen que el proceso de oxidación sea más lento (García y Castillo, 1993). No obstante, se observó que el tratamiento S₂ causó un retraso en las etapas iniciales de crecimiento de la planta, debido a la aplicación de S° en un 100% más alta la dosis que en S₁. Observándose una tasa de MS menor y continua (< 42 %) durante todo el ciclo, afectándose también las características morfológicas, fisiológicas y sus componentes de rendimientos de manera negativa y significativa al crearse condiciones no favorables para un desarrollo normal del tomate. Lo anterior explica la disminución de rendimiento de fruto fresco comercial (en un 34%) en tratamiento S₂ (132.6 ton ha⁻¹) con respecto a S₁ (163.2 ton ha⁻¹), así como también la menor IP; y peso medio y rendimiento de fruto por planta.

En el caso del tomate el factor de demanda de nitrógeno, bajo el tratamiento S₁ fue de 0.19 kg de N por cada 100 kg de producto cosechado y el de potasio fue de 0.22 kg de K por cada 100 kg de tomate cosechado. Sobre esta base, la demanda de N para el cultivo de tomate de un rendimiento esperado de 163.2 ton ha⁻¹ sería de 310.08 kg de N ha⁻¹ y de 359.04 kg de K ha⁻¹. Con respecto a la Materia Seca (MS) bajo el tratamiento S₁ se cuantificó para N y K (0.12 kg) (0.26 kg) por cada 100 kg de MS producida, respectivamente. El balance de cada elemento indicará los requerimientos que aseguren la nutrición del cultivo. Luego viene la decisión de que fertilizante se usará, y el cálculo de cuanto se debe aplicar según los aportes en cada elemento (ley del fertilizante) y la eficiencia de aplicación de cada fertilizante. La eficiencia de aplicación que variará con la tecnología de cada predio en particular. Asumiendo que en S₁ se aprovechó un 81.2 % del fertilizante nitrogenado (el 18.8 % restante queda fuera del alcance de las raíces, o parte se lixivia) la cantidad real de N a aplicar será de 368.3 kilos. En el caso del K, si se usa un coeficiente de aprovechamiento de 78.6%, los 359.04 kg de K ha⁻¹ se convierten en 435.87 kg ha⁻¹ de un producto fertilizante potásico.

Mientras que en S₂ se produjo 132.6 ton ha⁻¹ y se requirió 2.3 kg de N ton⁻¹ producida con una eficiencia del 81.8 % del fertilizante nitrogenado (el 18.2 % restante queda fuera del alcance

de las raíces, o parte se lixivia), la cantidad real de N a aplicar será de 360.48 kilos. En el caso del K, si se usa un coeficiente de aprovechamiento de 63.8 %, los 291.72 kg de K ha⁻¹ se convierten en 397.3 kg ha⁻¹ de un producto fertilizante potásico. Estos resultados indican que el potasio suministrado, su acumulación y la regulación que produce en el tejido de la planta, bajo el tratamiento S₁, contribuyeron a la tolerancia de la salinidad y a un mejor crecimiento de las plantas de tomate y por lo tanto una mayor producción de fruto fresco comercial (Al-Karaki, 2000). Calderón, S. F. (2002), reporta una producción total de 152.16 ton ha⁻¹, siendo en promedio de 6.34 kg/planta En una densidad de siembra de 2.4 plantas por metro cuadrado

El análisis anterior nos indica que el abastecimiento de N de las plantas de tomate bajo el tratamiento S₁ se realizó más acorde a la demanda según la etapa de crecimiento y se tuvo una mejor asimilación interna del N cuando las plantas de tomate recibieron 750 kg ha⁻¹. Además, el azufre es uno de los elementos esenciales necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Wafaa, 2013). El azufre es de gran importancia para mejorar el aprovechamiento del nitrógeno por la planta (efecto sinérgico). Actualmente, la importancia del azufre (S) ha sido observada especialmente en los aspectos de producción, dado que el S puede ser un factor limitante de la productividad debido al sistema de agricultura intensiva. La absorción de azufre está alrededor de 0.6 kg/t de fruto. Es requerido durante toda la temporada, y debe de ser aplicado al mismo tiempo que el nitrógeno. Se reporta que la producción de frutos de tomate aumenta en función de las dosis crecientes de S (0, 20, 40, 60, 80 y 100 mg kg⁻¹) siendo obtenidos incrementos del 23 hasta 34%, Silva *et al.* (2014). Que la masa seca de la parte vegetativa también aumenta con la dosis de S aportada al suelo. La relación N/S disminuye en el parte vegetativo del tomate como función de las dosis de S, con valores que van desde 2.1 a 3.1 para N/S. La relación N/S de 2.36 en la parte vegetativa es la que presenta equilibrio entre estos nutrimentos en la obtención de lo rendimiento del tomate. Orman (2012) encontró una relación N/S entre 3 y 4.6; mientras que Orman y Kaplan (2011) reportan una disminución de esta relación con un incremento en la dosis de S aplicado.

Sin una cantidad suficiente de azufre, las plantas no pueden usar el nitrógeno ni otros nutrimentos de manera eficiente para alcanzar su potencial máximo. El S, además de incrementar el rendimiento de fruto también afecta otras características. Zelená *et al.* (2009) reporta que la aplicación de S, independientemente de la fuente, influye en la concentración de licopeno y el color rojo del tomate. La adición de solo nitrógeno no promueve cambios en el contenido de licopeno en

los frutos. Por otra parte, las plantas de tomate que recibieron 1500 kg ha^{-1} de S° , evidenciaron un atraso en su crecimiento, de aproximadamente 20 DDT. Por lo que la fertigación como estrategia de nutrición no manifestó sus beneficios en términos de los componentes de rendimiento y rendimiento de fruto fresco comercial total. Los suelos con alta disponibilidad de S, conduce a una mayor cantidad de absorción a sus necesidades (N, K y S), caracterizándose como un consumo superfluo (Álvarez *et al.*, 2015). Bajo el tratamiento S2 se obtuvo una menor biomasa seca, no obstante, una mayor concentración de N y K. Lo contrario ocurrió con S₁ donde se obtuvo una mayor biomasa y una menor concentración nutrimental para N y K

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 recomendaciones de fertilización balanceada de estos nutrimentos para ciertos sistemas de producción. Desafortunadamente, en el estudio no se consideró analizar los contenidos de S en el tejido vegetal para definir y entender la importancia de la relación N/S y su contribución en la nutrición del tomate.

Un uso eficiente de la técnica de fertigación, requiere un buen conocimiento de la absorción de nutrimentos bajo condiciones óptimas de rendimiento de un cultivo (Bar-Yosef 1986). En los suelos sódicos, debido a la dispersión de la materia orgánica, las cantidades de N presentes es inadecuada para el sostenimiento de los cultivos. Por lo tanto, la fertigación nitrogenada del cultivo de tomate durante todo el ciclo, resultó determinante en la producción de materia seca y en el rendimiento de fruto fresco comercial obtenido durante y al final de la cosecha del estudio. Para atenuar el efecto adverso de las sales en el rendimiento del cultivo del tomate, una práctica agronómica posible de implementar, es la aplicación de una fertilización potásica (Satti-SME *et al.*, 1994). Otra es atenuar el efecto de las sales fue mediante el método de riego de alta frecuencia (goteo) para evitar estrés hídrico y reducir la salinidad (Munns *et al.*, 2002); ubicación propicia de las plántulas de forma de evitar aquellas áreas probables de ser salinizadas al regar, y selección del tipo de fertilizante como su localización al momento de su aplicación al suelo (FAO, 1994). Se conoce también que la fertilización con K^+ ayuda a la planta a excluir el Na a nivel de absorción en las raíces, manteniendo las partes aéreas con concentraciones relativamente bajas del mismo. En el interior de la raíz se pueden formar quelatos de Na que lo hacen inactivo (Lauchli y Epstein, 1985). Este tipo de mecanismos se ve favorecido por fertilizaciones potásicas elevadas. El potasio mantiene el equilibrio iónico y el estatus hídrico dentro de la planta (A).

Otro aspecto importante que se evidenció fue que si las características físicas y químicas del suelo proporcionan condiciones adecuadas para el desarrollo del tomate se favorece el crecimiento de sus raíces, lo que a su vez aumenta la absorción de agua y nutrimentos que promueven la síntesis de compuestos fotoasimilados en la parte aérea, razón por la cual, se registró un incremento de masa seca en las estructuras de la planta, con una mayor acumulación de N y K y en consecuencia, mayor producción de fruto fresco total cosechado cuando se incorporaron 750 kg ha⁻¹ de S^o al suelo como mejorador.

CAPITULO VI. LITERATURA CITADA

- Agbede, T. M., Ojeniyi, S. O y Adeyemo, A. J. 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(1): 72-77.
- Agricultura Protegida (Ventajas y Desventajas en el uso de Invernaderos) Disponible en: <http://tecnoagro.com.mx/revista/en-linea/2011/43-no-69/350-editorial9> Consultado el 26 de noviembre del 2017.
- Agricultura Protegida 2012. SAGARPA. Disponible en: <http://2006-2012.sagarpa.gob.mx/agricultura/Paginas/Agricultura-Protegida2012.aspx> Consultado el 16 de octubre del 2017.
- Agricultura Protegida en México. Disponible en: <https://tecnoagro.com.mx/revista/2017/no-117/la-agricultura-protegida-en-mexico/> Consultado el 05 de mayo del 2017.
- Aguayo, E., Escalona, VH., Artés, F. 2001. Procesado en fresco y conservación en atmósfera modificada de 16 variedades de tomate. Alimentación, Equipos y Tecnología 160: 127-132.
- Aguilar, S.A. 1988. Métodos de Análisis de Suelos. Edición Preliminar. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos y Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México.
- Aguilera, C.M.; Martínez, E.R. 1986. Relación agua suelo planta Atmósfera. Universidad Autónoma Chapingo. México
- Alarcón, V., A.L. 2000. Tecnología para cultivos de alto rendimiento, Universidad Politécnica de Cartagena, España. 414p
- Al-Karaki G.N. 2000a. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. Mycorrhiza. 2000; 10:51–54
- Al-Karaki, G. N. 2000. Growth, sodium, and potassium uptake and translocation in salt stressed tomato. J-plant-nutr. Monticello, N.Y. Marcel Dekker Inc. 23 (3): 369-379.
- Al-Karaki, G. N.; Hammad, R. 2001. Mycorrhizal influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. Journal of Plant Nutrition. 24 (8):1311-1323.

- Álvarez-Sánchez, M. E.; Cristóbal-Acevedo, D.; Hernández-Acosta, E.; Améndola-Massiotti, R. 2011. Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional Terra Latinoamericana, vol. 29, núm. 3, pp. 325-332 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- AMHPAC. 2012. Asociación Mexicana de Horticultura Protegida, A.C. http://www.amhpac.org/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=3 Consultado el 16 de diciembre del 2017.
- Andriolo, J.L., Witter, M., Dal-Ross, T. y Godói, R.S. 2003. Crescimento e desenvolvimento do tomateiro cultivado em substrato com reutilização da solução nutritiva drenada. Horticultura Brasileira. 21: 485-489.
- Arredondo V., C. 1996. Aplicación de estiércol bovino como complemento a la fertilización química del maíz de temporal. p. 194. In: Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Obregón, Sonora, México
- Ayers, R.S. y Westcot, D.W. (1985). Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1, Roma, 174 p
- 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.
- Barraza, V., Fischer, G., Cardona C. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia. Agronomía Colombiana, 22 (1): 81-90
- Bar-Yosef, B. 1999. Advances in fertigation. Advances in Agronomy 65: 1-77
- Bar-Yosef, B., 1986. Fertirrigation as a technique to optimize crop yield with special reference to vegetables. Proceedings of the Third International Conference of Irrigation. Tel-Aviv, 87-97
- 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).
- Brady, N.C. 1990. The nature and properties of soils. 10aed. 590 p. Prentice-Hall, New York, USA.

- Bugarín Montoya, R.; Galvis Spinola, A.; Sánchez García, P.; García Paredes, D. 2002. Demanda de potasio del tomate tipo saladette. *Terra Latinoamericana*, vol. 20, núm. 4, pp. 391-399
- Bugarín-Montoya, R., Galvis-Spinola, A., Sánchez-García, P. y García-Paredes, D. 2002. Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total de tomate. *Terra Latinoamericana* 20: 401-409p
- Burgueño, H. 1999. Advances in fertigation. *Adv. Agron.* 65:1-77.
- 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.
- Carvajal, M.; Cerda, A.; Martínez, V. 2000. Modification of the response of saline stress tomato plants by the correction of cations disorders. *Plant-rowth-Regul.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 30(1): 37- 47.
- 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, F.P., Cardozo, M.C., 2009. Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. *Quindío*) cultivado a campo abierto. *Rev.Fac. Nal.Agr. Medellín* 62(1): 4815-4822.
- Castellanos R., J. Z., J. Etchevers B., A. Aguilar S. y R. Salinas J. 1996. Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades de un suelo en una región irrigada del norte de México. *Terra* 14: 151-158

- Castellanos Z., J; Borbón, M., C.2009. Panorama de la agricultura protegida en México, pp.1-17, In: Manual de Producción de Tomate en Invernadero. Editado por Intagri, S.C., Celaya, Guanajuato, México.
- Castellanos, J. Z. 1986. Evaluación del estiércol de bovino y gallinaza como fuente de fósforo en el cultivo de alfalfa. *Agric. Téc. Méx.* 12: 247-258.
- Castellanos, J.Z., Uvalle, J. X. B., A., Aguilar, S. 2000. Manual de Interpretación de Suelos y Aguas 2ª Edición. INCAPA, San Miguel Allende, Gto. México 186p.
- Cayón, G. 1992. Fotosíntesis y productividad de cultivos. *Revista COMALFI* 19(2), 23-31.
- Challa, H., Heuvelink, E., Van Meeteren, U. 1995. Crop growth and development. Long-term responses. Crop growth. In: Bakker, J.C., Bot, G.P.A., Challa, H., Van de Braak, N.J. Greenhouse climate control: an integrated approach. Wageningen: Wageningen Pers. p.62-84
- Chamarro L., J. 1995 Anatomía y Fisiología de la planta. Pp. 44-91. In: Nuez: El cultivo del Tomate. Mundi-Press, Madrid. España.
- Chamarro L., J. 1995. Manual de producción de tomate en invernadero. Intagri, S.C Celaya, Gto. 458 p
- Chang, K.; Wu, R.; Chuang, K.; Hsieh, T. & Chung, R. 2010 Effects of chemical and organic fertilizers on the growth, flower quality and nutrient uptake of *Anthurium andreanum*, cultivated for cut flower production. *Sci. Hortic - Amsterdam.* 125 (3):434-441.
- Chapman, S.J. 1990. *Thiobacillus* populations in some agricultural soils. *Soil Biol. Biochem.* 22:479-482.
- Chinnusamy V, Jagendorf A, Zhu JK. 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci*, 45: 437–448
- Cifuentes, F.R., and W. Lindemann. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:727-731.
- Cisneros-Almazán, R. 2001. Nutrición potásica y fosfatada en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. var. Río Grande) bajo condiciones de salinidad en hidroponía. Tesis de doctorado de Ciencias Agropecuarias.

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2013. Sistema nacional de información sobre cantidad, calidad, usos y conservación del agua. <http://201.116.60.25/sina/Default5.aspx?tab=74> Consultado el: 13 de febrero del 2018
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2014. Atlas del agua en México 2015. México 142p.
- Cook M, K Guthrie, M Rust & P Plesha. 2005. Effects of salinity and temperature during incubation on hatching and development of lingcod. *Ophiodon elongatus* girard, embryos. *Aquaculture Research* 36(13): 1298-1303
- Cook, R. 2007. El mercado dinámico de la producción de tomate fresco en el área del TLCAN. Departamento de Agricultura y Recursos Económicos, Universidad de California, Davis, Ca. Estados Unidos de América. 36p.
- Copeman, R. H.; Martin, C. A.; Stutz, J. C. 1996. Tomato grown in response to salinity and mycorrhizal fungi from saline or non saline soils. *HortScience*. 31 (3): 341-344.
- 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 - N°. 1 - enero - junio 2014, p.85-90 ISSN 0122-8420.
- Cuartero J.; Fernández-Muñoz R. 1999. Tomato and salinity. *Scientia Horticulture*.78: 83-125.
- 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.
- Del Rosario, D. A.; Sumague, A. C.; Roxas, V. P.; Bautista, T. S. 1990. Response of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) to salt stress. *The Philippine agriculturist*. 73 (2): 193-198.
- Deng, S., and R.P. Dick. 1990. Sulfur oxidation and Rhodanese activity in soils. *Soil Sci*. 150:552-560

- Domínguez V. A., 1993. Fertirrigación. Ed. Artes Gráficas Palermo. Madrid, España. 161 p
- Duggar, B. M.; Merrill, M. C. 1913 *Annals of the Missouri Botanical Garden* Vol. 1, No. 2 (May, 1914), pp. 237-240
- El-Habbasha-Km; Shaheen-Am; Rizk-Fa. 1996. Germination of some tomato cultivars as affected by salinity stress condition. *Egyptian-Journal-of-Horticulture*. 23 (2): 179-190.
- Enujeke, E.C. 2013. Growth and yield responses of cucumber to five different rates of poultry manure in Asaba area of Delta state, Nigeria. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science* 3(11):369-375.
- 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.
- Estañ, M.T.; Martínez-Rodríguez, M. M.; Pérez-Alfocea, F.; Flowers, T. J.; Bolarin, M. C. 2005. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. *Journal of experimental botany*. 56 (412): 703-712.
- Ewulo, B. S., Ojeniyi, S. O. and Akanni, D. A. 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 (9): 612-616.
- Ezquivel T.S. 2001. Sustratos para el cultivo sin suelo. Tesis de Licenciatura. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Mèx. pp1
- Faiz-Sma; Ullah-SM; Hussain-Akma; Kamalatmm; Ardu-Sattar. 1994. Yield, mineral contents and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*) under salt stress in a saline soil. *Current-Agriculture*. 18 (1-2): 9-12.
- FAO .1984. Improving weed management. FAO plant proteccion papers. Roma.
- FAO, 1988. Salt-affected soils and their management. FAO soils bulletin 39 Rome.
- FAO. 1991. Manejo del suelo: producción y uso del compostaje en ambientes tropicales y subtropicales. Boletín (56): 180. Roma, Italia.

- FAO. 1994. Water quality for agriculture. 29 Rev. 1.
- FAO. 2000. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. Rome, Italy: FAO Land and Plant Nutrition Management.
- FAO. 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo, Estudio FAO producción y protección vegetal. Manual 90. Food and Agriculture. Roma 344p.
- FAO, 2003. www.apps.fao.org
- FAO, 2015. Soilles culture for horticultural crop production. FAO, Plant Production and Protection Paper No. 101. Roma 188p.
- FAS/USDA, 2008. World markets and trade. Fresh and processing tomatoes. Office of global analysis. Washington, D.C.USA. www.fas.usdagov/ Consultado 3/04/2018.
- Fenn, L.B., H.L. Malstrom, T. Riley, y G.L. Horst. 1990. Acidification of calcareous soils improves zincabsorption of pecan trees. J. Am. Soc. Hortic. Sci.115:741-744.
- Fernández, G., R. 1990. Algunas experiencias y proposiciones sobre recuperación de suelos con problemas de sales en México. Terra 8: 226-240
- Fernández-García, N.; Martínez, V.; Cerda, A.; Carvajal, M. 2004. Fruit quality of grafted tomato plants grown under saline conditions. Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 79 (6): 995-1001
- FIRA, 2009 Principales resultados de VIII censo agrícola, ganadero y forestal. 2007. Notas de análisis 28p.
- FIRA, 2010. Panorama Tomate. Información económica. Panorama Agroalimentaria. 26 p.
- Fisher K., J. 1977. Competition effect in fruit trusses of tomato. Sciencie Horticulturae 7: 37-42.
- Fogg, G.E. 1967. El crecimiento de las plantas. Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA). 327 p.

- Foolad, M.R.; Lin, G.Y. 1997. Genetic potential for salt tolerance during germination in *Lycopersicon* species. HortScience. 32 (2): 296-300.
- 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.
- Garza L., J. 1985 Las hortalizas cultivadas en México, características botánicas. Departamento de Fitotecnia, U.A.Ch. Chapingo, México.
- Goykovic, C. V. y Saavedra, G. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. IDE SIA (Chile) 25:47-58.
- Grainferberg-A; Giustiniani-L; Barsanti-L; Botrini-L. 2000. Effect of salt-stress on tomato fruit quality. Colture-Protette. 29 (6): 71-80.
- Grange, R.I., Andrews-Growth, J. 1993. A rates of glasshouse tomato fruit in relation to final size. Hort. 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.
- Heuvelink, E. 1999. Evaluation of a dynamic simulation model for tomato crop growth and development. Ann. Bot. 83:413-422
- Heuvelink, E., Bakker, M.J., Elings, A., Kaarsemaker, R y Marcelis, L.F.M. 2005. Effect of leaf area on tomato yield. Acta Horticulturae. 691:43-50.
- Ho, L.C. y Grimbley, P. 1990. The physiological basis for tomato quality. Grower 22: 33-36.
- Hoffman, G.J. 1983. Salinity in irrigated agriculture. In: Design and operation of Farm Irrigation System. M.E. Jensen (Editor). A.S.A.E. Fort Collins, Colorado. U.S.A.

- Huett, D.O. y G. Rose. 1988. Diagnostic nitrogen concentrations for tomatoes grown in sand culture. *Aust. J. Exp. Agric.* 28: 401-409.
- Hunziker, A.T. 1979. South American Solanaceae: A Sinoptic Survey in Hawkes, J.G., Lester, R. N. 541-549
- IMTA, 1997. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Hidrología Superficial.
- INEGI, 2005. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de Población y Vivienda 2005.
- INEGI, 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Principales resultados por localidad 2010.
- INFOAGRO. 2009. http://www.infoagro.com/agricultura_ecologica/ Consultado el 20 de febrero de 2018.
- 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
- Kochba, M., Ritvo, G. and Avnimelech Y. 2004. The effect of municipal solid waste compost (msw) on the replacement of sodium in sodic soil models. *Soil Science*. 169(8):567-572.
- Landis, T.T 1989. Mineral nutrients and fertilization. In: Landis, T.D. *et al.* The Container Tree Nursery Manual, volume 4. Agric. Handbook 674. Washington, D.C.U.S Department of Agriculture, Forest Service: 1-67.
- Lara H., A. 1998. Soluciones nutritivas para cuatro etapas fenológicas del jitomate. Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 137p.
- Lauchli, A., and Epstein, E. 1985. Cereal-crop. Response to chloride and sulfate salinity and interaction with root Aeration In: *Soil and Plant interactions with salinity*. Kearney Foundation Five-year Report. 1980-1985. Pp. 22-28.
- Lawrence, J.R. and Germida J.J. 1998. Relationship between microbial biomass and elemental sulfur oxidation in agricultural soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:
- Lindemann, W., J. Aburto, W.M. Haffner, and A.A. Bono. 1991. Effect of sulfur source on sulfur oxidation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:85-90.

- López-Martínez, J. D.; Díaz E.; Martínez R; Valdez, R. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de maíz. *Terra* 19: 293-299.
- Luttge U. and J.A.C Smith. 1984. Structural, Biophysical, and Biochemical Aspects of the Role of Leaves in Plant Adaptation to Salinity and Water Stress. In: *Salinity Tolerance in Plants-Strategies for Crop Improvement*. R.C. Staples and G.H. Toenniessen. (Editors). John Wiley & Sons, Inc. U.S.A. pp. 125
- Mangila, E., Tabiliran, F. P., Naguit, M. R. A. and Malate, R. (2007) Effects of Organic Fertilizer on the Yield of Watermelon. *Threshold* 2. January-December, 2007, pp 27-35
- 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 Hortic.* 718:121-128.
- Marschner H. 1986. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press Inc. London.
- Martínez, E.; García, M. 1993. *Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo*. Ediciones de Horti-cultura S. L.
- Martínez, F. M.; Reyes, J. P.; Despaigne, F. H.; Baldaquín, M. H. 2004. Efecto de los hongos micorrizógenos arbusculares en el crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate. Universidad de Granma. Facultad de Ciencias Agrícolas. Cuba. 6 p.
- Martínez, H.J.J. 1992. Plant response to subsurface fertigation with P and N fertilizers. Thesis Doctor of Philosophy submitted to The Hebrew University of Jerusalem. Israel.
- Marzouka, H.A., Kassem, H.A. 2011. Improving fruit quality, nutritional value and yield of Zaghoul dates by the application of organic and /or mineral fertilizers. *Scientia Horticulturae*. 127, 249-254.
- Massoud, J. 1971. London University (1971) Thesis from Ph.D. degree
- Meiri A. and Z. Plaut. 1985. Crop Production and Management under Saline Conditions. In: *Biosalinity in Action: Bioproduction with Saline Water*. D. Pasternak and A. San Pietro (Editors). Martinus Nijhoff Publishers, Netherlands.

- Mengel, K.; Kirkby, E.A. 1982. Principles of plant nutrition. International potash Intstitute. Switzerland.
- Miyamoto, S. 1998. Use of acids and acidulants on Alkali soils and water. p. 217-255. In A. Wallace and R.E. Terry (eds.) Handbook of soil conditioners substances that enhance the physical properties of soil. Part III. Mineral soil conditioners. Marcel Dekker, New York, USA.
- Mondragón, S. L. 2005. Producción de jitomate en invernadero. 1ra ed. México
- Monselise, S.P.; Varga, A.; Bruinsma, J. 1978. Growth analysis of the tomato fruit, *Lycopersicon esculentum* Mill Ann. Bot., 42 pp. 1245-1247
- 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.
- Morín, Ch. 1985. Cultivo de Cítricos. 2a ed. EdIICA. San José de Costa Rica. 598 p
- Mueller, T. G., Mijatovic, B., Sears, B. G., Pusuluri, N. and Stombaugh, T. S. (2004): Soil electrical conductivity map quality. Soil Science. 169(12):841-851
- Munns, R.; Husain, S.; Rivelli, A. R.; James, R. A.; Condon, A. G.; Lindsay, M. P.; Lagudah, E. S.; Schahtman, D. P.; Hare, R. A. 2002. Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. Plant and Soil. 247 (1): 93-105.
- Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: ringing them together. New Phytologist. 167 (3): 645-660.
- Munns, R.; Goyal, S.; Passioura, J. 2005. Salinity stress and its mitigation. University of California, Davis. 19 p.
- Naresh, K. S. and Singh, C. P. 2001. Growth analysis of maize during long and short duration crop seasons: Influence of nitrogen source and dose. Indian J. Agric. Res. 35: 13-18.

Norma Oficial Mexicana Nom-021-REC NATURAL -2000

Nuez, F. 2001. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España 793p

Orman, Ş., Kaplan, M. 2011. Effects of elemental sulphur and farmyard manure on pH and salinity of calcareous sandy loam sand some nutrient elements in tomato plant. –Journal of Agricultural Science and Technology5(1):20-26.

Orman, Ş., Ok, H. 2012. Effects of sulphur and zinc applications on growth and nutrition of bread wheat in calcareous clay loam soil. –African Journal of Biotechnology 11(13):3080-3086

Ortega, E.M.1983. Algunos aspectos teóricos de carácter geoquímico, físico-químico y químicos involucrados en la génesis de los suelos de salinidad sódica. Conferencia realizada en el CREZAS del Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

Parada R., Castro S., Serrano R., Castillo B., Ayala J., Vides E., Romero J. 2006. First report of a phytoplasma associated with *l* (Jocote de Corona) in El Salvador. J Gen Plant Pathol (2006) 72:40–42.

Pavón-Chocano A.B. 2009. Análisis de suelo.

Pérez-Alfocea, F., Balibrea-Me; Santa-Cruz, A., Estan-Mt. 1996. Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in a commercial tomato hybrid. Plant-and-Soil. 180 (2): 251-257.

Ponce, V.M., Pandey, R.P., Ercan S. 2000. Characterization of drought across climatic spectrum Journal of Hydrological Engineering, 5 (2), pp. 222-224.

Porta, J., López-Acevedo, M., y Roquero, C., 1994. Edafología. Para la agricultura y medio ambiente. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 807 pp R. bras. Agrocência, v.11, n. 1, p. 0

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.

Radfor, P.J. 1967. Grow analysis formule. Their use and abuse. Crop Science, 7:171-175

- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook 60, 160 p.
- Rick, C. M. 1982. The potential of exotic germplasm for tomato improvement. Plant improvement and somatic cell genetics. p. 1-28.
- Rivero, R. M.; Ruiz, J. M.; Romero, L. 2003. Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. Food, Agriculture & Environment. 1 (1): 70-74.
- Rodríguez, G.A. 2006. Injerto y composta para la producción intensiva de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) en condiciones de suelo en invernadero. Tesis de doctorado en ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Edo de México.
- Rodríguez, J., Pinochet, D. y Matus, F. 2001. La Fertilización de los cultivos. Ediciones LOM. Santiago, Chile. 117 p.
- Rodríguez, R.R., Tabares R.J.M. y Median S.J.J.A. 2001. Cultivo moderado del tomate. Mundi-Prensa. Madrid, España 255p
- Rodríguez-Ortega WM, Martínez V, Nieves M, Cámara-Zapata JM, García-Sánchez F. 2017. Agronomic and physiological responses of tomato plants grown in different soilless systems to saline conditions. *PeerJ Preprints* 5:e2983v1 <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.2983v1>
- Romero-Aranda, R., Soria, T.; Cuartero, J. 2001. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. Plant Science. 160: 265-272.
- Romo-Aguilar, M. 2006 Análisis de aguas - determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas – método de prueba (cancela a la NMX-AA-079-1986).
- SAGAR. 1999. Anuario Estadístico Agrícola Preliminar 1999. Centro de Estadística Agropecuaria. <http://hda-sagar.sagar.gob.mx/cea-html>.
- SAGARPA, 2000. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos*. Volumen I. Centro de Estadística Agropecuaria. D.F. México, pp. 598-617.
- SAGARPA. 2008. Producción Agrícola en México. Centro de Estadística Agropecuaria. Servicio de Información y estadística agroalimentaria y pesquera <http://www.siap.gob.mx/>

- SAGARPA. 2008. Producción de cultivos perennes año 2007, en el Estado de México. Delegación Federal en el Estado de México. Distritos de Desarrollo Rural de SAGARPA, Estado de México
- SAGARPA, 2010. Jitomate. Monografía de Cultivo. Subsecretaria de Fomento a los Agronegocios. (PAGINA WEB OFICIAL)
- 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, Statical Analysis System (1989) User's Guide: Basic. Versión JMP 3.2.5. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Satti, S.; López, M. 1994. Effect of increasing potassium levels for alleviating sodium chloride stress on the growth and yield of tomato. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25 (15-16): 2807-2823.
- Satti, S.; López, M; Fahad, A. 1994. Salinity induced changes in vegetative and reproductive growth in tomato. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25 (5-6): 501-510
- 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 Economía (SE), 2014 Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI)
- SEMARNAT. 2003. Compendio de Estadísticas Ambientales, 2002. D. F., México.
- Serrato-Sánchez, R., A. Ortiz Arellano, J. Dimas López y S. Berúmen Padilla. 2002. Aplicación de lavado y estiércol para recuperar suelos salinos en la Comarca Lagunera, México. *Terra* 20: 329-336.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Consultado 21-02-2018 en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2016. Consultado 15-01-2018 en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>

- Shukla, M.K., Lal, R. & Ebinger, M. 2004. Soil quality indicators for the Northern Appalachian experimental watersheds in Coshocton Ohio. *Soil Science* 169 (3) pp. 195-205.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2012. SAGARPA, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). *Avances de la Producción Agrícola*.
- Singer-SM. 1994. Germination responses of some tomato genotypes as affected by salinity and temperature stress. *Egyptian-Journal-of-Horticulture*. 21 (1): 47-64.
- Singh, K. N.; Chatrath, R. 2001a. Breeding for adaptation to environmental factors. Chapter 8. *Salinity Tolerance*. 170 p.
- Singh, K.N., Chatrath, R., 2001b. Salinity tolerance. In: Reynolds, M.P., Monasterio, J.I.O., McNab, A. (Eds.), *Application of Physiology in Wheat Breeding*. CIMMYT, Mexico, DF, pp. 101–110
- Snyder, R.L. 1985. Hand calculating degree days. *Agric. For. Meteorol.* 35: 353-358
- Steiner AA (1984) The Universal Nutrient Solution. *En Proc 6th Int. Cong. Soilless Cult.* pp. 633-649.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2000. *Physiologie der pflanzen*. pp. 445- 485. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. 773 p.
- Tan, K.H. 1993. *Principles of soil chemistry*. 2aed. 210 p. Marcel Dekker, New York, USA.
- Tanwar, B.S. 2003. *Saline water management for irrigation*. International Commission on irrigation and drainage, New Delhi, India.
- Taylor-Mattew, D.; Locassio-Salvadore J. 2004. Blossom-end rot: A calcium deficiency. *Journal of Plant Nutrition*. 27 (1): 123-139.
- Tekalign, T. and Hammes P. S. 2005. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and productive growth: II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Sci. Hortic.* 105: 29-44.

- USDA. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. E.R.S. 2003. Economic Research Service. U.S. Tomato Statistics (92010). Mar.
- USDA. FAS. 2015. GAIN Report Number MX5024. "Mexican Tomato Production Up Slightly". Global Agricultural Information Network.
- Valdez, S. L.; González, M. S.; Valdez, A. L. A.; Ramírez, G. F y Benavides, M. A. 2015. Efecto de la aplicación exógena de ácido benzoico y salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate, tomatillo y pimiento. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 12:2331-2343.
- 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.
- Villalpando, J.; Ruiz A., 1993. Observaciones Agro meteorológicas y su uso en la agricultura. Editorial Lumusa, México. p. 133.
- Villalobos R.E. (ed.). Volumen siete. Editorial Universidad de Costa Rica, Turrialba. 41 p.
- Werner, R. y D. Leihner. 2005. Análisis del crecimiento vegetal. pp. 4-20.
- Wien, H. 1997. The physiology of vegetable crops. CAB International, London, UK. 651 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 accumulation. ScienceHorticulturae 34: 1-11.
- Woo R., J. L., R. Vázquez A., E. Olivares S., F. Zavala G., R. González G., R. Valdez C. y C. Gallegos V. 2004. Análisis de crecimiento en maíz (*Zea mays* L.) aplicando lodos activados y urea. Sistema de producción agropecuaria. Agrofaz 4: 437-441.