

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



**Efecto del Calcio y Potasio en las Respuestas al Estrés por Boro,
Alcalinidad y Salinidad en el Crecimiento Vegetativo del Tomate (*Solanum
lycopersicum* L.) en Cultivo Hidropónico**

Por:

ELIZABETH SERRANO TEJADA

TESIS

Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Saltillo, Coahuila, México. Marzo, 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Efecto del Calcio y Potasio en las Respuestas al Estrés por Boro, Alcalinidad y Salinidad en el Crecimiento Vegetativo del Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Cultivo Hidropónico

Por:

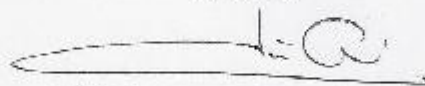
ELIZABETH SERRANO TEJADA

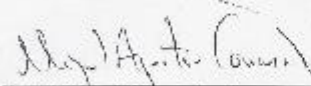
TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

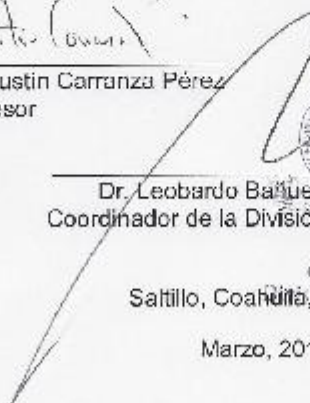
INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA


Aprobada


Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal


Biol. Miguel Agustín Carranza Pérez
Coasesor


Dr. Antonio Juárez Maldonado
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía


Coahuila, México

Marzo, 2015

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por haberme permitido llegar hasta donde hoy me encuentro, por darme la fortaleza en tiempos de debilidad y tristeza; por guiarme hacia el buen camino y porque cuando más lo necesité, nunca me abandonó. Gracias Dios.

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Por abrirme las puertas a una nueva etapa de mi vida, por permitirme disfrutar sus instalaciones y hacer uso adecuado de ellas, por las experiencias inolvidables que ahí pasé. Gracias por haberme dado la oportunidad de formarme como profesionista.

AL DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR

Por la confianza depositada en mí desde el primer día que me conoció, gracias por el apoyo incondicional que siempre me brindó, pero sobre todo; gracias por la paciencia que tuvo desde que se inició el proyecto hasta que concluyó. Fue un honor haber sido asesorada por usted, tenga la certeza que aprendí varias cosas de su persona. Muchas gracias Doctor.

AL BIOL. MIGUEL AGUSTÍN CARRANZA PÉREZ

Por formar parte del comité de asesores, por sus enseñanzas y confianza. Gracias Biólogo.

AL DR. ANTONIO JUÁREZ MALDONADO

Por formar parte del comité de asesores, por darme la oportunidad de aprender cosas nuevas y por ser un ejemplo para mi profesión.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

Por su amistad y apoyo que siempre me brindaron, porque cuando los necesité estuvieron a mi lado, por haberme permitido conocerlos. Esas aventuras que vivimos juntos no las olvidaré, Gracias.

DEDICATORIAS

Con cariño y afecto, a mi Mamá

MAXIMINA SERRANO TEJADA

Por ser la Mamá más maravillosa del mundo, porque me dio la dicha de conocerla, porque gracias a su esfuerzo y educación hoy soy quien soy. Gracias por apoyarme en todas mis decisiones, por no dejarme sola ni un instante, por haberme dado la formación que hoy tengo.

No me alcanzan las palabras para describirla, pero sé que tengo la MEJOR MAMÁ DEL MUNDO. Te amo.

A MIS HERMANAS

Mariana, Yesenia y Brenda. Gracias por el apoyo que siempre me brindaron y por la confianza que depositaron en mí desde que salí de casa para buscar una profesión. Las quiero mucho.

A MIS SOBRINAS

Fátima, Valeria, Isabella y Yaqueline. Gracias por los momentos lindos que pasamos juntas, por las risas y juegos que tuvimos, porque fueron mi inspiración para no dejarme vencer en los malos momentos. Las quiero mucho niñas.

A MIS TÍOS

Por el apoyo incondicional que me brindaron, por ser ejemplo para mi vida y por sus buenos consejos. Los quiero y los admiro.

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	III
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	XIV

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo General	4
1.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Hipótesis	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Origen, Historia y Domesticación	5
2.2 Clasificación Taxonómica.....	6
2.3 Características Botánicas.....	7
2.3.1 Generalidades.....	7
2.3.2 Cultivares Primitivos.....	8
2.4 Características Morfológicas	10
2.4.1 Plántula	10
2.4.2 Raíz.....	10
2.4.3 Tallo	11
2.4.4 Hojas	12
2.4.5 Inflorescencia	12
2.4.6 Flor.....	12
2.4.7 Frutos	13
2.4.8 Semilla	14
2.5 Fisiología de la Planta	14
2.5.1 Viabilidad de la Semilla	14

2.6 Requerimientos Climáticos y Edáficos	15
2.6.1 Radiación	15
2.6.2 Altitud	15
2.6.3 Temperatura.....	15
2.6.4 Humedad del Aire	15
2.6.5 Suelos	16
2.6.6 Clima	16
2.7 Clasificación Agronómica.....	16
2.7.1 Crecimiento Determinado.....	16
2.7.2 Crecimiento Indeterminado	16
2.8 Germinación.....	17
2.8.1 Requerimientos para la Germinación.....	17
2.9 Desarrollo de la Planta.....	18
2.10 Estrés en las Plantas	19
2.11 Boro	20
2.11.1 Toxicidad por Boro	21
2.11.2 Tolerancia a la Toxicidad por Boro.....	22
2.12 Calcio y Tolerancia a Salinidad	23
2.13 Potasio y Tolerancia a Estrés.....	23
2.14 Alcalinidad.....	24
2.14.1 Efecto de Alcalinidad en Plantas.....	25
2.14.2 Tolerancia a la Alcalinidad	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1 Ubicación del Lugar de Trabajo	27
3.2 Material Genético	27
3.3 Tutorio.....	31
3.4 Deschuponado	31
3.5 Variables Evaluadas	31
3.5.1 Altura de la Planta.....	31
3.5.2 Diámetro del Tallo	31
3.5.3 Número de Hojas	31

3.5.4 Peso Fresco Aéreo y de Raíz	32
3.5.5 Peso Seco Aéreo y de Raíz	32
3.6 Diseño Experimental	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
5. CONCLUSIÓN	49
6. BIBLIOGRAFÍA	50

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés en el agua de riego en el diámetro del tallo en tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) del primer muestreo. T=testigo. Ca= calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....34
- Figura 2.** Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés en el agua de riego en del diámetro del tallo en tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) del segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....34
- Figura 3.** Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés en el agua de riego de la altura de la planta de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) en el primer muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....36
- Figura 4.** Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés en el agua de riego en la altura de la planta de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) en el segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....36
- Figura 5.** Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés e el agua de riego en el número de hojas de la planta de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) en el primer muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....38

Figura 6. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés en el agua de riego en el número de hojas de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) en el segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....38

Figura 7. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés en el agua de riego en peso fresco aéreo de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) en el primer muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....39

Figura 8. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés en el agua de riego en peso fresco aéreo de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) en el segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....40

Figura 9. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés en al agua de riego del peso seco aéreo de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) en el primer muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....41

Figura 10. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso seco aéreo de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) en el segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....41

Figura 11. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso fresco de raíz de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) en el primer muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....42

Figura 12. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso fresco de raíz de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) en el segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....43

Figura 13. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso seco de raíz de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) en el primer muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....44

Figura 14. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso seco de raíz de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) en el segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....45

Figura 15. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso fresco total de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) en el primer muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....46

Figura 16. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso fresco total de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) en el segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....46

Figura 17. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso seco total de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) en el primer muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....47

Figura 18. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso seco total de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) en el segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.....48

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del potasio (K) y calcio (Ca) en la tolerancia al boro, bicarbonato y salinidad en agua de riego en tomate.

Plantas de tomate estresadas con altos niveles de alcalinidad, salinidad y excesos de boro se desarrollaron en un ambiente desfavorable; provocando menor diámetro de tallo, menor altura de planta y menor peso de raíz.

También se observaron efectos positivos con los elementos Ca y K, donde la combinación de ambos aplicados en soluciones nutritivas, mostraron beneficios metabólicos en el crecimiento y división celular de tejidos. Además de los elementos mencionados, también se observó que en el tratamiento testigo se generó mayor altura de planta, número de hojas y peso seco aéreo.

Palabras clave: Alcalinidad, Salinidad, Boro, Calcio, Potasio.

Correo electrónico: Elizabeth serrano tejada. Lizest_13@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN

El boro (B) fue reconocido a principios del siglo pasado como un elemento esencial para las plantas y se clasifica como un micronutriente, en virtud de que es requerido en muy pequeñas cantidades (Jaramillo y Garita, 1981). Está involucrado en el transporte de azúcares a través de las membranas celulares, la síntesis e integridad estructural de la pared celular, el desarrollo y crecimiento de procesos reproductivos, el metabolismo de las plantas, así como en la estructura y funcionamiento de la membrana celular (Brown *et al.* 2002). Tiene influencia en la transpiración, debido al control de la formación de almidón y azúcar (Vargas 1998); participa en el desarrollo y elongación celular (Bennett 1993), así como en la utilización del Ca (Belalcázar *et al.* 1991), lo que sugiere una estrecha relación entre estos 2 elementos.

El boro es un elemento esencial en la nutrición mineral de las plantas. Este es absorbido por las raíces como ácido bórico neutro ($B[OH]_3$) y como borato ($B[OH]_4$). La absorción se produce por tres mecanismos: difusión pasiva, transporte facilitado a través de canales proteicos y transporte activo por proteínas específicas (Läuchli, 2002). Forma parte de la pared celular y complejos estables en la membrana plasmática y estimula la germinación del polen y la elongación del tubo polínico (Brown *et al.*, 2002). En la mayoría de los cultivos los síntomas de toxicidad se presentan cuando la concentración de boro en las hojas supera 250 a 300 $mg\ kg^{-1}$ (peso seco) (Ayers y Westcot, 1989).

El concepto de salinidad se refiere a la acumulación de sales solubles en agua y suelo. Es una limitante importante para la agricultura, principalmente en las regiones áridas y semiáridas de México y el mundo. Aunque la tolerancia de las condiciones salinas por las plantas es variable, la mayoría de los cultivos son intolerantes a la salinidad. Las sales involucradas en la salinidad del agua son: Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , HCO_3^- y CO_3^{2-} . Estos iones alteran la absorción del agua y la transpiración, causando desbalances iónicos, nutrimentales y por tanto disminución en el crecimiento y en casos severos conduce la senescencia y muerte de la planta (Bailey, 1996).

La alcalinidad se define como la Concentración de soluble en álcalis con La Capacidad de neutralizar ácidos (Bailey, 1996). los principales contribuyentes a la alcalinidad son bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{2-}), mientras hidróxido, borato, amoníaco, bases orgánicas, fosfatos y silicatos son considerados contribuyentes menores (Petersen, 1996).

Los álcalis son importantes porque tienen una capacidad de tampón del agua y causa un aumento de pH de la solución, lo que lleva a la formación de formas insolubles de P y micronutrientes. Clorosis en las hojas jóvenes se observa con frecuencia en las plantas regadas con agua de alta alcalinidad, que también pueden inhibir el crecimiento de las plantas sensibles a través de la reducción del crecimiento de la raíz y/o absorción de nutrientes y su utilización (Alhendawi *et al.*, 1997).

El síntoma más visible del exceso de alcalinidad es la clorosis intervenal en hojas jóvenes de las plantas y el crecimiento raquítico (Parr y Loughman, 1983).

La hidroponía es ampliamente usada en el mundo para la producción de los cultivos más rentables. El tomate es una de las especies hortícolas que más se produce en hidroponía, debido a su elevado potencial productivo (el cual no es explotado completamente en campo), a su demanda nacional y mundial, así como a su alto valor económico, principalmente cuando se produce en los periodos en que no existe en campo (Jensen y Collins, 1985).

La producción de cultivos hidropónicos se ha incrementado significativamente en los últimos años en todo el mundo, ya que permite un uso más eficiente del agua y fertilizantes, así como un mejor control del clima, entre muchos otros factores más. La producción hidropónica aumenta la calidad del cultivo y la productividad, lo que resulta en una mayor competitividad e ingresos económicos (Jensen y Collins, 1985).

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una hortaliza importante en México, siendo la segunda después del chile por superficie sembrada y valor de la producción (Ramos *et al.*, 2006); prueba de ello es que tan solo en 2010 ocupó una superficie de 54 mil hectáreas, con un rendimiento promedio de 51.3 t/ha/año, alcanzando un valor de la producción de 13,146 millones de pesos (SIAP. 2013).

1.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de la aplicación del potasio y calcio en la tolerancia al boro, bicarbonato y salinidad en agua de riego en tomate.

1.2 Objetivos Específicos

1. Determinar si el potasio y el calcio interactuando en las soluciones nutritivas modifican algunos procesos fisiológicos en las plantas al multiestrés.
2. Determinar si el potasio y el calcio interactuando en las soluciones nutritivas modifican la absorción nutrimental.
3. Determinar si el potasio y el calcio interactuando en las soluciones nutritivas modifican el crecimiento y rendimiento de las plantas.

1.3 Hipótesis

La aplicación de calcio y potasio en la solución nutritiva puede modificar la tolerancia del tomate al multiestrés provocada por salinidad, alcalinidad y boro en el agua de riego.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen, Historia y Domesticación

El género *Lycopersicum* es originario del centro de la Región Andina que hoy comparten Colombia, Perú, Ecuador, Bolivia y Chile. En esta zona *L. esculentum* muestra su mayor variación (Cabral, 1985).

Todavía son muchos los aspectos poco claros con respecto al origen y domesticación del tomate. Rick y Forbes (1975); mencionan algunos aspectos con un grado razonable de certeza:

- a). El tomate cultivado tuvo su origen en el Nuevo mundo. No era conocido en España ni en el resto del Nuevo mundo.
- b). El tomate se encontraba en una avanzada fase de domesticación antes de su llegada a Asia y Europa, es decir, se encontraban variedades caracterizadas por la forma, tamaño y color de los frutos
- c). El antepasado más probable del tomate cultivado es *Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme* (tomate pequeño silvestre). Crece espontáneamente en las regiones tropicales y subtropicales de América.

Aunque el centro de origen del género *Lycopersicon* es la zona Andina, se cree que México es el origen de domesticación del tomate.

Existen estudios electroforéticos de la variación de aloenzimas donde se ha demostrado la existencia de analogías mayores entre los cultivares (tanto europeos como primitivos) y los tomates pequeños silvestres de México y

América central, que entre los cultivares Europeos y las plantas primitivas de la zona andina (Rick y Forbes, 1975).

La evidencia histórica favorece a México como el centro más importante de domesticación del tomate, hecho ampliamente aceptado en el mundo científico, luego de la utilización de formas domesticadas en el país, lo cual tiene bastante antigüedad. Los frutos eran bien conocidos y empleados como alimento por las culturas indígenas que habitaban en la parte central y sur de México, antes de la llegada de los españoles (León y Arosamena, 1980).

El término "tomate" fue utilizado desde 1695 por los viajeros botánicos, quienes lo tomaron de las palabras "xitomate" o "xitotomate" nombre con el cual los aztecas designaban a esta planta (Anderlini, 1976).

2.2 Clasificación Taxonómica

Según Flores (1980), el tomate está clasificado de la siguiente manera:

Reino	Vegetal
División	Tracheophyta
Subdivisión	Pteropsidae
Clase	Angiospermae
Subclase	Personatae
Familia	Solanácea

Género *Lycopersicon*

Especie *esculentum*

2.3 Características Botánicas

2.3.1 Generalidades

Valencia (1981), reporta que el género *Lycopersicon* es una planta hermafrodita, autógena, de 3 a 5 % de fecundación cruzada debido a los insectos; es de consistencia herbácea; pertenece a la familia de las Solanáceas. Este género contiene una pequeña cantidad de especies, todas ellas herbáceas que crecen en forma y tamaño diferente, esto es de acuerdo con los métodos de cultivo, existiendo variedades que llegan alcanzar hasta los tres metros de altura, esta depende de la variedad.

La planta de tomate es muy sensible a las heladas y configura un cultivo anual, aunque potencialmente es perenne (Folquer, 1976).

La altura de la planta joven está precedida por el desarrollo del tallo, que después de haber producido hojas sobre sus diversos nudos, acaba en una inflorescencia apical o en un ramo estéril. El retoño que aparece en la axila en la última hoja, prosigue su alargamiento produciendo hojas y terminando en una inflorescencia (Anderlini, 1976).

2.3.2 Cultivares Primitivos

La distribución natural de los géneros *Lycopersicon* se extiende por el norte de Chile al sur de Colombia y para la costa del Pacífico, (incluyendo la isla Galápagos) hacia abajo de la colina oriental de los Andes. Varias especies se traslapan, pero no ha sido encontrada ninguna evidencia de introgresión natural, con la excepción de *L. pimpinellifolium* y *L. esculentum*. Todas las especies tienen rangos bien definidos de distribución de los géneros. Está también presente en el viejo mundo donde posiblemente no ha sido cultivado. La región nativa de *Lycopersicon* se extiende del norte de Chile a Ecuador, incluyendo una pequeña parte de Colombia. El centro de esta área es Perú, con más del 50 por ciento del *Lycopersicon* silvestre en el mundo. El *Lycopersicon* silvestre no puede ser encontrado fuera de América Latina, excepto por la muy uniforme *Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*. La situación es crítica en la zona costera de estos países debido a la agricultura, al desarrollo industrial y a la expansión de las zonas urbanas. En las montañas la situación mejora, el mayor daño positivo es en el incremento de cabras pastando. Los cultivares primitivos son rápidamente reemplazados en todos lados por variedades modernas comerciales e híbridos que se adaptan a nuevas técnicas agrícolas y demandas del mercado (Esquinas y Alcazar 1981).

Centeno, (1986), menciona que el tomate silvestre y especies afines de Ecuador, Perú y la parte norte de Chile, indican que, al contrario de lo que sucede con el tomate común, que es principalmente autógamo, ocurre mucho cruzamiento natural entre variedades silvestres que crecen en su propio hábitat.

En algunas partes de la región indicada hay evidencias de que ha ocurrido hibridación entre *Lycopersicon esculentum* y *Lycopersicon pimpinellifolium*. Se cree que el alto índice de cruzamiento ha producido mucha variabilidad, y por ende se ha favorecido la evolución rápida de nuevas formas.

El mismo autor menciona que se conocen seis especies de *Lycopersicon*:

- a). *Lycopersicon esculentum*
- b). *Lycopersicon pimpinellifolium*
- c). *Lycopersicon hirsutum*
- d). *Lycopersicon cheesmanii*
- e). *Lycopersicon peruvianum*
- f). *Lycopersicon glandulosum*

Se ha encontrado que el tomate *Lycopersicon esculentum* posee cinco variedades botánicas:

- 1). *Lycopersicon esculentum* var. *commune*
- 2). *Lycopersicon esculentum* var. *grandifolium*
- 3). *Lycopersicon esculentum* var. *validum*
- 4). *Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*
- 5). *Lycopersicon esculentum* var. *pyriform*

Anderlini (1976), menciona que por medio de los trabajos de mejoramiento genético se han ido incorporando a la especie original o “básica” genes valiosos de especies silvestres emparentadas. Es así como muchos de los cultivares modernos de tomate han recibido en su constitución genética aportes de algunas de las siguientes especies: *L. pimpinellifolium* (Just) Mill, *L. hirsutum* Humb, y Bonpl., *L. peruvianum* (L.) Mill, *L. glandulosum*, C.H. Mul. y *L. cheesmanii* Riley

2.4 Características Morfológicas

2.4.1 Plántula

Cásseres (1981) designa el término plántula a la planta pequeña producida por la semilla con pocas semanas de edad, y que se utiliza en los cultivos de trasplante para establecer el plantío definitivo en el campo. Con hortalizas de trasplante se acostumbra primero hacer un almácigo, ya que estas tienen la propiedad de reproducir sus raicillas y pelos absorbentes rápidamente.

2.4.2 Raíz

La planta presenta una raíz principal pivotante que crece unos 3 cm al día hasta que alcanza los 60 cm de profundidad, simultáneamente se producen raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa y de cierto volumen. Sin embargo, este sistema radical puede ser modificado por las prácticas culturales de tal forma que cuando la planta procede de un trasplante,

la raíz pivotante desaparece siendo mucho más importante el desarrollo horizontal (Rodríguez, 2001)

El sistema radical puede alcanzar hasta 1.5 metros de profundidad y se estima que un 75% del mismo se encuentra entre los primeros 45 cm superiores del terreno (Rodríguez, 2001).

2.4.3 Tallo

El tallo es erguido y cilíndrico en planta joven, a medida que esta crece, el tallo cae y se vuelve anguloso. Presenta tricomas (vellosidades) en la mayor parte de sus órganos y glándulas que segregan una sustancia color verde aromática. El tallo puede llegar a medir de 40 a 250 cm. Muestra ramificación abundante y yemas axilares, si al final del crecimiento todas las ramificaciones exhiben yemas reproductivas, estas se clasifican como de crecimiento determinado; y si terminan con yemas vegetativas, son de crecimiento indeterminado (Rodríguez, 2001).

El tallo principal, lleva hojas, frutos e inflorescencias. En tanto, en la axila de muchas hojas, según el vigor de la planta, otras yemas de desarrollan procediendo del modo descrito para el tallo principal, formándose hojas, flores y frutos sobre el tallo secundario. De los tallos secundarios se pueden formar los terciarios y así sucesivamente (Anderlini, 1976).

Novák y Maskova (1970), citando a Flores, afirma que en la superficie del tallo se forman diminutas gotas de sutina y tanto los tallos, hojas y frutos poseen la solanina. Este glucoalcaloide se encuentra en gran proporción cuando los frutos

empiezan a formarse. Una vez maduros, el contenido de solanina desaparece por completo.

2.4.4 Hojas

Según Anderlini (1976), las hojas son compuestas. El limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once foliolos. Al igual que el tallo están provistas de glándulas secretoras de la citada sustancia aromática (Rodríguez, 2001).

2.4.5 Inflorescencia

Las inflorescencias pueden ser racimos simples, bifurcados o ramificados. El tipo simple se presenta más frecuentemente en la parte baja de la planta; los tipos ramificados se encuentran solo en la parte inferior. El número de la flores es variable, y en el mismo racimo o corimbo la floración no es simultánea (Anderlini, 1976).

León y Arosemena (1980), mencionan, el racimo floral o inflorescencia del tomate, está compuesto por una sucesión de ejes, en cada flor, el pedúnculo es capaz de ramificarse una o más veces y esto puede ocurrir en cualquier parte del racimo.

2.4.6 Flor

Edmon y Andrews (1984) afirman que las flores nacen en racimos, tanto en el tallo principal como en las raíces laterales. El número de racimos varía de 4 a 100, dependiendo del tipo y la variedad. Las flores en su mayor parte son

autofecundadas. En muy raras ocasiones las flores son fecundadas por polen extraño, y cuando esto sucede se debe a que en algunas variedades el estilo es más largo que los estambres.

La flor es pequeña, pedunculada de color amarillo, formando corimbos axilares: el cáliz tiene 5 pétalos, corola soldada inferiormente, con 5 pétalos que conforman un tubo pequeño, los 5 estambres están soldados en estilo único que a veces sobresale de los estambres, el ovario contiene muchos óvulos (COVECA, 2013).

La flor está formada por un pedúnculo corto, el cáliz es gamosépalo, es decir, con los sépalos soldados entre sí, y la corola gamopétala. El gineceo presenta de dos a treinta carpelos que al desarrollarse darán origen a los lóculos o celdas del fruto (Rodríguez, 2001).

2.4.7 Frutos

Los frutos de tomate son bayas carnosas con diferencias en formas (lisos, asurcado, aperado, etc.) e intensidad de coloración; de rojiza o amarillo en caso de 6 ciertas variedades de tomate cherry, con cavidades o lóculos internos variables, en donde se desarrollan las semillas de forma reniforme y aplanadas (COVECA, 2010).

Novak y Maskova (1970), afirma que los responsables de los colores rojo, amarillo y anaranjado de muchas flores y frutos son los cromoplastos. Deben su color a dos pigmentos; el caroteno y la xantofila. La mayoría de las veces los colores de las flores y los frutos no se deben a pigmentos contenidos en los

plastidios, sino a sustancias coloridas disueltas en la solución contenida en la vacuola de las células.

Al madurar el fruto, los cloroplastos se transforman en cromoplastos y su color cambia de verde a rojo.

2.4.8 Semilla

La semilla es ovalada, con tamaño promedio de 3.5 mm de longitud. La cubierta protectora conocida como testa, es de color café pálido y se encuentra envuelta por una capa muy fina de falsos pelillos, que más bien son remanentes de células suberizadas, provenientes de la pared celular (León y Arosemena, 1980).

2.5 Fisiología de la Planta

2.5.1 Viabilidad de la Semilla

Vargas (1998), define la viabilidad de la semilla como el grado al que la misma se encuentra viva, metabólicamente activa y posee enzimas capaces de catalizar reacciones metabólicas necesarias para la germinación y el crecimiento de plántulas. En este sentido una semilla dada contiene ambos tejidos, tanto muerto como vivo y puede ser o no capaz de germinar.

En tomate, bajo condiciones de temperatura y humedad durante el almacenamiento, la semilla retiene la capacidad de germinación muchos años después de haber sido cosechada (León y Arosemena, 1980).

2.6 Requerimientos Climáticos y Edáficos

2.6.1 Radiación

El tomate es un cultivo insensible a la duración del día, sin embargo requiere de una buena iluminación, la cual se modifica por la densidad de siembra, sistema de poda, tutorado y prácticas culturales que optimizan la recepción de los rayos solares, especialmente en época lluviosa cuando la radiación es más limitada (CENTA, 1996).

2.6.2 Altitud

El tomate puede cultivarse desde los 20 a los 2000 msnm, tomando en cuenta la capacidad de adaptación de cada variedad o híbrido (CENTA, 1996).

2.6.3 Temperatura

La temperatura influye en todas las funciones vitales tales como, la transpiración, fotosíntesis, germinación, etc. Las temperaturas óptimas de cultivo son 30°C para el día y 16°C durante la noche (CENTA, 1996).

2.6.4 Humedad del Aire

En el cultivo de tomate, es conveniente que la humedad relativa (HR) del aire sea entre 70 y 80%, los valores superiores favorecen el desarrollo de enfermedades del follaje (CENTA, 1996).

2.6.5 Suelos

El cultivo requiere suelos profundos, francos o franco-arcillosos, ricos en materia orgánica y suelos ligeramente ácidos, con pH entre 6 y 7. A pH menor de 5.5 o mayor de 7 (Disagro, 2004).

2.6.6 Clima

El tomate es una planta de clima cálido que requiere de mucho calor teniendo cada especie vegetal y en cada momento de su ciclo biológico una temperatura óptima para su crecimiento. (Rodríguez *et al.*, 2006).

2.7 Clasificación Agronómica

Ramos *et al* (2006) mencionan que de acuerdo al hábito de crecimiento, el tomate comprende dos tipos de crecimiento: crecimiento determinado y crecimiento indeterminado.

2.7.1 Crecimiento Determinado

Es de tipo arbustivo, de parte baja, pequeño y de producción precoz. Se caracteriza por la formación de las inflorescencias en el extremo del ápice (apical).

2.7.2 Crecimiento Indeterminado

Crece hasta 2 m de altura, o más, según el empalado que se aplique. El crecimiento vegetativo es continuo. Seis semanas después de la siembra inicia

su comportamiento generativo produciendo flores en forma continua y de acuerdo a la velocidad de desarrollo. Inflorescencia lateral, tallos axilares de gran desarrollo.

2.8 Germinación

Se define como la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión y que son manifestaciones de la habilidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables en el suelo (Moreno, 1976).

2.8.1 Requerimientos para la Germinación

Flores (1980), menciona que las condiciones requeridas para la germinación son: la expresión de la herencia de la semilla influida por el medio ambiente durante la formación, madurez y germinación de la misma. Indicando así que la iniciación de la germinación requiere que de tres condiciones:

1. La semilla debe ser viable, esto es, el embrión debe estar vivo y ser capaz de germinar.
2. La semilla no debe estar en latencia ni el embrión quiescente. No deben existir barreras fisiológicas o físicas que induzcan latencia ni barreras químicas para la germinación.
3. La semilla debe estar expuesta a las condiciones ambientales apropiadas: disponibilidad de agua, temperatura adecuada, provisión de oxígeno y en ocasiones luz. Debido a las complejas interacciones entre el ambiente y

condiciones específicas de latencia, dichas exigencias pueden variar con el tiempo y los métodos de manejo de las semillas.

2.9 Desarrollo de la Planta

El desarrollo de la planta es una función del esfuerzo total de la humedad del suelo, que a su vez está representada por la suma de la tensión de la humedad y de la presión osmótica de la solución del suelo (Guerra, 1993).

Según Márquez y Peña (1997), los requerimientos básicos para el desarrollo del tomate son:

- 1). Un abastecimiento continuo de agua a través de un eficiente uso de agua de riego.
- 2). Un continuo abastecimiento de nutrientes.
- 3). Buen drenaje para una buena aireación del suelo.
- 4). Luz solar, aproximadamente ocho horas diarias.
- 5). Temperatura: la mayoría de los tomates requieren entre 12.77°C 23°C de temperatura para la fecundación y consiguiente fructificación.
- 6). Protección de las raíces de hongos y nemátodos.
- 7). Protección de las partes aéreas de la planta de insectos y hongos patógenos.
- 8). Suelo con pH entre 6 y 7.

9). Buena genética.

10) Tratamiento del suelo con TECTO-60 a razón de 2 – 4 kilos por hectárea para control de Fusarium, Verticillum, Rhizoctonia y nematodos.

2.10 Estrés en las Plantas

El concepto de estrés proviene de la física, es la fuerza que actúa sobre un cuerpo. El cuerpo responde con una reacción proporcional a la fuerza con la que se ha actuado sobre él. La reacción de la respuesta es una tensión. En biología, el estrés sería un factor externo que afecta negativamente a un organismo. Por lo tanto, la definición biofísica del estrés, involucra una fuerza ejercida sobre un objeto, en relación con el área sobre la cual se aplica (es decir, posee un significado equivalente al de presión). Teniendo en cuenta estos conceptos, el término estrés en el marco de la fisiología vegetal, refleja la magnitud de presión ambiental, que obliga en cambio en la fisiología de una planta (Montoliu, 2010).

La inducción de la tolerancia al estrés en las plantas de tomate, ha sido una de las principales causas de investigación durante muchas décadas. La derrota de industrias agrícolas y hortícolas, como resultado de la exposición de las plantas a condiciones ambientales adversas, se estima en miles de millones de dólares anuales. Por lo tanto, el desarrollo de métodos para inducir la tolerancia al estrés en las plantas, es vital y aun recibe considerable atención (Montoliu, 2010).

2.11 Boro

Aunque el boro ahora se sabe que es esencial para muchos organismos, está claro que juega un papel de importancia única en las plantas. Se localiza principalmente en la pared celular (Cassab, 1998) y está vinculada a la ramnogalacturonano (RG) II fracción de pectinas, se ha informado que es responsable de reticulación de polímeros de la pared celular y por lo tanto es necesario para la estabilidad de la pared celular (O'Neill, 2001). Entre las plantas es un micro nutriente esencial, sus deficiencias están muy extendidos y tiene un impacto agronómico importante en todo el mundo (Gupta, 1979), una característica importante de la deficiencia de B que contribuye a su importancia en la producción agrícola, es que una deficiencia de B inhibe el crecimiento de los tejidos, específicamente estructuras reproductoras, lo que representa 80% del producto agrícola mundial. La deficiencia de B produce la necrosis de las yemas terminales, fisuras y roturas de los tallos y pecíolos de aborto de flores iniciales, y caída de los frutos (Mozafar, 1993). Deficiencia de boro también causa muchos cambios fisiológicos y bioquímicos incluyendo, alteración de la estructura de la pared celular, alteración interior y función de la membrana; los cambios en la actividad de la enzima y alteración de una amplia gama de metabolitos vegetales (Gupta, 1979), los profundos efectos de boro en meristemas refleja la única función de B que juega en el crecimiento.

La función del boro en la pared celular aún no está bien definido, numerosas evidencias sugieren que el B juega un rol en la estructura y funcionamiento de la membrana plasmática en plantas (Parr y Loughman, 1983).

El tema de la absorción de B ha sido durante mucho tiempo una evidencia controvertida y significativa que soporta tanto la captación activa y pasiva del mismo en las plantas superiores. Hu y Brown (1997) propusieron que la absorción de B, en condiciones de suministro adecuado o excesivo, es el resultado de absorción pasiva de ácido bórico no dissociado. Se planteó la hipótesis, además, que la absorción de B se produjo por un proceso no metabólica determinada principalmente por la planta (Brown *et al.*, 2002) y la tasa de transpiración. En su análisis de Hu y Brown (1997) llegaron a la conclusión de que no existe evidencia sustancial que la absorción de B se produjo a través de un proceso dependiente de la energía, tal como una molécula acarreadora de transporte.

2.11.1 Toxicidad por Boro

Toxicidad por boro es un trastorno importante que puede limitar el crecimiento de las plantas en suelos de zonas áridas y semiáridas de todo el mundo. Las altas concentraciones de B pueden ocurrir de forma natural en el suelo o en el agua subterránea, o ser añadido al suelo de la minería, fertilizantes, o agua de riego. De todas las fuentes potenciales, el agua de riego es el más importante contribuyente a altos niveles de suelo. El B se encuentra a menudo en altas concentraciones en asociación con suelos salinos y solución salina. En la evaluación de la toxicidad potencial del agua de riego cargado de B, deben tenerse en cuenta las características físicas y químicas del suelo (Goldberg *et*

al., 1993). Capacidad de absorción de un suelo dado es crucial para determinar la cantidad de B en solución.

El exceso de B ejerce diferentes efectos tales como: reducción de la división celular de la raíz, clorofila en las hojas inferiores, contenidos y las tasas fotosintéticas, disminución de los niveles de lignina y suberina, entre otros (Nable *et al.*, 1997). Aunque la base fisiológica para la toxicidad de B no está clara; tres causas principales han sido la hipótesis teniendo en cuenta la química del B: (1) alteración de la estructura de la pared celular; (2) la interrupción metabólica mediante la unión a la ribosa a restos de moléculas tales como trifosfato de adenosina (ATP), nicotinamida adenina dinucleótido (NADH) o la nicotinamida adenina dinucleótido fosfato (NADPH); (3) la interrupción de la división celular y el desarrollo mediante la unión a la ribosa, ya sea como el azúcar libre o dentro de ARN (Reid *et al.*, 2004).

2.11.2 Tolerancia a la Toxicidad por Boro

Las plantas con altos niveles de antioxidantes, ya sea constitutiva o inducida, son catalogados a tener una gran resistencia a daños por oxidación. El glutatión (GSH) y ascorbato (ASA) son compuestos conocidos como antioxidantes con actividad de barrido a pesar de que un número cada vez mayor de evidencias confirma que otras moléculas, tales como fenoles, antocianinas y flavonoides, pueden aumentar la capacidad antioxidante en muchas especies de plantas, especialmente herbácea. Antocianinas, que son responsables de la red primaria y pigmentos azules en plantas, han sido reconocidas como contribuyentes al

crecimiento de las plantas, la protección y el desarrollo y como poderoso antioxidante (Goldberg *et al.*, 1993).

2.12 Calcio y Tolerancia a Salinidad

En condiciones salinas, los trastornos pueden ser resultado de los efectos sobre la disponibilidad y absorción competitiva de Ca^{2+} , el transporte o el reparto dentro de la planta (Grattan y Grieve, 1999), se sabe que la aplicación externa de Ca^{2+} , puede mejorar los efectos de alta concentración de NaCl. Un suministro adecuado de Ca^{2+} mantiene la integridad de la membrana y la selectividad (Cramer y Läuchli, 1996). Por lo tanto, Ca^{2+} , complementario se ha mostrado para mejorar de manera significativa los efectos negativos de la salinidad sobre el crecimiento de las plantas y el rendimiento de fruto ya que la adición suplementaria de Ca^{2+} al medio de cultivo salino tuvo efectos de alivio.

2.13 Potasio y Tolerancia a Estrés

El potasio es el soluto inorgánico más importante de la plantas, y como tal hace una importante contribución al potencial osmótico de las raíces que es un requisito previo para la turgencia y el balance hídrico, el transporte de solutos, y la presión ya que, los impulsa por el xilema de las plantas (Marschner, 1995).

El mantenimiento de niveles adecuados de potasio es esencial para la supervivencia de las plantas en solución salina.

La adición de calcio y potasio, ya sea a suelos o a mezclas, en forma independiente o en combinación con los demás nutrientes, produce aumento

del volumen de la raíz, del peso fresco de hoja y del rendimiento de fruto por planta. La adición de 4.8 mM KNO_3 a la solución salina que contiene 50 mM de NaCl produce una mejora significativa en crecimiento y fructificación del tomate (Satti *et al.*, 1994). Con una alta concentración de sal, Na^+ y Cl^- compiten con la absorción de otros nutrientes, especialmente potasio, lo que lleva a una absorción deficiente de K^+ , Ca^{2+} , y Mg^{2+} en un gran número de plantas. Cuando aumenta la concentración de K^+ o Ca^{2+} , la concentración de Na^+ tiende a disminuir (Satti *et al.*, 1994). Subbiah y Perumal (1990), encontraron una relación inversa entre el contenido de licopeno en frutos y la concentración de Ca^{2+} en la solución nutritiva, debido a una disminución en la absorción de potasio, mientras que altos niveles de potasio y magnesio pueden incrementar la incidencia de la pudrición apical del fruto y reducir la fortaleza de las paredes celulares.

2.14 Alcalinidad

Alcalinidad se define como la Concentración de soluble en álcalis con La Capacidad de neutralizar ácidos (Bailey, 1996). los principales contribuyentes a la alcalinidad son bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{2-}), mientras hidróxido, borato, amoníaco, bases orgánicas, fosfatos y silicatos son considerados contribuyentes menores (Petersen, 1996).

Los álcalis son importantes porque tienen una capacidad de tampón del agua y causa un aumento de pH de la solución, lo que lleva a la formación de formas insolubles de P y micronutrientes. Clorosis en las hojas jóvenes se observa con

frecuencia en las plantas regadas con agua de alta alcalinidad, que también pueden inhibir el crecimiento de las plantas sensibles a través de la reducción del crecimiento de la raíz y/o absorción de nutrientes y su utilización (Alhendawi *et al.*, 1997).

2.14.1 Efecto de Alcalinidad en Plantas

Varios autores sugieren que la alcalinidad afecta el crecimiento de las plantas por medio del decremento en la solubilidad de los nutrientes. El decremento en la solubilidad es causada por el incremento del pH asociado con un incremento en la concentración de carbonatos. Por ejemplo la concentración de formas solubles de Fe^+ en el suelo decrece 1000 por unidad incremento en el pH Zn, Cu, y Mn también se tornan insolubles por alcalinidad inducido por pH alto (Barber, 1995).

El síntoma más visible del exceso de alcalinidad es la clorosis intervenal en hojas jóvenes de las plantas y el crecimiento raquítico (Petersen, 1996). La clorosis de las hojas es correlacionada con el decremento del contenido de clorofila en las hojas superiores.

2.14.2 Tolerancia a la Alcalinidad

A veces la clorosis de la hoja no es producida por el decremento de la absorción de Fe^+ , es reportado en haba. Más bien se puede deber a que el Fe^+ en el tejido no está disponible o activa. La liberación de H^+ da lugar a la acidificación de la rizósfera (Wei *et al.*, 1998). Eficientes variedades de

remolacha azucarera acidifican la solución nutritiva en respuesta a la deficiencia de Fe 6,0-3,5. La máxima alcalinidad que las plantas pueden tolerar depende de cada especie, la edad de la planta, tamaño del contenedor, tipo de medio de producción usada, duración del periodo del cultivo, el volumen del medio de producción y la capacidad búfer (Katerji *et al.*, 2003).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del Lugar de Trabajo

El presente trabajo se llevó a cabo en la localidad de Buenavista, en el municipio de Saltillo Coahuila, en un invernadero ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El sitio experimental se encuentra entre las coordenadas geográficas 25° 23' Latitud Norte y 101° 02' Longitud Oeste, a una altitud de 1743 msnm (INEGI, 2013).

3.2 Material Genético

Para el experimento se utilizó semilla de Tomate (*Solanum lycopersicum*) var. El Cid F1. La siembra se realizó el 15 de julio del 2013. Se utilizaron charolas de unicel de 200 cavidades. Posteriormente se preparó el sustrato peat moss, en un bote de plástico con capacidad de 20 litros se agregaron 2 kilos de sustrato y un poco de agua para humedecerlo. Luego de la preparación, las charolas de unicel se llenaron del sustrato, el cual fue esparcido en cada una de las cavidades, se colocó una semilla y enseguida se le agregó más peat moss para cubrirla. Cuando la siembra quedo terminada, la caja de unicel fue puesta en el invernadero. La charola fue regada cada tercer día. Luego de un mes y medio cuando la planta alcanzó una altura de 15 cm fue trasplantada al sitio de experimentación. Para el experimento se utilizaron 64 rejas de plástico, color verde, con capacidad de 30 L. Cada reja tenía a un costado un conector adherido a una manguera, la cual permitió que se efectuara el riego por goteo y la recirculación de la solución nutritiva. A cada reja se le agregaron 10 L de

perlita, y enseguida se realizó el trasplante. Se trasplantaron tres plantas por reja a manera tres bolillo, quedando un total de 144 plantas para el experimento.

Para la preparación de las soluciones nutritivas se usaron 16 rejas, dos por cada tratamiento. Se usaron ocho tratamientos con seis repeticiones cada uno. Los tratamientos quedaron de la siguiente manera:

7K y 9Ca (7 meq L⁻¹ de K y 9 meq L⁻¹ de Ca), consistió en el tratamiento testigo (T) usando la solución **Steiner**. A un tambo con capacidad de 200 litros se le agregaron 60 litros de agua, 53.4 g de nitrato de potasio (KNO₃), 34 g de nitrato de calcio Ca(NO₃)₂, 6.5 g de fosfato de potasio (KH₂PO₄), 5.3 g de cloruro de calcio (CaCl₂), 1.2 ml. de ácido fosfórico (H₃PO₄), 20.4 ml. de ácido nítrico (HNO₃), 12.3 g de nitrato de magnesio [Mg(NO₃)₂], se disolvió la solución perfectamente y a dos rejas se le agregaron 30 litros de esta solución. Cada reja mandó el riego a tres rejas más que eran repeticiones del cada tratamiento.

9K y 12Ca (9 meq L⁻¹ de K y 12 meq L⁻¹ de Ca), este tratamiento fue el testigo usando la solución **Steiner**. En 60 litros de agua se disolvieron 48.5 g de KNO₃, 68 g de Ca(NO₃)₂, 13.1 g de KH₂PO₄, 7.1 g de cloruro de potasio (KCl), 8.3 g de CaSO₄, 5.3 g de CaCl, 11.8 g de MgSO₄, 8.1 ml de HNO₃ y 11 ml de H₂SO₄. Después que la solución quedó preparada, fue agregada en dos rejas de 30 litros cada una y de esa manera el riego fue esparcido a los 6 tratamientos.

BORO + ALCALINIDAD (B+A) (7K y 9Ca), en un tambo con capacidad de 200 litros se disolvieron 60 litros de agua con las siguientes soluciones nutritivas:

30.7g de ácido nítrico (NH_4NO_3), 48.5 g de KNO_3 , 45.3 g de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 13.1 g de KH_2PO_4 , 12.3 g de $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, 341.1 mg de boro y 2.5 g de bicarbonato de sodio. Esta solución se disolvió perfectamente y enseguida se añadió a dos rejas de 30 litros cada una, las cuales mandaron el riego a las 6 repeticiones del mismo tratamiento.

BORO + ALCALINIDAD (9K y 12Ca), en un tambo se disolvieron 60 litros de agua, se añadieron las siguientes soluciones nutritivas: 38.8 g de KNO_3 , 79.3 g de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 13.1 g de KH_2PO_4 , 16.7 g de K_2SO_4 , 7.1 g de KCl , 12.1 g de $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, 341.1 mg de boro y 2.5 g de bicarbonato de sodio. Esta solución se disolvió perfectamente y enseguida se añadió a dos rejas de 30 litros cada una, las cuales mandaron el riego a las 6 repeticiones del mismo tratamiento.

BORO + SALINIDAD (B+S) (7K y 9Ca), A un tambo con capacidad de 200 litros se le agregaron 60 litros de agua, 53.4 g de nitrato de potasio (KNO_3), 34 g de nitrato de calcio $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 6.5 g de fosfato de potasio (KH_2PO_4), 5.3 g de cloruro de calcio (CaCl_2), 1.2 ml. de ácido fosfórico (H_3PO_4), 20.4 ml. de ácido nítrico (HNO_3), 12.3 g de nitrato de magnesio [$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$], 341.1 mg de boro, 2.4 g de micronutrientes y 210 g de cloruro de sodio. Se disolvió la solución perfectamente y a dos rejas se le agregaron 30 litros de esta solución. Cada reja mandó el riego a tres rejas más que eran repeticiones del cada tratamiento.

BORO + SALINIDAD (9K y 12 Ca), En 60 litros de agua se disolvieron 48.5 g de KNO_3 , 68 g de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 13.1 g de KH_2PO_4 , 7.1 g de cloruro de potasio (KCl), 8.3 g de CaSO_4 , 5.3 g de CaCl_2 , 11.8 g de MgSO_4 , 8.1 ml de HNO_3 , 11 ml de

H₂SO₄, 341.1 mg de boro, 2.4 g de micronutrientes y 210 g de cloruro de sodio. Después que la solución quedó preparada, fue agregada en dos rejillas de 30 litros cada una y de esa manera el riego fue esparcido a los 6 tratamientos.

BORO + SALINIDAD + ALCALINIDAD (B +S+ A) (7K y 9Ca), en un tambor con capacidad de 200 litros se disolvieron 60 litros de agua con las siguientes soluciones nutritivas: 30.7g de ácido nítrico (NH₄NO₃), 48.5 g de KNO₃, 45.3 g de Ca(NO₃)₂, 13.1 g de KH₂PO₄, 12.3 g de Mg(NO₃)₂, 341.1 mg de boro, 2.5 g de bicarbonato de sodio, 2.4 g de micronutrientes y 210 g de sal. Esta solución se disolvió perfectamente y enseguida se añadió a dos rejillas de 30 litros cada una, las cuales mandaron el riego a las 6 repeticiones del mismo tratamiento.

BORO + SALINIDAD + ALCALINIDAD (9K y 12Ca), en un tambor se disolvieron 60 litros de agua, se añadieron las siguientes soluciones nutritivas: 38.8 g de KNO₃, 79.3 g de Ca(NO₃)₂, 13.1 g de KH₂PO₄, 16.7 g de K₂SO₄, 7.1 g de KCl, 12.1 g de Mg(NO₃)₂, 341.1 mg de boro, 2.5 g de bicarbonato de sodio, 2.4 g de micronutrientes y 210 g de sal. Esta solución se disolvió perfectamente y enseguida se añadió a dos rejillas de 30 litros cada una, las cuales mandaron el riego a las 6 repeticiones del mismo tratamiento. El sistema de riego usado en el experimento fue por goteo automático. Consistió en una serie de mangueras muy delgadas (espaguetis) que fueron adheridas a una manguera principal. Esta manguera estaba conectada de la rejilla donde se encontraba preparada la solución nutritiva hacia otras 6 rejillas que eran la repetición respectiva a cada tratamiento, en la rejilla de la solución había una bomba para aplicar el riego a cada tratamiento.

Durante el crecimiento de las plantas se desarrollaron diferentes actividades como:

3.3 Tutorio. Se colocó hilo rafia a cada planta, desde la parte inferior del tallo hasta la parte superior. Este fue sujetado de unos alambres y esto sostuvo la planta evitando su caída o que se quebrara.

3.4 Deschuponado. Se eliminaron unos brotes presentados en la parte axilar del tallo, con la finalidad de evitar exceso de follaje en la planta.

3.5 Variables Evaluadas

Para la toma de muestras se dejaron 2 plantas por reja. El primer muestreo se realizó el 16 de septiembre y el segundo muestreo fue el 19 de octubre del 2013 donde se evaluaron las siguientes variables:

3.5.1 Altura de la Planta. La medición se realizó semanalmente con una regla de 50 centímetros y al paso del tiempo, cuando la planta rebasó los 50 cm, se midió con una cinta métrica. La altura se midió desde la base del tallo hasta el ápice de la planta.

3.5.2 Diámetro del Tallo. Se midió con un vernier digital, tomando como referencia a partir de la base de la planta 1 cm hacia arriba.

3.5.3 Número de Hojas. Se contó el total de hojas en cada planta.

3.5.4 Peso Fresco Aéreo y de Raíz. Se utilizó una balanza analítica, para lo cual se separó la parte radical y aérea de la planta con una navaja, ambas partes se colocaron por separado en la balanza y se tomó el dato de su peso fresco.

3.5.5 Peso Seco Aéreo y de Raíz. Se utilizaron bolsas de papel y en ellas se puso la parte aérea y parte radical de la planta por separado. En una estufa de secado se metieron ambas partes de la planta (parte aérea y raíz) a una T° de 60°C durante 72 horas. Luego de ese transcurso se sacaron las partes de la planta y se pesaron en una balanza analítica obteniendo el peso seco de la misa.

3.6 Diseño Experimental

Se utilizó un diseño de bloques al azar, analizando los datos mediante ANOVA y prueba de Tukey con un nivel de significancia .05 para la comparación de medias. Para el experimento se analizaron 8 tratamientos con 6 repeticiones cada uno.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el primer muestreo no se observó diferencia significativa entre el testigo y los tratamientos. Sin embargo entre los tratamientos si se presentó efecto significativo; la aplicación de B+A presentó mayor diámetro de tallo, mientras que las aplicaciones de B+S+A disminuyeron el diámetro de tallo en la planta (Figura 1).

La planta entra en estrés por altas concentraciones de salinidad lo cual impide el desarrollo de los tejidos y por ello el diámetro de tallo es menor

En el segundo muestreo se observó un efecto significativo en aquellas plantas que recibieron B+S+A respecto a las plantas testigo (Figura 2), en este caso las plantas testigo rebasaron los 8 mm de diámetro, mientras que al aplicar B+S+A fue menor. Por otra parte, también se observó que las plantas con B+A ejercen un efecto positivo, ya que superaron a todos los tratamientos rebasando los 10 mm de diámetro.

Al comparar los dos muestreos se observó que al aplicar Ca+K en las plantas con tratamiento B+S mostraron mayor diámetro similar al de aquellas plantas que no recibieron ningún tratamiento.

En general, de acuerdo a varios autores, las plantas de tomate sometidas a altas concentraciones de sal muestran una reducción significativa en el diámetro del tallo (Carneiro *et al.*, 2004).

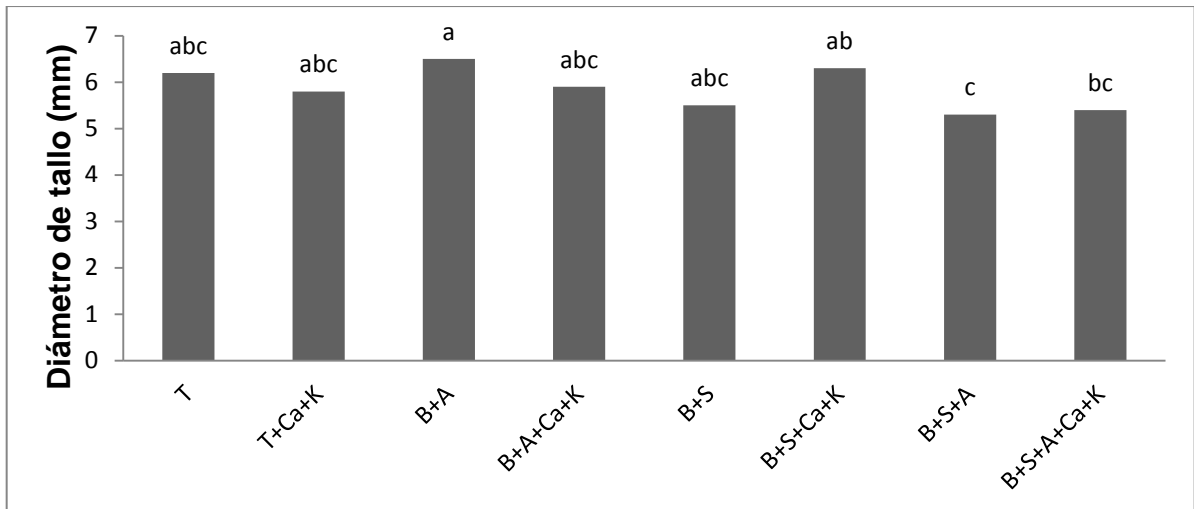


Figura 1. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés en el agua de riego en el diámetro del tallo en tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) del primer muestreo. T=testigo. Ca= calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

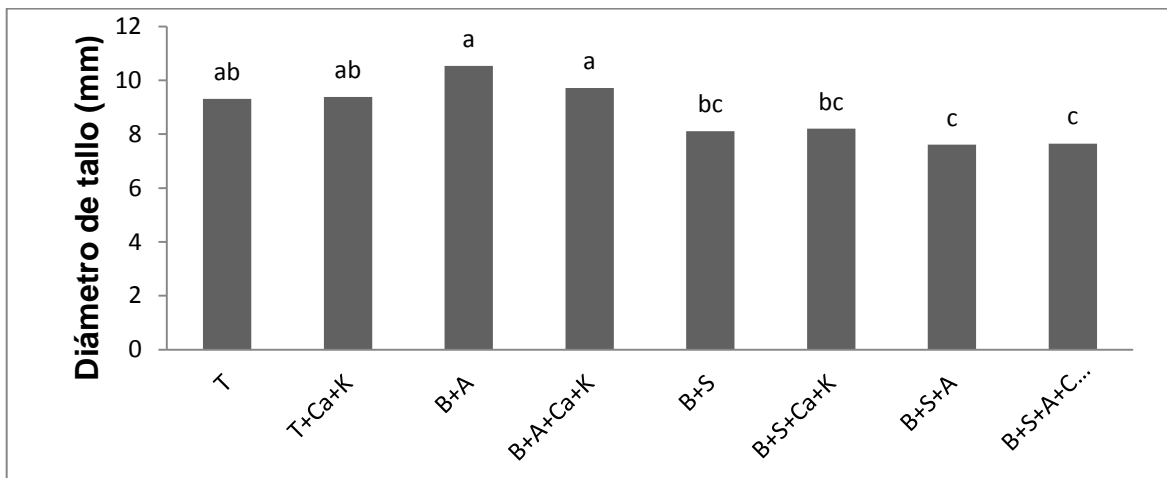


Figura 2. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés en el agua de riego en del diámetro del tallo en tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) del segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

En el primer muestreo en la altura de la planta (Figura 3) se observó diferencia significativa en T+Ca+K y en aquellas que fueron tratadas con B+S+A. Comparado con lo anterior, se observó que el segundo muestreo (Figura 4) presentó un efecto significativo en dos tratamientos: T y T+Ca+K., el segundo mostró mayor altura que el primero.

Morín (1980), menciona que el K interviene en algunas funciones metabólicas en el crecimiento y división celular de tejidos jóvenes. Por lo tanto, estos resultados coinciden con el presente trabajo; ya que el K estuvo asociado con un mayor crecimiento del tallo en las plantas. Según Rodríguez (2001), la abundancia de este elemento se manifiesta en las siguientes características: mayor crecimiento y vigor, buen desarrollo de flores, frutos y semillas, resistencia al frío y enfermedades criptogámicas y aumento en la calidad de los frutos.

Por otra parte, Romero *et al.*, (2001), menciona que la altura de la planta de tomate disminuye con el incremento de la salinidad porque hay menor turgencia de tejidos. Esto coincide con lo reportado por Grattan y Grieve (1999) quienes indican que las sales afectan el crecimiento de la planta al alterar la absorción de agua por las raíces, fenómeno que se denomina componente osmótico, y sería el efecto inicial que padecen las plantas.

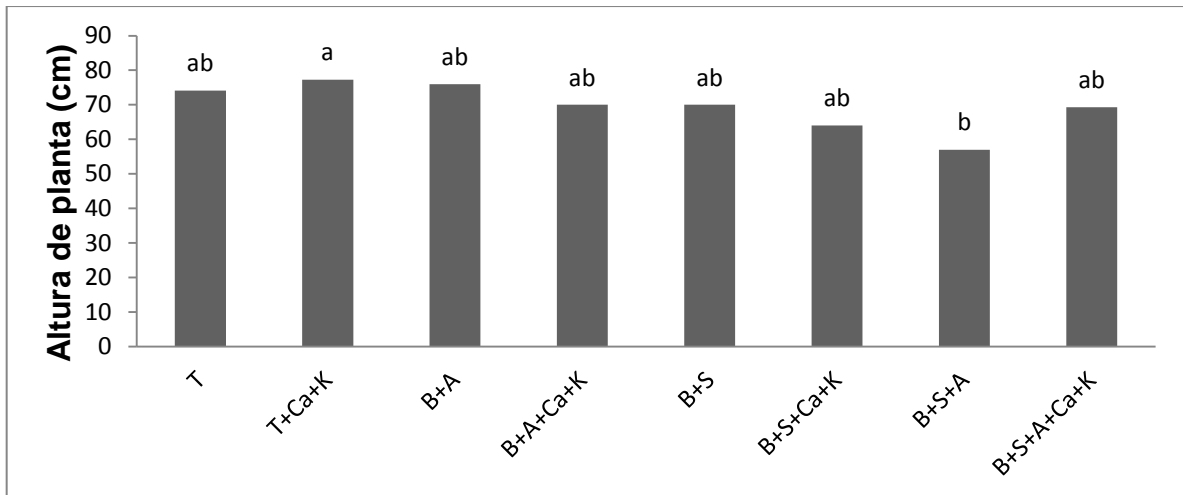


Figura 3. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés en el agua de riego de la altura de la planta de tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) en el primer muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

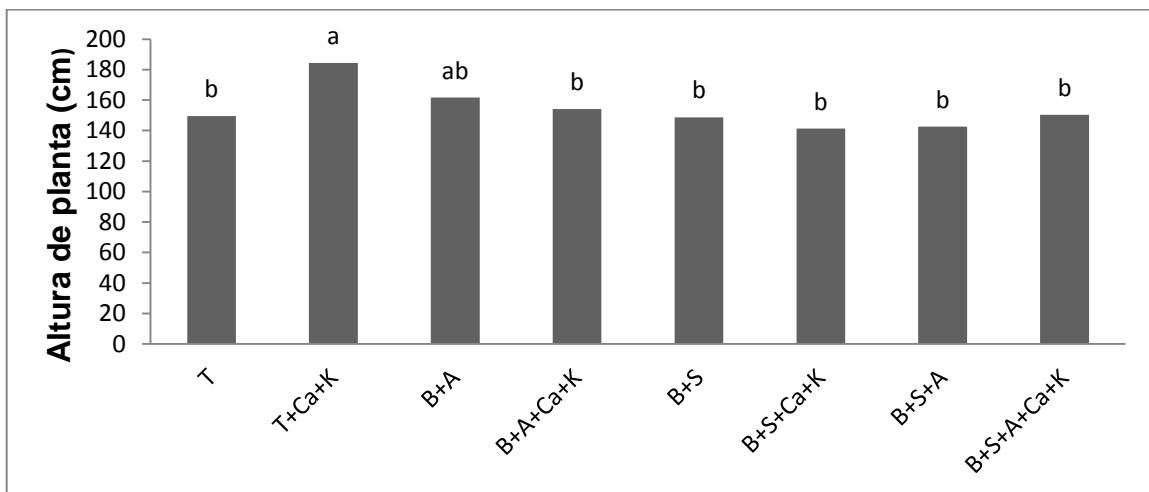


Figura 4. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés en el agua de riego en la altura de la planta de tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) en el segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

En cuanto al número de hojas en el primer muestreo (Figura 5) no hubo efecto significativo en la aplicación de soluciones nutritivas en plantas de tomate. Sin embargo, se observaron plantas (T y B+A) con mayor número de hojas, mientras otras mostraron una tendencia mínima (T+Ca+K y B+S+A). En el segundo muestreo (Figura 6) se presentó un efecto significativo en las plantas tratadas con soluciones nutritivas. Las plantas a las que se les aplicó Ca+K mostraron mayor número de hojas, comparadas con las plantas testigo y el resto de los tratamientos.

Por otra parte, la disminución en el número de hojas como consecuencia del incremento de la salinidad es una respuesta variable que depende de la especie o cultivar de que se trate como también de los niveles de sales a que son expuestas las plantas (Romero *et al.*, 2001).

Cuando se incrementa la salinidad, el potencial osmótico se reduce al igual que la disponibilidad de agua para la planta, lo cual tiene como consecuencia un déficit hídrico para el vegetal, lo que a su vez afecta el crecimiento de las hojas y la fotosíntesis (Katerji *et al.*, 2003).

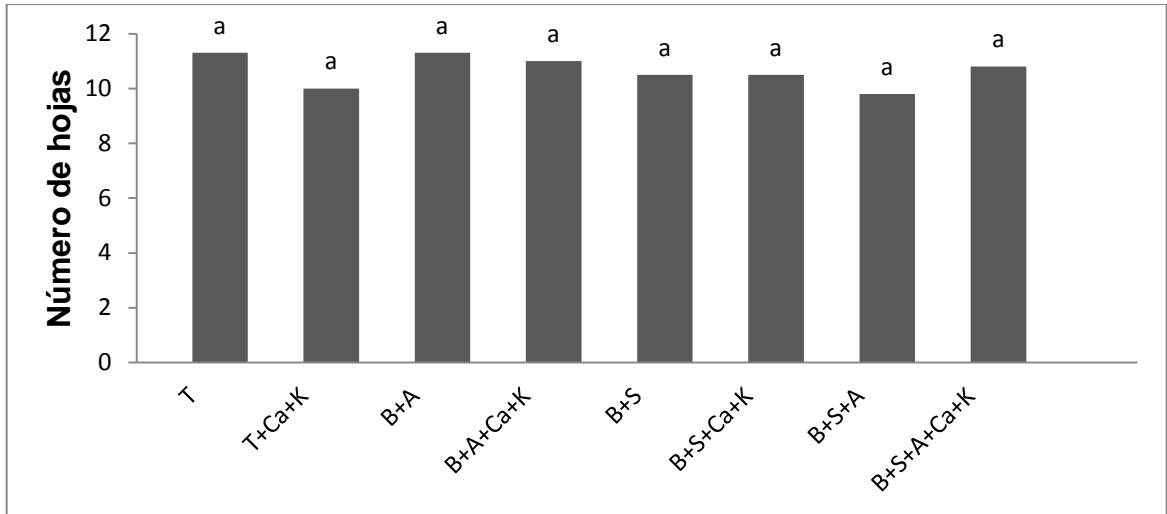


Figura 5. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés e el agua de riego en el número de hojas de la planta de tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) en el primer muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

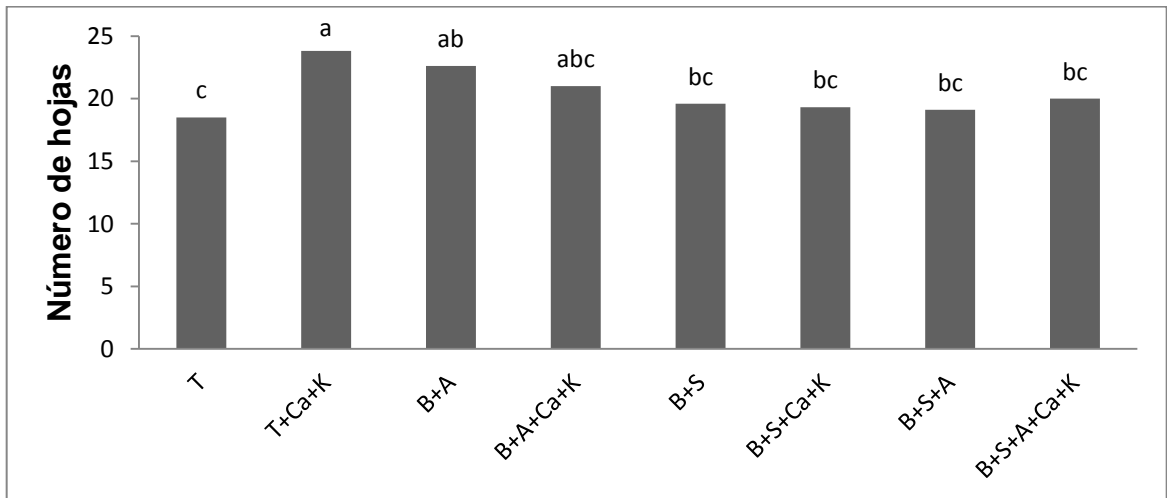


Figura 6. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés en el agua de riego en el número de hojas de tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) en el segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

En el peso fresco aéreo, la aplicación de B+S+A tuvo un efecto significativo comparado con el tratamiento testigo (Figura 7). Se observa mayor peso en las plantas testigo, mientras que las plantas tratadas con B+S+A mostraron un peso por debajo de los 100 g. También se observó efecto significativo en las plantas que recibieron la aplicación de B+A y B+S. La Figura 8 indica que no hubo efecto significativo, sin embargo se observó una tendencia mayor en cuanto a peso fresco aéreo de las plantas tratadas con B+S, respecto a los demás tratamientos.

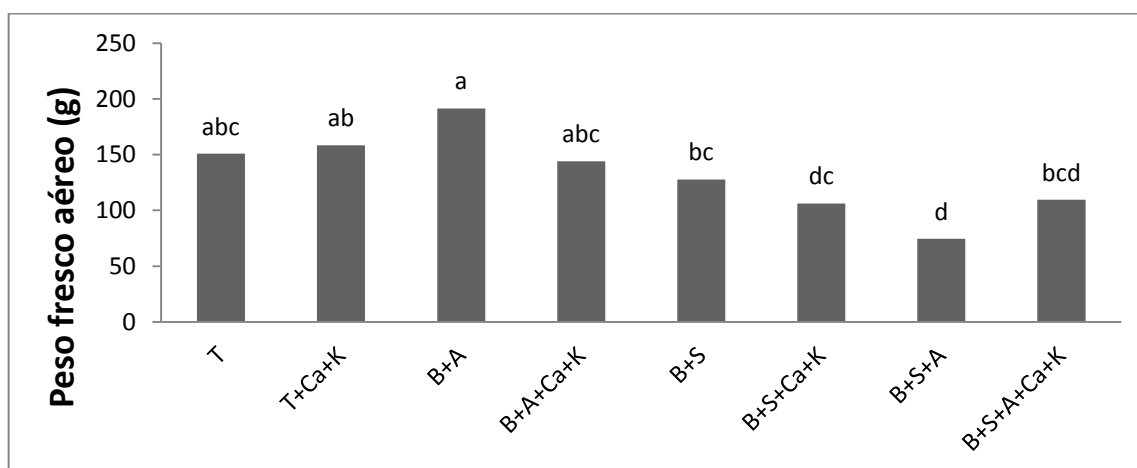


Figura 7. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés en el agua de riego en peso fresco aéreo de tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) en el primer muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

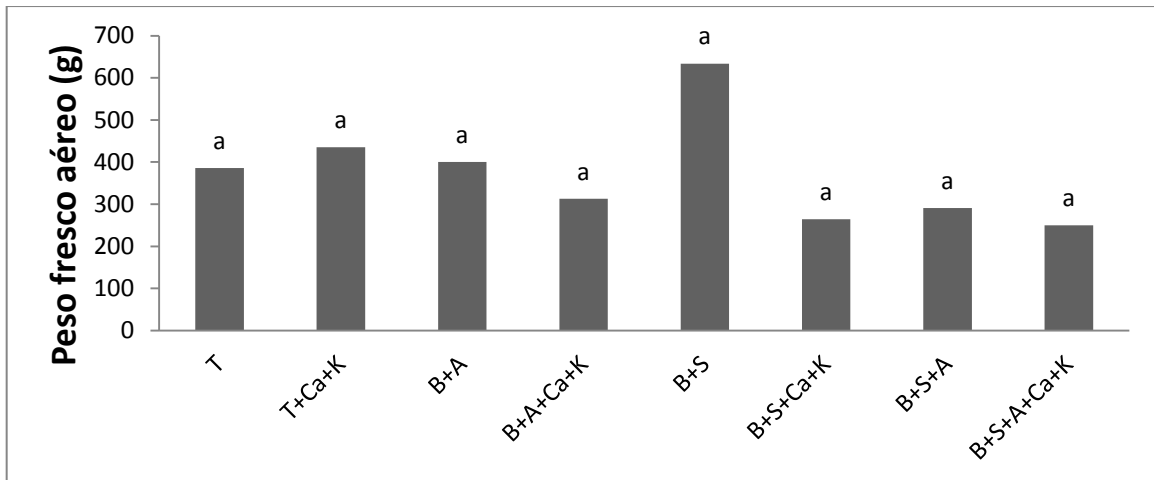


Figura 8. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés en el agua de riego en peso fresco aéreo de tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) en el segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

En el primer muestreo se observó un efecto significativo en el peso seco aéreo en las plantas tratadas con B+S, B+S+A y B+S+A+Ca+K comparadas con el tratamiento testigo; donde el tratamiento testigo mostró mayor peso a diferencia de los demás tratamientos (Figura 9). En el segundo muestreo existe diferencia significativa en el T y T+Ca+K. este último pesó más de 50 g, mientras que el primero solo 35 g (Figura 10). En el caso de la parte aérea, Gunes *et al.* (2005) indican que plantas de maíz expuestas a la salinidad también disminuyen el contenido de materia seca. En plantas de pimentón y en otros dos cultivos de tomate, PE-2 y New-Yorker (Alarcón *et al.*, 1993), ocurrió similar efecto en el contenido de materia seca.

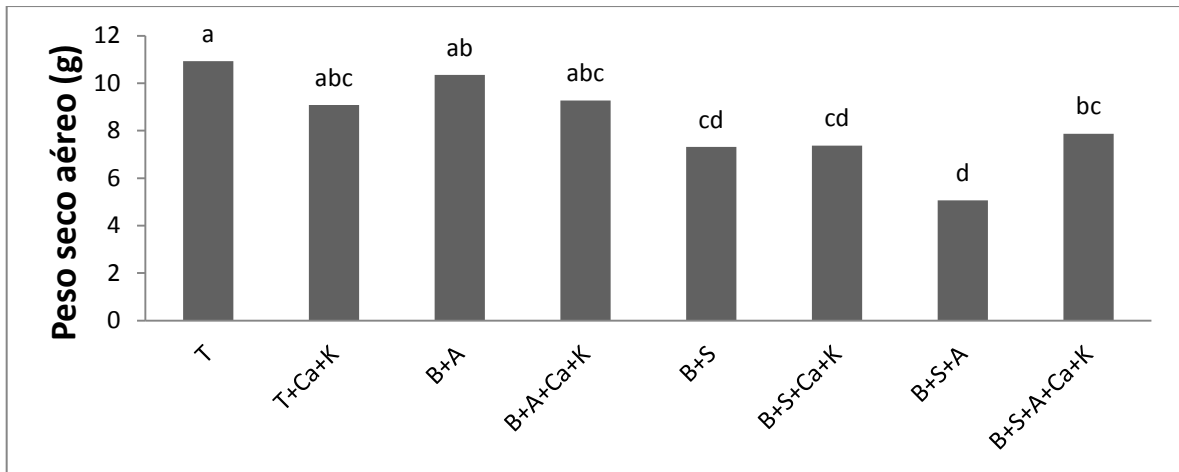


Figura 9. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de estrés en al agua de riego del peso seco aéreo de tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) en el primer muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

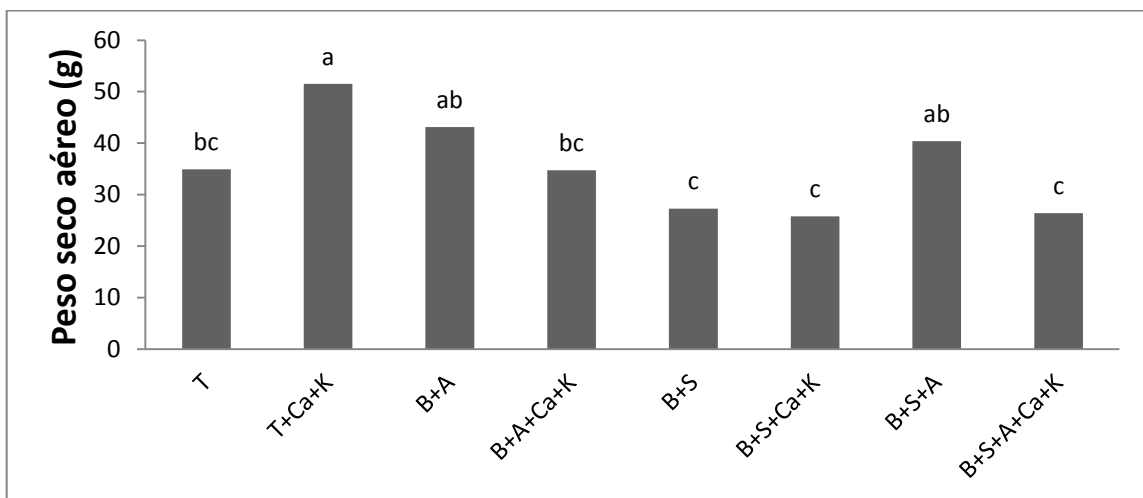


Figura 10. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso seco aéreo de tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) en el segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

En el primer muestreo se observó un efecto significativo en el peso fresco de raíz en plantas testigo comparadas con plantas tratadas con B+S (Figura 11). El tratamiento testigo mostró más peso fresco de raíz a diferencia de los otros tratamientos. En el segundo muestreo existe diferencia significativa en los plantas tratadas con B+A+Ca+k y B+S+Ca+K (Figura 12).

Se ha reportado que al existir un aporte suplementario de Ca+K mejora la respuesta de la planta al estrés salino ya que mejora el volumen radicular de las plantas (López y Satti, 1996).

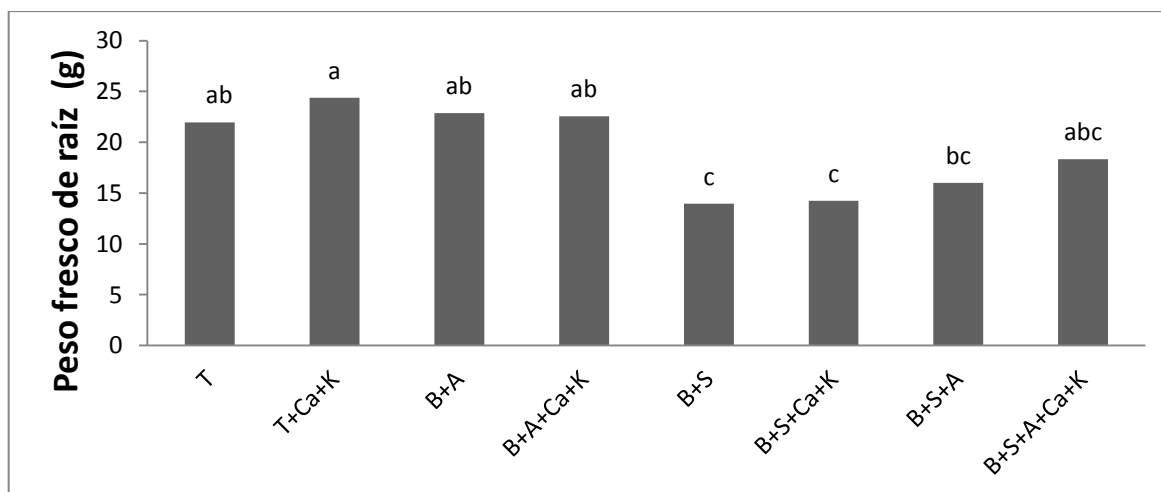


Figura 11. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso fresco de raíz de tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) en el primer muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

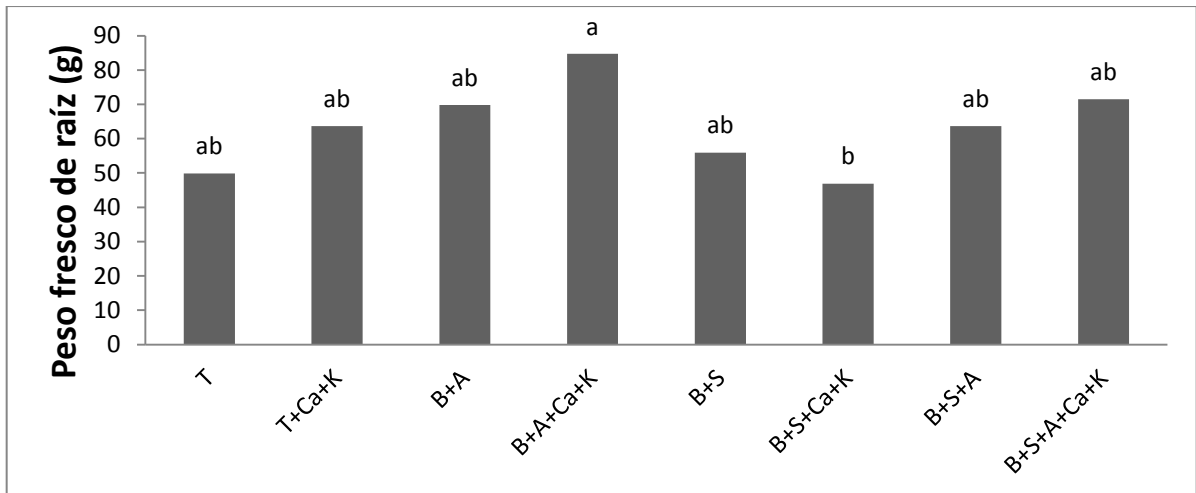


Figura 12. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso fresco de raíz de tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) en el segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

En el peso seco de raíz (Figura 13), a las plantas que se les aplicó B+S, B+S+Ca+K y B+S+A mostraron efecto significativo comparados con el tratamiento T+Ca+K. En otros tratamientos (B+S+Ca+K y B+S+A) se observó menor peso de raíz. En el segundo muestreo (Figura 14), no hubo efecto significativo en ningún tratamiento aplicado en plantas. Sin embargo, se puede apreciar una tendencia en aumento de peso seco en plantas a las que se les aplicó B+A+Ca+K, pero no hay significancia.

El efecto de las sales en las raíces de las plantas de tomate siempre resulta en un menor crecimiento de esta estructura, hecho que puede afectar el crecimiento, en general de la planta (Almasoum, 2000).

Valdez *et al.* (2011) mencionan que el estrés por salinidad causa una reducción en la acumulación de K en varias especies ornamentales de jardín, lo cual es debido a la competencia con el Na, un ion frecuentemente encontrado en agua con alta salinidad. La concentración de Ca en los tejidos de plantas bajo condiciones de alta salinidad a su vez es disminuida debido al desplazamiento causado por el exceso de Na (Cramer *et al.*, 1985).

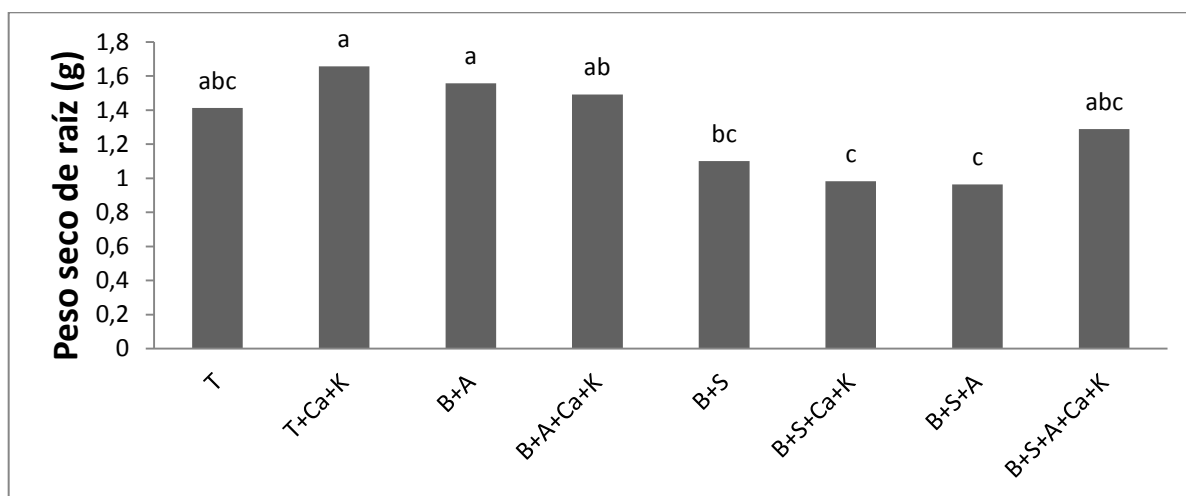


Figura 13. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso seco de raíz de tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) en el primer muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

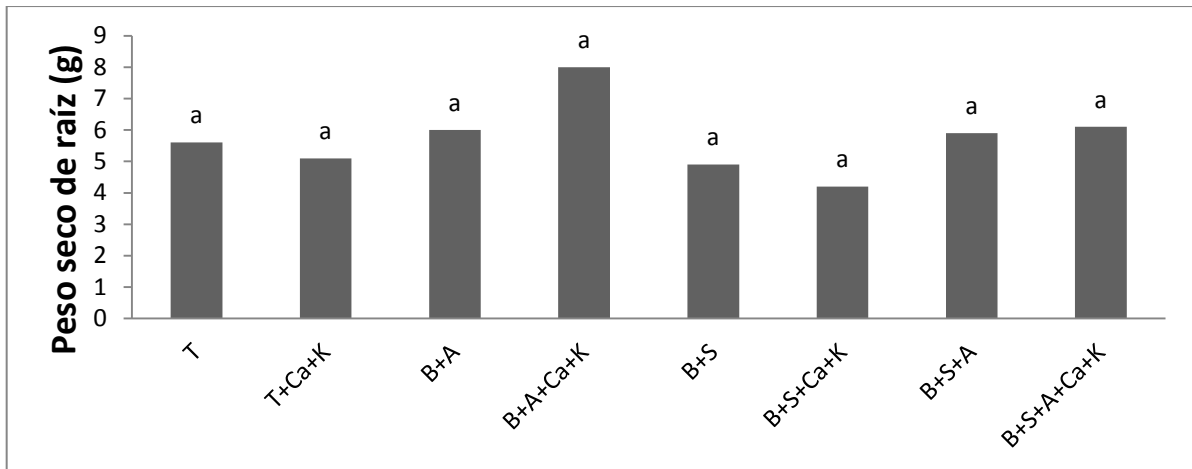


Figura 14. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso seco de raíz de tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) en el segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

En el primer muestreo del peso fresco total (Figura 15), se observó un efecto significativo en plantas que fueron tratadas con B+S+Ca+K y B+S+A, respecto al testigo. El testigo mostró mayor peso fresco total, mientras las plantas que recibieron los tratamientos mencionados mostraron menor peso fresco.

El segundo muestreo (Figura 16) mostró una tendencia en aumento de peso fresco total en plantas tratadas con B+S, pero no hubo efecto significativo en ningún tratamiento.

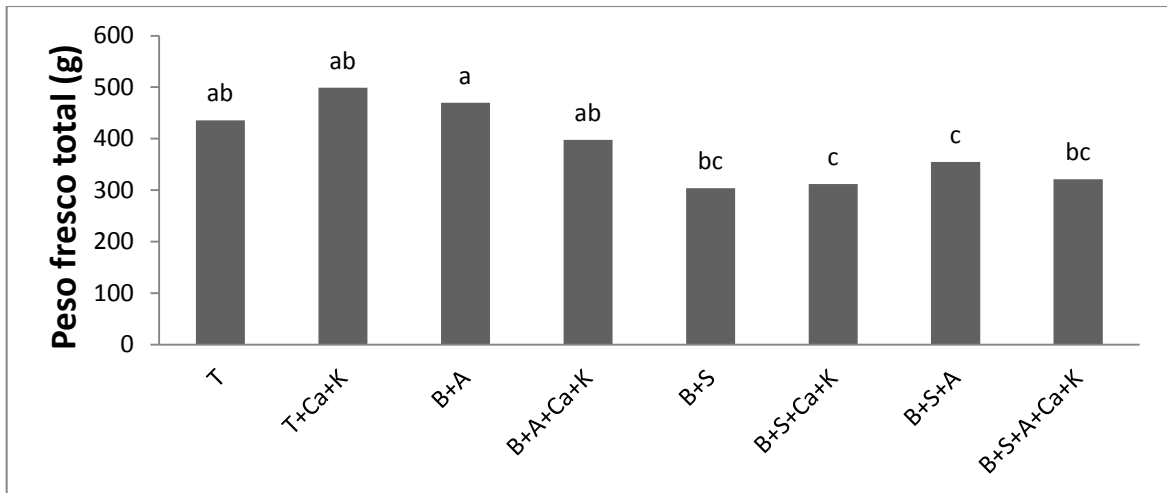


Figura 15. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso fresco total de tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) en el primer muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

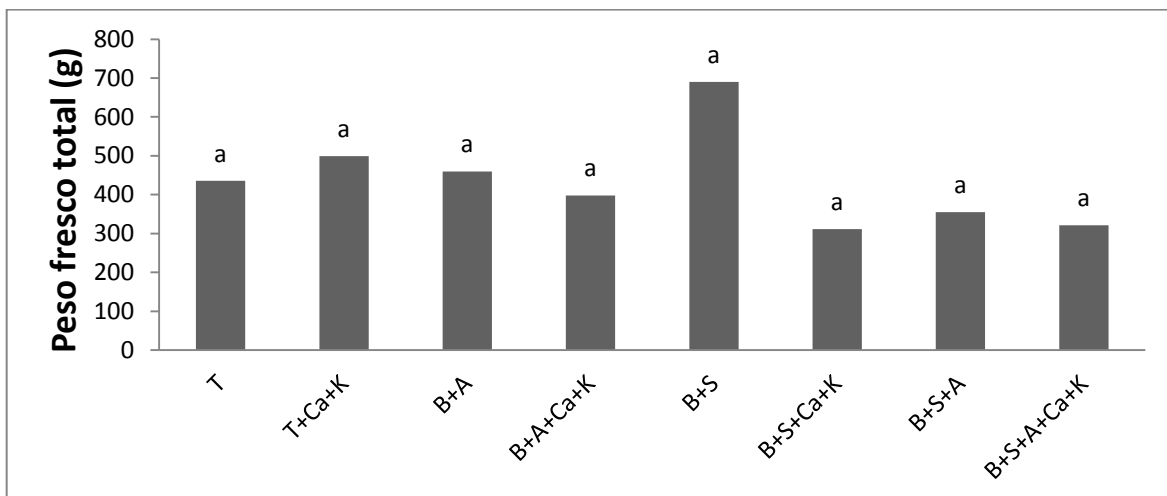


Figura 16. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso fresco total de tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) en el segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

El peso seco total del primer muestreo (Figura 17), presentó efecto significativo entre plantas tratadas con B+S, B+S+Ca+K, B+S+A y B+S+A+Ca+K, respecto al testigo. Por un lado es más notorio el peso seco total de las plantas que fueron tratadas con B+S+A, comparado con el testigo, que mostró menor cantidad de materia seca.

El segundo muestreo (Figura 18), presentó efecto significativo entre T y T+Ca+K, donde se observó mayor peso seco total en plantas que fueron tratadas con dosis de Ca+K. Se observó que la interacción que hay entre Ca+k y soluciones nutritivas presenta mayor rendimiento de materia seca, mientras que aplicaciones de B+S, la disminuyen.

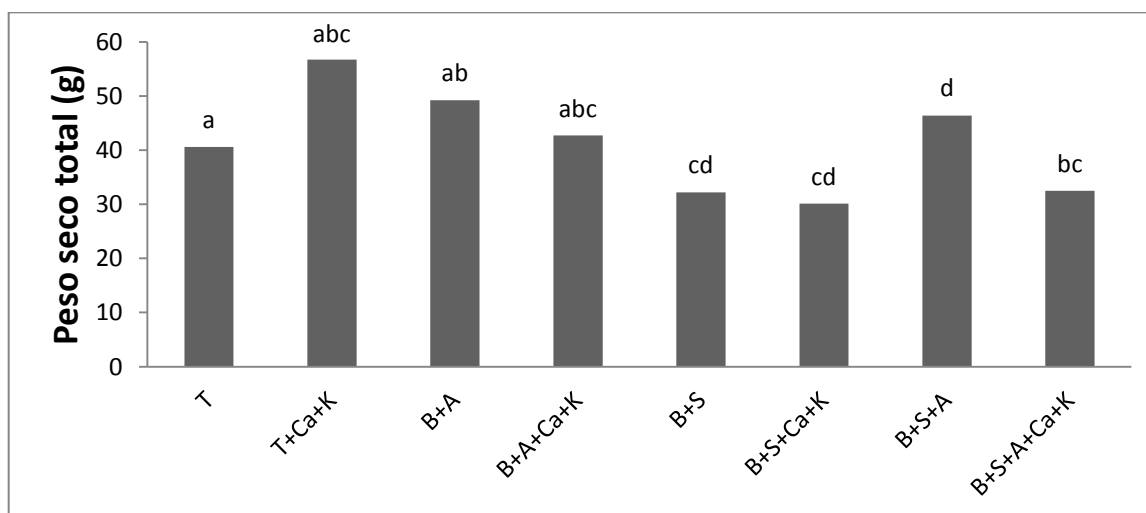


Figura 17. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso seco total de tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) en el primer muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

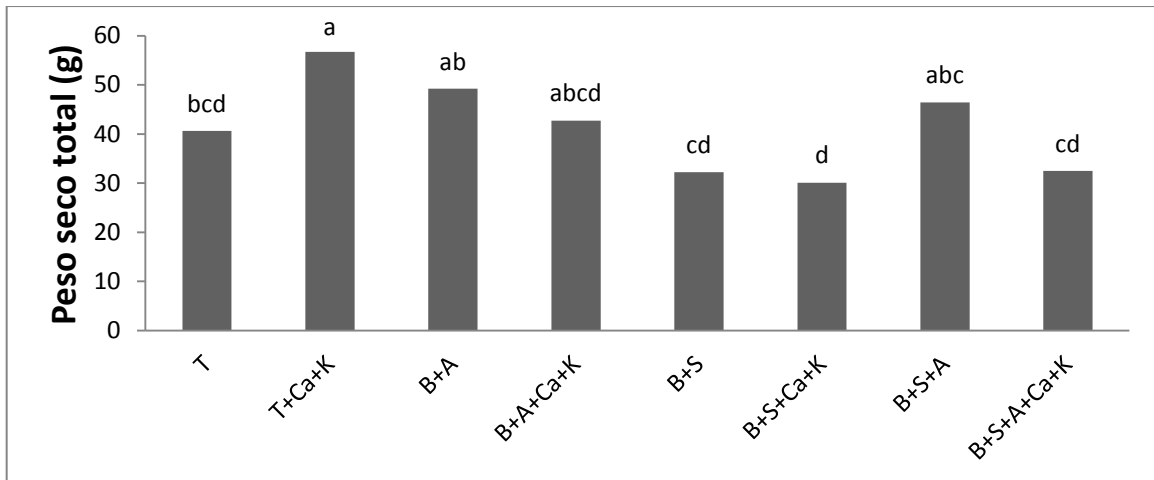


Figura 18. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos para la determinación del peso seco total de tomate rojo (*Solanum lycopersicon* var. El Cid F1) en el segundo muestreo. T=testigo. Ca=calcio. K=potasio. B=boro. S=salinidad. A=alcalinidad.

5. CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se abordaron temas sobre estrés ocasionado por alcalinidad, salinidad y exceso de boro. El síntoma más visible causado por la alcalinidad es la clorosis intervenal en hojas jóvenes así como un crecimiento raquítico.

Los tratamientos con altas concentraciones de salinidad provocaron menor diámetro de tallo y número de hojas en plantas de tomate.

Las plantas de tomate sometidas a estrés mediante alcalinidad, salinidad y exceso de boro son capaces de desarrollar su ciclo vegetativo en un ambiente desfavorable, sin embargo, es mejor producir la planta con elementos nutritivos que le sirvan de soporte para su desarrollo y crecimiento.

Las aplicaciones de Ca y K con la solución nutritiva funcionaron en el experimento. La planta no mostró estrés a simple vista y además, hubo mejores rendimientos en altura de planta, número de hojas, peso seco aéreo, peso fresco y seco de raíz.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, A.L., R. Madrid y C. Egea. 1993. Hydric and nutrient element nutrition of a tomato crop on rockwool: ionic interrelationships. *J. Plant Nutr.* 20: 1811-1828.
- Alhendawi R. A., Romheld, V., Kirkby, E., A., Marschner. H. 1997. Influence of increasing bicarbonate concentrations on plant growth, organic acid accumulation in roots and iron uptake by barley, sorghum and maize. *J. Plant Nutr.* 20;1731-1753.
- Almasoum, A. A. 2000. Effect of planting depth on growth and productivity of tomatoes using drip irrigation with semi saline water. *Acta Hort.* 537: 773-778.
- Anderlini, R. 1976. El cultivo del tomate. 3ª. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Castello 37, Madrid, España.
- Ayers, R.S. y D.W. Westcot 1989, Water quality for agriculture, Revised edition 1, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Bailey, D. A., 1996. Alkalinity and acidification p 69-91. In: Reed, D. Wm. (ed.). *Walter. Media and nutrition.* Ball Publishing. Batavia. IL.
- Barber, S.A. 1995. Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. 2nd edition. John Wiley and Sons, New York.

- Belalcázar S., Salazar C., Cayón C., Castillo L., Valencia J. 1991. Manejo de plantaciones. pp: 149-239. In. El cultivo del plátano en el trópico. S. Belalcázar, J. Toro y R. Jaramillo (eds). Instituto Colombiano Agropecuario. Manual de Asistencia N° 50.
- Bennett W. 1993. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. College of Agricultural Sciences and Natural Resources. Texas Tech University, Lubbock. The American Phytopathological Society. 202 p.
- Brown P. H., Bellaloui N., Wimmer M. A., Bassil E. S., Ruíz., Hu H., Pfeffer H., Dannel F. and Römheld V. 2002. Boron in Plant Biology. *Plant Biology* 4: 211-229
- Cabral de Miranda, J .E. 1985. Origen y evolución del tomate, uso de especies salvajes en programas de mejoramiento genético. Piracicaba Universidad de Sao Paulo, 57p.
- Carneiro, P., P. Fernandes, H. Gheyi, F. Soares and S. Viana. 2004. Salt tolerance of precocious-dwarf cashew rootstocks– physiological and growth indexes. *Scientia Agricola, Piracicaba*. 61(1): 9-16.
- Cassab Gl., 1998. Plant cell wall proteins. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49:281-309.
- Cásseres, E. 1981. Producción de hortalizas. Editorial Herrero Hnos. Sucesores, S. A. México, 387 p.

- Centeno, D.H. 1986. Monografía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. P.3-71.
- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). 1996. Guía Técnica Programa de Hortalizas y Frutales, Cultivo de Tomate, San Andrés, La Libertad El Salvador, C.A.
- Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria (COVECA), 2013. <http://www.coveca.monografia-del-tomate-pdf>. En línea.
- Cramer, G.R. y Läuchli, A., 1996. Ion activities in solution in relation to Na⁺–Ca²⁺ interactions at the plasmalemma. *Journal of Experimental Botany*, Vol.37, pp. 241-250.
- Cramer, G. R.; Läuchli, A. and Polito, V. S. 1985. Displacement of Ca²⁺ by Na⁺ from the plasmalemma of cells. A primary response to salt stress? *Plant Physiol.* 79:207-211.
- Disagro. 2004. Cultivo del tomate. *Boletín Disagro* 4(1):1-8.
- Edmon, J.E. y F. Andrews S. 1984. Principios de horticultura. Séptima Edición, Editorial Continental. México. Pp. 487-492. En: *El cultivo del tomate. Ediciones y promociones LAV, S.L. Valencia.*
- Esquinas, J.T. and Alcazar. 1981. Genetic Resources of Tomatoes and Wild relatives. IBPGR Secretariat Rome. P.65.
- Flores, I.R. 1980. Cultivo del Tomate. I.T.E.S.M., Monterrey, Nuevo León, México.

- Folquer, F. 1976. El tomate: estudio de la planta y su producción. 2a ed. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina, 104 p.
- Guerra, H. M. 1993. Tolerancia a la salinidad en el Mejoramiento y la Producción Agrícola. Seminarios de Postgrado, Especialidad Fitomejoramiento, Departamento de Fitomejoramiento, División de Agronomía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. P. 64-77
- Goldberg, S.; H. Forster, y E. Heick. 1993. Boron adsorption mechanisms on oxides, clay minerals and soils inferred from ionic strength effects. Soil Sci. Soc. Am. J., 57(3): 704-708.
- Grattan, S. R. y Grieve. C. M., 1999. Salinity mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78:127-157.
- Gunes, A.; Inal, A.; Alpaslan, M.; Eraslan, E; Guneri, E.; Eraslan, E; Guzelordu, T. 2005. Effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *J. Plant Physiol.* 164: 728-736.
- Gupta, V., 1979. Boron Nutrition of crops. *Advances in Agronomy* 31, 273-307
- Hu. H and Brown P H 1997 Absorption of boron by plant roots. In *Boron in Plants and Soils*. Eds. Dell B, Brown P H and Bell R W. pp 49–58. Kluwer Acad. Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) 2013. Información nacional por entidad federativa y municipios, estado de Coahuila de Zaragoza. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=5>.(Noviembre 2013).En línea.

Jaramillo R., y Garita R., 1981. Diagnóstico sobre la presencia de clorosis marginal en una finca bananera del área de Guápiles. Informe Mensual UPEB (Panamá) 5 (41):23-25.

Jensen, M.H. y W.L. Collins. 1985. Hydroponic vegetable production. Hort. Rev. 483-559.

Katerji N., van Hoorn J. W., Hamdy A., Mastrorilli M., 2003. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. Agric. Water Manage., 62, 37-66

Läuchli, A. 2002. Functions of boron in higher plants: recent advances and open questions. Plant Biology 4: 190-192.

León, G. H. y Arosemena, D. M. 1980. El cultivo de tomate para el consumo fresco. Sinaloa, Méx., Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. pp. 95-182.

- López, M. V. y Satti, S. M. E. 1996. Calcium and potassium enhanced growth and yield of tomato under sodium chloride stress. *Plant Science*, 114:19-27
- Márquez, S. A. y Peña, L. 1997. *Mejoramiento Genético de Hortalizas*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 380 p.
- Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd Edn. Academic Press, New York.
- Montoliu, A., 2010. *Respuestas fisiológicas de los cítricos sometidos a condiciones de estrés biótico y abiótico. Aspectos comunes y específicos*. Universitat Jaume I. Departament de Ciències Agràries i del Medi Natural. Castellón de la Plana, España.
- Moreno, M. E. 1976. *Manual para el Análisis de Semillas*. Productora Nacional de Semillas PRONASE. México, D.F. p. 72-93.
- Morin, C.H., 1980. *Cultivo de Citricos*, lima, liberia Stadium, S.A. 597 p.
- Mozafar A. 1993. Role of boron in seed production. In: Gupta UC, editor. *Boron and its role in crop production*. Boca Raton: CRC Press. p. 185-206.
- Nable R. O., Bañuelos. G. S. and Paull. J. G., 1997. Boron toxicity. *Plant Soil* 193, 181–198.
- Novák, F. and I. Maskova., 1970. Apical shoot tip culture of tomato. *Scientia Horticulturae* 10:337-344

- O'Neill. 2001. Oramnogalacturonano II. Structure and function of a borate cross-linked cell wall peptic polysaccharide. *Ann. Rev. Plant Biol.* 55 (1). 109-139
- Parr, A. J. and Loughman, B. C., 1983. Boron and membrane function in plants. In *Metals and Micronutrients: Uptake and Utilization by Plants*, D. A. Robb and W. S. Pierpoint (eds.). London, UK: Academic Press, pp. 87-107.
- Petersen, F.H. 1996. Water testing and interpretation. p. 31-49. In: Reed, D.Wm. (Editor). *Water, media and nutrition*. Ball Publishing, Batavia, IL.
- Ramos O., A.; Carballo C., A.; Hernández L., A., Corona T., T.; Sandoval V., M. 2006. Caracterización de líneas de jitomate en hidroponía. *Agricultura técnica en México*. 32(2);213-223
- Reid, R.; J. Hayes, A. Post, J. Stangoulis y R. Graham. 2004. A critical analysis of the cause of boron toxicity in plants. *Plant Cell Environ.*, 27(11): 1405-1414.
- Rick, C. M. and J. F. Fobes., 1975. Allozyme variation in the cultivated tomato and closely related species. *Bull. Torrey Bot. Club* 102:376–384.
- Rodríguez, A. G., García, L. J. y Fernández, P.S.P. 2006. Enfermedades del jitomate (*Solanum tuberosum*) cultivado en invernadero en la zona centro de Michoacán. *Revista Mexicana de Fitopatología* 29:50-60.
- Rodríguez, S.A. 2001. *Fertilizantes, nutrición vegetal*. AGT editor. Segunda reimpresión. México, D.F.

- Romero, A., R.; Soria, T.; Cuartero, J. 2001. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Science*. 160: 265-272.
- Satti, S.M.E., A.A. Ibrahim y S.M. Al-Kindi. 1994. Enhancement of salinity tolerance in tomato: implications of potassium and calcium in flowering and yield. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25: 2825-2840.
- Servicio de Información agroalimentaria y Pesquera. (SIAP). 2013. disponible en http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=346
- Subbiah K. and Perumal R. 1990. Effect of calcium sources concentration, stages and number of sprays on physiological properties of tomato fruit. *South Indian Horticulture*, v.38, p.20-27.
- Valdez, A. L. A.; Grieve, C. M.; Mahar, A. R.; McGiffen, M. E. and Merhaut, D. J. 2011. Growth and ion distribution is affected by irrigation with saline water in selected landscape species grown in two consecutive growing seasons: spring-summer and fall-winter. *HortScience*. 46:632-642
- Valencia, H.M.D. 1981. Evaluación del rendimiento de doce variedades de tomate bajo condiciones de invernadero. U.A.A.A.N., Buenavista, Saltillo, Coah. México.

Vargas A. 1998. Los nutrimentos minerales esenciales, su función dentro del metabolismo de las plantas y su relación con los cultivos de banano y plátano (Musa AAA, AAB). CORBANA 23(50):137-144.

Wei, L., R.H. Loeppert, and W.R. Ocumpaugh. 1998. Analysis of iron-deficiency induced hydrogen release by plant roots using chemical equilibrium and pH-stat methods. Journal of Plant Nutrition. 21:1539-1549.