

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



ABATIMIENTO DE LA HUMEDAD Y NIVEL DE FERTILIZACIÓN EN EL
CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE FRESA

Tesis

Que presenta LUIS ARMANDO MORENO IBARRA

como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

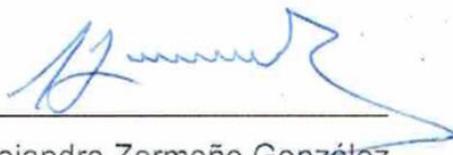
Saltillo, Coahuila

Junio de 2023

ABATIMIENTO DE LA HUMEDAD Y NIVEL DE FERTILIZACIÓN EN EL
CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE FRESA

Tesis

Elaborada por LUIS ARMANDO MORENO IBARRA como requisito parcial para
obtener el Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS
DE PRODUCCIÓN con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



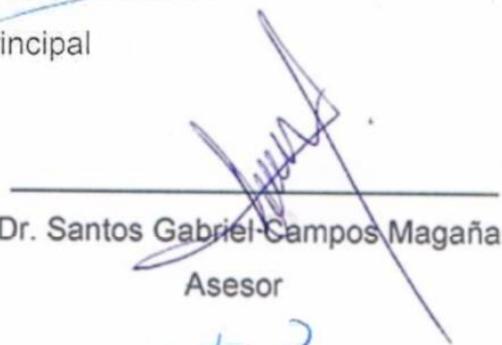
Dr. Alejandro Zermeño González

Asesor Principal



Dr. Armando Hernández Pérez

Asesor



Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Asesor



Dr. Homero Ramírez Rodríguez

Asesor



Dr. Octavio Gaspar Ramírez

Codirector externo



Dr. Antonio Flores Naveda

Subdirector de Postgrado

Saltillo, Coahuila

Junio de 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



ABATIMIENTO DE LA HUMEDAD Y NIVEL DE FERTILIZACIÓN EN EL
CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVOS DE FRESA

Tesis

Que presenta LUIS ARMANDO MORENO IBARRA

Como requisito parcial para obtener el Grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Dr. Alejandro Zermeño González
Director (UAAAN)

Dr. Octavio Gaspar Ramírez
Co-Director (externo)

Saltillo, Coahuila

Junio de 2023

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que me apoyaron en esta etapa de mi vida que he logrado concluir, muchos llegaron antes, otros durante el proceso y muchos más al final, y no me cabe duda de que gracias a ellos soy mejor profesional que cuando ingrese a la maestría. La entereza, responsabilidad, tenacidad y compromiso al trabajo son virtudes que me han ayudado a alcanzar mis metas, todo gracias al ejemplo de mis padres. Así mismo, gracias también a sus consejos que me animaron a no claudicar a pesar de los problemas y adversidades que se presentaron en mi camino. Doy gracias al Doctor Alejandro Zermeño por sus enseñanzas, apoyo y colaboración, pues me ayudaron en mi formación profesional y personal. Así pues, también agradecer al Departamento de riego y drenaje, a sus docentes y a sus alumnos que me apoyaron en mi trabajo de investigación. También agradezco a la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO y a su DEPARTAMENTO DE POSTGRADO por darme el privilegio de cursar uno de sus programas de investigación. Cuando una persona se rodea de gente que lo ama es importante en el desarrollo emocional y estable del mismo, pues el apoyo que dan es imprescindible porque sabes que tienes la dicha de contar con ellos y que nunca te abandonarán. Por eso, por último, pero no menos importante, agradezco a mi familia y personas queridas que han estado a mi lado en las buenas y malas durante este proceso de formación y culminación de este.

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a mis padres por ser mi inspiración, ya que con su ejemplo y cariño me han alentado a continuar y luchar a pesar de los obstáculos para alcanzar mis sueños y convertirlos en una realidad. Se lo dedico también a mi familia y a mis seres queridos este trabajo que con su apoyo y cariño me acompañaron y ayudaron a seguir desarrollándome, a no darme por vencido y llegar hasta el final. Por último, dedico esta tesis a mi ALMA TERRA MATER por abrirme nuevamente las puertas para continuar con este proceso de formación a través de los docentes que forman parte del cuerpo académico del postgrado que concluí y tuve el privilegio de conocer los cuales me transmitieron no solo conocimiento si no habilidades, destrezas y experiencias indispensables para mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIAS.....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
LISTA DE CUADROS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
Hipótesis.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Origen y clasificación botánica del cultivo.....	5
Importancia social y económica del cultivo en México y a nivel mundial.....	5
Generalidades de la fresa.....	6
Cultivo sin suelo.....	6
Solución nutritiva de Steiner.....	7
Subirrigación.....	7
Los sistemas hidropónicos y la conductividad eléctrica.....	8
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
Ubicación del sitio experimental.....	10
Material vegetal.....	10
Preparación del sitio experimental.....	10
Tratamientos aplicados y evaluación estadística.....	11
Trasplante riego y fertilización.....	12
Variables de respuesta.....	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
Efecto de tratamientos en el crecimiento de hojas y raíces.....	15
Potencial del agua en el xilema y contenido relativo de clorofila.....	19

Rendimiento y calidad de frutos.....24
CONCLUSIONES34
REFERENCIAS35

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos de abatimiento de la humedad antes de la aplicación del riego y CE de la solución Steiner.....	12
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Planta de fresa	5
Figura 2. Sistema de subirrigación para reponer la humedad del sustrato en el cultivo de fresa.....	13
Figura 3. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el peso seco de hojas (g) del cultivos de fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).	17
Figura 4. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el volumen de las raíces (cm ³) del cultivos de fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).	18
Figura 5. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el potencial del agua en el xilema del cultivos de fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).	22
Figura 6. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el contenido relativo de clorofila de las hojas (unidades spad) del cultivos de fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).	23
Figura 7. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el rendimiento (g/planta) del cultivos de fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).	26
Figura 8. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el rendimiento (frutos/planta) del cultivos de fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).	27
Figura 9. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el peso promedio del fruto (g) del cultivos de fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).	29
Figura 10. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en los grados brix del jugo de los frutos (g/100g) del cultivos de	

fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).....31

Figura 11. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el contenido de vitamina C del jugo de los frutos (mg/100g) del cultivos de fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$)33

RESUMEN

Pocos estudios a nivel invernadero se han desarrollado para evaluar el efecto combinado de diferentes niveles de abatimiento de la humedad del sustrato antes de la aplicación del riego con diferentes valores de la CE de la solución nutritiva. El objetivo de este estudio se enfocó en evaluar el efecto de dos niveles de abatimiento de la humedad del sustrato para la reposición del agua y tres valores de CE de la solución Steiner en el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto de un cultivo de fresa. El estudio se desarrolló durante el ciclo otoño – invierno de 2022, en un invernadero tipo capilla de cubierta de polietileno difuso de alta densidad con ventana cenital y laterales. Se usaron plántulas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cv Albión, que se plantaron en contenedores de PVC en los que se depositó un volumen de 5.025 L de sustrato compuesto de 70% peat moss y 30% perlita (con base a volumen). Se usó un diseño de parcelas divididas en bloques al azar, con cuatro repeticiones. La parcela mayor fue el abatimiento de la humedad con dos niveles 350 y 750 mL, que correspondió al 11.29 % y 24.19% respectivamente del volumen de agua contenido en el sustrato saturado. La parcela menor consistió en tres niveles de la CE de la solución Steiner: 0.50, 0.75 y 1.00 dS/m, para un total de seis tratamientos. Para el rendimiento expresado en g/planta y frutos/planta, peso del fruto, diámetro polar y ecuatorial del fruto, grados Brix y contenido de vitamina C, el análisis de los factores principales mostró que el valor de estas es mayor en el abatimiento de 700 mL y en la CE de 0.50 y 0.75 dS/m. La interacción entre los factores indica que para el abatimiento de 700 mL todas las variables muestran una tendencia creciente de la CE de 0.50 dS/m a 0.75 dS/m y decreciente a 1.00 dS/m; mientras que, para el abatimiento de 350 mL siempre se observa una tendencia decreciente a medida que la CE aumenta. Además, para dichas variables la combinación del abatimiento de 700 mL y la CE de 0.75 dS/m fue el tratamiento de mayor valor.

Palabras clave: *Fragaria x ananassa* Duch, Sustrato, solución Steiner, conductividad eléctrica, estrés hídrico.

ABSTRACT

Few studies at the greenhouse level have been carried out to evaluate the combined effect of different levels of the substrate moisture depletion before the application of irrigation with different EC values of the nutrient solution. The objective of this study was focused on evaluating the effect of two levels of the substrate moisture depletion and three EC values of the Steiner solution on the growth, yield, and quality of the fruit of a strawberry crop. The study was carried out during the autumn-winter cycle of 2022, in a chapel-type greenhouse with a high-density diffused polyethylene cover with zenithal and lateral windows. Strawberry seedlings (*Fragaria x ananassa* Duch) cv Albion were used, which were planted in PVC containers in which a volume of 5,025 L of substrate composed of 70% peat moss and 30% perlite (volume based) was deposited. A randomized block plot design was used, with four replications. The largest plot was the humidity depletion with two levels 350 and 750 mL, which corresponded to 11.29% and 24.19% respectively of the volume of water contained in the saturated substrate. The minor plot consisted of three EC levels of the Steiner solution: 0.50, 0.75 and 1.00 dS/m, for a total of six treatments. For the yield expressed in g/plant and fruits/plant, fruit weight, polar and equatorial diameter of the fruit, Brix degrees and vitamin C content, the analysis of the main factors showed that the value of these variables is higher in the depletion of 700 mL and in the EC of 0.50 and 0.75 dS/m. The interaction between the factors indicates that for the depletion of 700 mL all the variables show an increasing tendency from the EC of 0.50 dS/m to that of 0.75 dS/m and decreasing from 0.75 dS/m to 1.00 dS/m; while, for the moisture depletion of 350 mL, a decreasing trend is always observed as the CE increases. In addition, for these variables, the combination of the humidity depletion of 700 mL and the EC 0.75 dS/m was always the treatment with the highest value.

Key words: *Fragaria x ananassa* Duch, Substrate, Steiner solution, electrical conductivity, water stress.

INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) tiene una gran demanda en México y en muchos países desarrollados (Romero-Romano *et al.*, 2012), debido a su alto contenido de micronutrientes y antioxidantes como la vitamina C y el ácido fólico (Olsson *et al.*, 2004).

En 2021 México registró una producción de 442 150.81 t en una superficie de 10 149.47 ha con un rendimiento promedio de 43.56 t ha⁻¹. La producción mayor se da en los estados de Michoacán, Baja California y Guanajuato (SIAP, 2022). Los países de mayor producción son China, Estados Unidos, México, Turquía y Egipto, que en conjunto representan el 70 % de la producción mundial. México es el tercer país en producción y exportación de fresa (FAOSTAT, 2019; Ramírez *et al.*, 2020).

Para tener un mejor control fitosanitario, aplicación de nutrientes y uso del agua, la producción de fresa y diversos cultivos hortícolas, se realiza en invernaderos en contenedores con sustrato (Nakro *et al.*, 2023; Aydi *et al.*, 2023). Los sustratos son materiales inertes compuestos de uno o más combinaciones de diferentes materiales como: Fibra de coco, lana de piedra, peat moss, perlita, vermiculita, tezontle etc. Los sustratos deben tener alta capacidad de retención de agua, y de gran disponibilidad para las raíces de las plantas, de una porosidad adecuada que permita un suministro apropiado de aire y agua para el crecimiento de las plantas (Bhat & Hussain, 2023). Debido a que el sustrato es inerte, en el agua de riego se deben aplicar los nutrimentos en las cantidades y proporciones requeridas por el cultivo (Guan *et al.* 2023). Al respecto, Steiner (1961) desarrollo un procedimiento para la formulación de una solución nutritiva para cultivos considerando la relación de iones, PH y CE.

Estudios previos muestran que el crecimiento y rendimiento del cultivo de fresa y diversos cultivos hortícolas dependen del pH y la CE de la solución Steiner (Hernández-Valencia *et al.* 2022; Preciado-Rangel *et al.* 2020). Valores altos de la CE pueden reducir la tasa de asimilación de CO₂ y transpiración de las plantas, por una alta absorción de Na⁺ y Cl⁻ que ocasiona un desequilibrio en la

disponibilidad de los nutrientes (Wu y Kubota, 2008). Colli-Cortés *et al.* (2020), reportaron que diferentes valores de la CE de la solución nutritiva no tienen efecto en el color del fruto del cultivo de Uchuva, pero valores bajos ($< 1 \text{ dS m}^{-1}$) reducen la firmeza del fruto. Lam *et al.* (2020), mencionan al inducir diferentes valores de la CE de la solución nutritiva se afecta el contenido de compuestos bioactivos en el órgano comestible de la fresa. Cuando la CE es igual o mayor a 3 dS m^{-1} se mejora la calidad nutracéutica, del fruto, pero disminuye significativamente el rendimiento de pimiento morrón (Pérez-Vázquez *et al.*, 2020). Estudios realizados por González-Jiménez *et al.* (2020) en fresa (cv Festival) mostraron que cuando la CE de la solución Steiner es igual o mayor de 2.7 dS m^{-1} la concentración foliar de P y Mg se reduce hasta 50 %, pero el contenido de vitamina C aumentó hasta 34 %.

La aplicación de una solución universal de Steiner al 50% a un cultivo de fresa cv Chandler en un sistema hidropónico resultó en mayor rendimiento de frutos que la aplicación al 100 y 150% (Juárez *et al.*, 2007). El efecto combinado de la fertilización química de la solución Steiner al 100% con ácido salicílico no tuvo efecto en el rendimiento y calidad del cultivo de fresa cv Camino Real (Hernández-Valencia *et al.*, 2022). Estudios realizados en un cultivo de chile serrano cv. TOP 141 mostraron que el mayor rendimiento de fruto y contenido de N, Ca y Mg en las hojas se obtiene regando las plantas con una solución nutritiva Steiner al 75% respecto a las soluciones al 25 y 50% (Cruz-Crespo *et al.*, 2014). El cultivo de Kale (col rizada) tiene mayor rendimiento y contenido de nitratos y menor concentración de calcio cuando es regado con la solución nutritiva Steiner con una CE de 2.0 dS m^{-1} con relación a las soluciones de 0.5, 1.0 y 1.5 dS m^{-1} (Martínez-Castillo *et al.*, 2022).

Para un crecimiento y rendimiento óptimo de los cultivos, es necesario suministrar agua a las plantas en la cantidad requerida y el momento oportuno, para que las plantas puedan mantener una tasa de transpiración alta, que disipe la radiación solar que absorben. Cuando la disponibilidad de agua del sustrato decrece, la tasa de transpiración disminuye. Si el estrés hídrico es muy severo, la apertura de los estomas se reduce afectando la entrada de CO_2 a las hojas y la tasa de

fotosíntesis decrece. Por el contrario, cuando se mantiene un nivel de humedad muy elevado del sustrato se puede afectar la disponibilidad de oxígeno para las raíces de las plantas, lo que también afecta el crecimiento y rendimiento. De tal forma que, en función de la sensibilidad del cultivo al déficit de agua y de oxígeno en la zona radicular, se debe mantener un rango adecuado de fluctuaciones de la humedad del suelo para un óptimo desarrollo de las plantas.

En cuanto a la calidad de fruta de fresa (*Fragaria* sp.) para peso fresco y diámetro de frutos, Casasierra-Posada y García-Riaño (2006), reportaron que estas variables se vieron afectadas por el incremento de la CE, resultante de la salinidad; y que sin embargo para los SST y la acidez titulable tuvieron un incremento que fue proporcional a la salinidad en el sustrato.

Investigación realizada por Reyes-Matamoros *et al.* (2014), reportaron que el estrés hídrico en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. no afectó el número de hojas, ramas y estructuras reproductivas, excepto con el 50 % de agua, y que además con el 75 % de agua se estimuló el área foliar, por lo que los tratamientos afectaron todos los órganos vegetativos, pero no los órganos reproductivos.

Autores como Inzunza-Ibarra *et al.* (2018), mencionaron que el cultivo del maíz alcanza el mayor rendimiento de grano y eficiencia de uso del agua (10.3 t ha^{-1}) al desarrollarse con aproximadamente el 60 y 59 % de la humedad aprovechable consumida del suelo en las etapas vegetativa y reproductiva.

Como respuesta de las plantas de un cultivo de tomate, en condiciones organopónico, Rodríguez-Cabello *et al.* (2020), indujeron diferentes niveles de riego, indicando la posibilidad de reducir al 10 % el suministro hídrico al cultivo desde la siembra hasta prefloración y al 60 % en las fases siguientes, para lograr así obtener frutos de mejor calidad, sin que se afecten los componentes del crecimiento y rendimiento de las plantas.

El desarrollo vegetativo y rendimiento de frutos de plantas de fresa cv Festival que crecieron en un sustrato de turba y perlita fue mayor cuando los riegos aplicados fueron el 100 % de la evapotranspiración potencial (ET_o), que el de las plantas que se regaron al 60% y 80% de ET_o (Ahmed & Gad, 2022).

Tomando en consideración que pocos estudios a nivel invernadero se han desarrollado para evaluar el efecto combinado de diferentes niveles de abatimiento de la humedad del sustrato antes de la aplicación del riego con diferentes valores de la CE de la solución nutritiva. El objetivo de este estudio se enfocó en evaluar el efecto de dos niveles de abatimiento de la humedad del sustrato para la reposición del agua y tres valores de CE de la solución Steiner en el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto de un cultivo de fresa.

Hipótesis

El efecto combinado de diferentes niveles de abatimiento de la humedad del sustrato y de la conductividad eléctrica de la solución Steiner afectan el crecimiento, rendimiento y calidad de frutos de un cultivo de fresa.

Objetivo general

Evaluar el efecto de dos abatimientos de la humedad del sustrato y tres niveles de la conductividad eléctrica de la solución Steiner en el crecimiento, rendimiento y calidad de frutos de un cultivo de fresa.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de dos abatimientos de la humedad y tres niveles de CE de la solución Steiner en el desarrollo del área foliar, de raíz y el potencial del agua en el xilema.
- Analizar el efecto combinado de diferentes abatimientos de la humedad y niveles de la CE de la solución Steiner sobre las unidades SPAD.
- Determinar el efecto combinado del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el rendimiento y calidad de frutos.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen y clasificación botánica del cultivo

El origen de la fresa cultivada hoy en día (*Fragaria x ananassa*), fueron descritos por G. Darrow en su libro "The Strawberry" (1966), considerado como el texto de máximo valor sobre esta especie. Destacando como Duchesne obtuvo la especie *F. x ananassa*, que revolucionó la producción comercial de fresa en el mundo. Actualmente, la mejora de las características hortícolas de *F. x ananassa* durante los últimos 300 años ha permitido la expansión global de la producción de fresa (Hardigan *et al.*, 2021).

La fresa pertenece a:

Familia: Rosaceae

Subfamilia: Rosoideae

Tribu: Potentilleae

Subtribu: Fragariinae

Género: *Fragaria* L.

(U.S. National Plant Germplasm System, 2006).

La fresa que es cultivada hoy en día es *Fragaria x ananassa* Duch.



Figura 1. Planta de fresa

Importancia social y económica del cultivo en México y a nivel mundial

Actualmente, las tasas de crecimiento positivas de la producción y exportación y los índices de competitividad y de ventaja comparativa revelada positivos de las

exportaciones, reflejan que la producción y exportación de fresa se encuentra en expansión, y que es competitiva y tiene una ventaja comparativa revelada en España, México y Estados Unidos de América, por lo que es recomendable la ampliación del cultivo, el incremento de la producción y el aumento de la exportación (Ramírez *et al.*, 2020). A nivel nacional los principales productores son Michoacán con 431 miles de toneladas, Baja California con 123 miles de toneladas y el estado de Guanajuato con 79 miles de toneladas (SIAP, 2022).

Generalidades de la fresa

La fresa es una planta herbácea perenne, la cual es caracterizada porque la reproducción de esta es mediante estolones (Mouhu *et al.*, 2009). Puede adaptarse a diferentes tipos de suelos, y necesita de un pH de 6.0 a 6.5, para su crecimiento. Además, necesita de un elevado contenido de materia orgánica y suelos con buen drenaje. Bonilla (2011), menciona que el cultivo necesita de una temperatura diurna de 18 a 25 °C, y nocturna entre 8 y 13 °C, y una humedad relativa de 60 y 75 %.

Cultivo sin suelo

Abad *et al.*, (2005), mencionan que los cultivos sin suelo pueden clasificarse en cultivos hidropónicos (cultivo en agua) y en sustratos, que presentan materiales químicamente activos y capacidad de intercambio catiónico (CIC). En el uso de sustratos, Lorenzo *et al.*, (1993), recomiendan utilizar una fracción de lavado de entre 20 y 50 %, para mantener un nivel adecuado de conductividad eléctrica (CE) en la solución del sustrato, lo que también contribuye a la no salinización del sustrato y evitar problemas de crecimiento en los cultivos hortícolas. Pastor (2000), señala que, los sustratos representan una alternativa para la producción de cultivos, además de mantener una óptima inocuidad. Por otra parte, Pire y Pereira (2003), indican que los sustratos, son considerados como un medio de crecimiento, y que tienen como objetivo principal el de proveer de soporte físico para las plantas, aire, agua y nutrientes.

Solución nutritiva de Steiner

Las soluciones nutritivas, se formularon para hacer crecer y desarrollar las plantas bajo un sistema de cultivo sin suelo donde la composición química de la solución es muy variada (Smith *et al.*, 1983). Steiner (1961), menciona que la solución nutritiva está determinada por las proporciones relativas de los aniones y los cationes en una solución, además, de la concentración iónica total y el pH. Steiner (1968, 1984), elaboró una solución nutritiva universal, la cual se distingue por sus relaciones mutuas entre aniones y cationes, expresadas en por ciento del total de mM·l-1. Además, menciona que las relaciones mutuas entre los iones en la Solución Nutritiva Universal de Steiner en porcentaje del total de mM·l-1 es de 60:5:35 para NO₃⁻: H₂PO₄⁻: SO₄²⁻ y 35:45:20 para K⁺: Ca²⁺: Mg²⁺. Carpena *et al.*, (1987), mencionan que, en la hidroponía, las necesidades nutrimentales que presentan las plantas se satisfacen con el suministro de los nutrientes en la solución nutritiva. Además, las cantidades de nutrientes que requieren las plantas depende de la variedad, la etapa fenológica y las condiciones ambientales presentes.

Subirrigación

Van Os (1999), menciona que los sistemas de cultivo sin suelo permiten un control adecuado del crecimiento y desarrollo de las plantas. Sin embargo, estos sistemas de producción requieren de un riego frecuente y de altas dosis de fertilización, y cuando se utiliza con drenaje libre o bien de un sistema abierto, ocasiona la contaminación de cuerpos de agua subterráneos y superficiales. No obstante, un sistema de cultivo cerrado, puede ser una opción viable para limitar la pérdida de agua y fertilizantes, además de ser más eficiente y disminuir en el deterioro del medio ambiente, en comparación con los sistemas tradicionales de cultivos (Rouphael y Colla, 2005). Es por ello que un sistema de subirrigación ofrece muchas ventajas, tales como un menor requerimiento de nutrientes y agua, además, proporciona los nutrientes de manera uniforme, evita la humectación foliar, hay una uniformidad de riego, menor compactación del sustrato, cultivos más uniformes, y una mejor productividad de las plantas; pero

también es preciso mencionar que este sistema reduce la descarga de nutrientes a los ecosistemas, y reduce los costos de producción (Montesano *et al.*, 2010). Mismos autores, señalan que el sistema de subirrigación, facilita el manejo de la solución nutritiva, manteniendo un control adecuado, sin embargo, mencionan que los elementos que no son absorbidos por la planta se acumulan en la parte superior del sustrato.

Además, el sistema de subirrigación ofrece muchas ventajas, tales como un menor requerimiento de nutrientes y agua, proporciona nutrientes de una manera uniforme, evita la humectación foliar (prevención de enfermedades), uniformidad de riego, menor compactación del sustrato, cultivos más uniformes, mejor productividad; reduce la descarga de nutrientes a los ecosistemas circundantes y reduce los costos de producción (Cox, 2001; Santamaría *et al.*, 2003; Rouphael y Colla, 2005; Rouphael *et al.*, 2008; Montesano *et al.*, 2010).

Sin embargo, bajo este sistema, existe la posibilidad de que la acumulación de sales en la parte superior del medio de crecimiento pueda ocurrir si la solución nutritiva es demasiado concentrada, debido a que el medio de crecimiento no se lixivia durante la producción (Martinetti *et al.*, 2008).

Los sistemas hidropónicos y la conductividad eléctrica

Los sistemas hidropónicos, hacen el uso de sustratos inertes, y se ha reportado que para que las plantas de tomate puedan crecer sin limitaciones nutricionales, la solución nutritiva (SN) debe presentar un pH de entre 5.5 a 6.5, y CE, entre 1.5 y 3 dS m⁻¹, además, los nutrientes minerales deben estar en forma iónica y en las proporciones y concentraciones adecuadas, así como en sus respectivas tasas de absorción para evitar precipitados y antagonismos (Adams, 2004). Diversos autores mencionan que la planta modifica el consumo de nutrimentos en función de sus fases de crecimiento y de desarrollo, condiciones climáticas, y características de la solución nutritiva como la CE, pH, temperatura y el oxígeno disuelto (Sonneveld y Voogt, 2009; Velasco *et al.*, 2012; Urrestarazu, 2015). Es bien sabido que una elevada CE superior a 5 dS m⁻¹ en la rizosfera de la planta,

puede afectar negativamente la absorción de agua y nutrientes, lo que representa en una disminución en el rendimiento (Santos y Torres, 2018).

Por su parte Nakano *et al.*, (2010), mencionan que la SN que se drena se puede reutilizar, y, que, además, se puede tener un ahorro de agua y fertilizantes. Y de acuerdo, a Sánchez *et al.*, (2012), reportan que los sistemas hidropónicos cerrados tienen muchas posibilidades de tener éxito y aprovechar sus ventajas, además, hoy en día es necesario la búsqueda de nuevas técnicas de manejo que sean sencillas para el productor, pero que no afecten negativamente el rendimiento o la calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del sitio experimental

El estudio se desarrolló durante el ciclo otoño – invierno de 2022, en un invernadero tipo capilla de cubierta de polietileno difuso de alta densidad con ventana cenital y laterales. Dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, que se localiza en Buenavista, Saltillo, Coahuila, cuyas coordenadas geográficas son 25° 23' 42" N y 100° 59' 57" O, a una altitud de 1745 m.

Material vegetal

El material vegetal utilizado fueron plántulas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cv Albión. Esta variedad es de día neutro, con frutos de buena calidad, tamaño, y con un peso promedio de 32 g. Además, de ser de fácil recolección y con una prolongada vida de anaquel. Tiene resistencia a condiciones meteorológicas adversas, y a enfermedades como la antracnosis, *Vercillium* y *Phytopthora*, y a plagas como la araña roja (Eurosemillas, 2019).

Preparación del sitio experimental

Para la aplicación del agua y nutrientes, recolección y reúso de la solución drenada y medición del agua consumida por las plantas, Se utilizaron cuatro bancos de metal de 50 cm de ancho, 2.64m de longitud y 50 cm de altura. Para el establecimiento y crecimiento de las plantas se usaron 24 contenedores de PVC (NMX-E-199/1) de 19.4 cm de diámetro interior y 20 cm de altura. En un extremo de cada contenedor se colocó una doble capa de malla plástica de 1 mm de diámetro, sobre la que se fijó un papel filtro (80 g/m²). Para usar los contenedores como lisímetros de pesada, todos se igualaron al mismo peso (950 g) con pequeños discos metálicos.

En cada contenedor se depositaron 800 g (peso en seco) de un sustrato compuesto de 70% peat moss y 30% perlita (con base a volumen), que alcanzaron una altura de 17 cm en el contenedor, equivalente a un volumen de

sustrato de 5.025 L. El peso en seco promedio del contenedor y el sustrato fue 1 750 g. La máxima retención de agua del sustrato se obtuvo colocando los contenedores en cajas de plástico de 51 cm largo, 33 cm ancho y 26.5 cm de altura, con agua a una altura de 20 cm, para saturar el sustrato (por ascenso capilar). Después de que el agua alcanzó la superficie del sustrato (espejo de agua en la superficie) se retiraron los contenedores, se permitió el drenado del exceso de agua y se pesaron nuevamente. La diferencia correspondió al peso promedio del agua del sustrato saturado, que fue de 3.1 kg (correspondiente a 3 100 mL). Con esta información se obtuvo el contenido de humedad (por ciento en volumen) del sustrato saturado que correspondió a 59.05 %.

Tratamientos aplicados y evaluación estadística

Para evaluar el efecto del abatimiento de la humedad del sustrato antes de la aplicación del riego y la CE de la solución nutritiva (Steiner), se usó un diseño de parcelas divididas en bloques al azar, con cuatro repeticiones. La parcela mayor fue el abatimiento de la humedad con dos niveles 350 y 750 mL, la menor correspondió a la CE de la solución Steiner con tres niveles, 0.50, 0.75 y 1.00 dS/m, para un total de seis tratamientos (Cuadro 1)

Cuadro 1. Tratamientos de abatimiento de la humedad antes de la aplicación del riego y CE de la solución Steiner.

Abatimiento de la humedad (mL)	CE (dS/m)	Tratamiento
350	0.50	T1
	0.75	T2
	1.00	T3
750	0.50	T4
	0.75	T5
	1.00	T6

Para la comparación de media de tratamientos se usa la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$)

Trasplante riego y fertilización

La plántula de fresa cv Albión se trasplantaron el 9 de junio de 2022, en los contenedores de PVC con el sustrato de peat moss y perlita (70 % y 30 % v/v). Los riegos se aplicaron por subirrigación (ascenso capilar) colocando los contenedores dentro de las cajas de plástico. La solución nutritiva se aplicó a las cajas hasta una altura de 20 cm para que la solución entrara al contenedor por la parte inferior y llegara a la superficie por ascenso capilar, de esta forma la solución nutritiva llena todo el espacio poroso del sustrato. Una vez saturado el sustrato la solución nutritiva contenida en la caja y el exceso drenado de los contenedores se recuperó en garrafones por medio de válvulas conectadas en la parte inferior de las cajas para su reúso y evitar el desperdicio y contaminación del ambiente (Figura 2)



Figura 2. Sistema de subirrigación para reponer la humedad del sustrato en el cultivo de fresa.

Se usó la solución nutritiva Steiner con tres valores de CE: 0.50, 0.75 y 1.000 dS/m, con un pH de 6.0 a 6.5. Adicionando ácido sulfúrico al 98%.

El consumo de la humedad del sustrato se determinó por la diferencia entre el peso del contenedor y sustrato saturado (4 850 g) y el consumo de la humedad del tratamiento correspondiente (350 y 750 mL), utilizando una báscula digital de 10 kg de peso.

Variables de respuesta

La cosecha se realizó conforme al grado de madurez del fruto. Por lo que fue en distintas fechas. La primera cosecha se realizó el 15 de agosto de 2022 y terminó el 17 de septiembre de 2022. Durante los cortes realizados en el transcurso de 3 semanas se obtuvo el número de frutos por planta y al final de la cosecha se determinó el número total de frutos por planta y peso correspondiente. Se determinó el diámetro ecuatorial y polar de los frutos (mm) con un vernier digital (Mitutoyo, CD-8"CSX, Japan) y el peso con una báscula digital de precisión. La repetición de cada tratamiento fue el promedio de 10 frutos. Los sólidos solubles totales se obtuvieron con refractómetro (Spectrum Technologies, 2801, EUA) donde cada repetición de los diferentes tratamientos fue el promedio de 10 frutos.

También se obtuvo la longitud y el volumen de las raíces de las plantas de los diferentes tratamientos, el volumen de raíz se determinó con una probeta de 1 litro la cual se llenó con 200ml de agua y se procedió a introducir las raíces de las plantas; la raíz se lavó e introdujo a la probeta y se colocó al fondo, tomando nota hasta donde subió el agua y se restó con el volumen inicial para obtener el volumen de raíz. El contenido de vitamina C en los frutos de los diferentes tratamientos se obtuvo con la metodología descrita por Padayatt *et al.* (2001), de igual forma, cada repetición fue la media de tres determinaciones. El contenido de agua y materia seca total se obtuvo pesando todas las plantas (hojas, tallo y flores) antes y después de colocarlas en un horno de secado a 65 °C por 72 h. El contenido relativo de clorofila en las hojas (unidades spad) se determinó con un medidor portátil de clorofila (Konica Minolta Optics, SPAD-502 PLUS, japan). Cada repetición fue la media de tres hojas por planta y cinco mediciones por hoja (15 mediciones). El potencial total del agua en el xilema de las plantas se obtuvo con una cámara de presión portátil (PMS Instrument Company, 615D, EUA), para esto, se usaron tres hojas por planta que se cubrieron con una bolsa de aluminio por 15 min para lograr equilibrio de la hoja con el xilema de la planta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de tratamientos en el crecimiento de hojas y raíces

El peso seco de las hojas de las plantas fue mayor (19.35 g) con el abatimiento de 350 mL de agua del sustrato (11.29 % de consumo del volumen del sustrato saturado), que el correspondiente al abatimiento de 700 mL (24.19 % consumo del volumen saturado) (18.80 g) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). La mayor disponibilidad de agua en el sustrato resultó en plantas con mayor desarrollo foliar. Estudios previos muestran que, cuando las plantas disponen de mayor volumen de agua las hojas se mantienen turgentes por más tiempo favoreciendo la elongación celular y crecimiento de las hojas (Álvarez-Herrera *et al.*, 2010; Deaquiz *et al.* 2014). En otro estudio (Ahmed y Gad, 2022) también reportaron mayor desarrollo vegetativo de las plantas de fresa cv Festival en los tratamientos de mayor nivel de riego, y menor crecimiento en las plantas de mayor estrés hídrico

Los tres niveles de la CE de la solución Steiner (0.50, 0.75 y 1.00 ds/m) no tuvieron efecto en el peso seco de las hojas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) (Figura 3, factores principales). La diferencia mayor en el peso seco de las hojas entre el abatimiento de 350 y 700 mL fue en la CE de 0.50 ds/m (Figura 3, interacción entre factores). Para el abatimiento de la humedad del sustrato de 350 mL el peso seco de las hojas es mayor en la CE de 0.50 ds/m, decrece cuando la CE aumenta a 0.75 ds/m y tiende a aumentar para la CE de 1.00 ds/m. Mientras que, en el abatimiento de 700 mL el peso seco es muy similar para la CE de 0.50 ds/m y 0.75 ds/m y tiende a aumentar en la CE de 1.00 ds/m (Figura 3, interacción entre factores). El análisis de varianza para el diseño de bloques al azar mostro no diferencia estadística significativa entre tratamientos (Figura 3).

El volumen de raíces de las plantas en el abatimiento de 700 mL resultó en plantas con mayor volumen radicular respecto a las plantas que crecieron en el abatimiento de 350 mL (Figura 4, Factores principales) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). El volumen de raíces de las plantas en el abatimiento de 700 mL fue 14.26 % mayor que las que crecieron en el abatimiento de 350 mL. La menor disposición de agua en el sustrato estimuló mayor desarrollo radicular de las plantas. Este resultado

es diferente al obtenido por Deaquiz *et al.* (2014), ya que ellos observaron mayor crecimiento radicular cuando las planta de fresa cv Ventana tuvieron más disponibilidad de humedad. Para el cultivo de fresa cv Kuemsi diferentes niveles de abatimiento de la humead no tuvieron efecto significativo en el peso seca de la parte aérea ni el sistema radicular de las plantas (Choi *et al.*, 2022).

Los diferentes niveles de CE evaluados no tuvieron efecto en el volumen de las raíces (Figura 4, factores principales). Para el abatimiento de 700 mL, el volumen de raíces se incrementó cuando la CE de la solución aumentó de 0.50 ds/m a 0.75 ds/m y decrece al aumentar a 1.00 ds/m (Figura 4, interacción entre factores). Mientras que, para el abatimiento de 350 mL el volumen de raíces muestra una tendencia creciente con el incremento de la CE. (Figura 4, interacción entre factores). La diferencia de volumen radicular entre el abatimiento de 700 mL y 350 mL es mayor a una CE de 0.75 ds/m y menor cuando la CE es 1.00 ds/m (Figura 4, interacción entre factores). Con relación al efecto combinado de abatimiento y CE de la solución Steiner, el volumen de raíces de las planas del tratamiento cinco (abatimiento 700 mL y CE 0.75 ds/m) y el tratamiento cuatro (abatimiento 700 mL y CE 0.50 ds/m) fue mayor que el de las plantas del tratamiento uno (abatimiento 350 mL y CE 0.50 ds/m).

En otros estudios donde se evaluaron valores más altos de CE de la solución nutritiva que los usados en este estudio (1.00 ds/m como máximo), se observó que para la fresa cv Festival el peso seco de las hojas y las raíces decrece cuando la CE tiene valores de hasta 2.7 ds/m, debido a la inhibición del crecimiento por el estrés hídrico que sufre la planta (por un mayor potencial osmótico) por el exceso de sales disueltas en la solución que limita la absorción de agua por las raíces (González-Jiménez *et al.*, 2020). Similarmente, el peso seco de las hojas y raíces de plantas de fresa de los cv Camaorosa y Roceira se redujo apreciablemente cuando las plantas fueron regadas con agua de CE de 4 ds/m (Denaxa *et al.*, 2022).

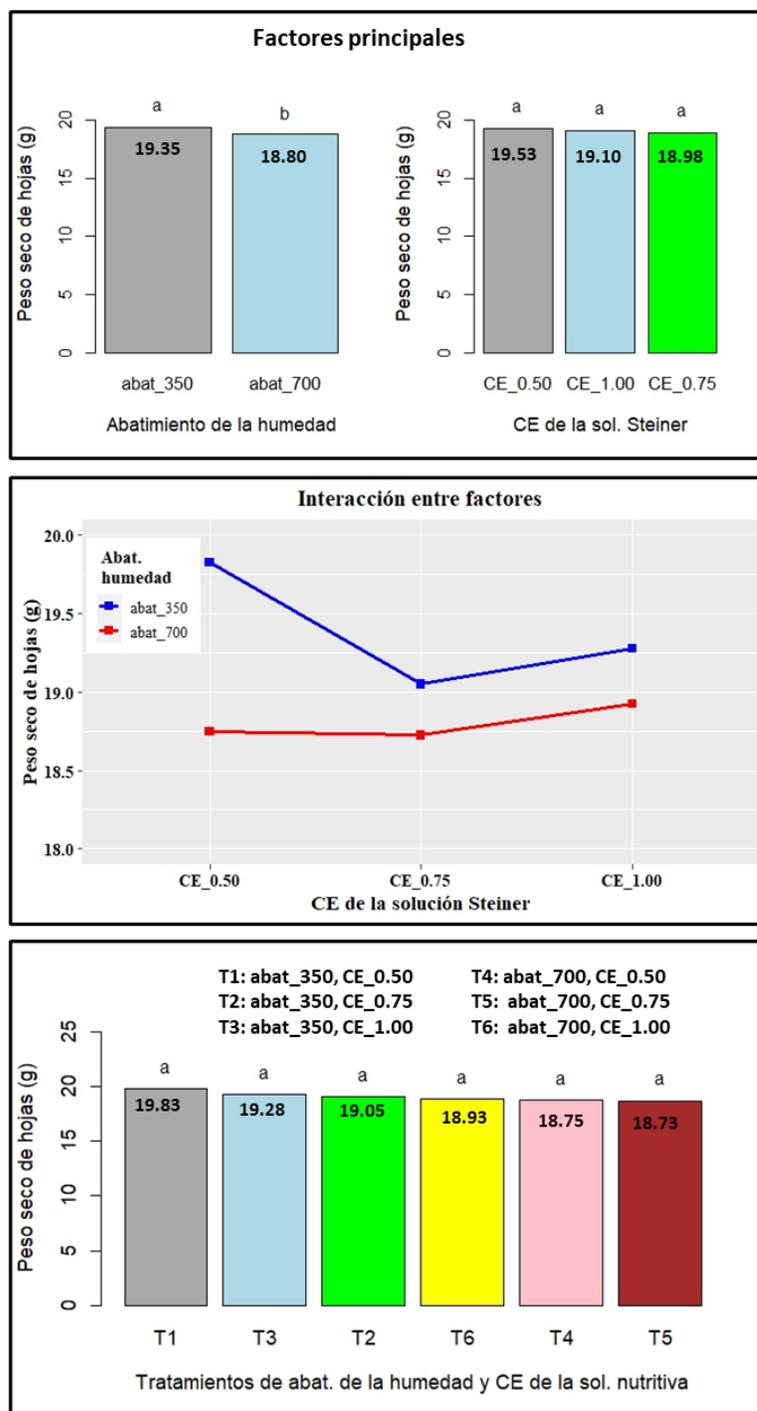


Figura 3. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el peso seco de hojas (g) del cultivos de fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

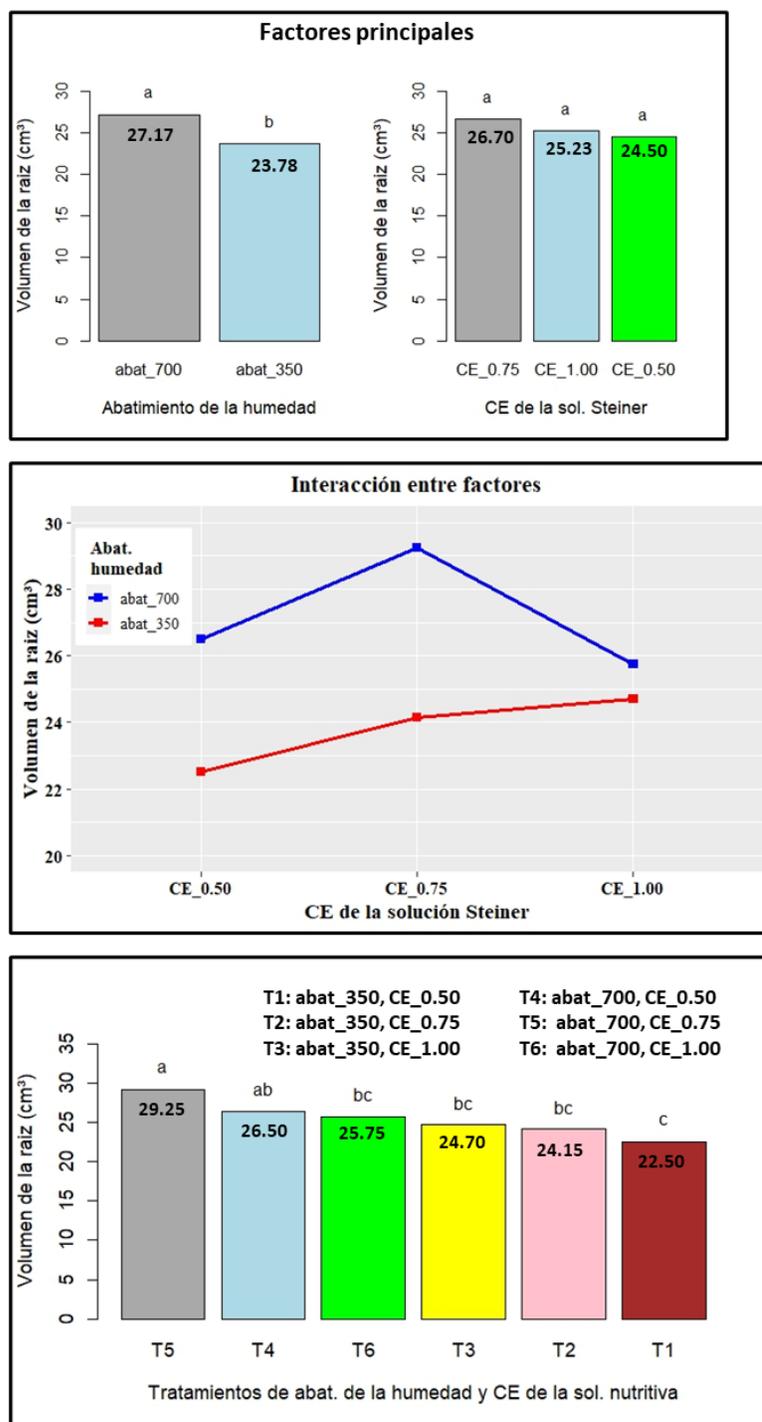


Figura 4. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el volumen de las raíces (cm^3) del cultivos de fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Potencial del agua en el xilema y contenido relativo de clorofila

El potencial del agua en el xilema de las plantas (100 kPa) fue mayor (valor absoluto) en las plantas con abatimiento de 700 mL que el de las plantas con abatimiento de 350 mL (Figura 5, factores principales) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). El mayor potencial del agua en el xilema se debió a un contenido menor de agua en el sustrato. Los tres niveles de la CE de la solución Steiner (0.50, 0.75 y 1.00 ds/m) no tuvieron efecto en el potencial del agua en el xilema (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) (Figura 5, factores principales). El potencial del agua en el xilema de las plantas en el abatimiento de 700 mL en los tres niveles de CE de la solución Steiner fue mayor que el observado en las plantas con abatimiento de 350 mL en los mismo niveles de CE de la solución Steiner y la diferencia del potencial entre los dos abatimientos de la humedad fue muy similar a través de los tres niveles de CE (Figura 5, interacción entre factores). La comparación múltiple de media de tratamientos mostró no diferencia significativa (Figura 5) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Valores absolutos de potencial del agua en el xilema de 5 bar (500 kPa) bajo condiciones de baja demanda evaporativa (al amanecer) y de alrededor de 15 bar (1500 kPa) al medio día se presentan comúnmente en plantas de fresa bien regadas (Klamkowski y Treder, 2008; y Sol *et al.*, 2015), valores superiores a ese rango son indicadores de cierto grado de estrés hídrico. Estudios realizados por Ariza *et al.* (2021) en seis cultivares de fresa (Sabrina, Fortuna, Splendor, Primoris, Rabida y Rociera) mostraron que el potencial del agua en la hoja aumenta al incrementarse el déficit hídrico.

Bajo condiciones de alto contenido de agua en el sustrato y baja demanda evaporativa de la atmósfera el potencial del agua en las plantas de fresa cv Albión fue de 2.34 a 3.19 bar (234 a 319 kPa) (González-Fuentes *et al.*, 2016). En la fresa cv Camino Real con soluciones nutritivas de 1.4 a 1.7 dS/m, el potencial del agua en las plantas fue de 6 a 6.52 bar (600 a 652 kPa), valores similares a los observados en este estudio (Hernández-Valencia *et al.*, 2022). El potencial de agua en las plantas de fresa del cv Fukuoka S6 en invernadero y bien regadas fue 600 a 700 kPa (Yokoyama *et al.*, 2023). Estudios realizados por Sánchez *et al.* (2019) en plantas de fresa de los cv Sabrina, Camarosa, Albion y Monterey

mostraron que el potencial del agua en las se incrementa de 8 bar (800 kPa) en condiciones de riego oportuno hasta 21 bar (2 100 kPa) en las plantas sin riego. Resultados similares fueron reportados por Blanke y Cooke (2004) en plantas de fresa cv albion, donde el potencial del agua en las plantas se incrementó de 10 bar (1 MPa) a 20 bar (2 MPa) después de cuatro días con restricción de agua. Los tres niveles de la CE de la solución nutritiva evaluados en este estudio (0.50, 0.75 y 1.00 dS/m) no tuvieron efecto en el potencial del agua en las plantas, que se debió a que dichos valores de CE tuvieron un pequeño efecto en el potencial osmótico de la solución nutritiva. Sin embargo, valores más alto de CE debido a altas concentraciones salinas pueden tener un alto impacto en el potencial osmótico, incrementado el potencial del agua en las plantas (Arndt, 2008; Liu *et al.*, 2022).

Ni el abatimiento de la humedad del sustrato ni los tres niveles de la CE de la solución Steiner tuvieron efecto en el contenido relativo de clorofila (unidades spad) (Figura 6, factores principales) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Para el abatimiento de 700 mL el contenido relativo de clorofila de las hojas mostró una tendencia decreciente con el incremento de la CE de la solución Steiner, mientras que, para el abatimiento de 350 el contenido relativo de clorofila tiene una tendencia creciente cuando la CE aumenta de 0.50 ds/m a 0.75 ds/m y se mantiene aproximadamente igual cuando la CE aumenta a 1.00 ds/m (Figura 6. Interacción entre factores). La comparación múltiple de media de tratamientos mostró no diferencia significativa (Figura 6) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Las lecturas en unidades spad tienen una relación lineal directa con el contenido relativo de clorofila en las hojas (Palencia *et al.*, 2016) y el contenido relativo de clorofila es un indicador de la relación del grado de abastecimiento y disponibilidad de nutrientes (Juárez-Rosete *et al.*, 2007). Los resultados de este estudio indicaron que valores de la CE de la solución nutritiva de 0.50 a 1.00 dS/m no tuvieron efecto en el contenido relativo de clorofila en las hojas (unidades spad). Sin embargo, para valores mayores de CE de la solución nutritiva es posible tener valores diferentes. Al respecto, Hernández-Valencia *et al.*, (2022) observaron que el contenido relativo de clorofila decreció de 50.41 a

46.37 unidades spad, cuando la CE de la solución nutritiva aumento de 1.4 a 1.7 dS/m en plantas de fresa del cv Camino Real. Similarmente, estudios previos indican que, a mayor concentración de la solución nutritiva, los valores del contenido relativo de clorofila aumentan (Juárez-Rosete *et al.*, 2007).

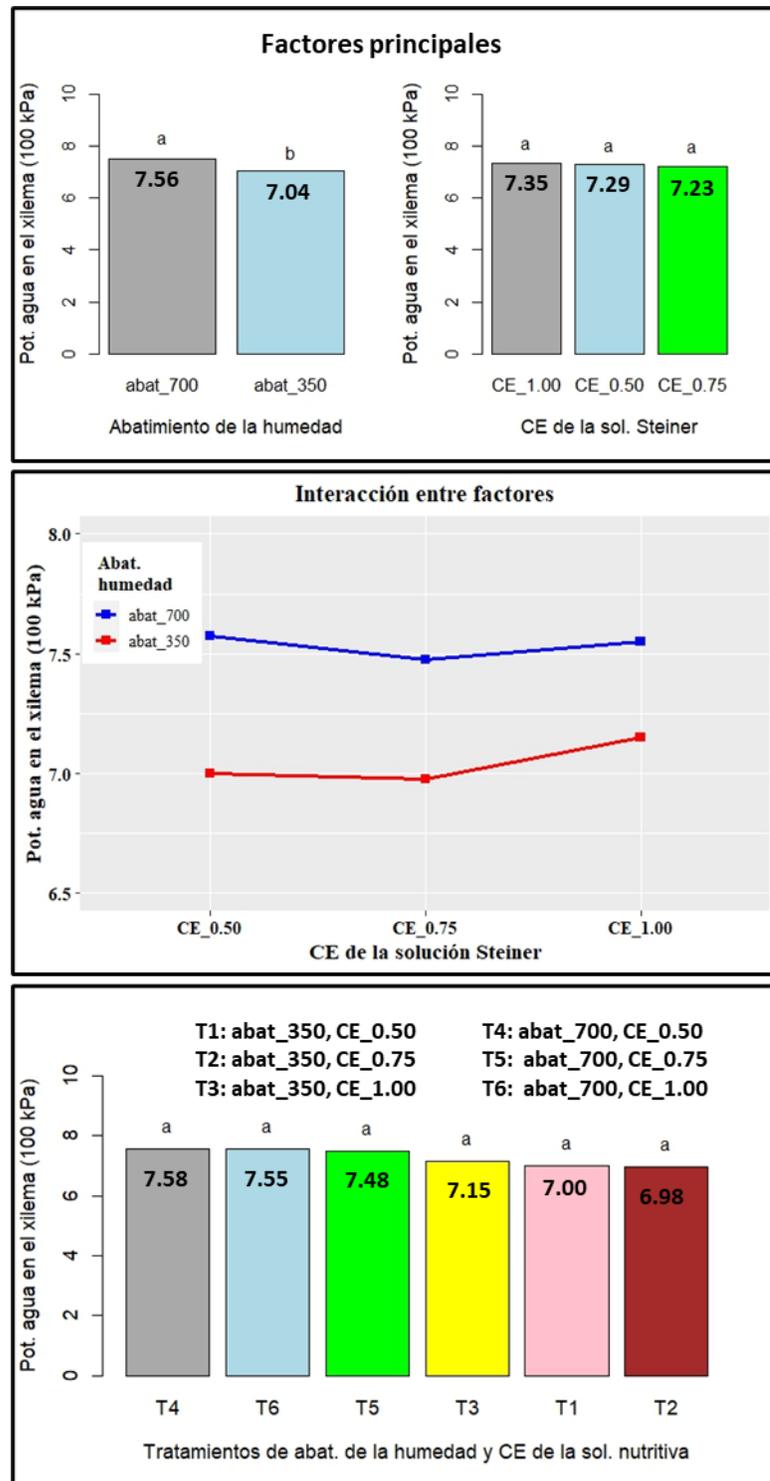


Figura 5. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el potencial del agua en el xilema del cultivos de fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

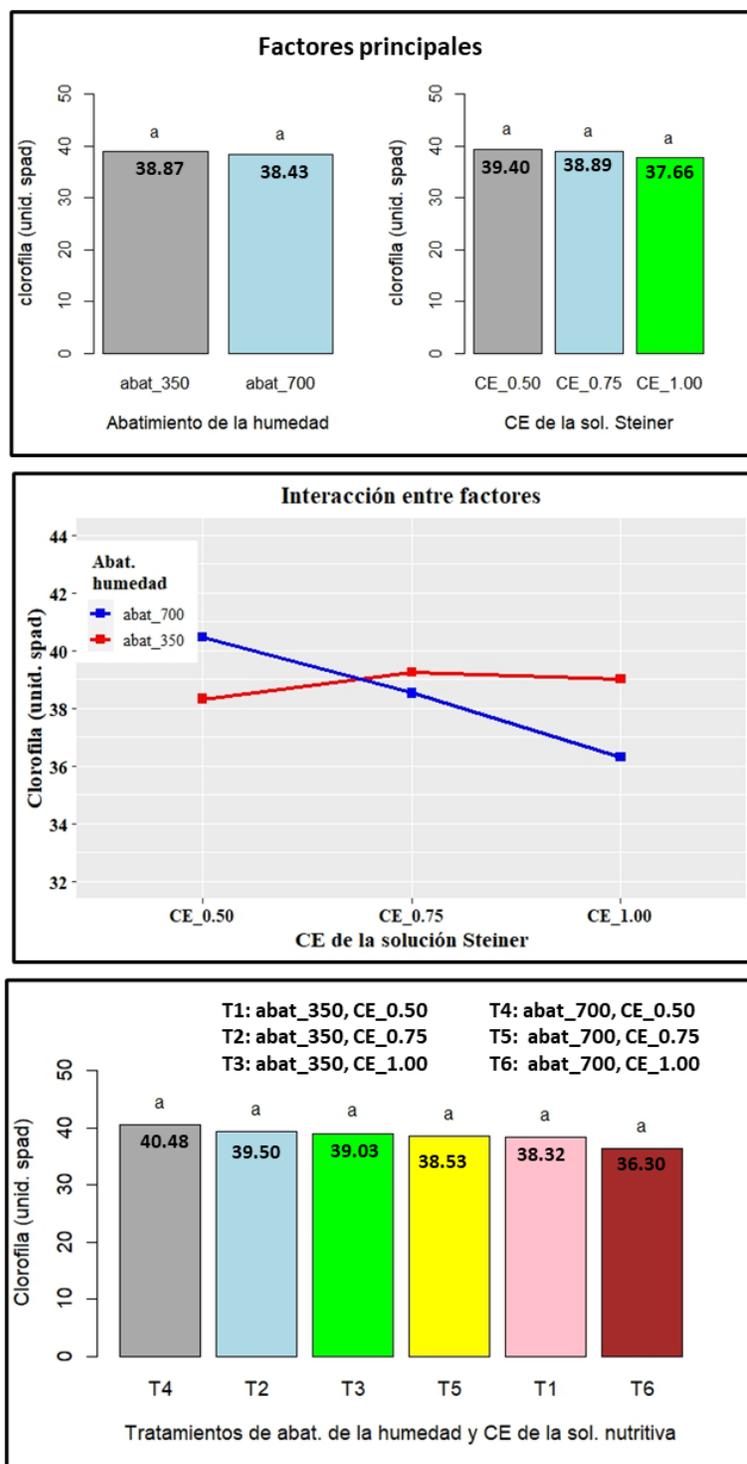


Figura 6. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el contenido relativo de clorofila de las hojas (unidades spad) del cultivos de fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Rendimiento y calidad de frutos

El rendimiento (g de fruto por planta) fue 29.54 % mayor en las plantas con abatimiento de 700 mL de agua para la aplicación del riego a partir del sustrato saturado, que las plantas con abatimiento de 350 mL (Figura 7, factores principales) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Esto indica mantener un alto nivel de agua en el sustrato puede afectar el rendimiento. Adicionalmente, el rendimiento fue igual en las CE de 0.75 y 0.50 ds/m y a su vez, mayor al observado en la CE de 1.00 ds/m (Figura 7, factores principales) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Esto también indica que valores altos de la CE de la solución Steiner pueden afectar el rendimiento de las plantas. Para el abatimiento de 350 mL, el rendimiento (g/planta) muestra una tendencia decreciente con el incremento de la CE de la solución Steiner. Pero para el abatimiento de 700 mL, el rendimiento tiene una tendencia creciente de 0.50 a 0.75 ds/m y decreciente de 0.75 a 1.00 ds/m (Figura 7, interacción de factores). Para el efecto combinado de abatimiento y CE, el rendimiento mayor se obtuvo en las plantas del tratamiento cinco (abatimiento de 700 mL y CE de 0.75) (Figura 7).

En este estudio el promedio de rendimiento observado fue de 397 g/plantas. En una investigación con tensiómetros en riego por goteo por pulsos con tratamientos a base de reposición de la humedad a tensiones de 15 y 30 kPa en planas de fresa de los cv Monterrey y Seascape, Cormier *et al* (2020), reportaron valores de rendimientos en el rango de 360 441 a 360 g/plantas. Para el mismo cultivar de Albión, en riego deficitario con disminuciones de 15 y 30 %, por debajo del 100% de la evapotranspiración de referencia se reportan rendimientos promedios de 260.66 g/planta, valores inferiores a los obtenidos en este estudio (Adak, 2019). Pero, trabajos realizados por Ahmed y Gad (2022) en fresa cv Festival en un sustrato de perlita y vermicompost con un nivel de riego de 100% de la evapotranspiración de referencia, obtuvieron un rendimiento de 789.67 g/planta valor mayor al obtenido en este estudio. Los resultados de este estudio indican que la CE por encima de 0.75 dS/m afectan el rendimiento del cultivar Albión. Sin embargo, González-Jiménez *et al* (2020), trabajando con solucione

de NaCl y sulfatos de cobre y magnesio con CE de hasta 2.7 dS/m no tuvieron efecto en el rendimiento de las plantas que de hasta 111.97 g/planta.

El rendimiento expresado en frutos por planta también fue mayor (21.25 %) para el abatimiento de 700 ml que el observado en el abatimiento de 35 mL (Figura 8, factores principales) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Con relación a la CE de la solución, el mayor rendimiento se observó en la CE de 0.75 ds/m, decrece a la CE de 0.50 ds/m y es menor en la CE de 1.00 ds/m (Figura 8, factores principales) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Para el abatimiento de 350 mL el rendimiento (frutos/planta) muestra una tendencia decreciente con el incremento de la CE de la solución, mientras que, para el abatimiento de 700 mL, el rendimiento tiende a aumentar cuando la CE aumenta de 0.50 a 0.75 ds/m y decrece cuando la CE aumenta a 1.00 ds/m (Figura 8, interacción entre factores). Para el efecto combinado de abatimiento y CE, el rendimiento (frutos/planta) mayor se obtuvo en las plantas del tratamiento cinco (abatimiento de 700 mL y CE de 0.75ds/m) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) y el menor en las del tratamiento tres (abatimiento de 350 y CE de 1.00 ds/m) (Figura 8). Estos resultados sugieren que valores altos de humedad del sustrato y de la CE de la solución afectan el rendimiento de las plantas (frutos por planta). Por el contrario, Ahmed y Gad (2022) observaron que con la aplicación del riego al 100% de la evapotranspiración de referencia a plantas de fresa cv Festival se obtiene el mayor rendimiento (31 frutos/planta), mientras que con el riego aplicado al 60% de la evapotranspiración de referencia se obtienen los rendimientos menores (17 frutos/planta). Esta diferencia probablemente se debe a que el nivel de estrés hídrico correspondiente al 60% de la evapotranspiración de referencia fue mucho mayor que el inducido con el abatimiento de 700 mL de la humedad del sustrato en este estudio. Estudios realizados en fresa, cv Festival indican que el rendimiento (11.7 a 13.5 frutos/planta) no se afectó por los diferentes niveles de CE de la solución nutritiva (2.0, 2.3, 2.5 y 2.7 dS/m) (González-Jiménez *et al.*, 2020)

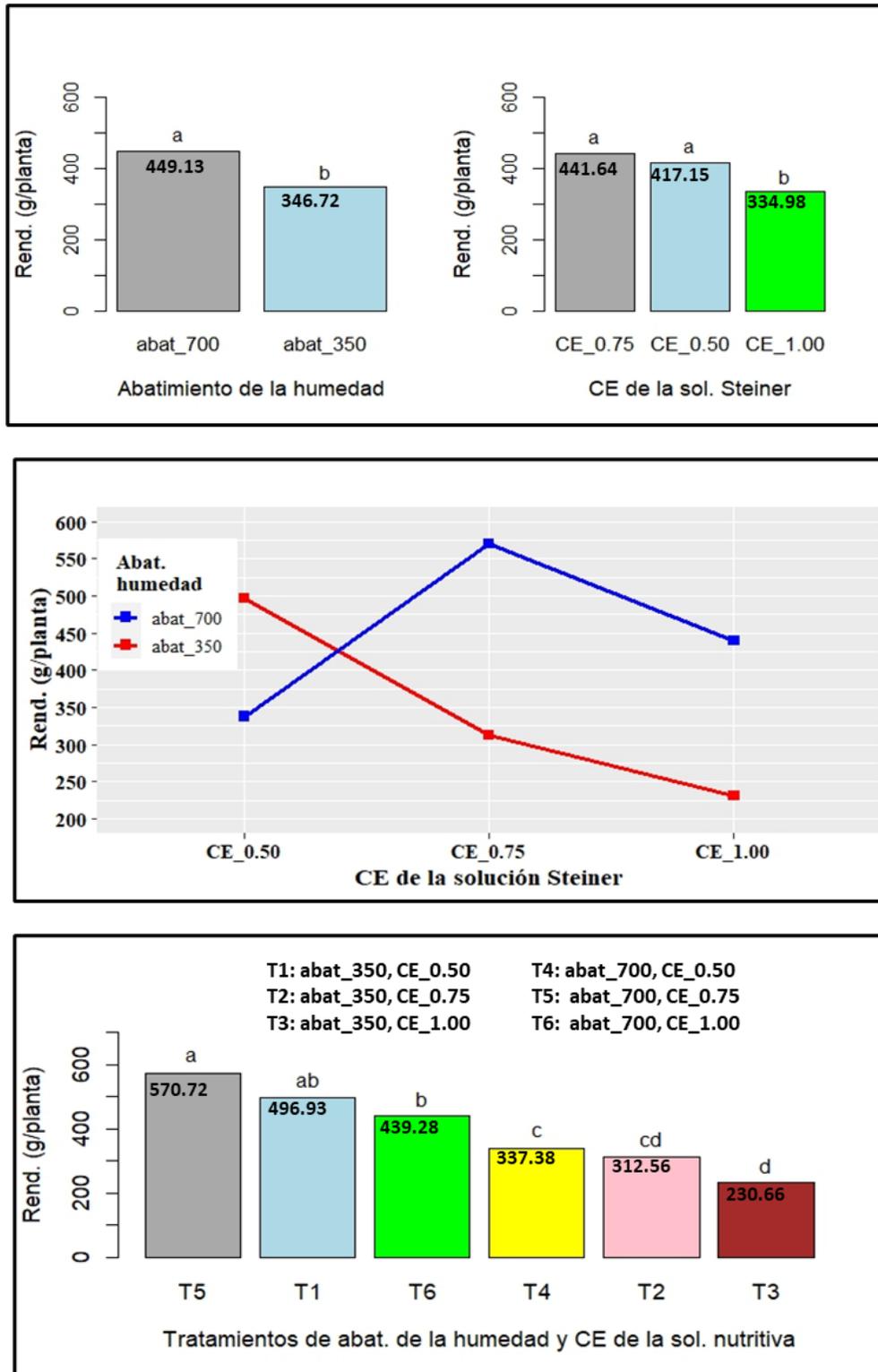


Figura 7. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el rendimiento (g/planta) del cultivos de fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

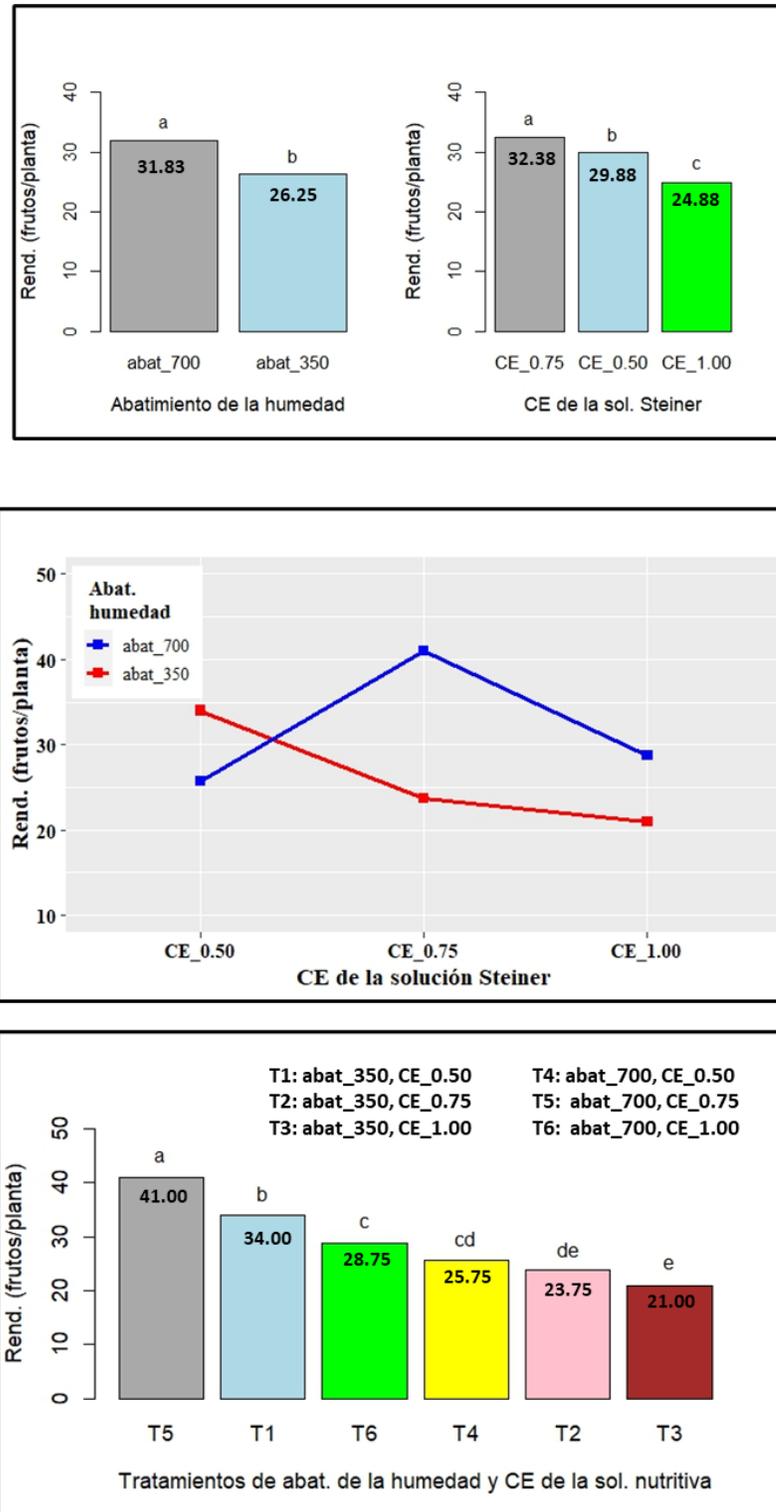


Figura 8. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el rendimiento (frutos/planta) del cultivos de fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

El peso promedio del fruto también fue mayor (14.41 %) en el abatimiento de 700 mL que en el abatimiento de 350 mL (Figura 9, factores principales) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Con relación a la CE de la solución, el peso del fruto fue mayor en la CE de 0.50 ds/m, disminuye en la CE de 0.75 ds/m y el menor peso de fruto se observa en la CE de 1.00 ds/m (Figura 9, factores principales). Para el abatimiento de 350 mL el peso del fruto muestra una tendencia decreciente con el aumento de la CE de la solución, mientras que, para el abatimiento de 700 mL el peso del fruto tiende a incrementarse de la CE de 0.50 ds/m a la de 0.75 ds/m y a decrecer a la de 1.00 ds/m (Figura 9, interacción entre factores). Estos resultados muestran que el abatimiento de 700 mL y la CE de 0.50 favorecen el peso del fruto y que la mayor humedad del sustrato y CE de la solución afectan el peso del fruto. Para el efecto combinado de abatimiento de la humedad y la CE de la solución, el mayor peso del fruto (g) se obtuvo en las plantas del tratamiento cinco (abatimiento de 700 mL y CE de 0.75ds/m) y el menor en las del tratamiento tres (abatimiento de 350 y CE de 1.00 ds/m) (Figura 9) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$)

Estudios previos en plantas de fresa de diferentes cultivares indican que a mayor nivel de riego el peso del fruto es más alto (Ahmed y Gad, 2022; Ameri *et al.*, 2012, Perin *et al.*, 2019). Estos resultados son diferentes a los obtenidos en este estudio. Esta diferencia se puede deber a que con el abatimiento de 700 mL de la humedad del sustrato no ocasiono un estrés mayor, mientras que el abatimiento de 350 mL pudo inducir un déficit de oxígeno en la zona de las raíces debido a la alta frecuencia de los riegos. Mientras que, en los estudios previos a pesar de la aplicación de los riegos al 100% de la evapotranspiración de referencia, la frecuencia de los riegos no fue muy alta. Para la fresa cv Festival diferentes valores de salinidad y CE de la solución no tuvieron efecto en el peso del fruto (7.74 a 8.51 g) que son inferiores a los de este estudio (González-Jiménez, *et al.*, 2020). Sin embargo, los resultados de este estudio indican que el peso promedio del fruto decrece a medida que se incrementa la CE de la solución nutritiva.

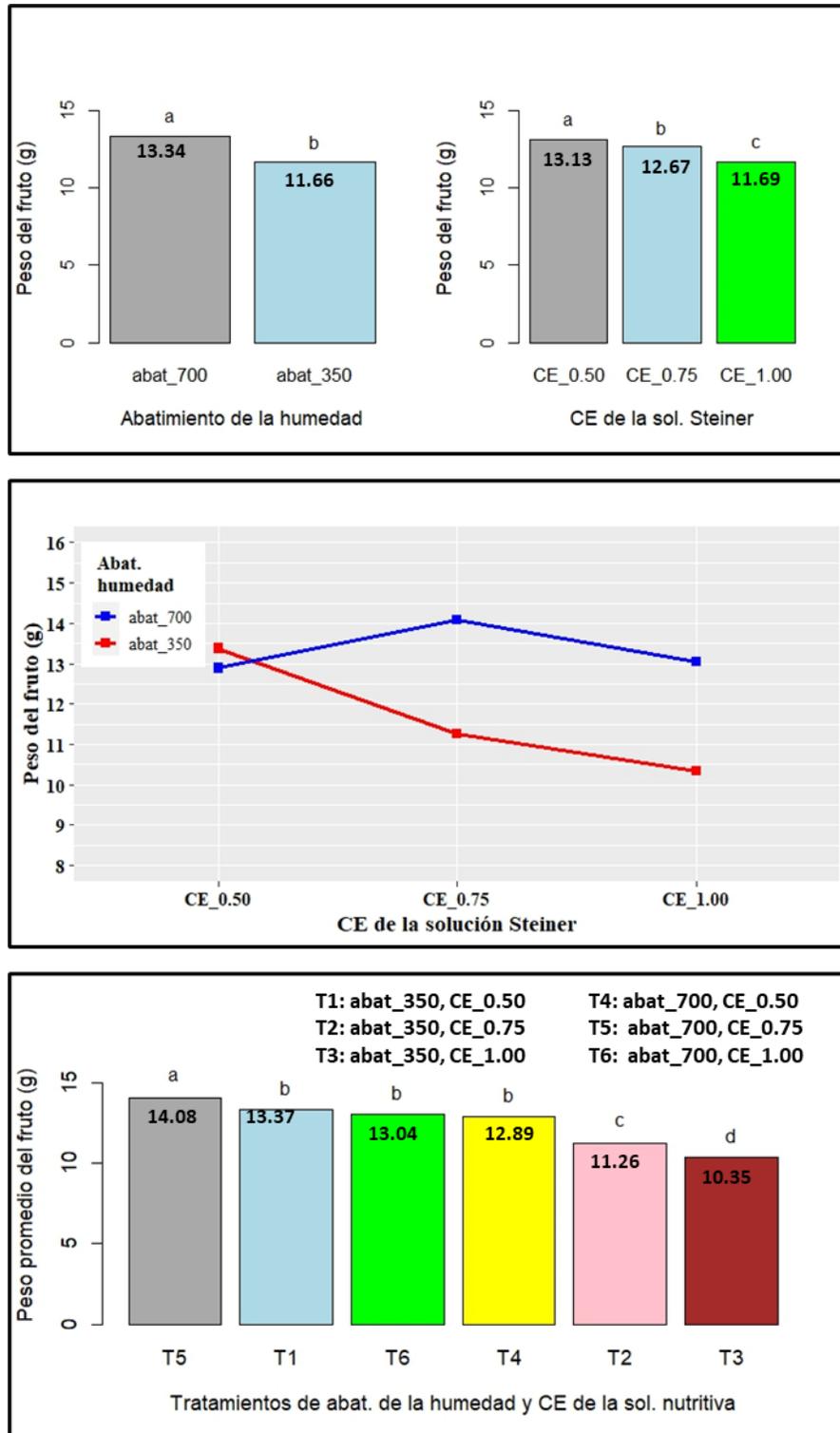


Figura 9. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el peso promedio del fruto (g) del cultivos de fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Los grados Brix en frutos (g/100g) fueron 8.73 % mayores en el abatimiento de 700 mL respecto al abatimiento de 350 mL (Figura 10, factores principales) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Con relación a la CE de la solución, el valor mayor de grados Brix se obtuvo con la CE de 0.75 ds/m. Los grados Brix fueron iguales para la CE de 1.00 y 0.50 ds/m y menores que la de la CE de 0.75 ds/m (Figura 10, factores principales) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Para el abatimiento de 350 mL los grados brix son muy similares en los tres niveles de CE de la solución; pero para el abatimiento de 700 mL los grados Brix se incrementan cuando la CE aumenta de 0.50 ds/m a 0.75 ds/m y decrecen cuando la CE crece a 1.00 ds/m (Figura 10, interacción entre factores). Los resultados indican que al mantener un nivel de CE y humedad del sustrato moderado se favorece el aumento de los grados Brix, mientras que una humedad del sustrato y CE de la solución Steiner alta afectan los grados Brix. Para el efecto combinado de abatimiento de la humedad y la CE de la solución, el valor mayor de los grados Brix (g/100g) se obtuvo en las plantas del tratamiento cinco (abatimiento de 700 mL y CE de 0.75ds/m) (Figura 10) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$)

Estudios previos indican que la salinidad afecta positivamente las concentraciones de sólidos solubles totales (brix), ácidos orgánicos y azúcares (Kader 2008 y Rouphael *et al* 2018). El valor óptimo de grados Brix para frutos rojos está entre 6 y 9 g/100 g. El promedio de grados Brix observados en este estudio fue de 10.40 g/100 g. valor ligeramente mayor al óptimo (Hancock, 1999). Para la fresa cv Festival los valores más altos de grados Brix se obtiene con los niveles de riego más altos (Ahmed y Gad, 2022). Para el mismo cultivar diferentes valores de salinidad de la solución no tuvieron efecto, estando en un rango de 7.96 a 8.5 g/100g (González-Jiménez *et al* 2020). El incremento de la concentración de cloruro de sodio en la solución nutritiva aumentó los grados brix y los ácidos totales en plantas de fresa de los cv Elsanta, Korona y Camarosa (Said *et al.*,2005; Keutgen y Pawelzik, 2007 y Galli *et al.*, 2016). Sin embargo, otros estudios reportan que los grados y los ácidos totales no cambian con el incremento de nivel de salinidad en el agua de riego (Khayyat *et al.*, 2007; Keutgen y Pawelzik, 2007 y Jamalian *et al.*, 2008).

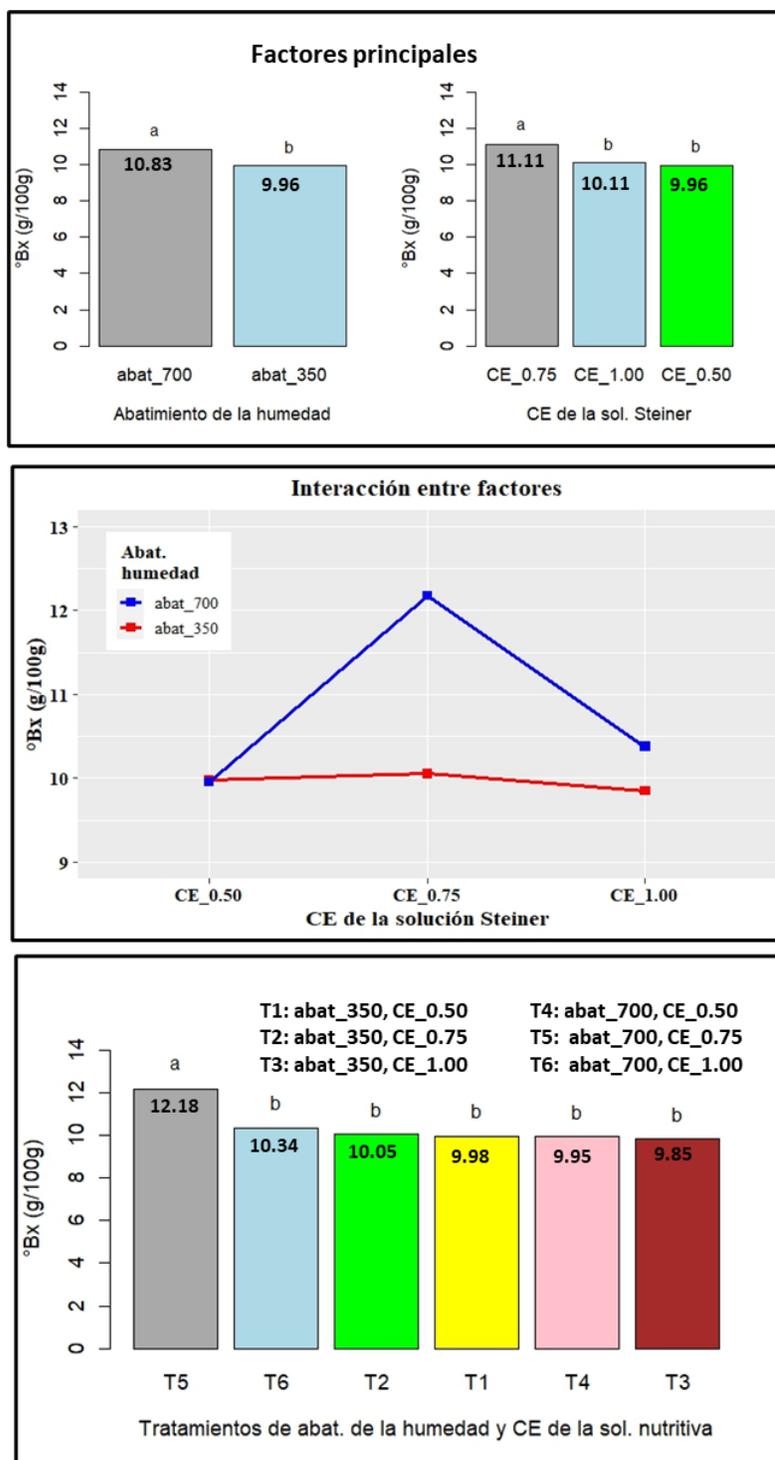


Figura 10. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en los grados brix del jugo de los frutos (g/100g) del cultivos de fresa cv Albión. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

El contenido de vitamina C en los frutos (mg/100g) fue mayor (22.56 %) en el abatimiento de la humedad de 700 mL que en el de 350 mL (Figura 11, factores principales) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Mientras que, para la CE de la solución fue mayor e igual entre sí para la CE de 0.50 y 0.75 ds/m y menor en la CE de 1.00 ds/m (Figura 11, factores principales) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Este resultado indica que el contenido de vitamina C se favorece con una menor humedad del sustrato y valor moderado o bajo de la CE de la solución Steiner. Para el abatimiento de la humedad del sustrato de 350 mL el contenido de vitamina C tiende a decrecer con el incremento de la CE de la solución, mientras que, para el abatimiento de 700 mL el contenido de vitamina C tiende a incrementarse de la CE de 0.50 ds/m a la de 0.75 ds/m y muestra un decremento apreciable cuando la CE aumenta a 1.00 ds/m (Figura 11, interacción entre factores). Para el efecto combinado de abatimiento de la humedad y la CE de la solución, el valor más alto de contenido de vitamina C (mg/100g) se obtuvo en las plantas del tratamiento cinco (abatimiento de 700 mL y CE de 0.75ds/m), y fue mayor que el resto de los tratamientos (Figura 11) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$)

El déficit de agua puede interrumpir procesos metabólicos en plantas de fresa, incluida la biosíntesis de vitamina C. El ácido ascórbico se sintetiza en las plantas a través de reacciones enzimáticas, donde si la disponibilidad de agua es limitada, las plantas pueden tener una reducción en la síntesis de vitamina C (Fenech *et al.*, 2019). Un estudio realizado por Medyouni *et al.*, (2021) muestra que el déficit hídrico incrementa el contenido total de carotenoides y vitamina C en los frutos de tomate. Sin embargo, Estudios realizados por Ahmed y Gad (2022) encontraron que a mayor nivel de aplicación del riego el contenido de vitamina C es mayor (78.26 mg/100g) y decrece con el nivel menor de aplicación del riego (70.83 mg/100g); valores menores al promedio observado en este estudio (94.1 mg/100g). En este estudio se observó que cuando la CE de la solución nutritiva aumenta de 0.75 a 1.00 dS/m, el contenido de vitamina C decrece. Resultados similares fueron observados por Hernández-Valencia *et al.* (2022) en plantas de fresa cv Camino Real, cuando el contenido de vitamina C

bajo de 61.5 a 56.25 mg/100g al aumentar la CE de la solución nutritiva de 1.4 a 1.7 dS/m.

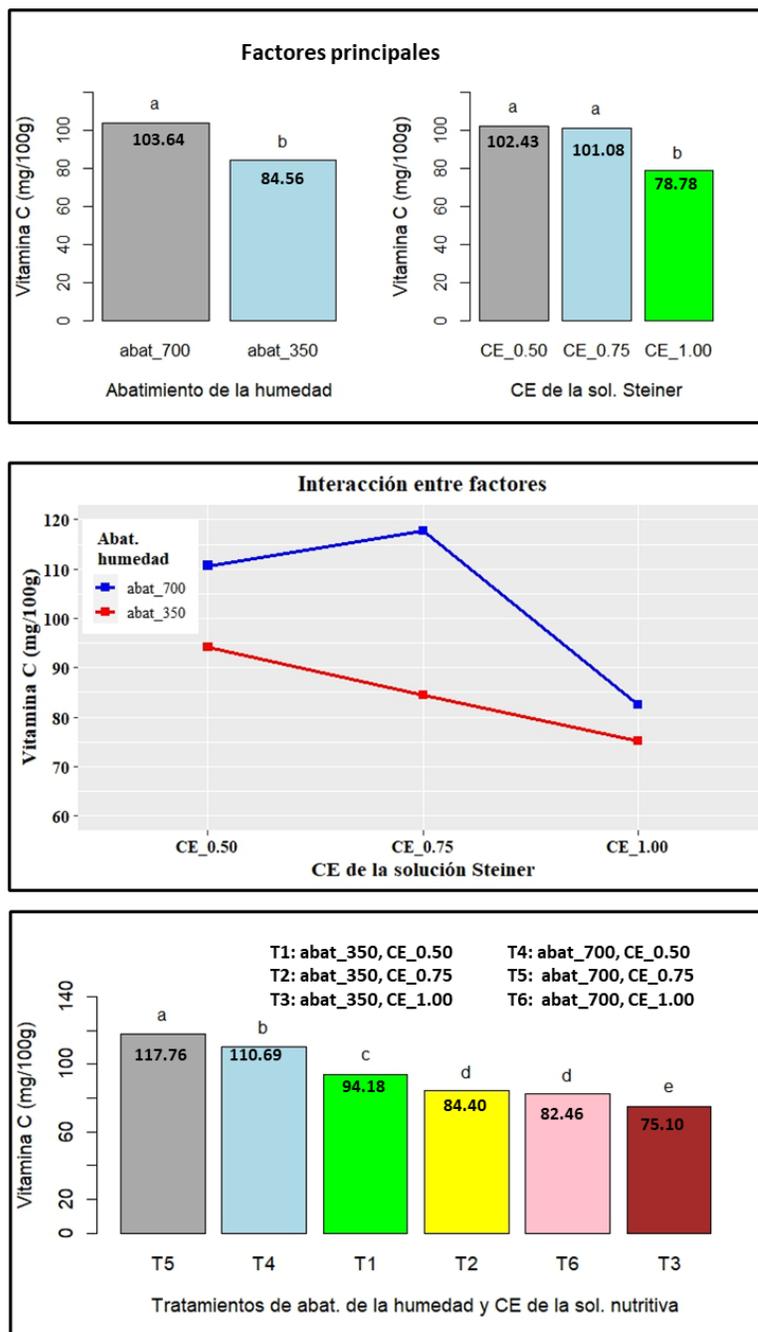


Figura 11. Efecto del abatimiento de la humedad del sustrato y la CE de la solución Steiner en el contenido de vitamina C del jugo de los frutos (mg/100g) del cultivos de fresa cv Albi3n. Medias con la misma letra son estadisticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$)

CONCLUSIONES

La evaluación del efecto de los factores principales mostro que, el mayor contenido de agua en el sustrato debido a la aplicación del riego al consumirse el 11.29% del volumen de agua del sustrato saturado (350 mL) resultó en plantas con mayor desarrollo foliar (peso seco de hojas), que el obtenido con la aplicación del riego al 24.19% del consumo del sustrato saturado (700 mL); y que, los tres niveles de CE (0.50, 0.75 y 1.00 dS/m) de la solución Steiner no tuvieron efecto en el peso seco de las hojas.

Ni el abatimiento de la humedad del sustrato ni los diferentes niveles de la CE de la solución nutritiva afectaron el contenido relativo de clorofila (unidades spad) de las hojas.

En el resto de las variables de respuesta evaluadas las plantas tuvieron mejor desarrollo en el abatimiento de la humedad del sustrato de 700 mL (24.19% de consumo del volumen del sustrato saturado), que probablemente se debió a que al mantener por mayor tiempo el sustrato con alto nivel de humedad se redujo la disponibilidad de oxígeno en la zona radicular. Los diferentes valores de la CE de la solución nutritiva no afectaron ni el volumen de la raíz ni el potencial del agua en el xilema.

Para el rendimiento expresado en g/planta y frutos/planta, peso del fruto, diámetro polar y ecuatorial del fruto, grados Brix y contenido de vitamina C, el análisis de los factores principales mostró que el valor de estas es mayor en el abatimiento de 700 mL y en la CE de 0.50 y 0.75 dS/m. La interacción entre los factores indica que para el abatimiento de 700 mL todas las variables muestran una tendencia creciente de la CE de 0.50 dS/m a la de 0.75 dS/m y decreciente de esta a 1.00 dS/m; mientras que, para el abatimiento de 350 mL siempre se observa una tendencia decreciente. Además, para dichas variables la combinación del abatimiento de 700 mL y la CE de 0.75 dS/m (T5) fue el de mayor valor.

REFERENCIAS

- Abad, M., P. Noguera y C.P. Carrion. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. pp. 299-354. En: Cadahía, C. (ed.). Fertirrigación Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales. Tercera edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 681 p.
- Adak, N.(2019). Efectos de las concentraciones de glicina betaína sobre las características agronómicas de la fresa cultivada en condiciones de riego deficitario. *Ecología aplicada e investigación ambiental* 2019 Vol.17 No.2 pp.3753-3767 ref.52.
- Adams, P. 2004. Aspectos de la nutrición mineral en cultivos sin suelo en relación al suelo. In: tratado de cultivo sin suelo. (Ed.). Urrestarazu, G. M. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 81-111 pp.
- Ahmed, A. F., Yu, H., Yang, X., & Jiang, W. (2014). Deficit irrigation affects growth, yield, vitamin C content, and irrigation water use efficiency of hot pepper grown in soilless culture. *HortScience*, 49(6), 722–728.
- Ahmed, M., Gad, D. (2022). Irrigation Management for Strawberry plants (*Fragaria x ananassa* Duch.) under Greenhouse Conditions. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 100(4), 581-590.
- Álvarez-Herrera, J.G., H.E. Balaguera-López y E. Chacón. 2010. Efecto de la aplicación de diversas láminas y frecuencias de riego en la propagación del romero (*Rosmarinus officinalis* L.). *Ingen. Invest.* 30(1), 86-90.
- Ameri, A., Tehranifar, A., Davarynejad, G. H. & Shoor, M. (2012). The effect of substrate & cultivar on quality of strawberry. *J. Biol. Environ. Sci.*, 6 (17): 181-188.
- Ariza, M. T.; Miranda, L.; Gómez-Mora, J. A.; Medina, J. J.; Lozano, D.; Gavilán, P.; Soria, C.; Martínez-Ferri, E. (2021). Yield and fruit quality of strawberry cultivars under different irrigation regimes. *Agronomy* 11: 261.
- Arndt, S.K. Growth, physiological characteristics and ion distribution of NaCl stressed *Alhagi sparsifolia* seedlings. *Chin. Sci. Bull.* 2008, 53, 169–176.
- Aydi, S.; Sassi Aydi, S.; Marsit, A.; El Abed, N.; Rahmani, R.; Bouajila, J.; Merah, O.; Abdelly, C. Optimizing Alternative Substrate for Tomato Production in Arid Zone: Lesson from Growth, Water Relations, Chlorophyll Fluorescence, and Photosynthesis. *Plants* 2023, 12, 1457.
- Bhat, R. and Hussain, S.2023. Effect of organic substrates on productivity and quality of strawberry, cv Chandler. *National Journal of Pharmaceutical Sciences* 2023; 3(1): 16-19.

- Blanke, MM, Cooke, DT Efectos de inundaciones y sequías sobre la actividad estomática, la transpiración, la fotosíntesis, el potencial hídrico y la actividad de los canales de agua en estolones y hojas de fresa. *Regulación de Crecimiento Vegetal* **42**, 153–160 (2004).
- Bonilla Correa, CR. (2011). Cartillas del Corredor Tecnológico Cultivando su Futuro, Universidad Nacional de Colombia, Corredor Tecnológico Agroindustrial; Bogotá.
- C. R. Juárez-Rosete^{1†}, M. N. Rodríguez-Mendoza¹, M.Sandoval-Villa¹ y A.Muratalla-Lúa. 2007.Comparación de tres sistemas de producción de fresa en invernadero. *TERRA Latinoamericana VOLUMEN 25 NÚMERO 1*, 2007. 17-23.
- Carpena, O., A.M. Rodríguez y M.J. Sarro. 1987. Evaluación de los contenidos minerales de raíz, tallo y hoja de plantas de tomate como índices de nutrición. *An. Edafol. Agrobiol.* 46: 117-127.
- Casaierra-Posada, F y García-Riaño N (2006) Producción y calidad de fruta en cultivares de fresa (*Fragaria* sp.) afectados por estrés salino. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 59 (2), 3527-3542.
- Choi, S.-H.; Kim, D.-Y.; Lee, S.Y.; Chang, M.-S. Growth and Quality of Strawberry (*Fragaria ananassa* Dutch. cvs. 'Kuemsil') Affected by Nutrient Solution Supplying Control System Using Drainage Rate in Hydroponic Systems. *Horticulturae* 2022, 8, 1059. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111059>.
- Colli-Cortés, Paola Magdalena, Sandoval-Villa, Manuel, Rodríguez-Mendoza, Nieves, Guerra-Ramírez, Diana (2020) La conductividad eléctrica de la solución nutritiva modifica rendimiento y calidad de frutos de *Physalis peruviana*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. vol. 11 n. 4.
- Cormier, J, Depardieu, C, Letourneau, G, Boily, C, Gallichand, J, Caron, J. Tensiometer-based irrigation scheduling and water use efficiency of field-grown strawberries. *Agronomy Journal*. 2020; 112: 2581– 2597.
- Cox, D. A. (2001). Growth, nutrient content, and growth medium electrical conductivity of poinsettia irrigated by subirrigation or from overhead. *J. Plant Nutrit.* 24(3):523-533.
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, Á., Bugarín-Montoya, R., Pineda-Pineda, J., Flores-Canales, R., Juárez-López, P., & Alejo-Santiago, G. (2014). CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL FOLIAR Y CRECIMIENTO DE CHILE SERRANO EN FUNCIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y EL SUSTRATO. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(3), 289-295.
- Darrow, G.M. (1966). *The strawberry: history, breeding and physiology*. New York: Holt, Rinehart & Winston.

- Deaquiz, Y.A, Álvarez-Herrera, J.G, Pinzón-Gómez, L.P.2014. Efecto de diferentes láminas de riego sobre la producción y calidad de fresa (*Fragaria* sp.) .REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS - Vol. 8 - No. 2 - pp. 192-205, julio-diciembre .
- Denaxa, N.-K.; Nomikou, A.; Malamos, N.; Liveri, E.; Roussos, P.A.; Papatotiropoulos, V. Salinity Effect on Plant Growth Parameters and Fruit Bioactive Compounds of Two Strawberry Cultivars, Coupled with Environmental Conditions Monitoring. *Agronomy* 2022, 12, 2279.
- Eurosemillas (2019) Albión. Principales características. <http://www.eurosemillas.com/es/variedades/fresa/item/1-albion.html>. Consultado el 12 de enero de 2023.
- FAOSTAT. 2019. The statistics division of the food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fenech, M., Amaya, I., Valpuesta, V., & Botella, M. A. (2019). Vitamin C content in fruits: Biosynthesis and regulation. *Frontiers in Plant Science*, 9(January), 1–21.
- G. YOKOYAMA, G., ONO, S., YASUTAKE, D., HIDAKA, K., and T. HIROTA, T.(2023). Diurnal changes in the stomatal, mesophyll, and biochemical limitations of photosynthesis in well-watered greenhouse-grown strawberries. *PHOTOSYNTHETICA* 61 (1): 1-12.
- Galli, V.; da Silva Messias, R.; Perin, E.C.; Borowski, J.M.; Bamberg, A.L.; Rombaldi, C.V. Mild salt stress improves strawberry fruit quality. *LWT Food Sci. Technol.* 2016, 73, 693–699.
- González Fuentes, José Antonio , Evans, Richard Y. , López-Cervantes, Rubén , Benavides-Mendoza, Adalberto , Cabrera De la Fuente Marcelino . Las propiedades físicas del sustrato de crecimiento afectan el desarrollo de la fresa cultivar 'Albion'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [en línea]. 2016, (17), 3607-3621[fecha de Consulta 6 de Junio de 2023]. ISSN: 2007-0934. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263149506018>
- González-Jiménez, S.L, Castillo-González, A.M, García-Mateos, M.R, Valdez-Aguilar, L.A, Ybarra-Moncada, C. y Avitia-García, E.2020. RESPUESTA DE FRESA CV. FESTIVAL A LA SALINIDAD. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 43 (1): 53 – 60.
- Guan, Wenjing; Haseman, Dean; Ingwell, Laura; Willden, Samantha; and Egel, Dan, "Strawberry Production in an Elevated Bench Growing System inside a High Tunnel in Southern Indiana" (2023). *Midwest Vegetable Trial Reports*. Paper 246.
- Hancock J. F. (1999) *Strawberries*. CABI Publishing. New York, USA. 237
- Hardigan, M. A.; Lorant, A.; Pincot, D. D. A.; Feldmann, M. J.; Famula, R. A.; Acharya, C. B.; Lee, S.; Verma, S.; Whitaker, V. M.; Bassil, N.; Zurn, J.; Cole, G. S.; Bird,

- K., Edger, P. P.; Knapp, S. J. (2021). Unraveling the Complex Hybrid Ancestry and Domestication History of Cultivated Strawberry. *Molecular Biology and Evolution*.
- Hernández Valencia, R. D., Juárez Maldonado, A., Pérez Hernández, A., Lozano Cavazos, C. J., Zermeño González, A., y González Fuentes, J. A. (2022). Influencia de fertilizantes orgánicos y del silicio sobre la fisiología, el rendimiento y la calidad nutracéutica del cultivo de fresa. *Nova Scientia*, 14(28), 1-16.
- Inzunza-Ibarra, Marco A., Villa-Castorena, María Magdalena, Catalán-Valencia, Ernesto A., López-López, Rutilo, & Sifuentes-Ibarra, Ernesto. (2018). Rendimiento de grano de maíz en deficit hídrico en el suelo en dos etapas de crecimiento. *Revista fitotecnica mexicana*, 41(3), 283-290.
- Jamalian, S.; Tehranifar, A.; Tafazoli, E.; Eshghi, S.; Davarynejad, G.H. Paclobutrazol application ameliorates the negative effect of salt stress on reproductive growth, yield, and fruit quality of strawberry plants. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 2008, 49, 203–208.
- Juárez-Rosete, C. R., J. A. Aguilar-Castillo, R. Bugarín-Montoya, C. A. Aburto-González, y G. Alejo Santiago. «Medios De Enraizamiento Y aplicación De Auxinas En La producción De plántulas De Fresa». *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, vol. 21, n.º 1, diciembre de 2019, pp. 1-13.
- Keutgen, A.; Pawelzik, E. Modifications of taste-relevant compounds in strawberry fruit under NaCl salinity. *Food Chem.* 2007, 105, 1487–1494.
- Khayyat, M.; Tafazoli, E.; Eshghi, S.; Rahemi, M.; Rajaei, S. Salinity, Supplementary Calcium and Potassium Effects on Fruit Yield and Quality of Strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 2007, 2, 539–544.
- Klamkowski, K.; Treder, W. Respuesta al estrés por sequía de tres cultivares de fresa cultivados en condiciones de invernadero. *J. Fruit Ornam. Planta Res.* 2008 , 16 , 179–188.
- Lam, V. P.; Kim, S. J. and Park, J. S. (2020). Optimizing the electrical conductivity of a nutrient solution for plant growth and bioactive compounds of agastache rugosa in a plant factory. *Agronomy*. 10(1):1-15.
- Lorenzo, P., E. Medrano and M. García. 1993. Irrigation management in perlite. *Acta Horticulturae* 335: 429-434.
- Martinetti, L.; Ferrante, A. and Quattrini, E. 2008. Effect of drip or subirrigation on growth and yield of *Solanum melongena* L. in closed systems with salty water. *Res. J. Biol. Sci.* 3(5):467-474.

- Martínez-Castillo, J. , Rodríguez-Mendoza, M.N., Sandoval-Villa, M., & José Luis García-Cué, J.L.(2022). Rendimiento y estado nutrimental de Kale (brassica oleracea) cv. Dwarf blue curled scotch en función de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 45 (2):193-202.
- Medyouni, I., Zouaoui, R., Rubio, E., Serino, S., Ahmed, H. Ben, & Bertin, N. (2021). Effects of water deficit on leaves and fruit quality during the development period in tomato plant. *Food Science and Nutrition*, 9(4), 1949–1960.
- Montesano, F.; Parente, A. and Santamaria, P. 2010. Closed cycle subirrigation with low concentration nutrient solution can be used for soilless tomato production in saline conditions. *Scientia Hort.* 124(3):338-344.
- Mouhu, k., t. Hytonen, K. Folta M. Rantanen, L. Paulin, P. Auvinen, y P. Elomaa, 2009. Identification of flowering genes in strawberry, a perennial SD plant. *BMC plant biology*. 9(1):122.
- Nakano, Y.; Sasaki, H.; Nakano, A.; Suzuki, K. and Takaichi, M. 2010. Growth and yield of tomato plants as influenced by nutrient application rates with quantitative control in closed rockwool cultivation. *J. Japan. Soc. Hort. Sc.* 79(1):47-55.
- Nakro A, Bamouh A, Bouzlama H, San Bautista A, Ghaouti L. The effect of potassium-nitrogen balance on the yield and quality of strawberries grown under soilless conditions. *Horticulturae*. 2023; 9(3):304.
- Olsson ME, Ekvall J, Gustavsson K-E, Nilsson J, Pillai D, Sjöholm I, et al. Antioxidants, Low molecular weight carbohydrates, and total antioxidant capacity in strawberries (*Fragaria* — ananassa): Effects of Cultivar, Ripening, and Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004;52(9):2490-8.
- Padayatt, S. J., Daruwala, R., Wang, Y., Eck, P. K., Song, J., Koh, W. S., & Levine, M. (2001). Vitamin C: from molecularactions to optimun intake. *Handbook of Antioxidants*.
- PALENCIA, P., MARTINEZ, F., BURDUCEA, M., OLIVEIRA, J. A., & GIRALDE, I.. (2016). EFECTOS DEL ENRIQUECIMIENTO CON SELENIO EN SPAD, CALIDAD DE LA FRUTA Y PARÁMETROS DE CRECIMIENTO DE PLANTAS DE FRESA EN UN SISTEMA DE CULTIVO SIN SUELO. *Revista Brasileira De Fruticultura*, 38(1), 202–212.
- Pastor, J. Utilización de sustratos en viveros. *Terra*. 2002, 17: 231-235.
- Pérez-Vazquez, Ema Luz, Gaucín-Delgado, Jazmín Monserrat, Ramírez-Rodríguez, Silvia Citlaly, Sariñana-Navarrete, María de los Ángeles, Zapata Sifuentes, Gerardo, & Zuñiga-Valenzuela, Elizabeth. (2020). Conductividad eléctrica de la solución nutritiva efecto en el rendimiento y la calidad nutracéutica de pimiento

- morrón. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 11(7), 1669-1675. Epub 29 de noviembre de 2021
- Perin, E. C., Messias, R. S., Galli, V., Borowski, J. M., Souza, E. R., Avila, L.O., Bamberg, A. L. & Rombaldi, C. V. (2019). Mineral content & antioxidant compounds in strawberry fruit submitted to drought stress. Food Sci. Technol. Campinas, 39 (1): 245-254.
- PIRE, R. & PEREIRA, A. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela: Propuesta metodológica. Bioagro. 2003, 15: 55-63.
- Preciado-Rangel P, Troyo-Diéguez E, Valdez-Aguilar LA, García-Hernández JL, Luna-Ortega JG. Interactive Effects of the Potassium and Nitrogen Relationship on Yield and Quality of Strawberry Grown Under Soilless Conditions_ 2020. Plants. 9(4):441.
- Ramírez Padrón Laura Cecilia, Ignacio Caamal Cauich, Verna Gricel Pat Fernández, David Martínez Luis, Alberto Pérez Fernández. (2020). Análisis de los indicadores de competitividad de las exportaciones de fresa mexicana. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas volumen 11 número 4.
- Reyes-Matamoros Jenaro, David Martínez-Moreno, Rolando Rueda-Luna, Tobías Rodríguez-Ramírez (2014) Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. Revista Iberoamericana de Ciencias. ISSN 2334-2501.
- Rodríguez-Cabello Jesús, Aymara Pérez-González, Loreilys Ortega-García Mayra Arteaga-Barrueta (2020) Estudio hidrosostenible en el cultivo del tomate, su efecto en el rendimiento y calidad del fruto. Cultivos Tropicales, vol. 41, núm. 2.
- Romero-Romano, C. O.; Ocampo-Mendoza, J.; Sandoval-Castro, E. y Tobar-Reyes, J. R. 2012. Fertilización orgánica-mineral y orgánica en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) bajo condiciones de invernadero. Ra Ximhai. 8(3):41-49.
- Rouphael, Y. and Colla, G. 2005. Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. Scientia Hort. 105(2):177-195.
- Rouphael, Y., Petropoulos, SA, Cardarelli, M. y Colla, G. (2018). La salinidad como eustrésor para mejorar la calidad de las hortalizas. *Scientia Horticulturae* , 234 , 361-369.
- Rouphael, Y.; Cardarelli, M.; Rea, E. and Colla, G. 2008. The influence of irrigation system and nutrient solution concentration on potted geranium production under various conditions of radiation and temperature. Scientia Hort. 118(4):328-337.

- Rouphael, Y.; Cardarelli, M.; Rea, E.; Battistelli, A. and Colla, G. 2006. Comparison of the subirrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and nonsaline nutrient solutions. *Agric. Water Manag.* 82(1):99-117.
- Saied, A.S.; Keutgen, A.J.; Noga, G. The influence of NaCl salinity on growth, yield and fruit quality of strawberry cvs. "Elsanta" and "Korona". *Sci. Hortic.* 2005, 103, 289–303.
- Sánchez, S. Grez, J. Contreras, E. | Gil, P.M., Gambardella, M. (2019) Respuesta fisiológica y susceptibilidad de los cultivares de fresa a la podredumbre carbónica causada por *Macrophomina Phaseolina* en condiciones de estrés por sequía'. Revista de Investigación de Berry , vol. 9, núm. 2, págs. 165-177.
- Sánchez-Del, C. F.; Moreno, P. E. C. and Contreras, M. E. 2012. Developmen of alternative comercial soilless production systems I. Tomato. *Acta Hortic.* 947:179-187.
- Santamaría, P.; Campanile, G.; Parente, A. and Elia, A. 2003. Subirrigation vs. drip-irrigation: effects on yield and quality of soilless grown cherry tomato. United Kingdom. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 78(3):290-296.
- Santos, B. M. and Torres-Quezada, E. A. 2018. Irrigation and fertilization. In: tomatoes. 2ndEdition, (Ed.). Heuvelink, E. CAB International, Wallingford, UK. 180-206 pp.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022) Cierre de la producción agrícola. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> fecha de consulta 18 de septiembre de 2022.
- Smith GS, Johnston CM, Cornforth IS (1983) Comparison of Nutrient Solutions for Growth of Plants in Sand Culture. *New Phytol.* 94: 537-548.
- Sonneveled, C. and Voogt, W. 2009. Substrates: chemical characteristics and preparation. In: plant nutrition of greenhouse crops. Sonneveld, C. and Vogt, W. (Eds.). Springer. 227-252 pp.
- Steiner AA (1961) A Universal Method for Preparing Nutrient Solutions of a Certain Desired Composition. *Plant Soil.* 15: 134-154.
- Steiner AA (1968) Soilless culture. En Proc. 6th Colloq. **Int. Potash Inst.** Florence, Italy. pp. 324-341.
- Steiner AA (1984) The Universal Nutrient Solution. En Proc 6th Int. **Cong.** Soilless Cult. pp. 633-649.

- U.S. National Plant Germplasm System. (2006). Genus: *Fragaria* L. <https://npgsweb.arsgrin.gov/gringlobal/taxonomygenus.aspx?id=4744>
- Urrestarazu, G. M. 2015. Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía. (Ed.). Mundi-Prensa. Madrid, España. 267 p.
- Van Os, E. A. 1999. Closed soilless growing systems: a sustainable solution for Dutch greenhouse horticulture. *Water Sci. Technol.* 39(5):105-112.
- Velasco, H. E.; Nieto, Á. R. y Navarro, L. E. R. 2012. Cultivo del tomate en hidroponía e invernadero. Tercera edición, Primera reimpresión. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, Estado de México. 126 p.
- Wu, M. and Kubota, C. 2008. Effect of high electrical conductivity of hydroponic nutrient solution and its application timing on lycopene, chlorophyll and sugar concentration of hydroponic tomatoes during ripening. *Sci. Hortic.* 116(2):122-129.