

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**EFFECTO DE LA TENSIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUSTRATO EN EL
RENDIMIENTO Y CALIDAD EN UN CULTIVO DE FRESA**

Por:

KAREN NATALY GONZÁLEZ TOVAR

T E S I S

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

**EFFECTO DE LA TENSIÓN DE HUMEDAD DEL SUSTRATO EN EL RENDIMIENTO Y
CALIDAD DE FRUTOS EN UN CULTIVO DE FRESA**

Por:

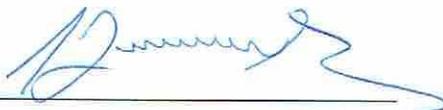
KAREN NATALY GONZÁLEZ TOVAR

T E S I S

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

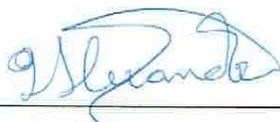
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Alejandro Zermeño González

Asesor principal



Dr. José Alexander Gil Marín

Asesor



Dr. Luis Samaniego Moreno

Asesor



M.C. Pascual Ervidan Pérez Díaz

Asesor

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

**EFFECTO DE LA TENSIÓN DE HUMEDAD DEL SUSTRATO EN EL RENDIMIENTO Y
CALIDAD DE FRUTOS EN UN CULTIVO DE FRESA**

Por:

KAREN NATALY GONZÁLEZ TOVAR

T E S I S

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por el H. Jurado Examinador:



Dr. Alejandro Zermeño González

Asesor principal



Dr. José Alexander Gil Marín

Asesor



Dr. Luis Samaniego Moreno

Asesor



M.C. Pascual Ervidan Pérez Díaz

Asesor



M.C. Sergio Sánchez Martínez

Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2025

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir la 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 anteriormente sin hacer referencia al documento original (autoplagio), comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propio, 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 al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será sancionado por las autoridades correspondientes.

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

Pasante



KAREN NATALY GONZÁLEZ TOVAR

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por permitirme ser partícipe de esta hermosa institución, la que me permitió crecer profesionalmente gracias a los conocimientos de esta gran comunidad.

A cada uno de los profesores del departamento de riego y drenaje quienes me brindaron su conocimiento paciente e incondicionalmente durante mi formación profesional.

Al Dr. Alejandro Zermeño González quien me brindó un gran apoyo dentro de toda mi estancia universitaria, y sobre todo me permitió ser parte de esta investigación, guiándome en cada una de las fases. Por la paciencia, dedicación y conocimientos que fueron parte importante para culminarlo de manera exitosa.

Al M.C. Ervidan Pérez Díaz por la grata amistad que me brindó y sobre todo por el gran apoyo que me dio en cada momento, la paciencia y disposición en todo este proceso y también al Dr. José Alexander Gil Marín, ser parte de comité de asesores, por las aportaciones y consejos que fueron de ayuda durante este tiempo.

A mis amados padres Abel González Morales y Concepción Tovar Vázquez quienes fueron el motor principal para la realización de este gran proyecto que fue mi carrera universitaria. Les agradezco profundamente por brindarme todo el apoyo y amor a lo largo de estos años, por permitirme tener mis propias experiencias y estar presente en cada uno de mis logros. En especial a mi madre por tener plena confianza en mí.

A Carlos Alberto Ramírez Cruz y Amalia Galindo Alcántara, les doy infinitas gracias por estar presentes en mi vida, apoyarme en todos los proyectos, acompañarme en mis éxitos y ser parte de mi gran inspiración. Los amo muchísimo.

A Heriberto, Joel y Alex, mis primeros amigos en la carrera, con quienes formé un gran equipo de trabajo, les agradezco profundamente por el apoyo incondicional que me han brindado hasta ahora y la confianza que depositaron en mí para lograr mis proyectos

A Angeles Viviana, Juan Fernando y Arely Lugo, les agradezco por ser parte de mi vida. Gracias por todos esos momentos buenos y malos que compartieron a mi lado, por hacerme sentir en casa y darme siempre los ánimos que necesitaba.

A Karina, por estar en mis momentos más estresantes y a pesar de las dificultades que hemos enfrentado sigue a mi lado, gracias por todas las gratas experiencias que hemos compartido, tanto académicas como laborales, y por exigirme a ser mejor en todos los aspectos.

A todas aquellas personas que no menciono en este escrito, pero tienen un espacio importante en mi vida, quiero expresarles mi más sincero agradecimiento por haber sido parte fundamental en mi formación, tanto profesional como personal. Gracias por brindarme su apoyo incondicional y por la confianza depositada en mí.

DEDICATORIAS

A Dios

Por permitirme existir y tener todas estas experiencias significativas para mí, por todas las bendiciones que he recibido en la trayectoria de mi vida y simplemente por permitirme vivir este hermoso momento.

A mis queridos padres

Abel González Morales y Concepción Tovar Vázquez

Quiero dedicar este logro a ustedes, quienes han sido mi mayor inspiración para poder culminar esta gran etapa de mi vida. Siempre me han brindado su apoyo, consejos y dedicación. En especial, les agradezco por animarme a mudarme a otro estado para cumplir mi gran sueño de tener una carrera profesional. Les doy infinitas gracias por el respaldo moral a lo largo de estos años y los ánimos en los momentos más difíciles, sobre todo por creer en mí siempre.

A mis amados hermanos

Angel González Tovar

Mi querido hermano mayor, quien fue mi principal fuente de motivación para alcanzar este gran momento de mi vida. Su presencia, tanto en la infancia como en este trayecto, fue fundamental para lograr mis objetivos.

Jeovanny Abel González Tovar

Por creer siempre en mí, brindarme su apoyo incondicional cuando lo necesitaba, abrirme las puertas de su hogar en los momentos más difíciles y por estar presente en cada uno de mis logros.

Leonel Eduardo González Tovar

Mi dulce hermano menor, cuyo cariño y apoyo han sido fundamentales como fuente de inspiración. Le agradezco por haberse mudado a la misma ciudad que yo, por cuidarme y procurar mi bienestar cada día, por participar de cada momento significativo y no perderse ninguno de mis logros. Espero que este gran paso también sea motivo para impulsar su desarrollo profesional. Quisiera ser una inspiración para que alcance sus metas.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN	1
HIPOTESIS.....	5
OBJETIVO GENERAL	5
REVISIÓN DE LITERATURA	6
Origen	6
Clasificación taxonómica.....	6
Principales países productores de fresa.....	7
Estados productores de fresa en México.....	10
Países a los que México exporta fresa indicar cifras en toneladas y beneficio económico	12
Importancia económica y social del cultivo de fresa en México	12
Requerimientos de agua por el cultivo de fresa para óptimos rendimientos.....	12
Estudios previos que mencionen el efecto de diferentes niveles de tensión de la humedad del sustrato o diferentes niveles de estrés hídrico en el crecimiento y rendimiento de la fresa y/o de otros cultivos.	13
MATERIALES Y MÉTODOS	16
Lugar del estudio.....	16
Características del invernadero	16
Contenedores y sustrato utilizado	16
Cultivar utilizado	18
Tratamientos y diseño estadístico experimental.....	18
Control fitosanitario	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
Volumen de agua consumido por las plantas	22
Volumen promedio del fruto	24
Peso promedio de frutos.....	25
Rendimiento (Frutos por planta).....	27
Rendimiento (gramos de fruta por planta)	29

Grados Brix.....	31
Contenido de vitamina C	32
CONCLUSIONES.....	34
BIBLIOGRAFÍA.....	35

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag
Tabla 1. Clasificación taxonómica de la fresa (<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i>).	7

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Banco de pruebas para determinar la relación entre el volumen de agua extraído del sustrato para diferentes valores de tensión aplicada.	17
Figura 2. Plantas de fresa (cv. Santa Andreas) en contenedores con sustrato compuesto de 70% de turba y 30 % de perlita.	20
Figura 3. Agua consumida por las plantas (L) para cada nivel de tensión de la humedad del sustrato para la aplicación de los riegos	23
Figura 4. Volumen promedio del fruto de las plantas (cm ³) que se regaron cuando la tensión de la humedad del sustrato fue de 10 y de 20 cm.	24
Figura 5. Peso promedio del fruto de las plantas (g) que se regaron cuando la tensión de la humedad del sustrato fue de 10 y de 20 cm.	26
Figura 6. Rendimiento (frutos por planta) cuando los riegos se aplicaron cuando la tensión de humedad del sustrato fue de 10 y de 20 cm.	28
Figura 7. Rendimiento (gramos por planta) cuando los riegos se aplicaron cuando la tensión de humedad del sustrato fue de 10 y de 20 cm.	30
Figura 8. Grados brix de los frutos de las plantas (%) que se regaron cuando la tensión de la humedad del sustrato fue de 10 y de 20 cm.	31
Figura 9. Contenido de vitamina C de los frutos de las plantas que se regaron cuando la tensión de la humedad del sustrato fue de 10 y de 20 cm.	33

RESUMEN

La reposición de agua y nutrientes de plantas que se cultivan en sustratos bajo invernadero, se realiza sin el conocimiento del contenido de agua en el sustrato o la tensión de humedad correspondiente, esto puede resultar en pérdidas por percolación excesiva o la reposición insuficiente de agua y nutrientes. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación del riego y nutrientes hasta que la humedad del sustrato fuera 10 y 20 cm de tensión, en el rendimiento y calidad de frutos de plantas de fresa, cv, San Andreas. Las plantas crecieron en contenedores de PVC de 19.4 cm de diámetro por 20 cm de altura (5.91 L) con un sustrato compuesto de 70 % turba y 30 % perlita, con base a volumen. En los riegos se aplicó una solución Steiner completa con una CE de 1.0 dS/m. Se usó un diseño completamente al azar de dos tratamientos (10 y 20 cm) con cuatro repeticiones. Con la aplicación de los riegos a 20 cm de tensión de la humedad se ahorra el 16.32 % de agua y nutrientes que se aplican a las plantas durante su ciclo de crecimiento. El estrés hídrico inducido al regar cuando la humedad del sustrato es 20 cm redujo (19.04 %) el rendimiento en gramos por planta, pero solo tuvo un ligero efecto en la reducción del volumen de fruto, peso del fruto, y frutos por planta. Sin embargo, con el estrés hídrico inducido a 20 cm de tensión se incrementó (11.86 %) los grados Brix, y no afectó el contenido de vitamina C de los frutos.

Palabras clave: Sustrato, tensión de humedad, turba, fresa, (*Fragaria × ananassa*), Solución Steiner.

ABSTRACT

The replenishment of water and nutrients of plants growing in a substrate at greenhouses is made without knowledge of the water content in the substrate or the corresponding moisture tension that can result in losses due to excessive percolation or insufficient replenishment of water and nutrients. This study aimed to evaluate the effect of applying irrigation and nutrients until the substrate moisture tension was 10 and 20 cm, on the yield and quality of the fruits of strawberry plants, cv, San Andreas. Plants were grown in PVC containers of 19.4 cm in diameter by 20 cm in height (5.91 L) with a substrate composed of 70% peat Moss and 30% perlite, based on volume. A complete Steiner solution with an EC of 1.0 dS/m was applied for irrigation. A completely randomized design of two treatments (10 and 20 cm) with four replications was used for the study. By applying irrigation at 20 cm of humidity tension, 16.32% of water and nutrients applied to the plants during their growth cycle can be saved. Water stress induced by applying irrigation when the substrate moisture tension was 20 cm, reduced (19.04%) the yield in grams per plant but only slightly affected the reduction of fruit volume, fruit weight, and fruits per plant. However, with water stress induced at 20 cm of tension, the Brix degrees were increased (11.86%), and the fruits' vitamin C content was unaffected.

Key words: Substrate, moisture tension, peat Moss, strawberry, (*Fragaria × ananassa*), Steiner Solution.

INTRODUCCIÓN

La demanda de fresas mundialmente es alta debido a sus atractivos frutos y características nutricionales (Bayat *et al.*, 2019). México es un productor importante en el mercado mundial de bayas, particularmente en la producción de fresas. El país se encuentra entre los tres principales productores a nivel mundial, con un porcentaje importante de su producción dedicada a las exportaciones, principalmente a Estados Unidos (F. Wu *et al.*, 2018)

En la producción a nivel mundial, China ocupó el primer lugar en 2021, con 3,331,797 t, aportando 26.23% de la producción mundial; Estados Unidos de América, con 1,211,090 t, siendo el segundo productor con 9.53%; Turquía, con 669,195 t, con 5.27%; Egipto, con 663,659 t, equivalente a 5.22%; y México, con 542,891, equivalente a 4.27%, que en conjunto contribuyen con una producción de 6,418,631.54 t equivalente al 50.53% del volumen total a nivel mundial. (FAOSTAT, 2021)

Los principales países productores de fresas son: China, Estados Unidos de América, México, Turquía, España y Egipto, que en conjunto contribuyen con más del 70 % del volumen total de producción mundial (Quintero-Ramírez *et al.*, 2020; Ramírez Padrón *et al.*, 2020).

En América del Sur, Brasil y Colombia son importantes productores de fresas produciendo un total de 290,052.2 t, siendo Brasil el principal productor con un total de 198,773.70 t, otros países como Argentina, Chile, Ecuador, Perú y Venezuela también contribuyen al cultivo de fresas, aunque con niveles de producción variables debido a limitaciones tecnológicas con un total de 131,451.42 (FAOSTAT, 2021)

La producción de fresa en México es una actividad agrícola importante, con varios estados que contribuyen a la producción del país. Los principales estados productores de fresa incluyen Michoacán, Sinaloa, Guanajuato, Baja California, Jalisco, Puebla y Tlaxcala. Cada una de estas regiones tiene características únicas que las hacen aptas para el cultivo de fresa, y enfrentan distintos desafíos relacionados con plagas y enfermedades. (Vergara-Pineda *et al.*, 2023).

Los principales destinos para las exportaciones mexicanas de fresa son Estados Unidos y Canadá, siendo Estados Unidos quien es el importador dominante. Esta dinámica exportadora se apoya en las ventajas competitivas de México en la producción y exportación de fresas.(Hernandez Soto *et al.*, 2023)

El cultivo de fresas es económicamente importante para México debido a su capacidad para sostener pequeñas granjas familiares y absorber mano de obra familiar, al mismo tiempo que contribuye a la economía agrícola más amplia a través de la producción a gran escala. La demanda de mano de obra y los ingresos generados por la producción de fresa están influenciados por diversos factores, entre ellos la selección de cultivares, los métodos de producción, las preferencias de los consumidores y la dinámica del mercado. (Michalski Lambrecht *et al.*, 2020)

La producción de fresas es intensiva en mano de obra para la siembra, mantenimiento y cosecha. Esto crea una demanda constante de mano de obra, particularmente en regiones donde las fresas son un cultivo importante (Soper, 2020)

El manejo del agua es fundamental para obtener rendimientos óptimos en el cultivo de fresas. Estudios previos indican que el agua, junto con el nitrógeno, el fósforo y el potasio, afectan significativamente el rendimiento y la calidad de las fresas (Cao *et al.*, 2023; Y. Wu *et al.*, 2020).

El requerimiento óptimo de agua para las fresas en un ambiente controlado es de aproximadamente 12 a 13.5 litros por planta, para rendimientos superiores a 110 gramos por planta (Y. Wu *et al.*, 2020).

Además, las estrategias de ahorro de agua son vitales debido a la disminución de la disponibilidad de agua en las principales áreas de producción de fresas, lo que hace hincapié en la importancia de seleccionar cultivares con un menor consumo de agua y, al mismo tiempo, mantener la productividad para garantizar una producción sostenible y económicamente viable (Kapur *et al.*, 2018). El manejo adecuado del agua para mantener la humedad del suelo disponible para las plantas es esencial para promover un crecimiento saludable de las fresas, mejorar la calidad y reducir la aparición de problemas como los frutos huecos (Ariza *et al.*, 2021).

Estudios en ambientes mediterráneos muestran que el riego deficitario (50% del riego completo) resulta en una reducción significativa en el rendimiento de fruta y el crecimiento vegetativo en las fresas. No obstante, ciertos genotipos, como la línea criada '33' mantienen mayor actividad fotosintética y rendimiento bajo estrés hídrico, lo que indica la importancia de seleccionar genotipos tolerantes a la sequía (Y. Wu *et al.*, 2020).

El estrés hídrico afecta parámetros fisiológicos como la fotosíntesis, la conductancia estomática y el potencial hídrico de las hojas, que son cruciales para el crecimiento y rendimiento de las plantas. Estos parámetros disminuyen bajo estrés hídrico severo, lo que lleva a una reducción del vigor de la planta lo que puede conducir a cambios en la anatomía de las hojas, reducción del área foliar y longitudes más cortas de los brotes y raíces, lo que afecta aún más la capacidad de la planta para producir frutos (Kapur *et al.*, 2023; Thokchom y Hazarika, 2022).

Algunos estudios muestran consistentemente que la reducción del suministro de agua conduce a una disminución en el rendimiento de fresa. Por ejemplo, bajo regímenes de riego deficitario (DI) y secado parcial fijo de raíces (FPRD), los valores de rendimiento disminuyeron al reducirse la disponibilidad de agua, observándose los rendimientos más bajos en niveles de riego del 40% (Kaman *et al.*, 2023a, 2023b). De igual manera, un estudio sobre diferentes cultivares de fresa encontró que una reducción del 40% en el suministro de agua redujo significativamente el crecimiento y el rendimiento de las plantas (Marcellini *et al.*, 2022).

La respuesta al déficit hídrico varía entre los cultivares de fresa. Por ejemplo, el cultivar 'Monterey' mantuvo el rendimiento y mejoró la firmeza de la fruta bajo una reducción de agua del 20%, mientras que otros cultivares experimentaron pérdidas de rendimiento (Marcellini *et al.*, 2023). Otro estudio destacó que los genotipos de alto rendimiento se vieron más afectados negativamente por el estrés hídrico en comparación con los genotipos de bajo rendimiento (Kapur *et al.*, 2023)

El déficit moderado de agua puede mejorar ciertos atributos de calidad de las fresas. Por ejemplo, los niveles reducidos de riego se han asociado con un aumento de sólidos solubles totales (TSS) y acidez titulable, que son deseables para el sabor fruta (Marcellini *et al.*, 2022; Yenni *et al.*, 2022). Sin embargo, el tamaño, el peso y la firmeza de la fruta

generalmente disminuyen con el aumento del estrés hídrico (Kaman *et al.*, 2023b; Yenni *et al.*, 2022)

Bajo la hipótesis de que diferentes niveles de tensión de la humedad del sustrato para la aplicación de los riegos afectan el consumo de agua y el rendimiento y calidad del fruto de un cultivo de fresa, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación del riego en dos tensiones (10 y 20 cm) de humedad del sustrato, en el rendimiento y calidad de frutos de un cultivo de fresa.

HIPOTESIS

Diferentes niveles de tensión de la humedad del sustrato para la aplicación de los riegos afectan el consumo de agua y el rendimiento y calidad del fruto de un cultivo de fresa.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la aplicación del riego en dos tensiones (10 y 20 cm) de humedad del sustrato, en el rendimiento y calidad de frutos de un cultivo de fresa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar el efecto de la aplicación de tensiones de humedad en el sustrato mediante el peso de contenedores

Evaluar el efecto del contenido de humedad en el rendimiento de frutos en un cultivo de fresa

Determinar la calidad de fruto en un cultivo de fresa bajo diferentes tensiones de humedad del suelo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen

El origen de las fresas es el resultado de una compleja interacción entre la hibridación natural y la intervención humana, que dio lugar a la fresa cultivada moderna, *Fragaria* × *ananassa*. Esta especie surgió en el siglo XVIII a partir de la hibridación de dos especies silvestres octoploides, *Fragaria chiloensis* y *Fragaria virginiana*, las cuales son el producto de antiguos procesos de poliploidización que involucraron múltiples progenitores diploides. A lo largo del proceso de domesticación y cultivo, las fresas han desarrollado una notable diversidad genética, desafiando la creencia de que las fresas cultivadas presentan una variación genética limitada. (Hardigan *et al.*, 2021) (Edger *et al.*, 2019).

Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de las fresas las sitúa en el género *Fragaria*, perteneciente a la familia *Rosaceae*. Este género se caracteriza por una diversidad de especies que presentan distintos niveles de ploidía, entre los que se incluyen diploides, tetraploides, hexaploides y octoploides. La especie de mayor relevancia comercial es *Fragaria* × *ananassa*, un híbrido ampliamente cultivado por la calidad y tamaño de sus frutos. El género *Fragaria* tiene una distribución global, predominando en las regiones templadas, aunque algunas especies también se encuentran en zonas tropicales.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Rosales
Familia	Rosaceae
Subfamilia	Rosoideae
Tribu	Potentilleae
Género	<i>Fragaria</i>

Fuente: Duchesne ex Rozier, 1785

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la fresa (*Fragaria* × *ananassa*).

Principales países productores de fresa

Las fresas tienen una importancia significativa en todo el mundo debido a sus funciones económicas, nutricionales y ecológicas. Al ser una fruta ampliamente cultivada, las fresas contribuyen a la agricultura global, la salud y la sostenibilidad ambiental. Este panorama explorará el impacto económico, los beneficios para la salud, los desafíos del cultivo y las consideraciones ecológicas asociadas con las fresas (Simpson, 2018a; ZAHRA *et al.*, 2023).

Las fresas se producen comercialmente en 76 países, siendo China, Estados Unidos, México, Turquía y España los principales productores. Estos países contribuyen de manera significativa al mercado mundial de fresas, tanto en términos de volumen como de impacto económico (Ramírez Padrón *et al.*, 2020; Simpson, 2018a).

La producción mundial de fresas ha ido en aumento, particularmente en Asia, América del Norte y Central, y el norte de África, impulsada por la creciente demanda (Simpson, 2018b)

La producción de fresa en China es una actividad agrícola importante, siendo el país el mayor productor de fresas a nivel mundial. Los vastos recursos agrícolas del país y las

condiciones climáticas favorables le han permitido mantener esta posición. La industria ha experimentado una rápida expansión, impulsada tanto por el consumo interno como por las demandas de exportación. Sin embargo, el cultivo de fresas en China enfrenta varios desafíos, incluido el manejo de enfermedades, la eficiencia de polinización y la optimización del sistema de producción. (Simpson, 2018a; Yang *et al.*, 2023)

Las principales áreas de producción en China incluyen las provincias de Hebei, Shandong y Liaoning, que representan el 60% de la producción total (Yin *et al.*, 2009).

En Henan, China, el cultivo de fresa abarca aproximadamente 10,000 hectáreas, produciendo casi 230.000 toneladas anuales (Huiping Gao, 2024).

Jiangsu es un actor importante en el mercado chino de fresas, con una superficie de cultivo de 18.100 hectáreas y una producción anual de 460,000 toneladas métricas. (Zhan *et al.*, 2020)

Los sistemas de producción en China se dividen en campo abierto (OF) y cultivo protegido (PC). El sistema OF se utiliza para plantaciones a gran escala destinadas al procesamiento, mientras que el sistema de PC, que involucra estructuras cubiertas de plástico, es principalmente para la producción de mercado fresco. La temporada de cosecha varía con el sistema de producción, con plantaciones de PC que producen frutos de noviembre a mayo y las de OF de abril a junio (Yin *et al.*, 2009).

La producción de fresa en Estados Unidos es una industria agrícola importante, caracterizada por variaciones regionales en las prácticas de cultivo, desafíos y dinámicas de mercado. California y Florida son los estados líderes en producción de fresa, contribuyendo a más del 90% de la producción nacional. La industria enfrenta desafíos como el manejo de plagas, impactos ambientales y la necesidad de avances tecnológicos para mantener su liderazgo global. (Holmes, 2024)(Liburd *et al.*, 2019)

California, es un importante productor de fresas. El desarrollo de la industria de la fresa en California ha sido fundamental, con avances en fitomejoramiento y prácticas agronómicas que extienden la temporada de producción y aumentan los rendimientos. (Quintero-Ramírez *et al.*, 2020; Simpson, 2018c)

California es el mayor productor de fresas de Estados Unidos y el 4º productor mundial. También es un importante productor de plantas de fresa que se venden tanto a nivel nacional como internacional. La costa y los valles montañosos de California proporcionan condiciones casi ideales para el crecimiento y desarrollo de la fresa. (Holmes, 2024)

California cultivó 16,303 hectáreas de fresas en 2023 en tres distritos de cultivo ubicados a lo largo de la costa central de California: Oxnard, Santa María y Watsonville-Salinas. Los trasplantes se cultivan en aproximadamente 1.627 ha en viveros de alta y baja elevación ubicados hasta mil km de los distritos frutícolas. Casi toda la producción de fruta se realiza en campo abierto con una pequeña cantidad bajo túneles de alto plástico, ya sea en el suelo o en las mesas. La producción de viveros se realiza casi en su totalidad en campo abierto. En 2022, se cultivaron 13 cultivares públicos, siendo los más populares Monterey, Portola, Fronteras, Cabrillo y San Andreas el 27%, 13%, 11%, 4% y 2% de las hectáreas plantadas, respectivamente. Todos los cultivares patentados combinados representaron el 39% de las hectáreas plantadas. (Holmes, 2024)

Florida es el segundo mayor productor de fresas en Estados Unidos, contribuyendo significativamente al mercado invernal de fresas (Liburd *et al.*, 2019),

La fresa es un cultivo importante en Florida, producido como cultivo anual en camas cubiertas con mantillo de plástico con riego por goteo. La principal área de producción se encuentra en el centro-oeste de Florida, incluidos los condados de Hillsborough, Polk y Manatee. El fertilizante se está convirtiendo en una parte cada vez más significativa de los costos de producción de fresa, por lo tanto, el manejo adecuado del fertilizante es importante para minimizar los costos de producción y maximizar el rendimiento y la calidad de la fruta, al tiempo que minimiza los posibles impactos negativos en el medio ambiente causados por la lixiviación o la escorrentía del exceso de nutrientes del fertilizante. (Agehara *et al.*, 2023)

México se encuentra entre los tres principales productores a nivel mundial, con una parte importante de su producción dedicada a las exportaciones, principalmente a Estados Unidos (Wu *et al.*, 2018)

Turquía es otro importante productor de fresas, beneficiándose de su ubicación estratégica y clima adecuado. La producción del país ha ido en aumento, contribuyendo a su posición como una de las principales naciones productoras de fresa (Simpson, 2018c)

La producción de fresa en España tiene una importancia económica, ambiental y social significativa. La industria española de fresas es un componente vital de su sector agrícola, contribuyendo sustancialmente a la economía y al empleo. No obstante, esta industria también enfrenta desafíos relacionados con la sustentabilidad ambiental y las prácticas laborales (Hellio *et al.*, 2021; Lozano *et al.*, 2016; Romero-Gámez *et al.*, 2020)

La fresa es un cultivo de alto valor en España, donde las frutas para consumo fresco se producen fuera de temporada y se exportan a los países del norte de Europa. Hasta el 93% de todas las fresas producidas en España se cultivan en la región suroeste (provincia de Huelva), donde 6867 ha producen 377.596 toneladas con un valor de mercado de 392 millones de euros. España produce entre el 25 y el 33 por ciento de todas las fresas cultivadas en Europa. En los sistemas intensivos de monocultivo, las fresas se producen en ciclos de cultivo anuales de octubre a mayo bajo túneles altos de plástico temporales. Los campos se dejan en barbecho de julio a septiembre, mientras que la temporada de cosecha va de enero a finales de mayo. Debido a los ciclos prolongados de cultivo de fresa y a la alta productividad y rentabilidad de las explotaciones, la rotación de cultivos con otros cultivos no es práctica. (Camacho *et al.*, 2023)

Estados productores de fresa en México

La producción de fresa en México es una actividad La fresa (*Fragaria × ananassa*) es una fruta de importancia económica para México, ocupando el tercer lugar en la producción mundial, con una producción aproximada de 861,337 t (SIAP, 2021)

agrícola importante, con varios estados que contribuyen a la producción del país. Los principales estados productores de fresa incluyen Michoacán, Sinaloa, Guanajuato, Baja California, Jalisco, Puebla y Tlaxcala. Cada una de estas regiones tiene características únicas que las hacen aptas para el cultivo de fresa, y enfrentan distintos desafíos relacionados con plagas y enfermedades. (Vergara-Pineda *et al.*, 2023).

La producción de fresa de Michoacán es altamente competitiva, con una Matriz de Análisis de Políticas (PAM) que indica una ventaja comparativa para los productores locales. Los valores PAM de 0.14 y 0.37 sugieren que la producción de fresa es un emprendimiento rentable en la región (Zamora Torres *et al.*, 2022),

La expansión de la producción de bayas de invernadero en Michoacán ha sido significativa, creciendo de cero a más de 9,500 hectáreas entre 1989 y 2020. Esta expansión ha utilizado casi una cuarta parte de las tierras agrícolas de la región (Hartman *et al.*, 2022)

En Guanajuato, las fresas se propagan comúnmente asexualmente a través de estolones, lo que puede conducir a la transmisión de enfermedades. Para mitigar esto, se están explorando técnicas de micropropagación. La aclimatación de plántulas micropropagadas bajo condiciones de sombra ha mostrado altas tasas de supervivencia y crecimiento robusto, lo que sugiere un método viable para la producción de plantas a gran escala (Valencia Juárez *et al.*, 2019).

Las fresas en Guanajuato son susceptibles a enfermedades poscosecha causadas por patógenos como *Botrytis cinerea*. El uso tradicional de plaguicidas plantea riesgos para la salud y el medio ambiente, impulsando la exploración de alternativas como el quitosano y los compuestos de octanoato de sodio. Estos compuestos han demostrado eficacia en la reducción de la gravedad e incidencia de la enfermedad, ofreciendo una opción de tratamiento poscosecha más segura (López-Díaz *et al.*, 2021).

Los invernaderos inteligentes pueden ser particularmente beneficiosos en Guanajuato, donde la variabilidad climática puede impactar el crecimiento de la fresa. Al mantener condiciones óptimas de cultivo, estas tecnologías pueden mejorar tanto el rendimiento como la eficiencia de los recursos (Ali *et al.*, 2022)

Guanajuato es un actor importante en la producción de fresas de México, contribuyendo de manera significativa a la economía local. El clima y las condiciones del suelo de la región son propicias para producir fresas de alta calidad, que tienen demanda tanto a nivel nacional como internacional (Sáenz-Sáenz *et al.*, 2023)

Baja California, junto con Michoacán y Guanajuato, contribuye al 92.51% de la producción total de fresa de México, destacando su significación económica (Pat-Fernández *et al.*, 2016).

Países a los que México exporta fresa indicar cifras en toneladas y beneficio económico

Los principales destinos para las exportaciones mexicanas de fresa son Estados Unidos y Canadá, siendo Estados Unidos quien es el importador dominante. Esta dinámica exportadora se apoya en las ventajas competitivas de México en la producción y exportación de fresas.(Hernandez Soto *et al.*, 2023)

Importancia económica y social del cultivo de fresa en México

El cultivo de fresas es económicamente importante para México debido a su capacidad para sostener pequeñas granjas familiares y absorber mano de obra familiar, al mismo tiempo que contribuye a la economía agrícola más amplia a través de la producción a gran escala. La demanda de mano de obra y los ingresos generados por la producción de fresa están influenciados por diversos factores, entre ellos la selección de cultivares, los métodos de producción, las preferencias de los consumidores y la dinámica del mercado. (Michalski Lambrecht *et al.*, 2020)

La producción de fresas es intensiva en mano de obra para la siembra, mantenimiento y cosecha. Esto crea una demanda constante de mano de obra, particularmente en regiones donde las fresas son un cultivo importante (Soper, 2020)

Requerimientos de agua por el cultivo de fresa para óptimos rendimientos

El manejo del agua es fundamental para obtener rendimientos óptimos en el cultivo de fresas. Estudios previos indican que el agua, junto con el nitrógeno, el fósforo y el potasio,

afectan significativamente el rendimiento y la calidad de las fresas (Cao *et al.*, 2023; Y. Wu *et al.*, 2020).

El requerimiento óptimo de agua para las fresas en un ambiente controlado es de aproximadamente 12 a 13.5 litros por planta, para rendimientos superiores a 110 gramos por planta (Y. Wu *et al.*, 2020).

La tasa promedio de evapotranspiración para las fresas es de aproximadamente 3.8 mm/día, con un consumo total de agua de 873.4 mm durante la temporada de crecimiento en climas semiáridos (Amini *et al.*, 2022). En diferentes cultivares, los requerimientos de agua varían, con necesidades estacionales totales de agua que van desde 324.42 mm hasta 351.45 mm, dependiendo del cultivar y las condiciones ambientales (Islam *et al.*, 2017).

Además, las estrategias de ahorro de agua son vitales debido a la disminución de la disponibilidad de agua en las principales áreas de producción de fresas, lo que hace hincapié en la importancia de seleccionar cultivares con un menor consumo de agua y, al mismo tiempo, mantener la productividad para garantizar una producción sostenible y económicamente viable (Kapur *et al.*, 2018). El manejo adecuado del agua y la humedad del suelo es esencial para promover un crecimiento saludable de las fresas, mejorar la calidad y reducir la aparición de problemas como los frutos huecos (Ariza *et al.*, 2021).

Estudios previos que mencionen el efecto de diferentes niveles de tensión de la humedad del sustrato o diferentes niveles de estrés hídrico en el crecimiento y rendimiento de la fresa y/o de otros cultivos.

Estudios en ambientes mediterráneos muestran que el riego deficitario (50% del riego completo) resulta en una reducción significativa en el rendimiento de fruta y el crecimiento vegetativo en las fresas. No obstante, ciertos genotipos, como la línea criada '33' mantienen mayor actividad fotosintética y rendimiento bajo estrés hídrico, lo que indica la importancia de seleccionar genotipos tolerantes a la sequía (Y. Wu *et al.*, 2020). El término '33' en el contexto de las fresas parece relacionarse con diversas investigaciones

y aplicaciones industriales, incluyendo estudios genéticos, procesamiento de alimentos y control de calidad (Eaton *et al.*, 2019).

El gen similar a Faralf-33 en fresas ha sido estudiado por su papel en la inmunidad de las plantas y la susceptibilidad a patógenos fúngicos. La sobreexpresión de este gen en fresas inmaduras disminuye su resistencia al patógeno fúngico *Colletotrichum acutatum*, lo que lleva a una mayor susceptibilidad y síntomas de enfermedad. Por el contrario, silenciar este gen en fresas maduras retrasa la colonización fúngica, lo que sugiere que el tipo Faralf-33 juega un papel crucial en los mecanismos de defensa de la planta (Merino *et al.*, 2019).

El estrés hídrico afecta parámetros fisiológicos como la fotosíntesis, la conductancia estomática y el potencial hídrico de las hojas, que son cruciales para el crecimiento y rendimiento de las plantas. Estos parámetros disminuyen bajo estrés hídrico severo, lo que lleva a una reducción del vigor de la planta lo que puede conducir a cambios en la anatomía de las hojas, reducción del área foliar y longitudes más cortas de los brotes y raíces, lo que afecta aún más la capacidad de la planta para producir frutos (Kapur *et al.*, 2023; Thokchom & Hazarika, 2022).

Algunos estudios muestran consistentemente que la reducción del suministro de agua conduce a una disminución en el rendimiento de fresa. Por ejemplo, bajo regímenes de riego deficitario (DI) y secado parcial fijo de raíces (FPRD), los valores de rendimiento disminuyeron al reducirse la disponibilidad de agua, observándose los rendimientos más bajos en niveles de riego del 40% (Kaman *et al.*, 2023a, 2023b). De igual manera, un estudio sobre diferentes cultivares de fresa encontró que una reducción del 40% en el suministro de agua redujo significativamente el crecimiento y el rendimiento de las plantas (Marcellini *et al.*, 2022) está al déficit hídrico varía entre los cultivares de fresa. Por ejemplo, el cultivar 'Monterey' mantuvo el rendimiento y mejoró la firmeza de la fruta bajo una reducción de agua del 20%, mientras que otros cultivares experimentaron pérdidas de rendimiento (Marcellini *et al.*, 2023). Otro estudio destacó que los genotipos de alto rendimiento se vieron más afectados negativamente por el estrés hídrico en comparación con los genotipos de bajo rendimiento (Kapur *et al.*, 2023)

El déficit de agua puede mejorar ciertos atributos de calidad de las fresas. Por ejemplo, los niveles reducidos de riego se han asociado con un aumento de sólidos solubles totales (TSS) y acidez titulable, que son deseables para el sabor fruta (Marcellini *et al.*, 2022; Yenni *et al.*, 2022). Sin embargo, el tamaño, el peso y la firmeza de la fruta generalmente disminuyen con el aumento del estrés hídrico (Kaman *et al.*, 2023b; Yenni *et al.*, 2022)

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar del estudio

El estudio se realizó en el invernadero ubicado en el jardín hidráulico dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicado en Saltillo, Coahuila, México, con coordenadas geográficas de 25° 21' N y 101° 29' O, a una altitud de 1760 m.

Las características climáticas de Saltillo, Coahuila, influyen significativamente en sus prácticas agrícolas, particularmente en el contexto del cambio climático y su impacto en la producción de cultivos. El clima de Saltillo, caracterizado por condiciones semiáridas, plantea retos y oportunidades para la agricultura, lo que requiere estrategias adaptativas para optimizar los rendimientos de los cultivos. Esta respuesta explora los factores climáticos que afectan a la agricultura en Saltillo, las implicaciones del cambio climático y las posibles estrategias para las prácticas agrícolas sustentables (Molar-Orozco *et al.*, 2020).

Características del invernadero

Las dimensiones del invernadero son 9 m de ancho, 19 m de longitud y una altura de 5 m de forma semicircular. La cubierta exterior es de policarbonato cristalino en paredes y techo. En el interior a una altura de 4 m tiene una capa horizontal de maya malla sombra (20% de sombreo), y bajo esta una cubierta de aluminet de 20 % de sombreo.

Contenedores y sustrato utilizado

Para el estudio se utilizaron 24 contenedores de PVC (NMX-E199/1) de 19.4 cm de diámetro interior y 20 cm de altura. En cada extremo de los contenedores está fijada una maya plástica de 1 mm de diámetro. En cada contenedor se depositaron 800 g (peso seco) de un sustrato compuesto de 70% peat moss y 30% perlita con base a volumen. En cada contenedor el sustrato cubrió una altura de 17 cm correspondiente a un volumen de 5.025 L. El volumen de agua correspondiente al sustrato saturado fue de 3806.25 mL. Las

propiedades físicas del sustrato se obtuvieron en el banco de pruebas de sustratos del laboratorio de relación agua suelo planta del Departamento de Riego y Drenaje (Figura 1).



Figura 1. Banco de pruebas para determinar la relación entre el volumen de agua extraído del sustrato para diferentes valores de tensión aplicada.

La densidad aparente del sustrato se obtuvo por el método de la probeta y fue de 0.255 g cm^{-3} . La porosidad del sustrato se obtuvo por diferencia de peso seco del sustrato y el peso saturado del mismo (para un volumen de sustrato conocido), que fue de 76 %. Con la densidad aparente y la porosidad del sustrato se obtuvo la densidad de sólidos que correspondió a un valor de 1.101 g cm^{-3} . La función que describe la relación entre el porcentaje de volumen de agua remanente para cada valor de tensión aplicada (que se obtuvo en el banco de pruebas) fue:

$$\text{PVR} = 97.972 - 2.846*\psi + 0.0246*\psi^2 \quad (1)$$

Donde: PVR es el porcentaje de volumen de agua remanente y ψ es la tensión aplicada (cm), con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.994.

Cultivar utilizado

Para el estudio se usaron plantas de fresa del cv. San Andreas (*Fragaria × ananassa Duch.*), que ha sido ampliamente estudiado por sus diversas características agronómicas, morfológicas y posteriores a la cosecha. Este cultivar es notable por su resistencia a ciertos patógenos fúngicos, su respuesta a tratamientos que promueven el crecimiento y sus cualidades físicas y químicas de la fruta. Una de las características clave de la fresa San Andreas es su resistencia genética a los patógenos fúngico. Las plantas responden positivamente a las aplicaciones de nutrientes, particularmente zinc. (ŞAHİN *et al.*, 2019)

Tratamientos y diseño estadístico experimental

Se evaluaron dos tratamientos de tensión de la humedad del sustrato para la aplicación de los riegos en los contenedores: 10 y 20 cm, y sus efectos en el volumen de agua consumido por las plantas, el peso del fruto, volumen de fruto, grados brix, frutos por planta, gramos por planta y contenido de vitamina C.

El volumen del fruto se determinó con el promedio del diámetro polar y ecuatorial de los frutos que se midió con un vernier digital (Mitutoyo CD-8” CSX, japan). Para los grados brix se usó un refractómetro (Spectrum Technologies, 2801, EUA) y para el contenido de vitamina C se usos el procedimiento de Padayatt *et al.* (2001).

Se utilizo un diseño completamente al azar de dos tratamientos correspondientes a la tensión de humedad del sustrato (10 y 20 cm) para la aplicación de los riegos con cuatro

repeticiones. Cada repetición consistió en tres contenedores (una planta en cada contenedor).

Para determinar el volumen de agua remanente y consumido por las plantas en los contenedores, se aplicó la Ec. 1. Para 10 cm de tensión el porcentaje de volumen de agua remanente fue 72 %, correspondiente a un volumen de agua consumido por las plantas (del volumen del sustrato saturado) de 1065.75 mL, y un volumen remanente de 2740.5 mL. Para la tensión de 20 cm el porcentaje de volumen remanente fue 51% equivalente a un volumen consumido de 1865.75 mL y un volumen remanente de 1940.5 mL. El momento de la aplicación de los riegos se estableció por la diferencia entre el peso del contenedor saturado menos el agua consumida por las plantas en cada valor de tensión de humedad del sustrato. El peso de los contenedores se realizó con una báscula digital de precisión de 10 kg de capacidad.

Las plántulas se trasplantaron a los contenedores el 8 de agosto de 2023, la cosecha inicio el 9 de noviembre de 2023 y termino el 16 de enero de 2024. La Figura 2 muestra uno los contenedores con el sustrato y las plantas en crecimiento.



Figura 2. Plantas de fresa (cv. Santa Andrea) en contenedores con sustrato compuesto de 70% de turba y 30 % de perlita.

A lo largo del ciclo de las plantas se cuantifico el número de riegos y volúmenes de agua aplicados a los contenedores de cada tensión de humedad para obtener el volumen total de agua consumido por las plantas en cada tensión de humedad del sustrato.

Los riegos se aplicaron por ascenso capilar, colocado los contenedores en caja de plástico de 51 cm de largo, 33 cm de ancho y 27 cm de altura que contenían la solución Steiner completa con una CE de 1.0 dS/m. El agua con la solución nutritiva entró a los

contenedores por la parte inferior. Los contenedores se retiraron de las cajas cuando se formaba una película de agua en la superficie del sustrato

Control fitosanitario

Durante el crecimiento y desarrollo de las plantas solo se tuvo la incidencia de la araña roja (*Tetranychus urticae*), que se controló aplicando avermectina a una dosis de 1 mL por litro de agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Volumen de agua consumido por las plantas

El consumo de agua por las plantas al ser regadas cuando la tensión de humedad del sustrato alcanzó 10 cm fue 16.32 % mayor que el de las plantas regadas a 20 cm de tensión de humedad del sustrato (Figura 3) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). A mayor disponibilidad de agua en la zona radicular de la planta mayor es la tasa de evapotranspiración. El consumo de agua de plantas de fresa de los cultivares Sabrina y Santa Clara, en invernadero sembradas en un suelo arenoso, sin déficit hídrico fue muy similar a los resultados obtenidos en este estudio (12.7 L por planta en promedio), pero con riego deficitario el rendimiento decreció a un rendimiento promedio de 9.1 litros por planta (Martínez-Ferri *et al.*, 2016).

El rendimiento de las plantas de fresa cv. Rubygem bajo invernadero en un suelo arcilloso decreció el 51.7 % cuando las plantas se regaron al 40 % de la tasa máxima de evapotranspiración de las plantas (Kaman *et al.*, 2023). El efecto del estrés hídrico en el crecimiento y rendimiento de los cultivos depende de la etapa de desarrollo de las plantas y de la magnitud del estrés. Por ejemplo, para el pepino (*Cucumis sativus*), cv. Humocaró, una reducción del 20 % de la máxima tasa de evapotranspiración del cultivo en la aplicación de los riegos durante la etapa vegetativa, no tuvo efecto en el rendimiento de las plantas (Rivera Fernandez *et al.*, 2021)

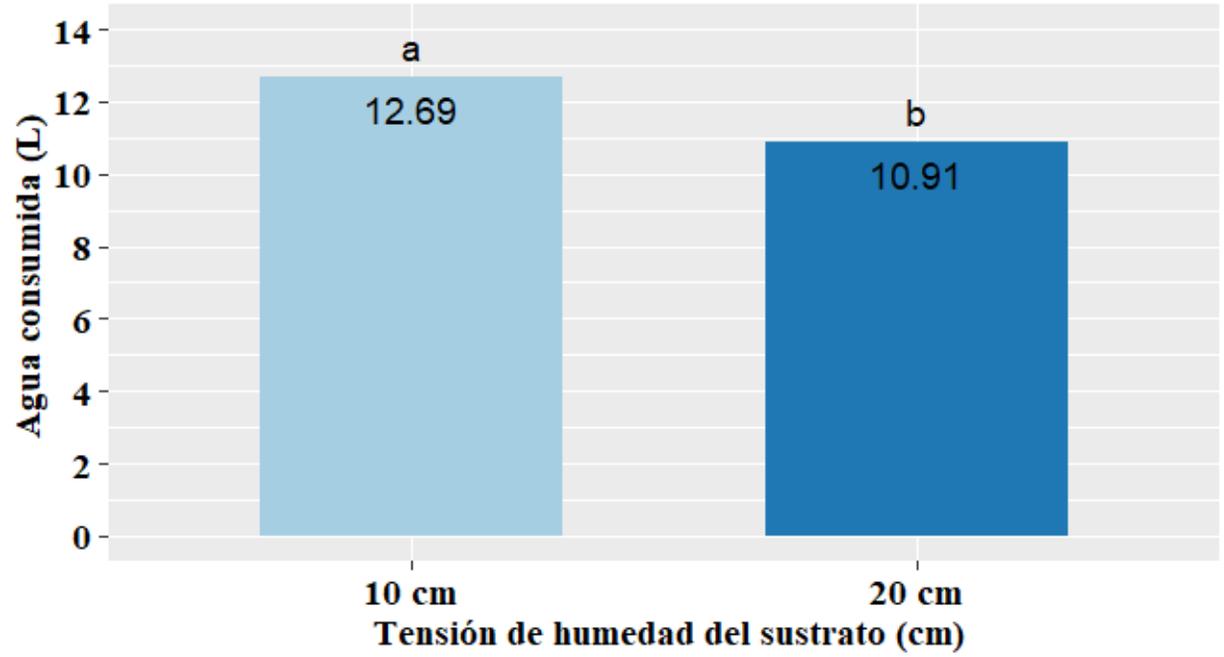


Figura 3. Agua consumida por las plantas (L) para cada nivel de tensión de la humedad del sustrato para la aplicación de los riegos

Volumen promedio del fruto

El volumen promedio del fruto de las plantas que se regaron cuando la tensión de humedad del sustrato registraba 10 cm fue 3.20 % mayor que el de las plantas regadas cuando la tensión de humedad del sustrato se incrementó a 20 cm. (Figura 4) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). A mayor frecuencia de riegos o mayor contenido de agua en el sustrato el volumen promedio del fruto es mayor. También se recomendaría regara a 10 cm de tensión de la humedad del sustrato, ya que solo se reduce el 3.20 % el volumen del fruto, pero se ahorra el 16.32 % del volumen de agua y nutrientes usado para el riego.

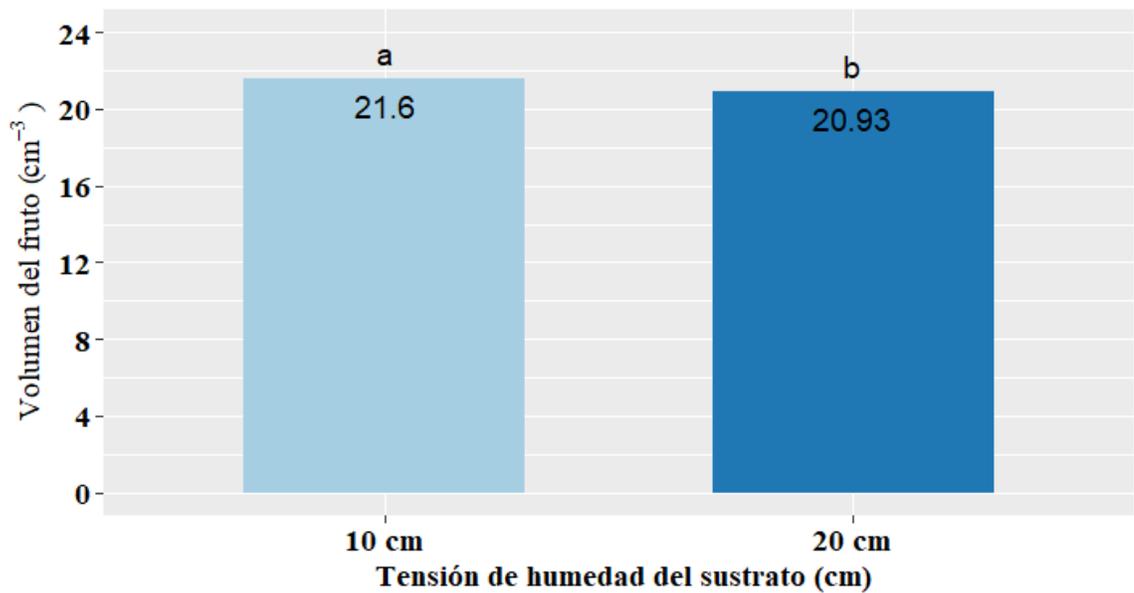


Figura 4. Volumen promedio del fruto de las plantas (cm³) que se regaron cuando la tensión de la humedad del sustrato fue de 10 y de 20 cm.

Peso promedio de frutos

El peso promedio del fruto de las plantas que se regaron cuando la tensión de humedad del sustrato fue 10 cm, resultó 5.94 % mayor que el de las plantas que se regaron cuando la tensión de la humedad del sustrato aumentó a 20 cm. (Figura 5) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). A Mayor disponibilidad de agua en la zona radicular de las plantas mayor es el crecimiento del fruto. Sin embargo, si en una determinada localidad el recurso limitante para la producción agrícola es el agua, se recomendaría regar 20 cm de tensión, ya que el volumen de agua utilizado con los nutrimentos sería 16.32 % menor y el peso del fruto solo se reduciría en 5.94 %.

Estudios previos indican que la fresa es muy sensible al estrés hídrico por lo que, el riego debe ser oportuno ((Perin *et al.*, 2019; Anjum *et al.*, 2011). El peso promedio del fruto de la fresa cv. Rubygem decreció de 20.59 g a 13.85 g cuando los riegos decrecieron del 100 % al 60 % de la evapotranspiración máxima (Kaman *et al.* 2023). La fresa del cv. Festival es menos sensible al estrés hídrico, ya que el peso promedio del fruto de las plantas que crecieron en un sustrato de turba y perlita solo decreció de 26.6 g a 24.02 g, cuando riego disminuyó del 100 % al 60 % de la evapotranspiración máxima (Ahmed y Gad, 2022).

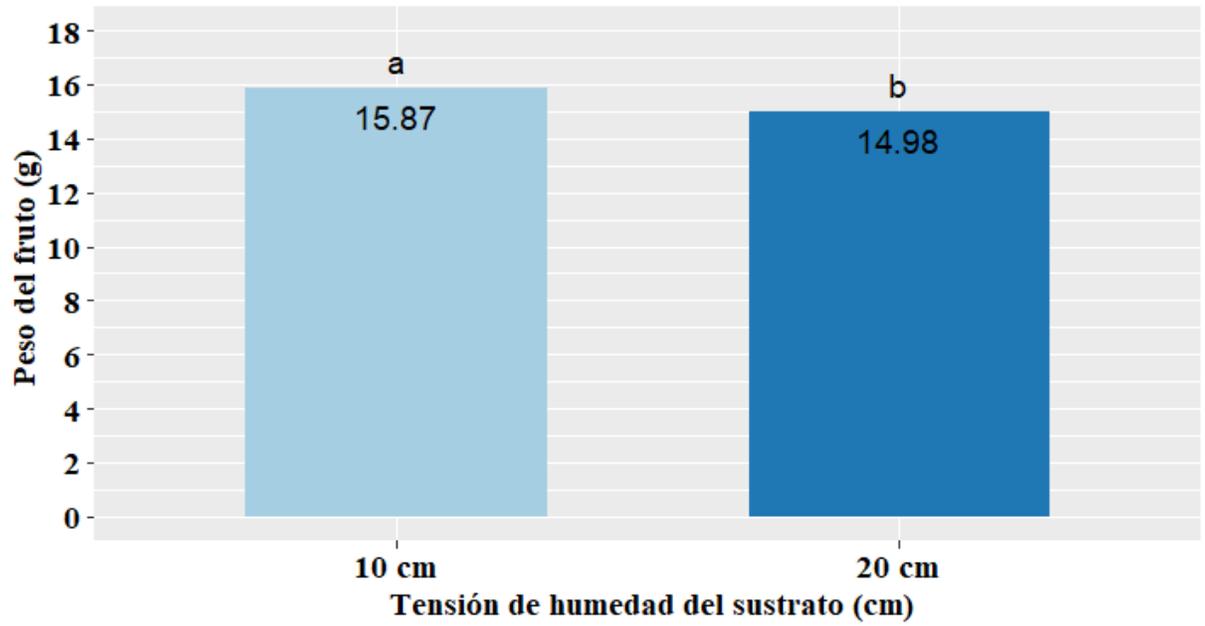


Figura 5. Peso promedio del fruto de las plantas (g) que se regaron cuando la tensión de la humedad del sustrato fue de 10 y de 20 cm.

Rendimiento (Frutos por planta)

El rendimiento (número de frutos por planta) fue 10.98 % mayor en las plantas que se regaron cuando la tensión de humedad del sustrato correspondía a 10 cm, respecto al rendimiento que se obtuvo en las plantas regadas cuando la tensión de humedad del sustrato fue 20 cm. (Figura 6) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) A mayor frecuencia de riegos mayor contenido de agua en el sustrato y menor rango de variación de la humedad. Esto resulta en mayor rendimiento. Sin embargo, para condiciones donde el agua es el recurso más limitante en la producción agrícola, se recomendaría regar a 20 cm de tensión de la humedad del sustrato ya que el rendimiento (frutos por planta) se reduce 10.98 % pero el ahorro de agua y nutrientes sería del 16.32 %.

El efecto de estrés hídrico en el rendimiento de frutos se debe a una reducción en el número y tamaño de frutos (Grant *et al.*, 2010). Estudios previos también han reportado decrementos en el rendimiento de la fresa y otros cultivos por efecto del estrés hídrico, por ejemplo, Ahamed y Gad (2022) reportaron que, el rendimiento promedio mayor de la fresa cv. Festival fue 32.43 frutos/planta cuando los riegos aplicados fueron del 100% de la evapotranspiración máxima de las plantas (ETmax), y decreció a 23.01 frutos/planta, al regarse al 60 % de la ETmax. El estudio de Camarosa Ödemiş *et al.* (2022) mostró una reducción del 12 % del número de frutos del mismo cultivar debido al riego deficitario del 66 % de la ETmax, y del 19% con el riego deficitario del 33 % de la ETmax.

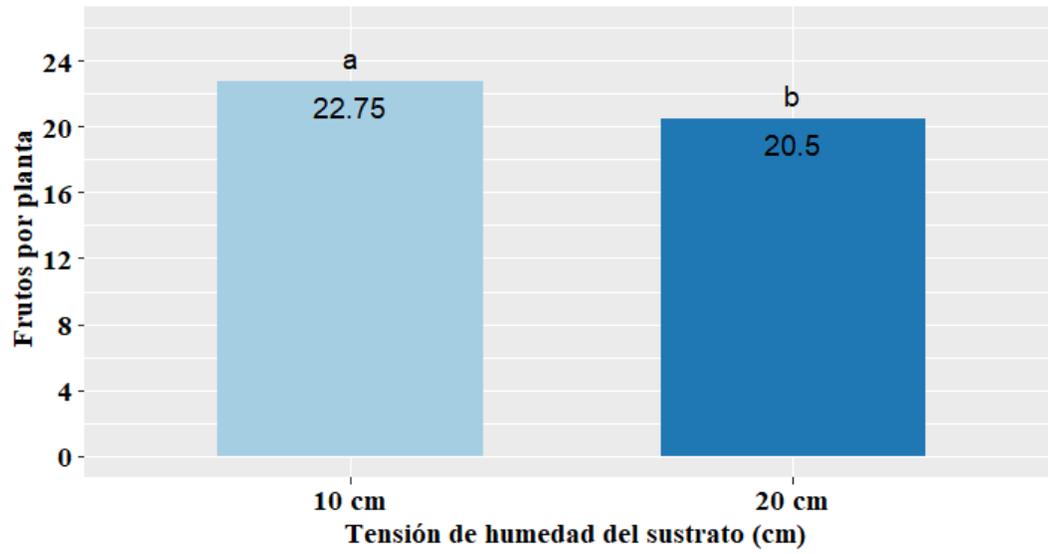


Figura 6. Rendimiento (frutos por planta) cuando los riegos se aplicaron cuando la tensión de humedad del sustrato fue de 10 y de 20 cm.

Rendimiento (gramos de fruta por planta)

El rendimiento (gramos por planta) fue 19.04 % mayor en las plantas regadas cuando la tensión humedad del sustrato llegó a 10 cm. Respecto a las plantas que se regaron cuando la tensión de humedad aumentó a 20 cm. (Figura 7) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). A mayor frecuencia de riegos, mayor contenido de humedad en el sustrato y menor variación de la disponibilidad de agua, esto resulta en mayor rendimiento (gramos por planta). El rendimiento (gramos por planta) fue muy sensible al estrés hídrico, ya que al aumentar la tensión de humedad del sustrato de 10 a 20 cm para la aplicación de los riegos el rendimiento se reduce 19.04 % y el ahorro de agua se incrementa 16.32 %. Estudios previos en fresa de diferentes cultivares muestran que, a mayor frecuencia de riego el peso del fruto y el rendimiento se incrementan (Ahmed y Gad, 2022; Ameri *et al.*, 2012, Perin *et al.*, 2019).

El máximo rendimiento a cielo abierto de la fresa de los cultivares: Albion, monterrey y San Andrés se obtuvo cuando los riegos se aplicaron al 100 % de la tasa de evapotranspiración máxima. El cultivar Albion fue más sensible al estrés hídrico, ya que al reducir la aplicación de los riegos al 60 % de la evapotranspiración máxima, el rendimiento decreció 41.53 % (Marcellini *et al.*, 2023). El rendimiento (g/planta) de la fresa cv. Camarona fue 48.46 % mayor cuando las plantas fueron bien regadas, respecto a las que crecieron con déficit hídrico (Martínez-Ferri *et al.*, 2016). Con la aplicación del riego deficitario al 80 % y 60 % de la evapotranspiración máxima a la fresa del cv. Sabrina, se reduce significativamente el rendimiento (g/planta), la capacidad antioxidante de las frutas, pero incrementa los sólidos solubles totales (°Bx) (Ariza *et al.*, 2021).

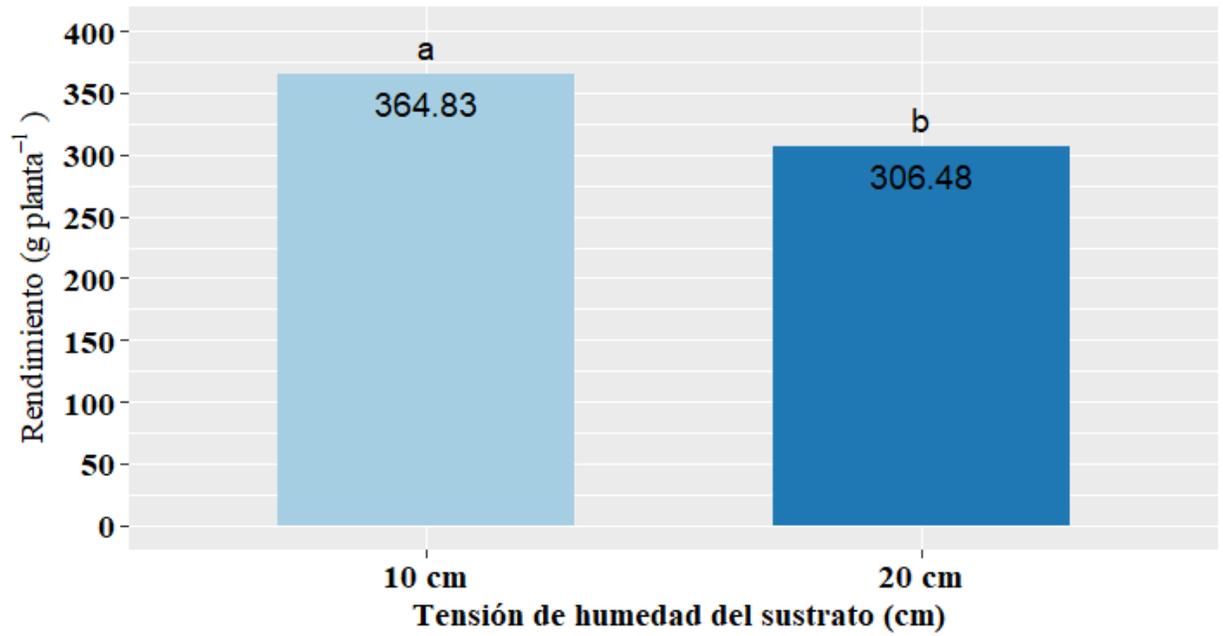


Figura 7. Rendimiento (gramos por planta) cuando los riegos se aplicaron cuando la tensión de humedad del sustrato fue de 10 y de 20 cm.

Grados Brix

El estrés al que se sometieron las plantas que se regaron cuando la tensión de humedad del sustrato llegó a 20 cm, resultó en 11.86 % mayor contenido de grados Brix que las plantas regadas cuando la tensión de humedad del sustrato fue 10 cm (Figura 8) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Este resultado indica que, el estrés hídrico estimula la acumulación de sólidos solubles totales en los frutos. Hallazgos similares han sido reportados en otros estudios, por ejemplo, los grados brix de la fresa cv Sabrina aumento de 6.82 a 8.40 (23.17 %) debido al estrés hídrico inducido al regar al 60 % de la tasa de evapotranspiración máxima (Ariza *et al.*, 2021). Por el contrario, para el cv Festival los valores mayores de grados Brix, se obtuvieron con los niveles de riego superiores (Ahmed y Gad, 2022). El valor óptimo de grados Brix (g/100 g) para frutos rojos se ubica entre 6 y 9 (Hancock, 1999). El promedio de grados Brix observados en este estudio fue de 9.43, que es un valor ligeramente superior al óptimo.

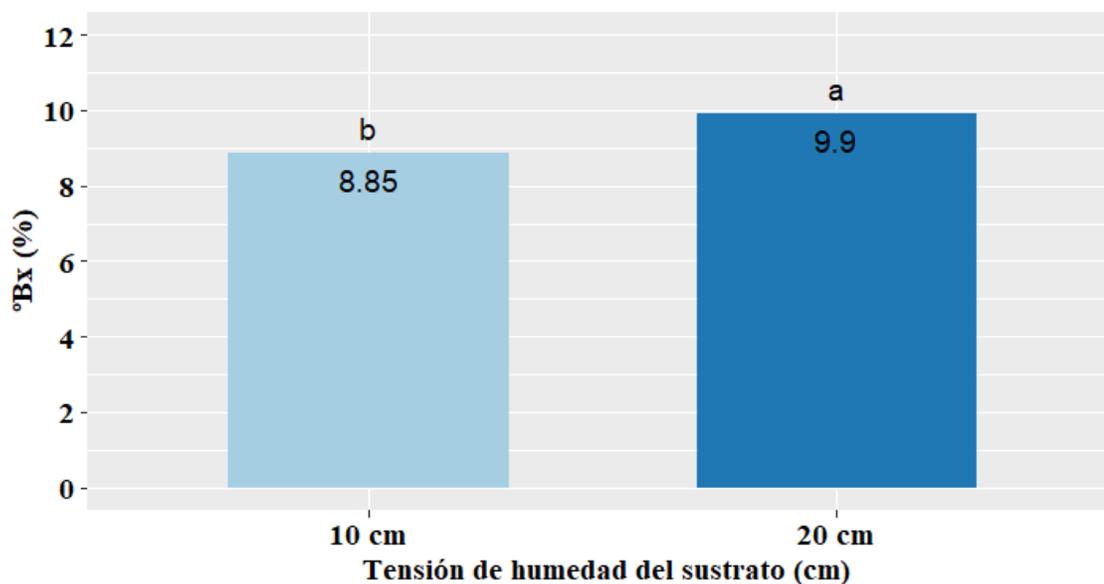


Figura 8. Grados brix de los frutos de las plantas (%) que se regaron cuando la tensión de la humedad del sustrato fue de 10 y de 20 cm.

Contenido de vitamina C

El déficit de agua puede afectar procesos metabólicos en plantas de fresa, incluida la biosíntesis de vitamina C. El ácido ascórbico (vitamina C) se sintetiza en las plantas a través de reacciones enzimáticas que requieren una disponibilidad adecuada de agua. Si la disponibilidad de agua es limitada, las plantas presentan 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, pero decrecen los niveles de azúcares solubles y ácidos orgánicos. Resultados similares también se han reportado en frutos de pimiento picante (*Capsicum annuum* cv. Battle) (Ahmed *et al.*, 2014).

Uno de los principales antioxidantes presentes en la fresa es el ácido ascórbico (vitamina C). Este se encuentra relacionado con la acidez del fruto, ya que es uno de los ácidos de mayor concentración en estos; además de estar ligado con el ácido cítrico. Esta relación se debe a que el ácido ascórbico reduce químicamente el hierro facilitando su absorción. Sin embargo, esto a su vez requiere la producción de ácido cítrico (Smirnof, 2018).

Regar las plantas cuando la tensión de humedad del sustrato es 10 o 20 cm no afecta el contenido de Vitamina C de los frutos de las plantas (Figura 9) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). el estrés hídrico que se induce al regar las plantas a la tensión de 20 cm no es tan severo para afectar el contenido de vitamina C de los frutos de las plantas. Para los productores de fresa donde el agua es el recurso limitante, se podría recomendar aplicar los riegos cuando la humedad del sustrato llegue a 20 cm, de esta forma se tendría un ahorro de agua y nutrientes de 16.32% sin afectar el contenido de vitamina C de los frutos.

El resultado de este estudio es diferente al reportado por Ahmed y Gad (2022) ya que, el contenido de vitamina C del cv. Festival se redujo 11.13 % debido al estrés hídrico

provocado al regar al 60 % de la evapotranspiración máxima de las plantas. Una posible explicación a esta diferencia es que el estrés que se provocó al regar las plantas a 20 cm de tensión no fue tan severo para afectar el contenido de vitamina C, como el inducido al regar al 60 % de la evapotranspiración máxima; otra posible respuesta es que el contenido de vitamina C del cv. Festival es más sensible al estrés hídrico que el cv, San Andreas (evaluado en este estudio)

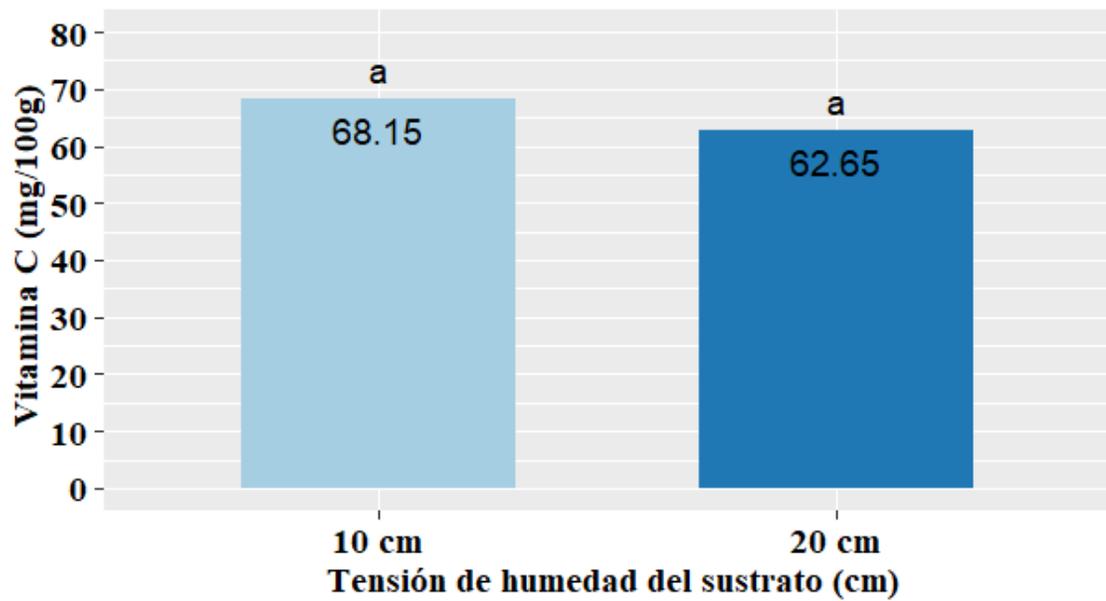


Figura 9. Contenido de vitamina C de los frutos de las plantas que se regaron cuando la tensión de la humedad del sustrato fue de 10 y de 20 cm.

CONCLUSIONES

Con la aplicación de los riegos cuando la tensión de humedad del sustrato es de 20 cm, se ahorra el 16.32 % del volumen de agua y nutrientes que se aplican a las plantas durante su ciclo de crecimiento. El estrés hídrico inducido al regar cuando la humedad del sustrato fue de 20 cm redujo (19.04 %) el rendimiento en gramos por planta, pero solo tuvo un ligero efecto en la reducción del volumen de fruto (3.20 %), peso del fruto (5.94 %), y los frutos por planta (10.98 %). Contrariamente, con el estrés hídrico inducido a las plantas se incrementó (11.86 %) los grados Brix, y no se tuvo efecto en el contenido de vitamina C.

BIBLIOGRAFÍA

- Agehara, S., & Hochmuth, G. (2023). Fertilization of Strawberries in Florida. *EDIS*, 2023(4). <https://doi.org/10.32473/edis-cv003-2023>
- Aguilar Candelas, O. J.-P. (2017). *Price Transmission along the Supply Chain of Strawberries in Mexico*. ALABAMA: Southern Agricultural Economics Association.
- 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. <https://doi.org/10.21273/hortsci.49.6.722>
- Ahmed, M.S.M y Gad, D.A.M.2022. Irrigation management for strawberry plants (*Fragaria x ananassa* Duch.) under greenhouse conditions. *Egypt. J. Agric. Res.*, (2022) 100 (4), 581-590.
- Ali, M. H., & Hussein, H. A. (2022). Design and Implementation of Smart Greenhouse and Experiment in Strawberry Cultivation. *2022 8th International Conference on Contemporary Information Technology and Mathematics, ICCITM 2022*. <https://doi.org/10.1109/ICCITM56309.2022.10031689>
- 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.
- Amini, A., Karami, F., Sedri, M. H., & Khaledi, V. (2022). Determination of water requirement and crop coefficient for strawberry using lysimeter experiment in a semi-arid climate. *H2Open Journal*, 5(4). <https://doi.org/10.2166/h2oj.2022.030>
- Anjum, S., Xie, X., & Wang, L. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9), 2026-2032.
- 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(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy11020261>
- Bayat, M., Pakina, E., Astarkhanova, T., Sediqi, A. N., Zargar, M., & Vvedenskiy, V. (2019). Review on agro-nanotechnology for ameliorating strawberry cultivation. *Research on Crops*, 20(4). <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2019.108>
- Caamal-Cauich, I. (2018). VENTAJA COMPARATIVA REVELADA DE LA FRESA (*Fragaria* spp.) MEXICANA EN LOS MERCADOS IMPORTADORES. *Agro Productividad*, 11(1).
- Camacho, M., de los Santos, B., Vela, M. D., & Talavera, M. (2023). Use of Bacteria Isolated from Berry Rhizospheres as Biocontrol Agents for Charcoal Rot and Root-

- Knot Nematode Strawberry Diseases. *Horticulturae*, 9(3).
<https://doi.org/10.3390/horticulturae9030346>
- Cao, H., Han, Y., Peng, J., & Peng, X. (2023). Improving soil moisture content to increase strawberry growth indicators using the hydroponic method. *Water Supply*, 23(7).
<https://doi.org/10.2166/ws.2023.158>
- Duchesne. A.N. & François Rozier en Cours Complet d'Agriculture Théorique, Pratique, Économique, et de Médecine Rurale et Vétérinaire 5: 52, t. 5, f. 1, en 1785.
- Eaton, G., Busch, A., Bartels, R., & Gao, Y. (2019). Colour Analysis of Strawberries on a Real Time Production Line. *2018 International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications, DICTA 2018*.
<https://doi.org/10.1109/DICTA.2018.8615779>
- FAOSTAT. (2021). *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*.
 Obtenido de Cultivos y productos de ganadería:
<https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- 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.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02006>
- Grant, O.M., Johnson, A.W., Davies, M.J., James, C.M., & Simpson, D.W. (2010). Physiological and morphological diversity cultivated strawberry (*Fragaria × ananasa*) in response to water deficit. *Environmental and Experimental Botany*, 68:264-272
- Hancock J. F. (1999) Strawberries. CABI Publishing. New York, USA. 237 p.
- Hartman, S., Farfán, M., Hoogesteger, J., & D’Odorico, P. (2022). Mapping the expansion of berry greenhouses onto Michoacán’s ejido lands, México. *Environmental Research Letters*, 17(11). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac9ac8>
- Hellio, E., & Moreno Nieto, J. (2021). La ecología-mundo bajo plástico: un análisis de la articulación entre la explotación de la naturaleza, el racismo y el sexismo en la producción de frutos rojos de Huelva. *Relaciones Internacionales*, 47.
<https://doi.org/10.15366/relacionesinternacionales2021.47.006>
- Hernandez Soto, D., Vivanco Vargas, M., Banda-Ortiz, H., Cruz-Lázaro, L. M., Gomez-Hernandez, D., & Velázquez Alquicira, D. M. (2023). Effects of an increase in Mexican strawberry exports to Canada on the profitability of producers in Mexico. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i7.2601>
- Hernández-Soto, D., de la Garza-Carranza, M. T., & Guzmán-Soria, E. (2011). Competitividad de la Fresa Mexicana de Exportación a EE. UU: Un Modelo de Equilibrio Parcial. *GCG: Revista de Globalización, Competitividad & Gobernabilidad*, 5(3).

- Holmes, G. J. (2024). The California Strawberry Industry: Current Trends and Future Prospects. *International Journal of Fruit Science*, 115-129.
- Huiping Gao, G. Y. (19 de MAYO de 2024). *First Report of Stagonosporopsis pogostemonis Causing Root Rot on Strawberry in China*. Obtenido de The American Phytopathological Society (APS): <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-23-2286-PDN>
- Islam, M. H., Haq, M. E., Paul, P. P., Paul, A., & Hoque, Z. (2017). Water requirement analysis of three strawberry cultivars by using bucket-type lysimeter and its comparative study. *Asian Journal of Medical and Biological Research*, 2(4). <https://doi.org/10.3329/ajmbr.v2i4.31013>
- Kaman, H., Gübbük, H., Tezcan, A., Can, M., & Özbek, Ö. (2023a). Water-yield relationship of greenhouse-grown strawberry under limited irrigation. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51(2). <https://doi.org/10.15835/nbha51213235>
- Kaman, H., Gübbük, H., Tezcan, A., Can, M., & Özbek, Ö. (2023b). Yield and quality of strawberry under deficit irrigation and fixed partial root drying regimes. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 60(4). <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/23.135>
- Kapur, B., Çeliktöpez, E., Sarıdaş, M. A., & Kargı, S. P. (2018). Irrigation regimes and bio-stimulant application effects on yield and morpho-physiological responses of strawberry. *Horticultural Science and Technology*, 36(3). <https://doi.org/10.12972/kjhst.20180031>
- Kapur, B., Sarıdaş, M. A., Çeliktöpez, E., & Kargı, S. P. (2023). Evaluation of the yield of strawberry genotypes by morpho-physiological parameters under deficit irrigation in the Mediterranean environment. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51(2). <https://doi.org/10.15835/nbha51213079>
- Liburd, O., & Rhodes, E. (2019). Management of Strawberry Insect and Mite Pests in Greenhouse and Field Crops. In *Strawberry - Pre- and Post-Harvest Management Techniques for Higher Fruit Quality*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.82069>
- López-Díaz, S., Sandoval-Flores, Ma. G., Flores-Pantoja, L. E., Jiménez-Mejía, R., Santoyo, G., & Loeza-Lara, P. D. (2021). Quitosanos y compuesto quitosano-octanoato de sodio reducen la pudrición de fresa en poscosecha. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(6). <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2705>
- Lozano, D., Ruiz, N., & Gavilán, P. (2016). Consumptive water use and irrigation performance of strawberries. *Agricultural Water Management*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.011>
- Marcellini, M., Mazzoni, L., Raffaelli, D., Pergolotti, V., Balducci, F., Capocasa, F., & Mezzetti, B. (2022). Evaluation of Single-Cropping under Reduced Water Supply in

Strawberry Cultivation. *Agronomy*, 12(6).
<https://doi.org/10.3390/agronomy12061396>

- Marcellini, M., Raffaelli, D., Mazzoni, L., Pergolotti, V., Balducci, F., Armas Diaz, Y., Mezzetti, B., & Capocasa, F. (2023). Effects of Different Irrigation Rates on Remontant Strawberry Cultivars Grown in Soil. *Horticulturae*, 9(9).
<https://doi.org/10.3390/horticulturae9091026>
- Martínez-Ferri, E., Soria, C., Ariza, M. T., Medina, J. J., Miranda, L., Domínguez, P., & Muriel, J. L. (2016). Water relations, growth and physiological response of seven strawberry cultivars (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) to different water availability. *Agricultural Water Management*, 164, 73–82. doi:10.1016/j.agwat.2015.08.014
- 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.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.2160>
- Merino, M. C., Guidarelli, M., Negrini, F., De Biase, D., Pession, A., & Baraldi, E. (2019). Induced expression of the *Fragaria* × *ananassa* Rapid alkalization factor-33-like gene decreases anthracnose ontogenic resistance of unripe strawberry fruit stages. *Molecular Plant Pathology*, 20(9). <https://doi.org/10.1111/mpp.12837>
- Michalski Lambrecht, D., Dal'Col Lúcio, A., Inês Diel, M., Schmidt, D., De Lima Tartaglia, F., & Tischler, A. L. (2020). Differences between strawberry cultivars based on principal component analysis. *International Journal for Innovation Education and Research*, 8(6). <https://doi.org/10.31686/ijer.vol8.iss6.2383>
- Molar-Orozco, M. E., Velázquez-Lozano, J., & Vázquez-Jiménez, M. G. (2020). Comportamiento térmico de tres prototipos en Saltillo, Coahuila (bloques de tierra, concreto y tapa de huevo). *Revista Hábitat Sustentable*, 10(1).
<https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.02>
- Ödemiş, B., Candemir, D. K., & Evrendilek, F. (2020). Responses to drought stress levels of strawberry grown in greenhouse conditions. *Horticultural Studies*, 37(2), 113-122.
- Pat-Fernández, V. G., Caamal-Cauich, I., Caamal-Pat, Z. H., & Jerónimo-Ascencio, F. (2016). Análisis de los indicadores de competitividad del cultivo de la fresa de México en el mercado mundial. *Textual*, 68.
<https://doi.org/10.5154/r.textual.2016.68.004>
- 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. Compinas*, 39 (1): 245-254.

- Quintero-Ramírez, J. M., Omaña-Silvestre, J. M., & Ramírez-Padrón, L. C. (2020). Análisis de indicadores de ventajas comparativas reveladas: competitividad de las exportaciones de fresa (*Fragaria spp.*) mexicana. *Revista de Desarrollo Económico*. <https://doi.org/10.35429/jed.2020.24.7.13.19>
- Ramírez Padrón, L. C., Cauich, I. C., Fernández, V. G. P., Luis, D. M., & Fernández, A. P. (2020). Análisis de los indicadores de competitividad de las exportaciones de fresa mexicana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4). <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2049>
- Rivera Fernández, R. D., Heredia Pinos, M. R., Moreira Saltos, J. R., Apolo Bosquez, J. A. ., Caicedo Camposano, O. ., & Cabrera Verdezoto, R. P. . (2021). Efecto del riego deficitario aplicado en etapa inicial del cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) en un suelo franco. *Ciencia y Tecnología*, 14(1), 55–60. <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i1.459>
- Romero-Gómez, M., & Suárez-Rey, E. M. (2020). Environmental footprint of cultivating strawberry in Spain. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(4). <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01740-w>
- Sáenz-Sáenz, T. J., & Hernandez-Ruiz, N. (2023). EFECTO IN VITRO DE EXTRACTO DE *Solanum nigrum mexicanus* EN TRES HONGOS PATÓGENOS DEL CULTIVO DE FRESA. *Revista Ciencia e Innovación Agroalimentaria de La Universidad de Guanajuato*, 2(2). <https://doi.org/10.15174/cia.v2i2.41>
- ŞAHİN, M., EŞİTKEN, A., PIRLAK, L., ALTINTAŞ, S., & TURAN, M. (2019). EFFECT OF DN1 BACTERIAL STRAIN APPLIED BY DIFFERENT METHODS ON SOME MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF STRAWBERRY CV. SAN ANDREAS (*Fragaria X ananassa* Duch.). *AGROFOR*, 4(1). <https://doi.org/10.7251/agreng1901057s>
- Simpson, D. (2018a). *The Economic Importance of Strawberry Crops*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76020-9_1
- Simpson, D. (2018b). *The Economic Importance of Strawberry Crops*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76020-9_1
- Simpson, D. (2018c). *The Economic Importance of Strawberry Crops*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76020-9_1
- Smirnof f, N. (2018). Ascorbic acid metabolism and functions: A comparison of plants and mammals. *Free Radical Biology and Medicine*, 122,116-129. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.03.033>
- SIAP. (2021). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Obtenido de SIAP: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do

- Soper, R. (2020). How wage structure and crop size negatively impact farmworker livelihoods in monocrop organic production: interviews with strawberry harvesters in California. *Agriculture and Human Values*, 37(2). <https://doi.org/10.1007/s10460-019-09989-0>
- Thokchom, A., & Hazarika, B. N. (2022). Morpho-physiological and Biochemical Changes under Drought Stress in Strawberry: A Review. *Agricultural Reviews, Of*. <https://doi.org/10.18805/ag.r-2295>
- Valencia Juárez, M. C., Escobedo López, D., Díaz Espino, L. F., & González Pérez, E. (2019). Aclimatación ex vitro de plántulas de *Fragaria x ananassa* Duch. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1). <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1633>
- Vergara-Pineda, S., Toledo-Hernández, R. A., Rodríguez, D., & Jones, R. W. (2023). Fungus Gnat (Diptera: Sciaridae) as an Emergent Pest Associated with Berry Production in Mexico. *Florida Entomologist*, 106(3). <https://doi.org/10.1653/024.106.0305>
- Wu, F., Guan, Z., Arana Coronado, J. J., & Garcia-Nazariaga, M. (2018). An Overview of Strawberry Production in Mexico. *EDIS*, 2018(1). <https://doi.org/10.32473/edis-fe1014-2017>
- Wu, Y., Li, L., Li, M., Zhang, M., Sun, H., & Sigrimis, N. (2020). Optimal fertigation for high yield and fruit quality of greenhouse strawberry. *PLoS ONE*, 15(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224588>
- Yang, L., Gao, W., Huo, J., Zhang, C., & Wang, Y. (2023). Identification of Strawberry Wilt Caused by *Plectosphaerella cucumerina* in China. In *Plant Disease* (Vol. 107, Issue 10). <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-23-0544-PDN>
- Yenni, Ibrahim, M. H., Nulit, R., & Sakimin, S. Z. (2022). Influence of drought stress on growth, biochemical changes and leaf gas exchange of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) in Indonesia. *AIMS Agriculture and Food*, 7(1). <https://doi.org/10.3934/AGRFOOD.2022003>
- Yin, S., & Larson, K. D. (2009). Strawberry industry in China. *Acta Horticulturae*, 842. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2009.842.132>
- ZAHRA, N., SAEED, M. K., FATIMA, N., SHEHZAD, E., & SAEED, A. (2023). EXPLORING THE ALLURE OF STRAWBERRIES. *Innovare Journal of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.22159/ijags.2023.v11i5.48533>
- Zamora Torres, A. I., & Baez-Figueroa, I. (2022). Profitability and comparative advantage: Analysis of strawberry production in Michoacán, Mexico. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i9.2233>

Zhan, Y. J., Peng, W. J., Xu, Z. Q., Xu, H., & Feng, X. H. (2020). First Report of *Phytophthium helicoides* Causing Root and Crown Rot on Strawberry in China. In *Plant Disease* (Vol. 104, Issue 9). <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-20-0550-PDN>

Zhang, Y. T., Wang, G. X., & Dong, J. (2009). Recent state in strawberry production and research in China. *Acta Horticulturae*, 842. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.842.134>