

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto del Estrés Combinado en el Crecimiento y Calidad de Frutos de Tomate
(*Solanum lycopersicum*).

Por:

JOSÉ LEONEL BADILLO MÉNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México.

Abril, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto del Estrés Combinado en el Crecimiento y Calidad de Frutos de Tomate
(*Solanum lycopersicum*).

Por:

JOSÉ LEONEL BADILLO MÉNDEZ


TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

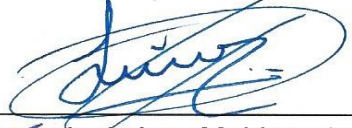
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:

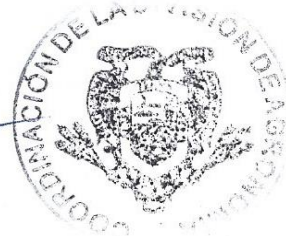

Dr. Alonso Méndez López
Asesor Principal Interno


Dra. Miriam Sánchez Vega
Asesor Principal Externo


Dr. Armando Hernández Pérez
Coasesor


Dr. Antonio Juárez Maldonado
Coasesor


Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Abril, 2022

Declaración de No Plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar el autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



José Leonel Badillo Méndez

Asesor



Dr. Alonso Méndez López

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a **DIOS** por darme la salud, sabiduría, el entendimiento y la armonía necesaria, para desempeñarnos durante el transcurso y toda la trayectoria de nuestros estudios.

Al **Dr. Alonso Méndez López** por haberme dado la oportunidad de trabajar con él, por abrirme las puertas y apoyarme siempre, compartiéndonos de su gran conocimiento, por ser paciente y resolernos todas y cada una de nuestras dudas, ya que sin él no hubiera sido posible la realización de este trabajo, de antemano gracias Doctor.

Al **M.C. Raúl Morales Meléndez**, ya que también me brindó su apoyo durante todo el proceso y me oriento de principio a fin.

A **Lic. Alejandra Nájera Hernández**, jefa, compañera y amiga, por haberme dado la oportunidad de hacer mis estadías a su lado, por brindarme el apoyo y su conocimiento, por escucharme y darme sabios consejos.

DEDICATORIA

Primero que todo, dedico este trabajo principalmente a mi madre **Esthela Méndez Alamilla**, por ser mi motor para seguir adelante, por sus palabras de aliento, sus consejos, por demostrarme que siempre estuvo ahí durante toda mi carrera sin importar el día o la hora apoyándome económica y emocionalmente, que nunca me dejo rendir, siempre estuvo pendiente.

También dedico este trabajo con mucho cariño y aprecio a mis hermanos **Everardo, Antonio, Alejandro, Francisco, Saturnino, Manuel** y hermanas, **Nely, Himelda, Esmeralda, Dolores, Isabel, Estela, Guadalupe, Elvia**, que me apoyaron económica y emocionalmente por aconsejarme, por ayudarme a salir de mis derroches y de mis apuros.

A mi buena amiga y compañera **Agar Abigail Barboza Sánchez** que me apoyo en todo momento por sus consejos, por sus pláticas de aliento, por los bonitos momentos que pasamos entre bromas y muchas risas.

También dedico este trabajo a mi buena amiga **Katia Contreras Balderas**, que aun en la distancia siempre me escucho en todo momento, por sus palabras y consejos, siempre demostró que estaría ahí para mí en todo momento en el que la necesitara sin importar la razón siempre encontré la solución a mis problemas.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	1
DEDICATORIA.....	3
INDICE GENERAL	4
INDICE DE CUADROS	6
INDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	9
I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Objetivos	12
1.1.1. Objetivo general.....	12
1.1.2. Objetivos específicos	12
1.2. Hipótesis	12
II. REVISIÓN DE LITERATURA	13
2.1. Origen del cultivo del tomate.....	13
2.2. Taxonomía	13
2.3. Descripción botánica.....	13
2.4. Valor Nutricional.....	14
2.5. Importancia económica del cultivo	14
2.6. Efecto del estrés abiótico en las plantas	15
2.6.1. Combinación de estrés en las plantas.....	15
2.6.2. Efecto del estrés hídrico en el crecimiento y actividad fisiológica de las plantas	16
2.6.2.1. Respuesta de las plantas ante el estrés hídrico	16
2.6.3. Efectos del estrés nutrimental en el crecimiento de las plantas.....	17
2.6.3.1. Micronutrientes	17
2.6.3.2. Macronutrientes	17
2.6.3.3. Respuesta de las plantas ante el estrés nutrimental	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Localización geográfica.....	19
3.2. Material vegetativo	19
3.3. Siembra.....	19
3.4. Establecimiento del cultivo.....	19
3.5. Manejo nutricional	20
3.6. Aplicación de tratamientos y diseño experimental	20

3.7.	Variables evaluadas.....	21
3.7.1.	Variables vegetativas.....	21
3.7.1.1.	Peso fresco y seco aéreo.....	21
3.7.1.2.	Peso fresco y seco de raíz.....	21
3.7.1.3.	Biomasa aérea.....	22
3.7.1.4.	Biomasa de raíz.....	22
3.7.2.	Variables de calidad de fruto.....	23
3.7.2.1.	Firmeza.....	23
3.7.2.2.	Sólidos solubles totales (°Brix).....	23
3.7.2.3.	pH y conductividad eléctrica (CE).....	23
3.7.2.4.	Ácido cítrico (AC).....	23
3.7.2.5.	Vitamina C.....	24
3.8.	Análisis estadístico.....	25
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1.	Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables vegetativas 26	
4.2.	Comparación de medias de las variables vegetativas.....	26
4.2.1.	Peso fresco aéreo de la planta.....	26
4.2.2.	Peso fresco de raíz.....	28
4.2.3.	Peso seco aéreo.....	30
4.2.4.	Peso seco de raíz.....	31
4.2.5.	Porcentaje de biomasa aérea.....	32
4.2.6.	Porcentaje de biomasa de raíz.....	33
4.3.	Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables de calidad en fruto 34	
4.4.	Comparación de medias de las variables de calidad de fruto.....	35
4.4.1.	Firmeza.....	35
4.4.2.	Sólidos solubles totales (°Brix).....	36
4.4.3.	pH en fruto.....	38
4.4.4.	Conductividad eléctrica en el fruto.....	39
4.4.5.	Ácido cítrico en fruto.....	40
4.4.6.	Vitamina C en fruto.....	41
V.	CONCLUSIONES.....	43
VI.	LITERATURA CITADA.....	44

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Manejo nutricional del cultivo de tomate en invernadero (Buenavista, Saltillo, México, 2021).	20
Cuadro 2. Descripción de los tratamientos aplicados al cultivo de tomate en invernadero (Buenavista, Saltillo, México, 2021).	21
Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables vegetativas.	26
Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de la varianza para las variables de calidad en fruto.	35

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Producción Mundial del tomate (2007-2017, millones de toneladas) y principales países productores 2017 (Participación porcentual). 15
- Figura 2.** Peso fresco aéreo de la planta. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$). 28
- Figura 3.** Peso fresco raíz de la planta. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$). 29
- Figura 4.** Peso seco aéreo de la planta. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$). 30
- Figura 5.** Peso seco raíz de la planta. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$). 31
- Figura 6.** Porcentaje de biomasa aérea de la planta. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$). 33
- Figura 7.** Porcentaje de biomasa de raíz de la planta. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$). 34
- Figura 8.** Firmeza en frutos. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$). 36
- Figura 9.** Sólidos solubles totales (°BRIX). Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$). 37
- Figura 10.** Medición de pH (potencial hidrogeno). Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$). 38
- Figura 11.** Medición de CE (conductividad eléctrica). Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$). 39

Figura 12. Extracción de ácido cítrico en fruto. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$)..... 40

Figura 13. Extracción de vitamina C en fruto. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$)..... 42

RESUMEN

Las respuestas de las plantas a diferentes tipos de estrés son muy complejas, afectan el desarrollo normal e implican cambios a nivel del transcriptoma, celular y fisiológico. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto del estrés abiótico combinado (hídrico y salino) sobre el crecimiento vegetativo y la calidad de frutos en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*), variedad El Cid F1. La investigación se realizó en condiciones de invernadero. Se aplicó un diseño de bloques completamente al azar, el cual consistió de ocho tratamientos y cuatro repeticiones, que fueron sometidos a dos tipos de estrés (hídrico y salino), aplicados de la siguiente manera T1: 0 mM de NaCl y DFH 0 días; T2: 0 mM de NaCl y DFH 2 días; T3: 0 mM de NaCl y DFH 4 días; T4: 0 mM de NaCl y DFH 6 días; T5: 50 mM de NaCl y DFH 0; T6: 50 mM y DFH 2 días; T7 50 mM de NaCl y DFH 4 días y T8: 50 mM de NaCl y DFH 6 días. Las variables que se consideraron fueron vegetativas: peso fresco y seco aéreo, peso fresco y seco de raíz, biomasa aérea y biomasa raíz; y de calidad de fruto: firmeza, sólidos solubles totales (°Brix), pH, conductividad eléctrica, ácido cítrico y vitamina C. Los resultados obtenidos indican que las plantas inician a manifestar efectos negativos en el crecimiento vegetativo a partir de los dos días de iniciada la condición de estrés hídrico y salino, con efectos más severos el sexto día. En cuanto a las variables de calidad de fruto, la firmeza, los sólidos solubles totales, el pH, la CE, el ácido cítrico y la vitamina C mostraron incremento en sus valores siendo más altos al día 6 de iniciado la condición de estrés hídrico y salino. Las condiciones de estrés hídrico individual o en combinación con estrés salino afectaron al crecimiento vegetativo y componentes de calidad de los frutos de tomate variedad El Cid F1. La salinidad en el medio de crecimiento de las plantas sin estrés hídrico mostro efectos positivos en la acumulación de biomasa aérea y de raíz, por lo que, la salinidad a 50 mM promueve efectos bioestimulantes en la acumulación de Biomasa, Firmeza, Sólidos Solubles Totales, pH y Conductividad Eléctrica, a la vez que afecto el contenido de ácido cítrico y de vitamina C.

I. INTRODUCCIÓN

Las respuestas de las plantas a diferentes tipos de estrés son muy complejas e implican cambios a nivel del transcriptoma, celular y fisiológico. La evidencia reciente muestra que las plantas responden a múltiples estreses de manera diferente a como lo hacen a estrés individual, activando un programa específico de expresión génica relacionado con las condiciones ambientales exactas encontradas. La presencia de un estrés abiótico puede tener el efecto de reducir o aumentar la susceptibilidad a una plaga o patógeno biótico, y viceversa. Esta interacción entre el estrés biótico y abiótico está orquestada por vías de señalización hormonal que pueden inducirse o antagonizarse entre sí, en particular la del ácido abscísico (Atkinson & Urwin, 2012).

El estrés hídrico sucede en el momento en que la cantidad de transpiración de las hojas excede la del agua suministrada por la raíz. En vista de que los datos ambientales están fuertemente relacionados con la transpiración, también están indirectamente relacionados con el estrés hídrico (Kaneda *et al.*, 2017).

Srivastava *et al.* (2019) mencionan que la concentración excesiva de sales solubles en los suelos tiene una respuesta negativa tanto en las tierras agrícolas como en los cultivos y que son más de 100 países los que se enfrentan al problema de la salinidad del suelo junto con la salinización de las aguas subterráneas, así mismo el riego de cultivos agrícolas con agua salina aumenta la concentración de sales solubles en el suelo, reduciendo así la productividad de las plantas de un cultivo.

Según Maggio *et al.* (2007), la tolerancia a la sal de los cultivos se evalúa generalmente como la respuesta del rendimiento relativo al aumento de la salinidad de la zona de las raíces, ya que, el exceso de sales interrumpe principalmente el equilibrio osmótico celular al reducir el potencial hídrico dentro de las células, las sales como cloruros y sulfatos de sodio, el calcio y el magnesio junto con el carbonato de sodio y el bicarbonato de sodio que están presentes en los suelos

salinos afectan negativamente a los cultivos en cuanto a su crecimiento y productividad de las plantas, ya que cambian el equilibrio osmótico entre las raíces de las plantas y el suelo e interfieren con los procesos fisiológicos y metabólicos de las plantas.

La sequía representa uno de los estreses abióticos más relevantes que afectan el crecimiento y el rendimiento de las plantas de cultivo. Para mejorar la productividad agrícola dentro de los limitados recursos hídricos y terrestres, es obligatorio aumentar el rendimiento de los cultivos en presencia de tensiones ambientales desfavorables. El uso de bioestimulantes, que a menudo contienen extractos de algas, representa una de las opciones para los agricultores que desean aliviar las consecuencias del estrés abiótico en los cultivos (Santaniello *et al.*, 2017). Bajo el contexto anterior, en la presente investigación se consideró evaluar los efectos de bioestimulantes como son los extractos de algas, sobre plantas de tomate que fueron sometidos a estrés hídrico y salino, sobre el desarrollo vegetativo de plantas y la calidad y rendimiento de fruto.

■ Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Evaluar el impacto del estrés abiótico combinado (hídrico y salino) sobre el crecimiento vegetativo y la calidad de frutos en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*).

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del estrés hídrico y salino sobre la producción de biomasa, y la calidad de frutos de tomate.
- Determinar si la aplicación de un nivel bajo de salinidad promueve efectos estimulantes o de tolerancia al estrés hídrico en producción de biomasa y calidad de frutos de tomate.

■ Hipótesis

El estrés hídrico solo o combinado con un nivel bajo de salinidad (50 mM) en el medio de crecimiento afectan la producción de biomasa y la calidad de los frutos de tomate.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Origen del cultivo del tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es originario de América del sur, de la Región de los Andes, en lo que actualmente es Perú, Ecuador, Bolivia y Chile, sin embargo, su domesticación fue llevada a cabo en México; es una planta de porte erecto o semierecto, arbustivo y cultivo de tipo anual. Existen variedades de crecimiento limitado (determinadas) y otras de crecimiento ilimitado (indeterminadas). Su fruto es una baya ovalada, redonda o periforme; y su tamaño va desde pequeños frutos del tamaño de una cereza, hasta enormes frutos de 750 gramos (Pérez, 2017).

Taxonomía

Según la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de Biodiversidad (CONABIO, 2009) clasifica al tomate de la siguiente manera:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceace

Género: *Solanum*

Especie: *Solanum Lycopersicum*

Descripción botánica

Raíz: su sistema radical es potente con una profunda raíz principal y numerosas raíces secundarias (Ausay, 2015).

Tallo: es anguloso, cubierto con pelos glandulares. Se ramifica en su crecimiento, emitiendo tallos secundarios en las axilas de las hojas, siendo la tarea de la poda de los tallos una práctica común en el cultivo de tomate con tutores (Ausay, 2015).

Hojas: son alternas e imparipinnadas, conteniendo de 7 a 9 folios, e igualmente están cubiertas con pelos glandulares (Ausay, 2015).

Flores: la floración es en forma de racimos simples o ramificados, conteniendo en la mayoría de cultivares entre 3 y 10 flores (Ausay, 2015).

Fruto: es una baya globosa o periforme, liso o acostillado, rojo en la mayoría de cultivares en madurez. El diámetro de los frutos oscila entre 2 y 16 cm. En el interior de los mismos se encuentran las semillas que son grises, en forma de disco y con vellosidades (Ausay, 2015).

■ Valor Nutricional

Los tomates proporcionan cada uno de los nutrientes de los que es una fuente buena, muy buena o excelente. Contiene alta humedad, proteínas, lípidos totales y carbohidratos 94,78%, 1,167%, 0,97% y 3,18%, respectivamente. Teniendo en cuenta los minerales que contiene el tomate, como calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P) y otros, junto con la fibra dietética total. El tomate contiene una gran cantidad de vitamina C que muestra la mejor fuente de esta vitamina y se considera una fuente razonable para la nutrición humana (Perveen *et al.*, 2015).

■ Importancia económica del cultivo

En 2017, la producción mundial de tomate se ubicó en un máximo histórico de 182.3 millones de toneladas. Entre 2007 y 2017, creció a una tasa promedio anual de 2.9%. Lo anterior, impulsado principalmente por incrementos en la productividad promedio. El 61% de la producción se concentró en cinco países: China (32.0%),

India (11.4%), Turquía (7.0%), Estados Unidos (6.0%) y Egipto (4.0%). México ocupó la novena posición con una participación de 2.3% (FIRA, 2019; Figura 1).

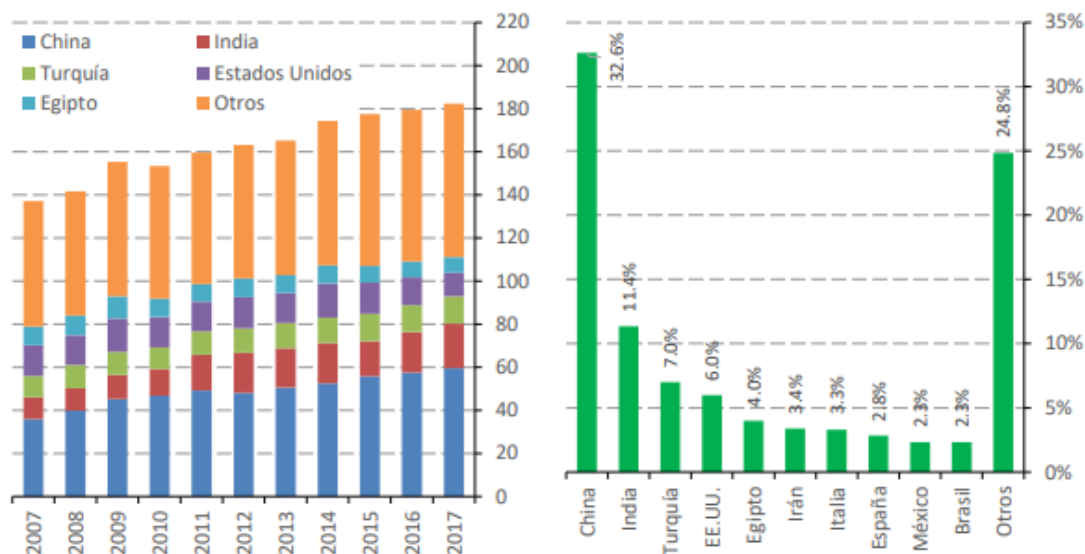


Figura 1. Producción Mundial del tomate (2007-2017, millones de toneladas) y principales países productores 2017 (Participación porcentual).

■ Efecto del estrés abiótico en las plantas

El estrés abiótico es un problema de gran preocupación para el crecimiento y la productividad de las plantas en los tiempos modernos. Las tensiones abióticas, como la sequía, la salinidad y las temperaturas extremas, son responsables de enormes pérdidas de cultivos a nivel mundial. Uno de los procesos fisiológicos muy afectados por estas tensiones en las plantas es la fotosíntesis. La disminución de la capacidad fotosintética de las plantas debido a estos estreses está directamente asociada con la reducción del rendimiento (Singh & Thakur, 2018).

2.6.1. Combinación de estrés en las plantas

La aplicación de salinidad y estrés por calor en combinación a las plantas de tomate resulta una disminución significativa de la biomasa de la planta, con reducciones de 55%, 60% y 45% en el peso seco de sus raíces, tallos y hojas, respectivamente, en comparación con las plantas control. Sin embargo, cuando estas plantas fueron

pretratadas con melatonina antes de la aplicación de la salinidad + estrés por calor, la producción de biomasa mejoró mucho, con valores de peso fresco y peso seco similares a las condiciones de control (Martinez *et al.*, 2018).

2.6.2. Efecto del estrés hídrico en el crecimiento y actividad fisiológica de las plantas

Algunos de los rasgos fisiológicos que influyen en la disminución de la pérdida de agua y la producción de biomasa de las plantas pueden utilizarse para evaluar el estado hídrico de los cultivos de hortalizas y la tolerancia al estrés hídrico de los genotipos. Durante el período generativo, en condiciones de déficit de agua, los cambios en la conductancia estomática y el contenido de clorofila de las hojas de las plantas individuales son adecuados para la estimación de la productividad de los genotipos. Sin embargo, el área foliar de los cultivos debe tenerse en cuenta ya que determina la transpiración y su densidad de clorofila influye en la intensidad de la fotosíntesis y finalmente en el rendimiento. Los índices de estrés hídrico y los índices espectrales de vegetación parecían ser más apropiados para la detección de la deficiencia de agua percibida que para la predicción del rendimiento final (Nemeskéri & Helyes, 2019).

2.6.2.1. Respuesta de las plantas ante el estrés hídrico

El estrés hídrico impacta negativamente en muchos aspectos de la fisiología de las plantas, especialmente en la capacidad fotosintética. Si el estrés se prolonga, el crecimiento de las plantas y la productividad se ven severamente disminuidos. Las plantas han desarrollado adaptaciones fisiológicas y bioquímicas complejas para ajustarse y adaptarse a una variedad de tensiones ambientales. Los mecanismos moleculares y fisiológicos asociados con la tolerancia al estrés hídrico y la eficiencia en el uso del agua se han estudiado extensamente. Los sistemas que regulan la adaptación de las plantas al estrés hídrico a través de una sofisticada red reguladora son el tema de la revisión actual. También se analizan los mecanismos moleculares

que utilizan las plantas para aumentar la tolerancia al estrés, mantener la homeostasis y las respuestas hormonales adecuadas y prevenir el daño excesivo por luz (Osakabe *et al.*, 2014).

2.6.3. Efectos del estrés nutrimental en el crecimiento de las plantas

La deficiencia de macronutrientes y micronutrientes en las plantas de tomate perjudican altamente tanto en el crecimiento y producción de la misma.

Stoller (2017), describe las deficiencias de los micros y macronutrientes de la siguiente manera:

2.6.3.1. Micronutrientes

Zinc: hojas nuevas, pequeñas, finas y amarillentas. Escasa floración y fructificación.

Boro: muerte de yemas y hojas. Tejido requebrajado. Caída de flores y de frutos. Los frutos presentan manchas marrones próximas al pedúnculo.

Cobre: hojas nuevas pequeñas y deformes. Crecimiento desproporcionado de la lámina en relación a la nervadura. Enrollamiento de las hojas más viejas.

Manganeso: clorosis, seguida por necrosis de los márgenes y punta de las hojas nuevas.

Hierro: clorosis internerval en hojas nuevas. En las deficiencias más severas, las hojas se tornan totalmente amarillas bajo deficiencias más severas.

Molibdeno: hojas más viejas con clorosis internerval. Caída de flores y de pequeños frutos.

2.6.3.2. Macronutrientes

Nitrógeno: plantas con lento crecimiento. Hojas inferiores con coloración verde clara y amarilla, que posteriormente se seca y muere.

Potasio: bajo deficiencias severas se produce la muerte del tejido.

Calcio: caída de flores y pequeños frutos Pudrición apical de los frutos.

Fósforo: hojas más viejas de color púrpura en la parte inferior. Tallos finos y poco desarrollados.

Magnesio: clorosis internerval de las hojas más viejas.

Azufre: hojas nuevas con coloración verde clara-amarillenta, dependiendo de la intensidad del síntoma.

2.6.3.3. Respuesta de las plantas ante el estrés nutrimental

En ausencia de macro elementos sea N, P, K, Ca, Mg, S. disminuye el peso fresco, seco, longitud de la parte aérea, longitud de la raíz, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, volumen de raíces y número de ramas, trayendo perjuicios a las mismas, comparado con las plantas nutridas con solución nutritiva completa (Perez-Leal, Maulana, 2017).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica

El presente experimento se llevó a cabo en un invernadero con cubierta de policarbonato, localizado en el área de la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, cuya ubicación geográfica se encuentra a 25°21'19" N latitud norte y 101°01'51" W longitud oeste, con una altitud de 1,780 msnm.

Material vegetativo

Se utilizaron semillas de tomate de la variedad El Cid F1 de la empresa Harris Moran, es un tomate indeterminado de frutos uniformes en tamaño y forma, pared gruesa que le brindan una excelente firmeza, frutos de color rojo intenso, con larga vida en anaquel y alto rendimiento.

Siembra

Las semillas de tomate se sembraron el día 30 de abril de 2021 en charolas de poliestireno de 200 cavidades colocando una semilla por cavidad, en sustrato de Peat Moss con perlita en una proporción de 1:1, para facilitar la aireación y mantener la humedad adecuada para promover una germinación óptima.

Establecimiento del cultivo

Una vez que las plantas tenían 30 días después de la siembra, se trasplantaron con 4-5 hojas verdaderas, a una distancia de 50 cm entre plantas, en bolsas de color negro de 12 litros, las cuales se llenaron con una mezcla de sustrato el cual contuvo perlita y Peat-Most con la misma proporción que el sustrato para la siembra 1:1.

Manejo nutricional

Las plantas se regaron con una solución Steiner al 25%, a los 15 días después de la siembra se manejó el riego al 50% y posteriormente a los 15 días después del trasplante se regó con la solución nutritiva al 100% de concentración (Cuadro 1).

Cuadro 1. Manejo nutricional del cultivo de tomate en invernadero (Buenavista, Saltillo, México, 2021).

Solución Steiner (200 L)	25%	50%	100%
Nitrato de Calcio (CaNO_3)	25.08 g	50.17 g	100.34 g
Nitrato de Potasio (KNO_3)	17.79 g	35.58 g	71.17 g
Sulfato de Potasio (K_2SO_4)	15.12 g	30.23 g	60.46 g
Sulfato de Magnesio (MgSO_4)	9.85 g	19.71 g	39.42 g
Ácido Nítrico (HNO_3)	15.58 mL	31.16 mL	62.32 mL
Ácido Fosfórico (H_3PO_4)	4.15 mL	8.30 mL	16.60 mL
Micronutrientes	16.00 g	16.00 g	16.00 g

Aplicación de tratamientos y diseño experimental

El experimento se estableció con 8 tratamientos y 4 repeticiones de la siguiente manera:

Se preparó una solución salina con una concentración de 50 mM de NaCl por litro de agua, aplicando así mismo 250 mL de solución a los tratamientos correspondientes (Cuadro 2).

El estrés hídrico se estableció de manera intercalada con una diferencia de 2 días sucesivamente, por lo que se intercalaron a cada 2, 4 y 6 días, se regó tres veces al día con un litro de agua vía drench. Los testigos tuvieron riego diario (Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos aplicados al cultivo de tomate en invernadero (Buenavista, Saltillo, México, 2021).

Tratamientos	Estrés salino (NaCl) C/5días	Estrés hídrico
T1	0 (mM)	Diario
T2	0 (mM)	C/2 días
T3	0 (mM)	C/4 días
T4	0(mM)	C/6 días
T5	50 (mM)	Diario
T6	50 (mM)	C/2 días
T7	50 (mM)	C/4 días
T8	50 (mM)	C/6 días

Variables evaluadas

Dentro de las variables evaluadas se consideraron los siguientes caracteres:

3.7.1. Variables vegetativas

3.7.1.1. Peso fresco y seco aéreo

Para la medición del peso fresco aéreo en gramos se tomó en conjunto la hoja y tallo de la planta se pesó en una báscula Cobacorp Modelo Bca. Posteriormente para el peso seco aéreo se colocó el tallo y hoja en una estufa Terlab Modelo TE-H80DM sometiéndolas por un tiempo de 24 horas a una temperatura de 70°C, una vez que transcurrió el tiempo se pesó en la misma báscula y se registró el dato

3.7.1.2. Peso fresco y seco de raíz

Para la medición del peso fresco de raíz en gramos, se tomó la raíz de la planta se pesó en una báscula Cobacorp Modelo Bca. Posteriormente para el peso seco de raíz se colocó la raíz en una estufa Terlab Modelo TE-H80DM sometiéndolas por un

tiempo de 24 horas a una temperatura de 70°C, una vez que transcurrió el tiempo se pesó en la misma báscula.

3.7.1.3. Biomasa aérea

La biomasa aérea se calculó en % de la siguiente manera:

$$BA\% = ((PSA * 100)/(PFA))$$

Donde:

BA%= Porcentaje de biomasa aérea

PSA= Peso seco aéreo

100= Constante

PFA= Peso fresco aéreo

3.7.1.4. Biomasa de raíz

La biomasa de raíz se calculó em % de la siguiente manera:

$$BR\% = ((PSR * 100)/(PFR))$$

Donde:

BR%= Porcentaje de biomasa aérea

PSR= Peso seco raíz

100= Constante

PFR= Peso fresco raíz

3.7.2. Variables de calidad de fruto

3.7.2.1. Firmeza

La firmeza (Kg/cm^2) de los tomates en cada tratamiento se determinó utilizando un penetrómetro digital (PCE-PTR 200, grupo PCE, Albacete, castillana mancha, España), equipo con una punta de 8.0 mM, se tomaron tres frutos por tratamiento y se tomaron lecturas en tres puntos de la fruta, los resultados se tomaron en Newtons (N).

3.7.2.2. Sólidos solubles totales (°Brix)

Los sólidos solubles totales (°Brix) se midieron con un refractómetro ATAGO a temperatura ambiente, se machacaron tres muestras de cada tratamiento, de cada muestra se tomaron tres lecturas.

3.7.2.3. pH y conductividad eléctrica (CE)

El pH y la CE (mS/cm), se tomaron con un potenciómetro HANNA modelo H198130, se tomaron tres muestras y tres lecturas por tratamiento.

3.7.2.4. Ácido cítrico (AC)

Para la variable de ácido cítrico (%), se realizó según la metodología AOAC, (Bernal, 1994), primero se obtuvo el jugo de la muestra por tratamiento, machacando una proporción de fruto en un mortero, después se filtró a través de un embudo de filtración utilizando un filtro, posteriormente se tomaron 10 mL de jugo y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 125 mL, esto se hizo tres veces por muestra por tratamiento, en seguida se le añadieron cuatro gotas de fenolftaleína al 1% a cada una de las muestras, luego se colocó un volumen conocido NaOH 0.1 N (Hidróxido de sodio 0.1 N) y se tituló la muestra hasta el punto de viraje (rosa).

Para calcular el porcentaje de ácido en la muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ ácido} = \frac{V * N * \text{Meq} * 100}{\text{Alícuota valorada}}$$

Donde:

V= Volumen de NaOH gastado en mL.

N= Normalidad del NaOH.

Meq= Miliequivalentes del ácido que se encuentra en mayor proporción de la muestra: 0.064 para el ácido cítrico.

Alícuota valorada= Peso en g o volumen de la muestra en mL.

3.7.2.5. Vitamina C

La vitamina C se determinó mediante el método del 2,6-dicloroindofenol por titulación. El reactivo de Thielman fue preparado de acuerdo con la AOAC 967.21, Cordova *et al*; 2017. Se utilizó una muestra de 20 g, la cual se colocó en un matraz (50 mL) con 10 mL de HCl al 2% y se llevó hasta aforar. Después se filtró el contenido a través de una gasa, en un matraz Erlenmeyer. Se tomaron alícuotas de 10 mL y se titularon con el reactivo Thielman hasta la aparición de una coloración rosa sin desaparecer durante 30 segundos, la lectura fue en mL gastados del reactivo.

Para calcular el contenido de ácido ascórbico en las muestras se realizó una curva de calibración, con una solución patrón de ácido ascórbico, según la AOAC 967.21 Cordova *et al*; 2017.

La concentración de la vitamina C en la muestra, se calculó según la fórmula:

$$\text{Vitamina C} = \frac{VTR * 0.088 * VT * 100}{VA * P}$$

Donde:

Vitamina C= En la muestra expresada en mg en 100 g.

VTR= Volumen gastado en mL del reactivo Thielman.

0.088= mg de ácido ascórbico equivalente a 1.0 mL de reactivo Thielman.

VT= Volumen total en mL del filtrado total de vitamina C en HCl.

VA= Volumen en mL de la alícuota valorada.

P= Peso de la muestra en gramos.

██████████ Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó por medio de un análisis de varianza y una prueba de comparación múltiple de medias de LSD Fischer, con la ayuda del paquete estadístico Infostad para Windows versión 2020.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

■ Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables vegetativas

El Análisis de varianza aplicado a los datos identificó diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos con un $p \leq 0.05$. Los parámetros que tuvieron diferencias altamente significativas fueron peso fresco aéreo, peso fresco de raíz, peso seco aéreo y peso seco de raíz, los parámetros que tuvieron diferencias significativas con $p \leq 0.01$, fueron la biomasa aérea y biomasa de raíz (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables vegetativas.

F.V.	gl	PFA (g)	PFR (g)	PSA (g)	PSR (g)	BA (%)	BR (%)
Modelo	10	242053.35**	1243.65**	1187.86**	11.15**	5.28*	0.95*
Tratamientos	7	299949.01**	1767.64**	1631.94**	15.7**	6.57*	0.60 ^{NS}
Bloques	3	106963.48 ^{NS}	21.02 ^{NS}	151.69 ^{NS}	0.52 ^{NS}	2.25 ^{NS}	1.76*
Error	21	121496.66	90.65	165.57	1.24	4.99	0.83
Total	31						
C.V.		62.95	17.82	26.56	23.39	23.6	10.33

** : diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$); * : diferencias significativas ($p \leq 0.05$); NS: no significativo; CV (%) : porcentaje del coeficiente de variación para cada variable; gl: grados de libertad, F.V: fuente de variación, PFA: peso fresco aéreo, PFR: peso fresco raíz, PSA: peso seco aéreo, PSR: peso seco raíz, BA: biomasa aérea, BR: biomasa raíz.

■ Comparación de medias de las variables vegetativas

4.2.1. Peso fresco aéreo de la planta

Los resultados obtenidos del análisis realizado para el peso fresco aéreo, en cuanto al tratamiento 50 mM de NaCl sometido a un estrés salino, y estrés hídrico con

riegos de intervalos de 2 días, se vio afectado de manera positiva de tal manera que presento diferencias altamente significativas obteniendo una mayor retención de humedad del 33.2% más que el tratamiento control sin estrés hídrico y con 50 mM de NaCl de estrés salino, manifestándose la salinidad como factor estimulante del crecimiento (Figura 2). Los mayores efectos por la condición de salinidad y de estrés hídrico se observaron a partir de los 4 días sin riego, sin embargo, la salinidad afectó al peso fresco aérea desde el tratamiento control (sin estrés hídrico). En este sentido, Dodd y Davies (2004) y Cardona *et al.* (2017), mencionan que el menor peso fresco en tallo y hoja con la concentración más alta de NaCl, se debió a la disminución de la expansión del área foliar como una medida de ahorro de agua, ya que, para compensar el estrés salino, las plántulas absorben menos agua. Casierra y Hernández (2006), Mohamedin *et al.* (2006) y Cardona *et al.* (2017), explican que los efectos fundamentales del cloruro de sodio en los indicadores morfofisiológicos, tienen que ver con la toxicidad de iones, que determinan las reducciones en el crecimiento y las divisiones celulares mitóticas, así como también la absorción de agua y la actividad metabólica.

Por otro lado, de manera particular las plantas manifestaron pérdida del peso fresco aéreo por el estrés hídrico al que fueron sometidas, este efecto negativo aumenta de forma gradual conforme se intensifica el periodo del estrés con respecto al tratamiento control (sin estrés), los tratamientos sometidos a estrés hídrico comparados con el tratamiento control mostraron pérdida de peso fresco aéreo del 21.6% a los 2 días, 36.16% a los 4 días, y 44.21% a los 6 días de estrés hídrico respectivamente (Figura 2). Bacallao y Fundora (2014), mencionan que la adaptación al estrés hídrico implica la reducción de la deshidratación celular, ya sea por evitación de la sequía y de deshidratación o tolerancia al estrés, algunos ejemplos de evitación son una rápida ontogenia, desprendimiento de las hojas y frutos, enrollamiento de estas y una baja conductancia estomática al vapor de agua.

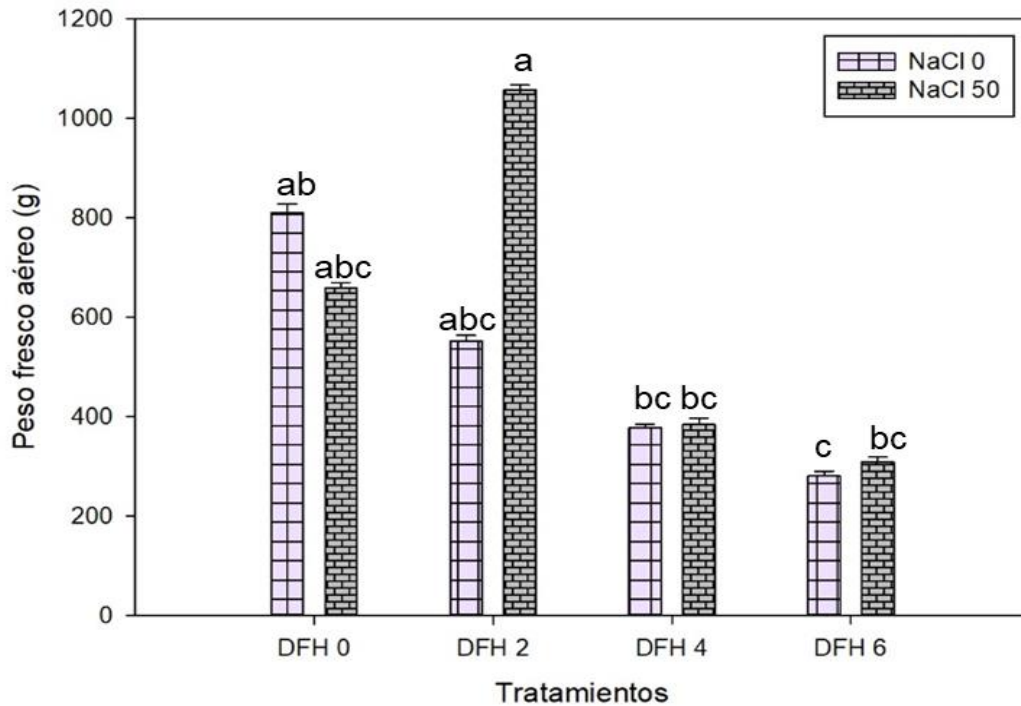


Figura 2. Peso fresco aéreo de la planta. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.2.2. Peso fresco de raíz

Los resultados obtenidos en el análisis para el peso fresco de raíz, en el caso de los tratamientos sometidos a estrés salino tuvieron una pérdida decreciente con menor retención de humedad, con el 25.7% a los 2 días, 31.8% a los 4 días y con el 39.7% a los 6 días en comparación con el tratamiento control sin estrés hídrico y con 50 mM de NaCl. Cabe mencionar que en cuanto al tratamiento sometido a estrés combinado salino e hídrico con 50 mM de NaCl y riegos en intervalos de 4 días, mostro un efecto positivo obteniendo una mayor retención de humedad del 7.06% más que el tratamiento con estrés hídrico riego cada 4 días, lo que explica que la sal, releyó actuar como un estimulante de la parte aérea de la planta. Los efectos por estrés hídrico y estrés salino se empezaron a observar a partir de los 2 días sin riego, aunque la salinidad afecto el peso fresco de raíz desde el tratamiento control. Yeo (1998) describe que la salinidad es un estrés abiótico complejo, que al mismo tiempo presenta componentes osmóticos e iónicos, por lo cual, una concentración

elevada de sales en el medio radical afecta negativamente el desarrollo de la planta, debido fundamentalmente a los efectos hiperosmóticos e hiperiónicos del estrés.

Según Blum (2005), Bray *et al.* (2000), la raíz puede incrementar su longitud y profundidad en eventos de secamiento moderado del suelo, esta respuesta biológica inducida por el estrés le permite a la planta una mayor zona de exploración en el suelo en busca del agua para desarrollar sus procesos fisiológicos de forma eficiente. Ojeda (2015) menciona que un estrés moderado puede ser la causa de una disminución notable en la productividad de los cultivos, debido a la relación entre estrés hídrico y la disminución del crecimiento, la reducción del tamaño de las células que da lugar a un desarrollo menor de las hojas y como resultado un menor desarrollo de la superficie fotosintética, sobre todo cuando el déficit ocurre en las primeras etapas del crecimiento vegetativo.

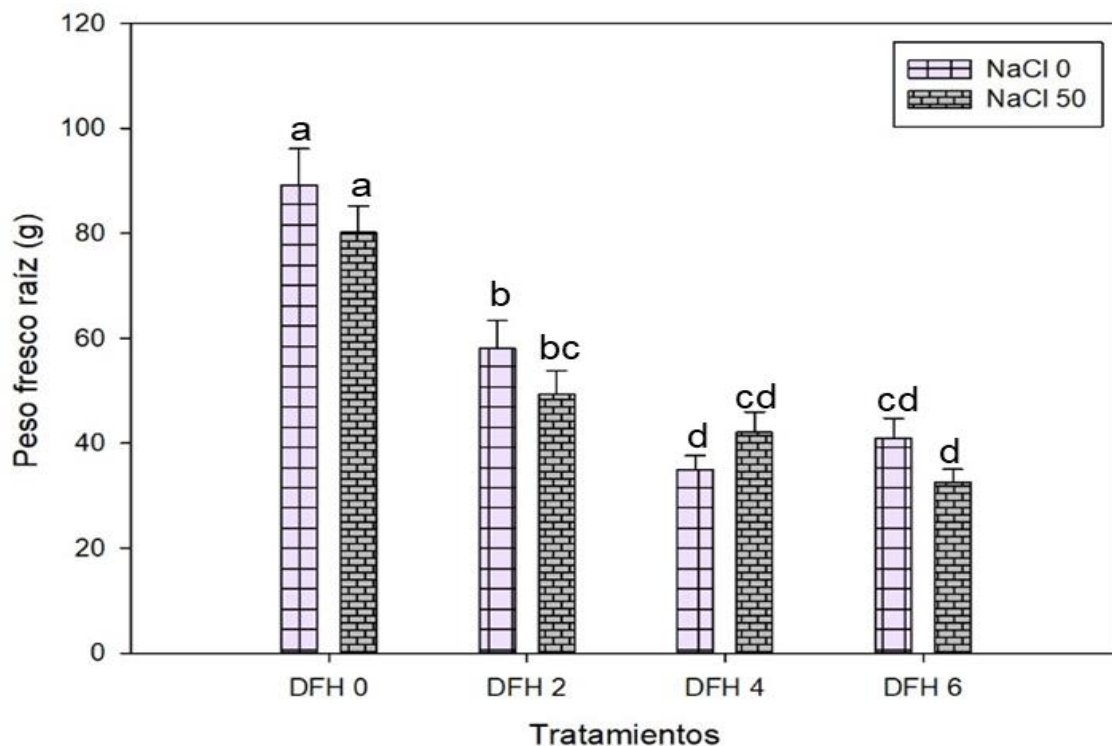


Figura 3. Peso fresco raíz de la planta. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.2.3. Peso seco aéreo

Analizando la Figura 4, se observa que los datos arrojados estadísticamente tienen diferencias altamente significativas en los tratamientos sometidos a un estrés salino con 50 mM de NaCl y a un estrés hídrico tuvieron una pérdida de peso seco decreciente con un 3.4% promedio más que los tratamientos sometidos solamente a estrés hídrico, aunque cabe mencionar que el tratamiento con riego cada 6 días y 50 mM de NaCl tuvo menos pérdida de peso seco con el 0.11%, la salinidad actuó como estimulante para mantener la turgencia en el área de la planta con menos pérdida de humedad. Balaguera, *et al.* (2008) menciona que el aumento de peso seco en relación al área foliar se da por acumulación de metabolitos encargados de la osmorregulación, es decir, que hay un incremento de metabolitos y con ello aumenta la retención de agua en las células. Durante el estrés hídrico, las plantas pueden ajustar parcialmente su grado de turgencia mediante el incremento de la concentración de solutos en las células (ajuste osmótico) (Mackay & Barber, 1985; Otegui, 1992).

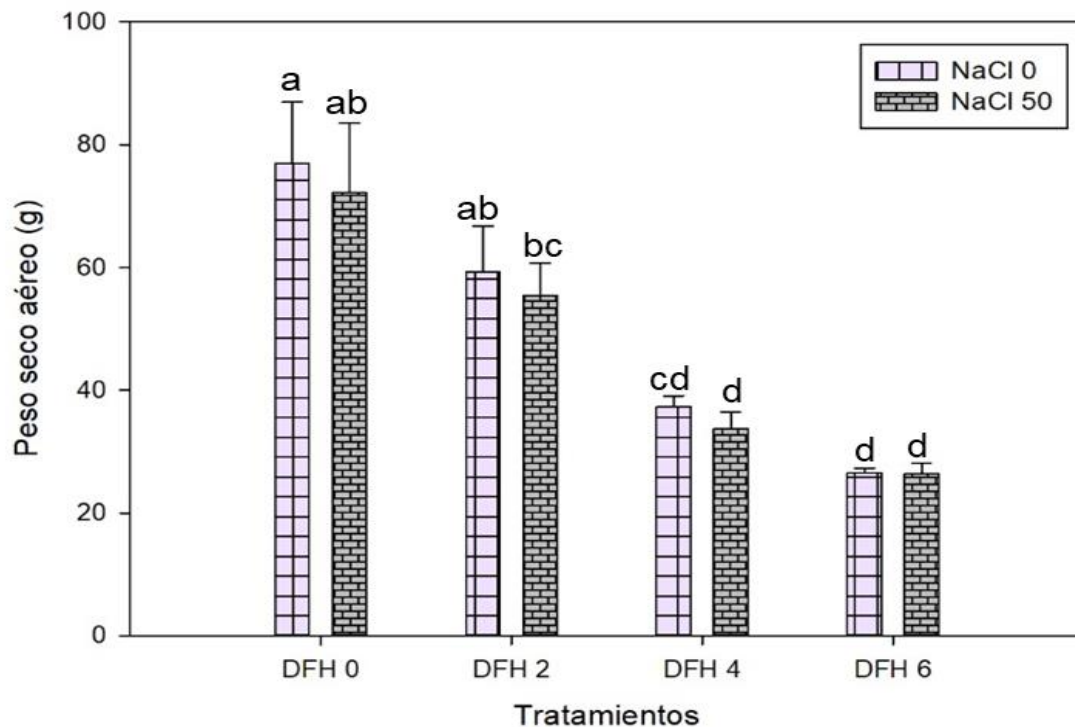


Figura 4. Peso seco aéreo de la planta. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.2.4. Peso seco de raíz

Los resultados obtenidos en cuanto a la variable de peso seco de raíz tuvieron diferencias altamente significativas los tratamientos sometidos a estrés combinado (salino e hídrico), fueron decreciendo gradualmente en comparación con el tratamiento control, aunque en el tratamiento con riego cada 4 días y 50 mM de NaCl tuvo efecto positivo, es decir incremento el peso del 4.7% más que el tratamiento con riego cada 4 días y 0 mM de NaCl (sin estrés salino), este mismo tratamiento de estrés combinado riego cada 4 días y 50 mM de NaCl mantuvo el mismo peso que el tratamiento con intervalo de 6 días de riego y sin estrés salino con un 36.5% en peso seco de raíz, los efectos de pérdida de peso por salinidad se vieron afectados desde el tratamiento control. Casierra *et al.* (2006) describen que la salinidad afecta negativamente en especial el crecimiento de las hojas e induce un incremento relativo en el peso seco del área radicular. Según González y Páez (1995) indican que el déficit estimula la dirección de los asimilados principalmente a la formación de un buen sistema radical, con el fin de buscar agua en niveles más profundos del sustrato.

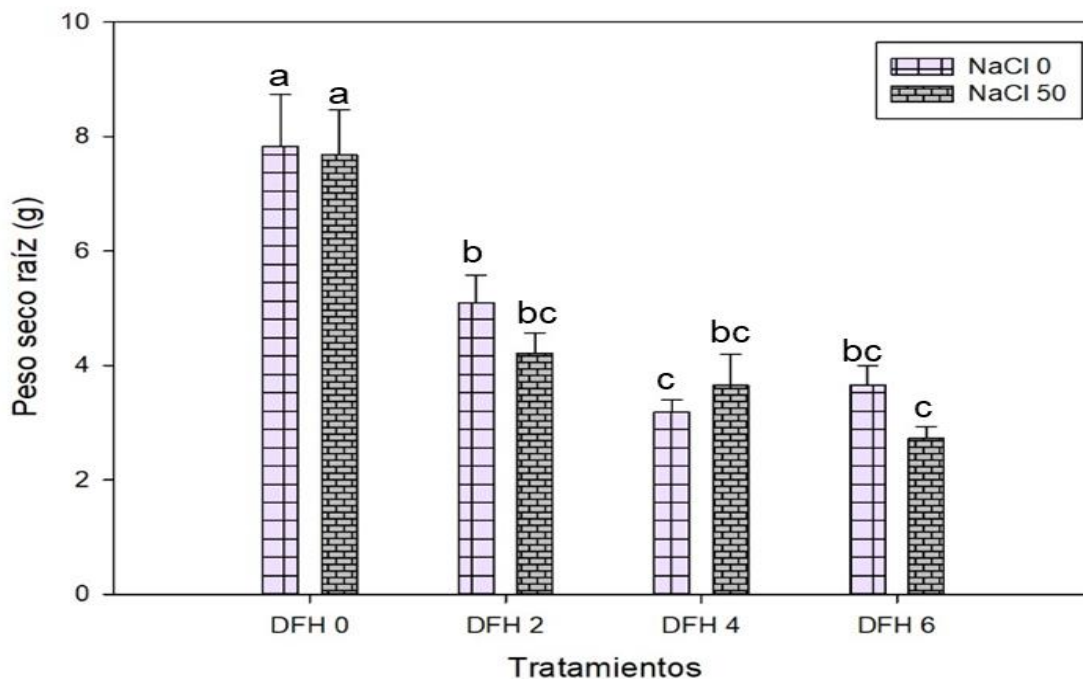


Figura 5. Peso seco raíz de la planta. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.2.5. Porcentaje de biomasa aérea

Los datos obtenidos en la variable de biomasa aérea mostraron diferencias significativas entre sí, donde la salinidad presentó un efecto positivo en el tratamiento con riego diario y 50 mM de NaCl, con una ganancia de biomasa aérea del 12.68% más que el tratamiento control sin estrés. Dell Amico *et al.* (2005) mencionan que la presencia de una cierta adaptabilidad al estrés por NaCl las plantas activan un mecanismo primario por el que las plantas ajustan la limitación de recursos, incrementando la eficacia de adquisición de los recursos limitantes e invirtiendo más biomasa en los órganos responsables de su asimilación. Valladares *et al.* (2004) describen que la sequía disminuye significativamente la capacidad para secuestrar carbono atmosférico y acumular nueva biomasa, en condiciones óptimas de crecimiento, la mayor parte de los fotoasimilados se destina a la parte aérea, mientras que, en condiciones de estrés osmótico, se incrementa la distribución de recursos energéticos hacia la raíz. Cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, se dan cambios en procesos de desarrollo que tienen varios efectos sobre el crecimiento. Uno de principal importancia es la limitación específica de la expansión foliar. Aunque el área foliar es importante, pues de ella depende la fotosíntesis, una rápida expansión foliar puede afectar negativamente la adaptación a la poca disponibilidad de agua. Otro proceso que se modifica es el crecimiento radicular (Nilsen & Orcutt, 1996).

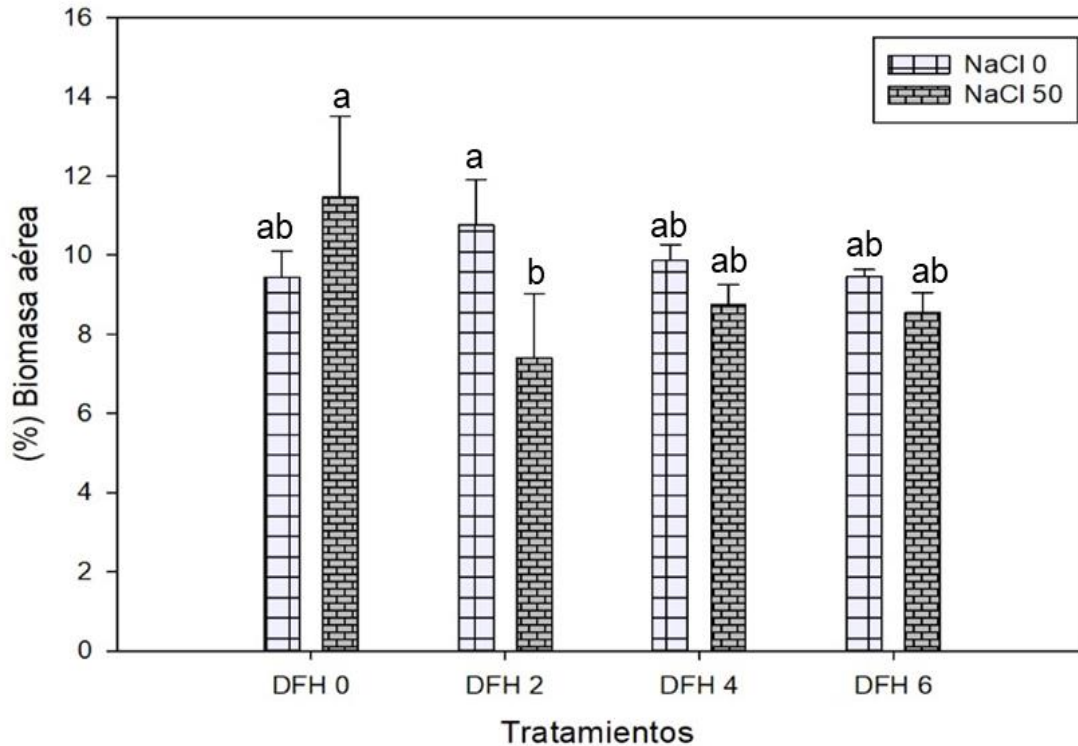


Figura 6. Porcentaje de biomasa aérea de la planta. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.2.6. Porcentaje de biomasa de raíz

En los resultados obtenidos para la variable de porcentaje de biomasa en raíz hubo diferencias significativas teniendo efecto la salinidad en el tratamiento con estrés salino con una ganancia de biomasa del 7.17% más que el tratamiento control sin estrés. Batista *et al.* (2015) mencionan que la acumulación de biomasa de los órganos vegetativos, al igual que el crecimiento de las plántulas, dependen de la intensidad de los procesos de división y diferenciación celular, por lo tanto, en condiciones de estrés salino, el crecimiento de las estructuras vegetativas desciende significativamente y con mayor intensidad, a medida que aumenta la concentración de sales en el sustrato. Según Chávez y González (2009), Reyes-Pérez *et al.* (2013) señala que, en los efectos más frecuentes de la salinidad en las plantas, se destaca la disminución del crecimiento por la restricción en el crecimiento celular, debido al potencial bajo de agua del medio externo y a la

interferencia de los iones salinos con la nutrición de las plantas o a la toxicidad de iones acumulados que conducen a la muerte celular. Cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, las plantas pueden presentar respuestas de aclimatación que tienen efectos sobre el crecimiento, como la disminución de la expansión foliar y el aumento del crecimiento radicular (Potters *et al.*, 2007; Shao *et al.*, 2008).

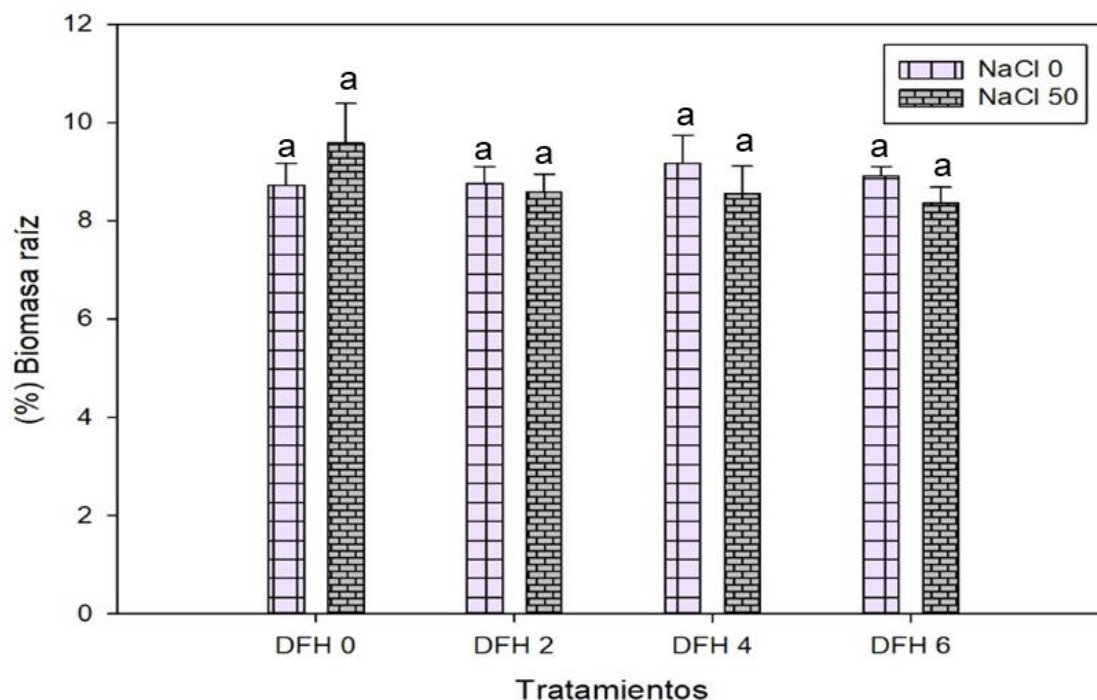


Figura 7. Porcentaje de biomasa de raíz de la planta. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

■ Cuadros medios del análisis de varianza para las variables de calidad en fruto

El análisis de varianza aplicado a los datos identificó diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos con un $p \leq 0.05$. Los parámetros que tuvieron diferencias altamente significativas son firmeza, sólidos solubles totales ($^{\circ}$ BRIX), pH y vitamina C, el parámetro que tuvo diferencias significativas con $p \leq 0.01$, fueron conductividad eléctrica (Cuadro 4).

Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de la varianza para las variables de calidad en fruto.

F.V.	gl	Fir (Kg·cm ⁻²)	SST (°BRIX)	pH	CE (mS·cm ⁻¹)	AC (%)	VC (mg·100g ⁻¹)
Modelo	10	0.54**	1.20**	0.84**	139.45**	0.04*	11.82**
Tratamientos	7	0.77**	1.71**	1.16**	180.21**	0.05*	15.97**
Bloques	3	0.01 ^{NS}	0.02 ^{NS}	0.10 ^{NS}	44.33*	0.01 ^{NS}	2.14 ^{NS}
Error	21	0.11	0.08	0.23	27.16	0.01	1.64
Total	31						
C.V.		10.6	7.34	10.84	3.73	28.56	20.94

** : diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$); * : diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$); NS: no significativo; CV (%): porcentaje del coeficiente de variación para cada variable; gl: grados de libertad, F.V: factor de variación, Fir: Firmeza, SST: solidos solubles totales, pH: potencial hidrogeno, CE: conductividad eléctrica, AC: ácido cítrico, VC: vitamina C

Comparación de medias de las variables de calidad de fruto

4.4.1. Firmeza

Los datos obtenidos en el análisis realizado para la firmeza en frutos de tomate mostraron diferencias altamente significativas donde el tratamiento con riego cada 2 días y sin estrés salino mostro mejor firmeza con el 23.8% más que el tratamiento con estrés combinado 50 mM de NaCl y riego con intervalos de 2 días, por otro lado en el tratamiento con riegos cada 4 días y 50 mM de NaCl, la salinidad mostro efecto positivo con una firmeza del 13.8% más que el tratamiento sin estrés salino y un riego de cada 4 días. Trajkova *et al.* (2006) reportaron que la firmeza de los frutos de pepino es reducida por la salinidad y que se asocia con el incremento en el valor del pH del fruto. Rodríguez-Ortega *et al.* (2017), citados por López (2020) describen que el exceso de NaCl disminuyen la firmeza en los frutos de tomate. Por lo tanto, se puede decir que hubo una menor actividad antioxidante enzimática (catalasa, glutatión peroxidasa; Villegas, 2018). De acuerdo con Ehret y Ho (1986) cuando las plantas de tomate son expuestas a una alta salinidad hay una reducción en la translocación de Ca a los frutos y éstos presentan niveles deficitarios de este

nutrimento. Esto explica en parte que los frutos producidos bajo estas condiciones pierdan su firmeza rápidamente al madurar, probablemente debido a que presentan menores niveles de pectatos de Ca a nivel en su lámina media. Algunos autores han observado que la firmeza del fruto de tomate se mejora con el aumento de los niveles de sal en la zona raíz, mientras que otros autores reportan que la firmeza del fruto se redujo por efecto de la salinidad (Krauss *et al.*, 2006; Passam *et al.*, 2007).

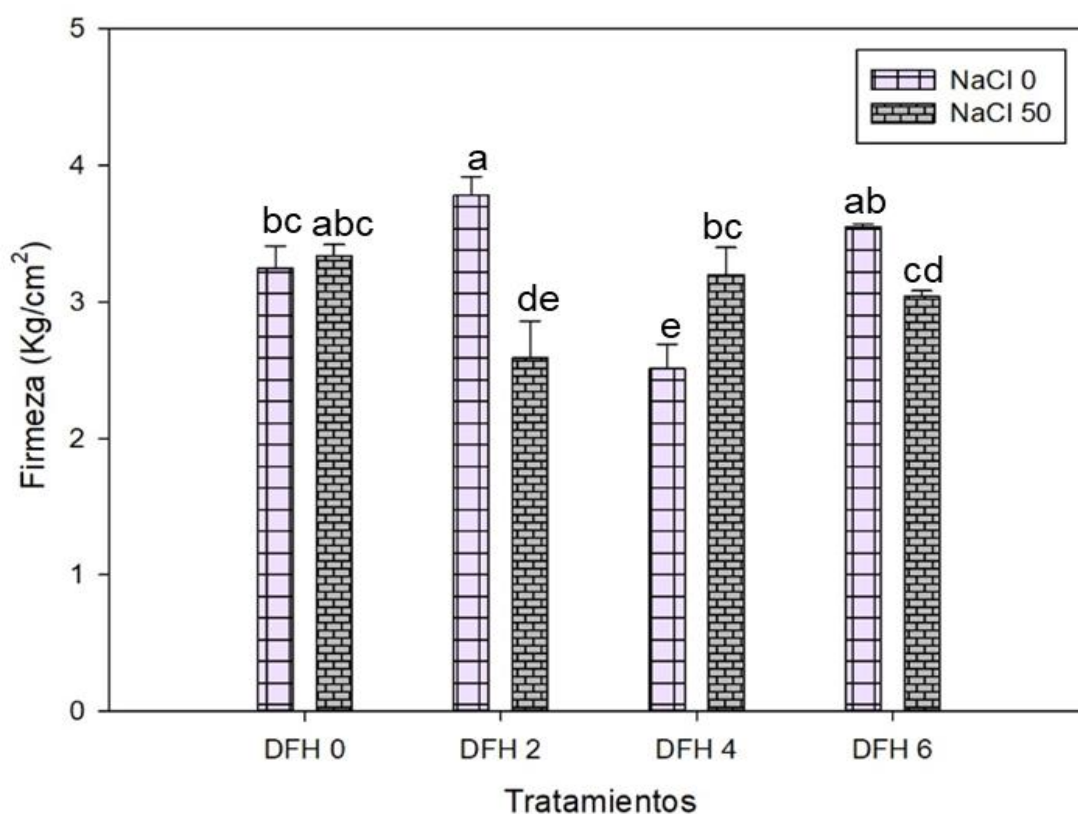


Figura 8. Firmeza en frutos. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.4.2. Sólidos solubles totales (°Brix)

Los datos obtenidos en el análisis realizado para los sólidos solubles totales (°Brix), presentaron diferencias altamente significativas, los tratamientos sometidos a estrés salino y estrés hídrico tuvieron un efecto positivo, con excepción al testigo 0 días sin estrés hídrico y con 0 mM de NaCl y el tratamiento 2 con riegos cada 2 días con 0

mM de NaCl. Según Yara (2021), los tomates destinados a la industria procesadora requieren un mínimo de 4.5 °Brix y los tomates destinados al consumo fresco deben encontrarse en un rango de 3.5 a 5.5 de °Brix. Los sólidos solubles totales en productos procesados se miden con refractómetro. Basado en ello se puede afirmar que los tratamientos alcanzaron el contenido de azúcar (sólidos solubles totales) requerido para la industria y el consumo fresco a excepción del tratamiento 1 con riegos diarios y con 0 mM NaCl y el tratamiento 2 con riegos cada 2 días y con 0 mM de NaCl, que no cumplieron el rango requerido para los niveles de azúcar. Casierra y Hernández (2006) describen que el estrés osmótico induce un incremento en la toma de cationes (K^+ y Na^+) y su posterior secuestro en las vacuolas, así como la síntesis de osmoprotectantes, que son solutos orgánicos compatibles con la planta, como la prolina, la betaina, polioles y azúcares solubles, lo que puede explicar el incremento en el contenido de sólidos solubles en los frutos. Cuando existe una conductividad eléctrica de $4.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en la solución nutritiva, se produce la reducción del flujo de agua hacia el fruto, lo que ocasiona un estrés por sales (osmótico) que producen una acumulación activa de solutos. En frutos de tomate de plantas bajo este tipo de estrés se almacenan principalmente iones y moléculas orgánicas (incremento en la concentración de fructosa y glucosa) (Sakamoto *et al.*, 1999; Munns, 2002; Wu & Kubota, 2008).

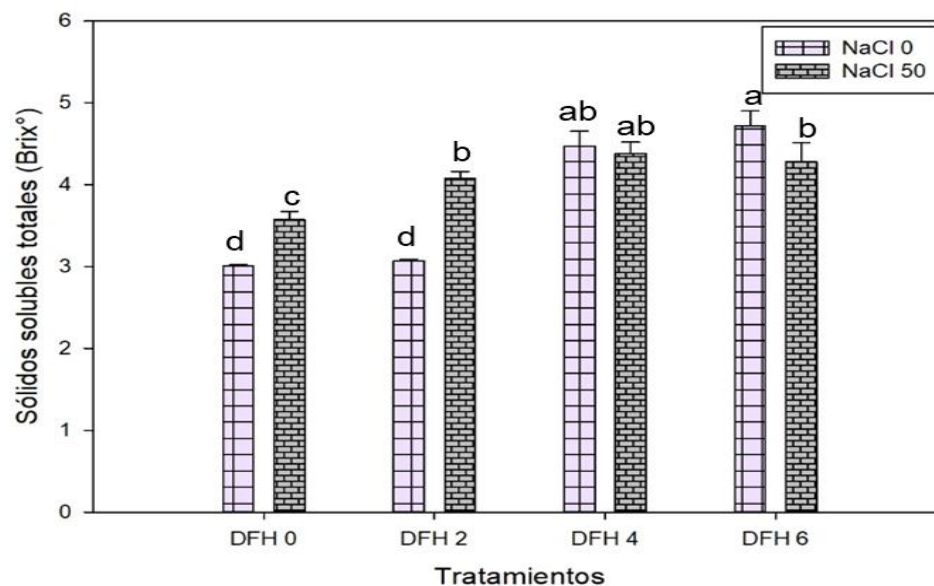


Figura 9. Sólidos solubles totales (°Brix). Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.4.3. pH en fruto

Observando la Figura 10, los datos del análisis realizado para la variable de pH en frutos de tomate obtuvieron diferencias altamente significativas, la combinación de estrés (salino e hídrico) afecto de manera positiva a los tratamientos aumentando de forma gradual el pH, el tratamiento 50 mM de NaCl y con riego intervalo de cada 6 días tuvo un 20% de acidez más que el tratamiento 50 mM de NaCl y sin estrés hídrico.

Por otro lado, en cuanto al estrés hídrico también se vio reflejado el efecto de forma positiva mostrando diferencias altamente significativas, el tratamiento sin estrés salino y con un intervalo de 6 días de riego mostro una diferencia de acidez del 22.17% más que el tratamiento control (sin estrés). Lamz y González (2013) describen que el Cl⁻ al igual que el Na⁺ es considerado un micronutriente esencial que regula actividad enzimática en el citoplasma, es un cofactor esencial en la fotosíntesis y se involucra en la regulación de la turgencia y del pH. Para la industria se reporta que los frutos de tomate deben tener un pH de 4.4 (Hidalgo-González *et al.*, 1998), mientras que para tomate en fresco éste puede variar entre 4.17 a 4.59 (Cantwell, 2006). Estos valores son similares a los registrados en esta investigación.

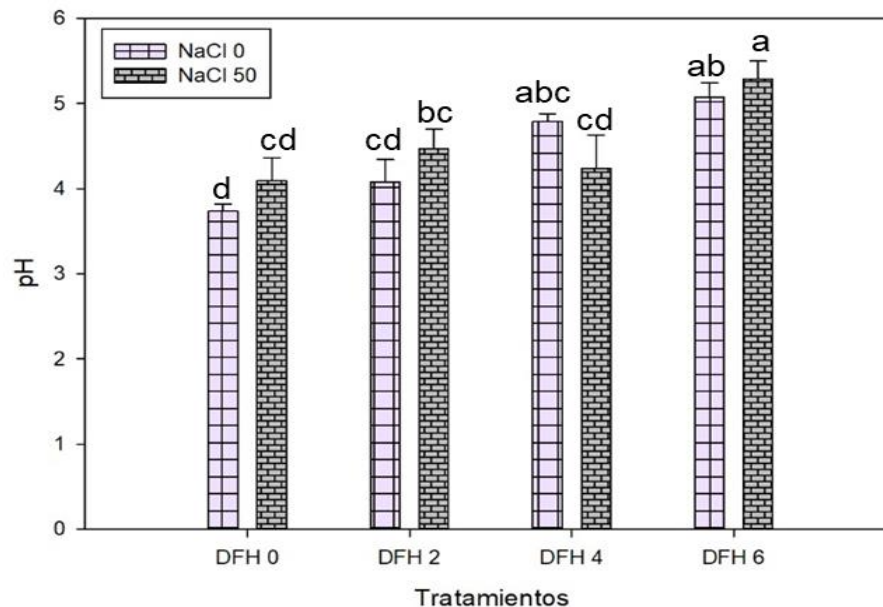


Figura 10. Medición de pH (potencial hidrogeno). Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.4.4. Conductividad eléctrica en el fruto

Según los datos arrojados en el análisis para la variable de conductividad eléctrica en frutos de tomate, estadísticamente se presentaron diferencias altamente significativas, mostrándose la salinidad con efecto positivo desde el tratamiento sin estrés hídrico con una acumulación del 0.63% concentración de sales en el fruto más que el tratamiento control. El mayor efecto con menor concentración de sales se vio reflejado en el tratamiento sometido a un estrés hídrico con riegos con intervalos de 4 días, con un 11.66%. Mittova *et al.* (2002) y Cuihan (2011), mencionan que el nivel de enzimas antioxidantes aumenta cuando las plantas están expuestas a la salinidad, siendo este incremento una característica de la respuesta de las especies de tomate resistentes a la salinidad.

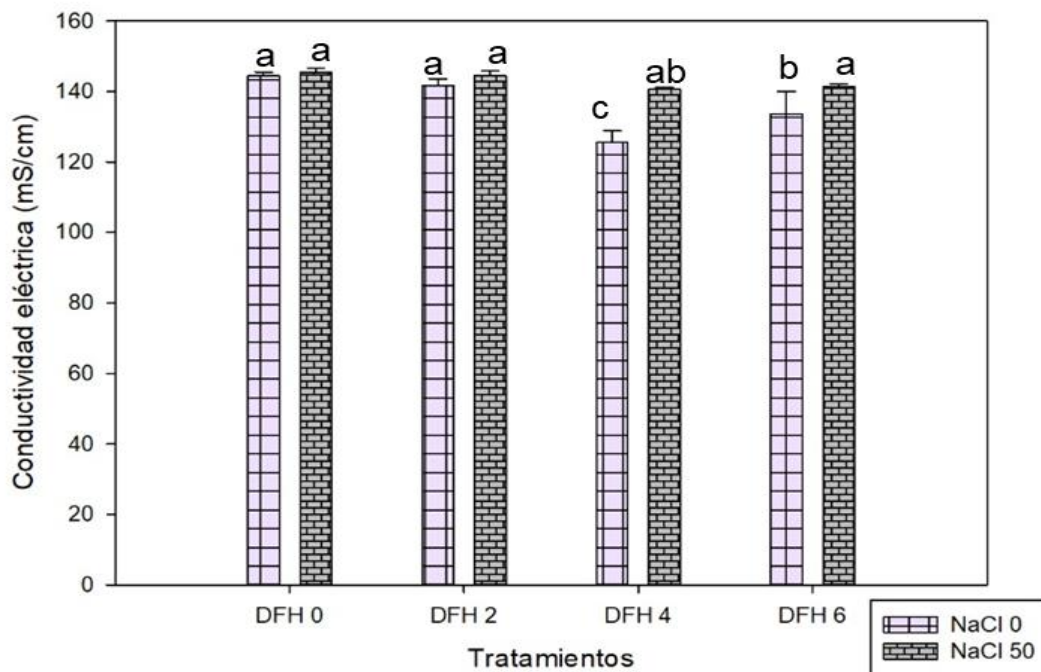


Figura 11. Medición de CE (conductividad eléctrica). Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.4.5. Ácido cítrico en fruto

Observando los datos de la Figura 12, en el análisis realizado para la variable contenido de ácido cítrico en frutos de tomate, estadísticamente los tratamientos mostraron diferencias significativas en los tratamientos sometidos a estrés combinado (salino e hídrico), el contenido de ácido cítrico aumento de forma gradual mostrándose el tratamiento con 50 mM de NaCl y 6 días de intervalo de riego con un 36.66% de concentración de ácido cítrico más que el tratamiento 50 mM de NaCl y sin estrés hídrico. Por otro lado, en cuanto a los tratamientos sometidos a estrés hídrico el tratamiento con riego cada 6 días mostró un 23.33% de concentración de ácido cítrico más que el tratamiento control (sin estrés), Oms-Oliu *et al.* (2011) y López (2020) describen que durante la maduración de los frutos disminuyen los ácidos málicos y fumárico, lo que provoca la acumulación de ácido cítrico. Por lo tanto, es probable que al someter las plantas a estrés combinado salino e hídrico influya en la respiración de los frutos aumentando así la maduración de los mismos.

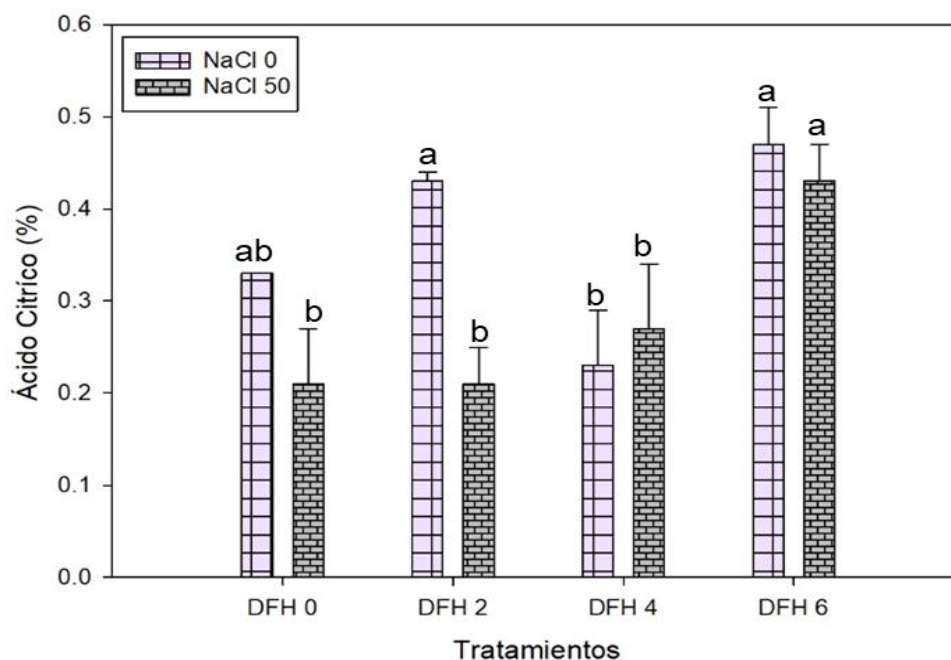


Figura 12. Extracción de ácido cítrico en fruto. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.4.6. Vitamina C en fruto

En el análisis realizado para la variable de contenido de vitamina C en frutos de tomate mostraron diferencias altamente significativas, siendo los tratamientos sometidos a estrés combinado (salino e hídrico) los que mostraron un aumento de forma ascendente el contenido de vitamina C, siendo el tratamiento 50 mM de NaCl y con riegos con intervalos de cada 6 días con un 79.99%. La cantidad total de vitamina C oscila entre 8 y 40 mg·100 g⁻¹ entre las especies de tomate y los cultivares (Frei *et al.*, 2012). El contenido de vitamina C, según Cortes *et al.* (2008) describe que está influenciado por diversos factores, incluidas las condiciones ambientales en las que se desarrolla el cultivo, almacenamiento poscosecha, trastornos fisiológicos y daños mecánicos. León (2018) menciona que conforme aumentó la concentración de sales se incrementa también el contenido de este antioxidante en los frutos.

Por otro lado, los tratamientos sometidos a estrés hídrico perdieron de forma descendente el contenido de vitamina C, siendo el tratamiento con riego cada 4 días el que obtuvo menos vitamina C con el 22.84% menos que el tratamiento control (sin estrés). Las plantas también responden al estrés por déficit hídrico a nivel celular y molecular (Shinozaki & Yamaguchi-Shinozaki, 2007). Una de las principales respuestas al estrés hídrico es la modificación de la expresión génica, relacionada con la producción de enzimas clave en la vía de síntesis de osmolitos, proteínas con función protectora, enzimas antioxidantes, factores de transcripción y otras proteínas involucradas en las respuestas al estrés hídrico (Bray, 1997; Zhu *et al.*, 2002). Los osmolitos son compuestos que representan una función importante en el ajuste osmótico, y protegen a las células de las especies reactivas de oxígeno (Pinhero *et al.*, 2001). En muchas plantas durante condiciones de estrés hay una sobre-expresión de las enzimas clave en la biosíntesis de osmolitos como la prolina y otros aminoácidos, las poliaminas y los compuestos cuaternarios de amonio como la glicina betaina, la sacarosa, los polioles, los azúcares, alcoholes y otros oligosacáridos (Tamura *et al.*, 2003).

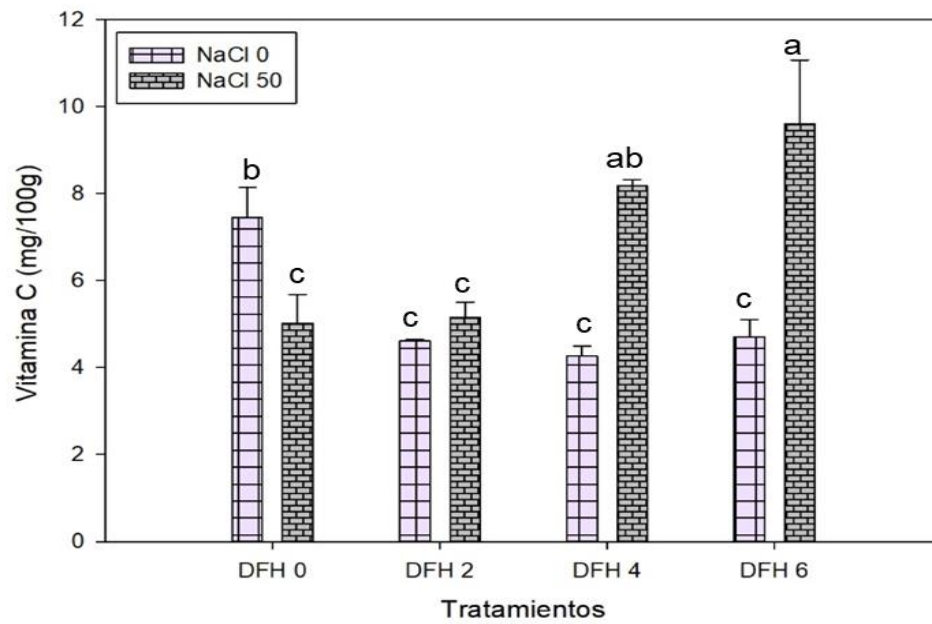


Figura 13. Extracción de vitamina C en fruto. Letra diferente son significativamente diferente con base a la prueba de LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

V. CONCLUSIONES

Las condiciones de estrés hídrico individual o en combinación con estrés salino, afecta al crecimiento vegetativo y componentes de calidad de los frutos de tomate variedad El Cid F1. Tanto el estrés hídrico solo o combinado con estrés salino reducen en forma similar la producción de biomasa de la planta después de 2, 4 y 6 días de sometidas a la con de estrés. No obstante que la presencia de salinidad en el medio de crecimiento de las plantas sin estrés hídrico mostro efectos positivos en la acumulación de biomasa aérea y de raíz, por lo que, la salinidad a 50 mM promueve efectos bioestimulantes en la acumulación de biomasa.

La salinidad suministrada el medio de crecimiento promovió efectos estimulantes de los parámetros Firmeza, Solidos Solubles Totales, pH y Conductividad Eléctrica, a la vez que afecto el contenido de ácido cítrico y de vitamina C, todos correspondiente a la calidad de fruto de tomate.

VI. LITERATURA CITADA

- Atkinson, N. J., & Urwin, P. E. (2012). The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of experimental botany*, 63(10), 3523-3543.
- Ausay Basantes, E. C. (2015). Respuesta de tomate riñón *Lycopersicum esculentum* Mill) cv Dominic bajo invernadero a dos relaciones nitrato/amonio mediante fertiriego por goteo (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Bacallao, M. F., & Fundora, L. B. (2014). Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 35(3), 70-88.
- Balaguera, H. E.; Alvarez-Herrera, J. G. & Rodriguez, J. D. (2008). Efecto del déficit de agua en el trasplante de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agron. colomb.* [en línea]. vol.26, n.2, pp.246-255. ISSN 0120-9965.
- BATISTA-SANCHEZ, D. et al. Uso del FitoMas-E® como atenuante del estrés salino (NaCl) durante la emergencia y crecimiento inicial de *Ocimum basilicum* L. *Nova scientia* [online]. 2015, vol.7, n.15, pp.265-284. ISSN 2007-0705.
- Bernal, I. 1994. Análisis de alimentos. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Bogotá, p1-13, 47-54, 114
- Blum A. (2005) Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. *Australian Journal of Agricultural Research* 56: 1159-1168.
- Bray EA, Bailey SJ, Weretilnyk E (2000) Responses to abiotic stresses. In: *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Buchannan B, Gruissem W, Jones R (Eds). American Society of Plant Physiologists pp: 1158-1249.
- Bray, E.A. (1997). Plant responses to water deficit. *Trends Plant Sci.* 2, 48-54.

- Cantwell, M. (2006). Report to the California tomato commission tomato variety trials: Postharvest evaluation for 2005. UCCE Fresh market tomato statewide report. California, USA. pp. 3, 9–13.
- Cardona W. A., Gutiérrez J. S., Monsalve O. I., Bonilla C. R. (2017). Efecto de la salinidad sobre el crecimiento vegetativo de plantas de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) micorrizadas y sin micorrizar. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. Vol. 11 - No. 2 - pp. 253-266.
- Casierra P., F. y H.L. Hernández. (2006). Evapotranspiración y distribución de materia seca en plantas de mora (*Rubus* sp.) bajo estrés salino. Rev. Act. Divulg. Cient. UDCA 9(1), 85-95.
- Chávez, S.L. & González, L.M. (2009). Mecanismos moleculares involucrados en la tolerancia de las plantas a la salinidad. ITEA. 105: 231-256.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de Biodiversidad (CONABIO, 2009), Lycopersicon esculentum, ficha informativa <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/lycopersicon-esculentum/fichas/ficha.htm#:~:text=Categor%C3%ADas%20taxon%C3%B3micas%20superiores,%3A%20Asteridae%3B%20Orden%3A%20Solanales>
- Córdova Suárez, Manolo Alexander Aguirre Arias, Sofía Lizeth, 2017, Validación del método para la determinación de vitamina C (ácido ascórbico) en alimentos por Cromatografía Líquida de Alta Eficacia (HPLC) en el laboratorio ECUACHEMLAB Cía. Ltda. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería Bioquímica, spp.
- Cuihan G., V. K. (2011). Efecto del estrés salino sobre parámetros agronómicos vegetativos y actividad antioxidante en dos genotipos de tomate: tipo “Cherry” (*Solanum lycopersicum* var. Cerasiforme L.) y silvestre (*Solanum chilense* L.). Universidad de Chile Facultad de Ciencias Agronómicas Escuela de Pregrado.
- Dell'Amico, J. M.; Parra, Margarita, (2005). EFECTO DEL ESTRÉS POR NaCl EN EL CONTENIDO DE CLORUROS, EL POTENCIAL OSMÓTICO REAL Y EL CRECIMIENTO DE DOS CULTIVARES DE TOMATE CUBANOS, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas Cuba.

- Dodd, I.C. y W.J. Davies. (2004). Hormones and the regulation of water balance. En: Davies, P.J. (ed.). Plant hormones: Biosynthesis, signal transduction, action. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, The Netherlands.
- Ehret D. L.; Ho L. C. (1986). Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Annals of Botany* 58: 679–688.
- FIRA (2019). Panorama Agroalimentario. Dirección de investigación y evaluación económica sectorial. Tomate rojo 2019. 1-26.
- Frei, B., Birlouez-Aragon, I., & Lykkesfeldt, J. (2012). Authors' perspective: What is the optimum intake of vitamin C in humans? *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(9), 815–829. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.649149>
- González, M. E., & Páez, A. (1995). Efecto del déficit hídrico aplicado durante diferentes etapas del desarrollo de *Panicum máximum* Jacq. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 12, 79-93.
- Hidalgo-González, J. C.; Alcántara–González, G.; Baca–Castillo, G. A.; Sánchez–García, P.; Escalante–Estrada, J. A. (1998). Efecto de la condición nutrimental de las plantas y de la composición, concentración y pH del fertilizante foliar, sobre el rendimiento y calidad del tomate. *Terra Latinoamericana* 16(2): 143–148.
- Kaneda, Y., Shibata, S., & Mineno, H. (2017). Multi-modal sliding window-based support vector regression for predicting plant water stress. *Knowledge-Based Systems*, 134, 135-148.
- Krauss, S.; Schnitzler, W. H.; Grassmann, J.; Woitke, M. 2006. The influence of different electrical conductivity values in a simplified recirculating soilless system on inner and outer fruit quality characteristics of tomato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(2): 441–448.
- Lamz P., A. & González C., M. C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultrop* [online]. vol.34, n.4, pp.31-42. ISSN 0258-5936.
- León Calvario Israel, (2018). EFECTO DEL INJERTO Y ESTRÉS SALINO SOBRE EL CONTENIDO NUTRACÉUTICO EN FRUTOS DE TOMATE.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO.

- López V., (2020). Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de cobre en plantas de tomate bajo estrés salino. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/47595/K%2066582%20L%C3%B3pez%20Vargas%2C%20Daniel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mackay, A.D. & S.A. Barber, 1985. Soil moisture effects on root growth and phosphorus uptake by corn. *Agron. J.* 77: 519-523.
- Maggio, A., Raimondi, G., Martino, A., & De Pascale, S. (2007). Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. *Environmental and Experimental Botany*, 59(3), 276-282.
- Martinez, V., Nieves-Cordones, M., Lopez-Delacalle, M., Rodenas, R., Mestre, T. C., Garcia-Sanchez, F., ... & Rivero, R. M. (2018). Tolerance to stress combination in tomato plants: New insights in the protective role of melatonin. *Molecules*, 23(3), 535.
- Mittova, V., M. Tal, M. Volokita & M. Guy. (2002). Salt stress induces upregulation of an efficient chloroplast antioxidant system in the salt-tolerant wild tomato species *Lycopersicon pennellii* but not in the cultivated species. *Physiol Plant.* 115: 393- 400.
- Mohamedin, A., A. El-Kader & N. Badran, (2006). Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to plants salt stress under different water table depths. *J. Appl. Sci. Res.* 2(12), 1175- 1184.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* 25: 239–250.
- Nemeskéri, E., & Helyes, L. (2019). Physiological responses of selected vegetable crop species to water stress. *Agronomy*, 9(8), 447.
- Nilsen, E.T. & D.M. Orcutt. (1996). *Physiology of plants under stress. Abiotic factors.* John Wiley and Sons, New York, NY.
- Ojeda Silvera, (2015), EFECTO DE UN PRODUCTO BIOACTIVO COMPUESTO POR OLIGOGALACTURÓNIDOS COMO MITIGADOR DEL ESTRÉS

HÍDRICO EN VARIEDADES DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum*), Centro de investigaciones Biológicas del Noreste, S.C.

- Oms-Oliu, G., Hertton, M. L. A. T. M., Van de Poel, B., Ampofo-Asiama, J., Geeraerd, A. H., & Nicolai, B. M. (2011). Metabolic characterization of tomato fruit during preharvest development, ripening, and postharvest shelf-life. *Postharvest Biology and Technology*, 62(1), 7-16. <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.04.010>.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K. y Tran, LSP (2014). Respuesta de las plantas al estrés hídrico. *Fronteras en ciencia vegetal*, 5, 86.
- Otegui, M. E., 1992. Incidencia de una sequía alrededor de antesis en el cultivo de maíz. Consumo de agua, producción de materia seca y determinación de rendimiento. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Bs. As., Argentina. 93 pp.
- Passam, H. C.; Karapanos, I. C.; Bebeli, P. J.; Savvas, D. (2007). A Review of recent research on tomato Nutrition, Breeding and Post-Harvest Technology with Reference to Fruit Quality. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology* 1(1): 1-21.
- Pérez Leal, F. (2017). Fisiología vegetal Parte III Nutrición mineral. (en línea). Ucayali, Perú. 172 p. Consultado 12 de ago. 1919.
- Perveen, R., Suleria, H. A. R., Anjum, F. M., Butt, M. S., Pasha, I., & Ahmad, S. (2015). Tomato (*Solanum lycopersicum*) carotenoids and lycopenes chemistry; metabolism, absorption, nutrition, and allied health claims-A comprehensive review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(7), 919-929.
- Pinhero, R.G., M.V. Rao, G. Palyath, D.P. Murr y R.A. Fletcher. (2001). Changes in the activities of antioxidant enzymes and their relationship to genetic and paclobutrazol-induced chilling tolerance of maize seedlings. *Plant Physiol.* 114, 695-704.
- Potters, G., T.P. Pasternak, Y. Guisez, K.J. Palme y M.A.K. Jansen. (2007). Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends Plant Sci.* 12(3), 99-105.

- Reyes-Pérez, J.J., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéguez, E., Reynaldo-Escobar, M.I., Rueda-Puente, E.O. (2013). Germinación y características de plántulas de variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) sometidas a estrés salino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6: 869-880.
- Sakamoto, Y.; Watanabe, S.; Nakashima, T.; Okano, K. (1999). Effects of salinity at two ripening stages on the fruit quality of single-truss tomato grown in hydroponics. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74: 690-693.
- Santaniello, A., Scartazza, A., Gresta, F., Loreti, E., Biasone, A., Di Tommaso, D., ... & Perata, P. (2017). *Ascophyllum nodosum* seaweed extract alleviates drought stress in *Arabidopsis* by affecting photosynthetic performance and related gene expression. *Frontiers in plant science*, 8, 1362.
- Shao, H.B., L.Y. Chu, C.A. Jaleel y C.X. Zhao. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C.R. Biol.* 331, 215-225.
- Shinozaki, K. y K. Yamaguchi-Shinozaki. (2007). Gene networks involved in drought stress response and tolerance. *J. Exp. Bot.* 58(2), 221-227.
- Singh, J., & Thakur, J. K. (2018). Photosynthesis and abiotic stress in plants. In *Biotic and abiotic stress tolerance in plants* (pp. 27-46). Springer, Singapore.
- Srivastava, P., Wu, Q. S., & Giri, B. (2019). Salinity: an overview. In *Microorganisms in Saline Environments: Strategies and Functions* (pp. 3-18). Springer, Cham.
- Stoller (2017). Guía de identificación de deficiencias en tomate. 1-3. <http://stoller.com.ar/wp-content/uploads/2017/10/Deficiencia-Tomate.pdf>
- Tamura, T., K. Hara, Y. Yamaguchi, N. Koizumi y H. Sano. (2003). Osmotic stress tolerance of transgenic tobacco expressing a gene encoding a membrane-located receptor-like protein from tobacco plants. *Plant Physiol.* 131, 454-462.
- Trajkova, F., Papadantonakis, N. & Savvas, D. (2006). Comparative effects of NaCl and CaCl₂ salinity on cucumber grown in a closed hydroponic system. *HortScience*, 41(2), 437-441.

- Valladares, F., Vilagrosa, A., Peñuelas, J., Ogaya, R., Camarero, J. J., Corcuera, L., ... & Gil-Pelegrín, E. (2004). Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, 2, 165-192.
- Villegas O., M. A., (2018). Estrés hídrico en la producción, productividad y calidad nutracéutica de melón injertado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. spp. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/45558>
- Wu, M. & Kubota, C H. (2008). Effects of high electrical conductivity of nutrient solution and its application timing on lycopene, chlorophyll and sugar concentrations of hydroponic tomatoes during ripening. *Scientia Horticulturae* 116(2): 122–129.
- Yara (2021). Gestionar el sabor del tomate. <https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/tomate/gestionar-el-sabor-del-tomate/>
- Yeo, A. (1998). Molecular biology of salt tolerance in the context of whole plant physiology. *J. Exp. Bot.*, 1998, vol. 49, p. 915-929.
- Zhu, J.K, K.S. Scumaker y L. Xiong. (2002). Cell signalling during cold, drought, and salt stress. *Plant Cell* 14, 165-183.