



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO COMO UN INDICADOR DEL MOMENTO
DEL RIEGO EN FRESA (*Fragaria x ananassa*)

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

EDGAR PLATAS GALINDO

DIRECTOR DE TESIS

M.C. GUILLERMO JESUITA PÉREZ MARROQUÍN

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2022



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO COMO UN INDICADOR DEL MOMENTO
DEL RIEGO EN FRESA (*Fragaria x ananassa*)

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

EDGAR PLATAS GALINDO

DIRECTOR DE TESIS

M.C. GUILLERMO JESUITA PÉREZ MARROQUÍN

ASESORES

DR. RAÚL BERDEJA ARBEU

DR. FABIÁN ENRIQUEZ GARCÍA

M.C. FABIEL VÁZQUEZ CRUZ

San Juan, Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2022.

La presente tesis titulada: **Índice de estrés hídrico como un indicador del momento de riego en fresa (*Fragaria x ananassa*)** y realizada por **Edgar Platas Galindo**, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Consejo Particular integrado por:

Firma

Director: M.C. Guillermo Jesuita

Pérez Marroquín

Asesor: DR. Raúl Berdeja Arbeu

Asesor: DR. Fabián Enríquez García

Asesor: M.C. Fabiel Vázquez Cruz

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2022.

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: **BUAP CA-231 Manejo de Recursos Fitogenéticos** y de la Línea de Investigación: **Manejo y Conservación de Recursos Fitogenéticos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias**. Dicho trabajo fue financiado con recursos propios.

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico este trabajo a mi padre Erasmo Platas García y a mi madre Cristina Galindo Rodríguez quienes siempre me han apoyado y se han esforzado para que obtuviese este logro, quienes me han enseñado y siguen enseñando demasiadas cosas a lo largo de mi vida, las palabras no son suficientes para agradecerles lo que han hecho siempre por mí.

A mis hermanos Lorena Platas Galindo y a Diego Erasmo Platas Galindo quienes han estado conmigo ayudándome, apoyándome y haciendo que me esfuerce más de lo que debo hacer.

A mis abuelitos que siempre han estado al pendiente de mí y me han cuidado y han hecho lo posible para seguir adelante, a mis tíos y primos que me han apoyado cuando lo he necesitado.

A mis amigos Marcos, Rodrigo, Issac y Elfego que en lo largo de la carrera me apoyaron y ayudaron en varias ocasiones y por los momentos de convivencias que tuvimos.

A los docentes en general por haberme enseñado con sus experiencias y aprendizajes a lo largo de la carrera.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por la aceptación para poder estudiar en sus instituciones y obtener este título.

A la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias por haberme aceptado en sus instalaciones y campos experimentales para un mejor futuro.

Al M.C. Guillermo Jesuita Pérez Marroquín por ser mi director de tesis y tutor que en todo momento me apoyo y enseñó a lo largo de la carrera.

Al Dr. Raúl Berdeja Arbeu, DR. Fabian Enríquez García y al M.C. Fabiel Vázquez Cruz por haber aceptado ser parte del comité de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo general	4
2.2. Objetivos específicos	4
III. HIPÓTESIS	5
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1. Cultivo de fresa	6
4.1.1. Requerimientos nutricionales	6
4.1.2. Flor	7
4.1.3. Fruto	7
4.1.4. Tallo y raíz	8
4.1.5. Hojas	8
4.1.6. Estolones	9
4.1.7. Producción nacional	9
4.1.8. Producción estatal	10
4.1.9. Estrés hídrico	10
4.2. Recurso hídrico a nivel mundial	10
4.3. Recurso hídrico a nivel nacional	11
4.4. Sistemas de riego	11
4.5. Riego en México	12
4.6. Riego por goteo	12
4.6.1. Importancia del riego por goteo	13
4.7. Humedad del suelo	13
4.7.1. Medición de la humedad del suelo	14

4.8. Índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI).....	14
V. MATERIALES Y MÉTODOS	16
5.1. Ubicación del sitio experimental.....	16
5.2. Metodología.....	16
5.3. Medición de los parámetros en el cálculo del índice de estrés hídrico	17
5.4. Material vegetativo.....	18
5.5. Establecimiento del cultivo.....	18
5.6. Descripción de los tratamientos.....	18
5.7. Variables a evaluar.....	19
5.7.1. Cada tratamiento se evaluó.....	19
5.7.2. De cada tratamiento se tomó 20 frutos y se evaluó...	19
5.8. Diseño experimental.....	19
5.9. Análisis estadístico.....	19
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
6.1. Análisis de número de flor.....	20
6.2. Análisis de número de fruto.....	21
6.3. Análisis del diámetro polar. Diámetro ecuatorial y solidos solubles totales	22
6.4. Comportamiento de temperatura del dosel de la planta...	26
6.5. Comportamiento del Índice de Estrés Hídrico del Cultivo (CWSI)	27
VII. CONCLUSIÓN	28
VIII. LITERATURA CITADA	29

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1. Valores óptimos de fertilización según la etapa fenológica del cultivo de fresa.....	7
Cuadro 2. Tratamientos empleados a diferentes niveles de humedad.....	18
Cuadro 3. Comparación de medias para la variable número de flor del cultivo de fresa en diferentes fechas. Teziutlán, Puebla.....	21
Cuadro 4. Comparación de medias para la variable número de fruto del cultivo de fresa en diferentes fechas. Teziutlán, Puebla.....	22
Cuadro 5. Comparación de medias para las variables diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE), y sólidos solubles totales (SST) del cultivo de fresa en el primer corte (02/05/22). Teziutlán, Puebla.....	23
Cuadro 6. Comparación de medias para las variables diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE), y Sólidos solubles totales (SST) del cultivo de fresa en el segundo corte. Teziutlán, Puebla.....	24
Cuadro 7. Comparación de medias para las variables diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE), y Sólidos solubles totales (SST) del cultivo de fresa en el tercer corte. Teziutlán, Puebla.....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Comportamiento de temperatura del dosel de la planta con diferentes láminas de riego.....	26
Figura 2. Comportamiento del índice de estrés hídrico de los diferentes tratamientos.....	27

RESUMEN

La fresa (*Fragaria x ananassa*) es un cultivo de gran importancia económica para muchos agricultores del país. El cultivo de la fresa requiere un riego óptimo, ya que este cultivo es sensible al déficit hídrico, lo que afecta gravemente el crecimiento y la producción de las plantas. Un programa de riego puede ahorrar un 50 % de agua y el riego por goteo puede tener un efecto positivo en la altura de las plantas. Una forma de medir el riego es el Índice de estrés hídrico de cultivos (CWSI). Es una medida de la transpiración que se produce en el cultivo en el momento de la medición mediante el registro de la temperatura del cultivo y el déficit de presión de vapor de agua. El objetivo de la presente investigación fue estudiar el crecimiento vegetativo y reproductivo de la planta a base de la metodología del CWSI con cuatro tratamientos de diferente porcentaje de lámina de riego (100%, 90%, 80%, 70%) con cuatro repeticiones cada uno. Para ello se tomaron medidas de la temperatura de la planta, a base de los datos de la temperatura ambiente, temperatura del dosel de la planta, humedad relativa y datos que se calcularon con los datos anteriores para calcular y obtener el CWSI. Los resultados obtenidos mostraron una planta no estresada lo cual lo reflejó en el crecimiento vegetativo y reproductivo de la planta no teniendo tantas diferencias como lo previsto. El método estudiado no es tan eficiente para climas húmedos ya que al tener una humedad relativa alta las plantas no presentaran un estrés como lo esperado.

Palabras clave: *Fragaria x ananassa*, índice de estrés hídrico, riego, dosel, flor, fruto.

ABSTRACT

Strawberry (*Fragaria x ananassa*) is a crop of great economic importance for many farmers in the country. Strawberry cultivation requires optimal irrigation, as this crop is sensitive to water deficit, which severely affects plant growth and production, An irrigation schedule can save 50% water and drip irrigation can have a positive effect on plant height. One way to measure irrigation is the Crop Water Stress Index (CWSI). It is a measure of transpiration occurring in the crop at the time of measurement by recording crop temperature and water vapor pressure deficit. The objective of the present investigation was to study the vegetative and reproductive growth of the plant based on the CWSI methodology with four treatments of different percentage of irrigation lamina (100%, 90%, 80%, 70%) with four replications each. For this purpose, measurements were taken of the plant temperature, based on ambient temperature data, plant canopy temperature, relative humidity and data that were calculated with the above data to calculate and obtain the CWSI. The results obtained showed a non-stressed plant which was reflected in the vegetative and reproductive growth of the plant not having as many differences as expected. The method studied is not as efficient for humid climates since the high relative humidity of the plants will not present a stress as expected.

Key words: *Fragaria x ananassa*, water stress index, irrigation, canopy, flower, fruit.

I. INTRODUCCIÓN

Las fresas son un cultivo de gran importancia económica para muchos agricultores del país. Este cultivo requiere unos 12,546 mm de agua durante su ciclo, pero los agricultores suelen utilizar más de lo que necesita la planta por desconocimiento o pensando que se trata de más agua, abusamos de este recurso aplicándola (Vázquez-Gálvez *et al.*, 2008). Este cultivo es sensible al déficit hídrico (Hanson y Bendixen, 2004), lo que afecta severamente el crecimiento y la producción de las plantas (Krüger *et al.*, 1999), y las plantas tienen efectos directos sobre los procesos metabólicos, fisiológicos e incrementan la resistencia estomática (Pires *et al.*, 2006).

La apertura estomática es uno de los procesos fisiológicos más importantes afectados en condiciones de estrés hídrico (Taiz y Zeiger, 2006) y es de gran importancia ya que es el principal control del paso de agua durante el intercambio gaseoso. Por otro lado, las condiciones de humedad excesiva también afectan negativamente el crecimiento de la fresa (Kirnak *et al.*, 2003).

León *et al.* (2003) demostraron que la siembra de fresa requiere alta humedad para un buen desarrollo de la planta. Además, estas plantas tienen un alto consumo de agua durante las etapas de maduración y cosecha. Además, es mejor usar pequeñas dosis con más frecuencia. Debido a que el sistema de raíces está en la superficie, por lo que recomiendan una frecuencia de riego de 2 días, pero los productores prefieren saltar para evitar períodos de sequía, pero la alta humedad también puede causar pérdida de nutrientes (Ojeda-Real *et al.*, 2008), así como también un aumento en la incidencia de enfermedades (Merchán-Gaitán *et al.*, 2014).

Un programa de riego puede ahorrar alrededor del 50% del agua, mientras que el riego por goteo puede aumentar la altura de la planta, el índice de área foliar, el peso y la calidad de la fruta en un 10-15%. Como resultado, la investigación sobre la eficiencia en el uso del agua ha aumentado en los últimos años, al igual que la inversión en investigación para desarrollar planes y sistemas de riego para una producción de alimentos y una gestión de los recursos hídricos más sostenibles (Cosgrove y Rijisberman, 2014).

El agua cubre 3/4 de la superficie terrestre. La mayor parte del agua se utiliza en la agricultura, para el riego de cultivos. Se estima que el 70 % del agua dulce se utiliza para el riego y, en algunos países del norte, el riego absorbe hasta el 90 % de los recursos hídricos. El 20 % se utiliza en la industria y el 10 % en las ciudades y los hogares (Annan, 2015).

Uno de los desafíos que enfrenta la agricultura mundial es la necesidad crítica de agua potable, y cada vez hay más pruebas de que este tipo de agricultura tiene limitaciones ecológicas y no puede hacer frente a las crecientes demandas de producción de alimentos a medida que disminuye la disponibilidad de agua. Se convierte en un claro problema limitante de sus rutas técnicas, especialmente en algunas zonas pobres del mundo afectadas por la escasez de agua (Toledo, 2002).

Actualmente existen diversos métodos que pueden ayudar a determinar los parámetros de tiempo de riego y volumen de riego para una mejor gestión de los recursos hídricos, tales como: determinación de la humedad del suelo, medición del estado energético del agua en el suelo, evaluación de la demanda atmosférica y determinación de agua, (Buchner et al., 1994) o temperatura de dosel usando termometría infrarroja (Giuliani et al., 2001).

Otro método es el Índice de Estrés Hídrico del Cultivo (CWSI), que mide la cantidad de transpiración que ocurre en una planta midiendo y registrando la temperatura de la planta y el déficit de presión de vapor de agua. Este enfoque es necesario para planificar adecuadamente el riego de cultivos en campo abierto. Las mediciones del déficit de agua de las plantas combinadas con sistemas de riego eficientes pueden aumentar el rendimiento a través de una gestión eficaz del riego (Garrot *et al.*, 1990).

La región de Teziutlán se caracteriza principalmente por su clima húmedo durante la mayor parte del año, por lo que el método CWSI se puede utilizar en zonas de clima húmedo donde los cultivos requieren riego durante la estación seca y tienen alta radiación solar.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Estudiar el crecimiento vegetativo y reproductivo de fresa según la metodología del índice de estrés hídrico y optimización del agua de riego en el cultivo.

2.2. Objetivos específicos

- Comprender la utilidad práctica que tiene en la planificación de riego.
- Determinar la optimización del agua de riego en el cultivo de fresa.

III. HIPÓTESIS

El índice de estrés hídrico del cultivo de fresa afecta directamente según la etapa productiva.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Cultivo de fresa

4.1.1. Requerimientos nutricionales

El cultivo de fresas requiere nitrógeno y potasio, ya que son los componentes principales de la fruta. El nitrógeno y el potasio son esenciales para el crecimiento de los cultivos, pero el exceso de nitrógeno puede ablandar la fruta, retrasar la maduración, reducir el rendimiento y aumentar la incidencia de enfermedades fúngicas (Hancock, 1999).

El potasio es necesario para procesos fisiológicos como la activación de enzimas, el transporte de azúcares, la función estomática, la síntesis de proteínas y la fotosíntesis (Maas, 1998); aumenta la producción de flores y el rendimiento de frutos (Albregts *et al.*, 1991). El calcio es importante para la firmeza de la fruta. La deficiencia de boro reduce la producción de polen vivo y reduce la expansión del receptáculo. La deficiencia de zinc da como resultado frutos pequeños y bajo rendimiento, mientras que la deficiencia de hierro reduce el vigor de las hojas (Hancock, 1999). El Cuadro 1 muestra la tasa de fertilización.

Cuadro 1. Valores óptimos de fertilización según la etapa fenológica del cultivo de fresa

Etapa fenológica	Fertirrigación
Vegetativa: primer mes	Arrancador 10-10-10 (NPK)
Vegetativa: tres hojas	15-30-15 (NPK)
Reproductiva: inicio de floración	18-18-18 (NPK)
Productiva: Cuajado de frutos y fructificación	Aumento de calcio y potasio y utilizar fertilizante con dosis 13-10-40 (NPK)

Fuente: Patiño *et al.* (2014)

4.1.2. Flor

Las inflorescencias pueden formarse a partir de yemas terminales de la corona o de yemas de hojas axilares. Las ramas de la inflorescencia pueden ser basales o distales. En el primer caso aparecen varias flores de tamaño similar, mientras que en el segundo aparecen la flor terminal o primaria y otras flores secundarias más pequeñas. Las flores tienen 5-6 pétalos, 20-35 estambres y cientos de semillas en un receptáculo carnoso. Cada óvulo fertilizado produce una fruta en forma de hongo. Los aquenios esparcidos sobre la superficie del receptáculo carnoso se desarrollan, estimulan su crecimiento y color, dando como resultado el fruto (Cervantes y Del Centro, 2003).

4.1.3. Fruto

El fruto de la fresa se conoce botánicamente como pseudocarpo, éste es un conjunto de aquenios sobre un receptáculo carnoso que constituye la parte comestible. Recipientes maduros de hasta 5 cm de diámetro, aplanados, globosos, conos largos, cono de cuello largo, cono largo y cono cortó. Su color puede

ser rosa, carmín, rojo o morado. El depósito tiene diferentes formas, aromas y texturas propias de cada variedad. Los aquenios, a menudo llamados semillas, son frutos secos no fertilizados de alrededor de 1 mm de largo, que se insertan en la superficie del receptáculo o en pequeñas depresiones más o menos profundas llamadas criptas. El color de los aquenios puede ser amarillo, rojo, verde o marrón (Altamirano, 2004).

4.1.4. Tallo y raíz

El tallo está formado por un eje corto y tiene un aspecto cónico llamado corona donde se observan numerosas escamas foliares. Como raíz posee un sistema radicular agrupado conformado por rizomas y raíces finas, las primeras para soporte y las segundas para absorción de nutrientes y almacenamiento de sustancias o sustancias de reserva (Celia, 2004).

A pesar de los factores ambientales, patógenos del suelo, efectos, etc. tiene lugar un proceso de renovación fisiológica en los pelos radicales para alterar el equilibrio. La profundidad del sistema de raíces varía mucho según, entre otras cosas, el tipo de suelo y la presencia o ausencia de patógenos en él. No superan los 40 cm, y la mayoría (90%) en los primeros 25 cm (Chiqui y Lema, 2010).

4.1.5. Hojas

Según Bolda *et al.* (2015) las hojas de la fresa generalmente constan de tres folíolos y tales hojas son "trilobales". Las hojas crecen en espiral con las hojas más jóvenes en el centro de la espiral. Las hojas se forman a lo largo de la temporada de crecimiento, cada 8-12 días. Los nutrientes que circulan en la planta fluyen hacia las hojas nuevas para ayudarlas a desarrollarse. Las hojas maduras permanecen en la planta durante varios meses.

4.1.6. Estolones

Los días largos y las temperaturas superiores a los 59 grados Fahrenheit fomentan el desarrollo de estolones conocidos como "guías". Estos son los tallos vegetativos y las hojas de las plantas que crecen a través de la superficie del suelo. Con el tiempo, las plantas jóvenes desarrollan su propio sistema de raíces. Es la respuesta natural de la planta a las condiciones que impulsan la fase reproductiva. Las plantas de fresa usan estolones para la propagación. La eliminación de estolones permite que la energía fluya hacia la producción de follaje y flores (Bolda et al., 2015).

4.1.7. Producción nacional

El 52.21% de la producción nacional se vende en mercados externos, y las fresas son un producto exitoso en el comercio internacional. México es el tercer proveedor de fresas frescas al mercado internacional, representando el 14.83% de las exportaciones mundiales. En particular, las exportaciones mexicanas representaron el 87.79% de las importaciones estadounidenses (SAGARPA, 2016).

En cuanto a la producción, el 89,78% de las 11,092 hectáreas sembradas en 2016 están mecanizadas. El 65,63% utilizó tecnología fitosanitaria, mientras que el 87,14% de las áreas donde se cultivó este cultivo recibió asistencia técnica. Por otro lado, el 56,96% de la producción fue temporal, mientras que el 0,74% de la producción total por método de riego fue riego por goteo, el 3,54% de la producción fue riego por aspersion, el 2,98% fue riego por gravedad, el 0,01% fue riego por goteo y otros sin especificar métodos de riego (SAGARPA, 2016).

4.1.8. Producción estatal

En México, las fresas se cultivan en 12 estados, los principales productores y exportadores de fresas en México son Michoacán (3,153 hectáreas), Baja California (1,386 hectáreas) y Guanajuato (1,043 hectáreas). Cabe mencionar que Michoacán concentra el 52.38% de la producción de fresas del país; Baja California, 24.19% y Guanajuato, 14.98%. Los otros dos estados productores son Baja California Sur (4.68% de la producción nacional) y el Estado de México con 2.68% (Santoyo y Martínez, 2010).

4.1.9. Estrés hídrico

En el cultivo de fresas, la práctica ha crecido rápidamente ya que se ha demostrado que los rendimientos de los cultivos se pueden aumentar en condiciones óptimas. Si bien este desarrollo acelerado explotó los campos agronómicos de los cultivos, no se prestó la misma atención al componente de mecanización, por lo que salvo la labranza primaria, el resto de las actividades relacionadas con el cultivo se realizaban manualmente (López, 2003).

4.2. Recurso hídrico a nivel mundial

Se estima que el mundo dispone de unos 1,400 millones de metros cúbicos de agua, de los cuales 35 millones de metros cúbicos (2,5%) son agua dulce. La precipitación media anual sobre la tierra es de 119,000 kilómetros cúbicos, de los cuales unos 74,000 kilómetros cúbicos se evaporan a la atmósfera. Los 45,000 km³ restantes desembocan en lagos, embalses y arroyos o se filtran en el suelo para alimentar acuíferos. Esta cantidad de agua a menudo se denomina "recurso hídrico". No todos estos recursos están disponibles porque parte del agua fluye hacia ríos distantes y parte durante inundaciones periódicas. Las

estimaciones del área disponible para el uso económico humano oscilan entre 9,000 y 14,000 kilómetros cúbicos, lo que es muy pequeño en comparación con la cantidad total de agua en la Tierra (FAO, 2002).

4.3. Recurso hídrico a nivel nacional

En México, los desafíos de la gestión de los recursos hídricos se derivan de la disponibilidad de agua, la concentración de la población y los aportes económicos. En primer lugar, el país cuenta actualmente con una población de 103,263,388 y 653 acuíferos, todos ellos concentrados en determinadas zonas (Nava, 2006).

Además, más del 79% de la población total corresponde a población urbana. De ese porcentaje, el 45 por ciento se ubica en 23 municipios del norte y centro del país, región con 104 acuíferos en estado sobreexplotado. Por otro lado, en el sureste del país solo existen 8 ciudades con el 4,9% de la población urbanizada, y la alta concentración de recursos hídricos hace que el consumo de agua por Habitante sea de 13,290 m³ por año⁻¹ (Nava, 2006).

4.4. Sistemas de riego

Los sistemas de riego están diseñados para proporcionar a los cultivos el agua que necesitan y complementar el agua recibida en forma de lluvia natural. Surgen dificultades en la distribución del agua en el campo, lo que provoca pérdidas e impide que el agua se distribuya uniformemente. Abordar estos desafíos es importante, pero más aún cuando el agua se está convirtiendo en un recurso cada vez más escaso. Para juzgar la calidad de un sistema de riego o de una planta es necesario conocer algunos conceptos (Badillo *et al.*, 2009).

4.5. Riego en México

El agua es un recurso natural estratégico, un bien público, económico, ambiental y social que requiere de esfuerzos coordinados en los tres niveles de gobierno y sociedad para lograr la sustentabilidad hídrica, ya que de su presencia depende la mayor parte de las actividades productivas en México, principalmente en la agricultura; por lo tanto, su disponibilidad lo convierte en un elemento importante de la seguridad alimentaria y por ende un asunto de seguridad nacional (Almazán, 2003).

Con 6.3 millones de hectáreas de tierras de regadío, México ocupa el sexto lugar a nivel mundial en cuanto a infraestructura productiva agrícola, es por ello que la agricultura de regadío es uno de los principales motores del desarrollo económico de México, aportando el 51% de la producción agrícola del país y el 70% de las exportaciones del sector. En este sentido, es único el aporte de 86 distritos de riego, que también contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de la población rural (Almazán, 2003).

4.6. Riego por goteo

El riego por goteo es uno de los sistemas más eficaces, eficientes, prácticos y económicos, no solo por el menor consumo de agua, sino también por el ahorro en mano de obra y consumo de fertilizantes, así como por el gran aumento del rendimiento y la productividad (Groppa, 1983).

Desde el punto de vista agronómico se denominan riegos puntuales porque humedecen parte del suelo lo justo para que el cultivo crezca bien. También conocido como de alta frecuencia, permite regar una o dos veces al día, durante un día completo o durante varios días según el tipo de suelo y las necesidades del cultivo (Liotta *et al.*, 2015).

La posibilidad de riego frecuente puede reducir significativamente el riesgo de estrés hídrico, ya que la humedad del suelo puede mantenerse en un nivel óptimo durante todo el período de crecimiento y así mejorar las condiciones para el crecimiento de las plantas (Liotta *et al.*, 2015).

4.6.1. Importancia del riego por goteo

Nijensohn (1977) mencionó la importancia del riego por goteo, cuyo espaciamiento depende del rendimiento, desarrollo, edad y condiciones generales, para permitir la producción agrícola en suelos salinos. También destaca que en condiciones de sequía, el proceso de desalinización ocurre solo en la zona debajo del gotero cercana a las plantas, mientras que la salinidad inicial del suelo se mantiene invariable e incluso aumenta en los espacios entre hileras, lo que significa una amenaza constante para los cultivos y una barrera química para la extensión del sistema radical.

4.7. Humedad del suelo

Los suelos contienen diferentes cantidades de agua dependiendo de su textura y estructura. El límite superior de almacenamiento de agua a menudo se denomina "capacidad de campo" (CC), y el límite inferior se denomina "punto de marchitez permanente" (PMP). Después de un evento de lluvia o riego, el suelo se satura, parte del agua del suelo se mueve rápidamente hacia abajo debido a la gravedad (drenaje). La humedad del suelo disminuye continuamente durante el drenaje (Zotarelli *et al.*, 2013).

El suelo arenoso drena más rápido que el suelo arcilloso. Después de un tiempo, el drenaje rápido se vuelve insignificante y la humedad del suelo en este punto se denomina "capacidad de campo". El punto de marchitez permanente se define como el nivel de humedad del suelo en el que la planta ya no tiene la capacidad

de absorber agua del suelo, lo que hace que la planta se marchite y muera si no se le suministra agua adicional. Sin embargo, la mayoría de las plantas estarán bajo un estrés hídrico significativo para entonces, y es probable que los rendimientos de las plantas se reduzcan significativamente antes de que alcancen el punto de marchitez (Zotarelli *et al.*, 2013).

4.7.1. Medición de la humedad del suelo

En la planificación del riego se utilizan varios métodos: determinación de la humedad del suelo, medición del estado energético del agua en el suelo, estimación de la demanda atmosférica y determinación del potencial hídrico de las plantas (Buchner *et al.*, 1994) o termometría de temperatura de dosel mediante rayos infrarrojos (Giuliani *et al.*, 2001).

4.8. Índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI)

El método del índice de estrés hídrico de cultivos (CWSI) mide la transpiración que ocurre en las plantas al registrar la diferencia en la temperatura y la presión del vapor de agua dentro de las plantas. Este enfoque es necesario para planificar adecuadamente el riego de cultivos en campo abierto. Las mediciones del déficit de agua de las plantas combinadas con sistemas de riego eficientes pueden aumentar el rendimiento mediante una gestión eficaz del riego (Garrot *et al.*, 1990).

El CWSI se basa en la teoría del balance de energía superficial, una función lineal entre la diferencia de temperatura del aire del cultivo y la diferencia de presión de vapor, que depende del cultivo y de las condiciones atmosféricas. El agua evaporada de la superficie de las plantas también actúa como estabilizador de la temperatura de las hojas, anticipándose a los requerimientos de la evaporación atmosférica (López *et al.*, 2009).

Jackson *et al.* (1981) propusieron una teoría del balance de energía que separa la radiación neta en calor sensible del aire y calor latente que afecta la transpiración. Cuando un cultivo se expone a déficit hídrico, los estomas se cierran, la transpiración disminuye y la temperatura de las hojas aumenta. Cuando las plantas hacen la transición sin estrés hídrico, las temperaturas de las hojas son de 1 a 4 °C más bajas que la temperatura ambiente, lo que da como resultado un índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) de 0. A medida que disminuye la transpiración, las temperaturas de las hojas aumentan y pueden llegar a 4 a 6°C por encima de la temperatura del aire. En este caso, el déficit hídrico es elevado y la transpiración de las hojas disminuye rápidamente a medida que aumenta la temperatura de las hojas; cuando la planta muere o no florece durante mucho tiempo, el CWSI es 1.

Los indicadores de estrés hídrico basados en la temperatura de la hoja medida por teledetección tienen una alta resolución espacial y espectral y un tiempo de respuesta rápido (Parkash y Singh, 2020; Messina y Modica, 2020).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación del sitio experimental

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de 210 metros cuadrados, ubicado dentro de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, en la localidad de San Juan Acateno, Teziutlán. Puebla., Con coordenadas: 19° 52' 30'' de latitud norte y 97° 21' 34'' de longitud oeste. El clima es templado y lluvioso en verano, con una temperatura media anual de 15°C y una precipitación media anual de 1,609 mm. Se encuentra a una altitud de 1,938 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2019).

5.2. Metodología

Para el cálculo del índice de estrés hídrico del cultivo se siguió la metodología propuesta por Jackson *et al.* (1981), lo cual está definido como:

$$CWSI = \frac{[(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_{li}]}{[(T_c - T_a)_{ls} - (T_c - T_a)_{li}]}$$

Donde, T_c = temperatura del cultivo; T_a = temperatura del aire. El subíndice m denota la diferencia medida entre las dos temperaturas, el subíndice li (límite inferior) denota la diferencia entre las dos temperaturas cuando la evapotranspiración no está restringida por disponibilidad del agua, de modo que la T_c es el valor más bajo para las condiciones del clima, y el subíndice ls (límite superior) denota la diferencia hipotética entre las dos temperaturas cuando la evapotranspiración es cero, como resultado de falta de disponibilidad de agua en el sistema suelo planta atmósfera.

Se espera que CWSI cambie de 0 a 1 a medida que las plantas pasen de una condición totalmente regada a una totalmente estresada. Dado que generalmente no es posible medir simultáneamente la temperatura de cultivos estresados y no estresados, el límite inferior y superior del dosel se pueden calcular mediante el análisis del balance de energía superficial. Este balance de energía se puede expresar como:

$$R_n = G + H + \lambda E$$

Donde, R_n = radiación neta ($W\ m^{-2}$); G = flujo del calor en la superficie del suelo ($W\ m^{-2}$); H = flujo del calor sensible del aire ($W\ m^{-2}$); λE = flujo de calor latente ($W\ m^{-2}$). Los términos H y λE en la Ecuación 2 son una función de los gradientes de la temperatura y de la presión de vapor respectivamente y se pueden expresar como:

$$H = \frac{\rho_a C_p (T_c - T_a)}{r_a} \quad E = \frac{\rho_a C_p (e_s - e_a)}{\gamma (r_a + r_c)}$$

Donde, ρ_a = densidad del aire ($kg\ m^{-3}$); C_p = calor específico del aire ($J\ kg^{-1}\ ^\circ C$); e_s = presión de vapor de agua a saturación (kPa) a T_c ; e_a = presión de vapor de agua actual del aire; γ = constante psicrométrica ($kPa\ ^\circ C^{-1}$); r_a = resistencia aerodinámica ($s\ m^{-1}$); r_c = resistencia del dosel al flujo de vapor de agua ($s\ m^{-1}$).

5.3. Medición de los parámetros en el cálculo del índice de estrés hídrico

Para medir los parámetros se utilizó un termómetro infrarrojos, estos termómetros infrarrojos o sondas de calor, que miden la temperatura de la superficie de los cultivos y miden la cantidad de radiación de onda larga emitida desde la superficie.

5.4. Material vegetativo

En el experimento se utilizó plantas de Fresa (*Fragaria ananassa*) de la variedad Monterrey.

5.5. Establecimiento del cultivo

El cultivo se implanto en un invernadero de 6 m de ancho por 35m de largo. Las plantas se establecieron en camas de 60cm de ancho con 14 m de largo cubiertas con acolchado.

El control de plagas y enfermedades se controló de acuerdo a la presencia de las mismas, el riego que se empleo fue de riego por goteo.

5.6. Descripción de los tratamientos

En la determinación del Índice de Estrés Hídrico requiere medidas de temperatura de un cultivo mejor regado a un cultivo sometido a un estrés hídrico. Lo cual a partir de esa esta aseveración, dentro del experimento los tratamientos empleados correspondo a una variedad de fresa sometidas a cuatro niveles de humedad (Cuadro 2), cada tratamiento estuvo constituido por cuatro repeticiones.

Cuadro 2. Tratamientos empleados a diferentes niveles de humedad.

Tratamiento	Descripción
Tratamiento 1	Riego al 100%
Tratamiento 2	Riego al 90%
Tratamiento 3	Riego al 80%
Tratamiento 4	Riego al 70%

5.7. Variables a evaluar

5.7.1. Cada tratamiento se evaluó

- Número de flores por planta. Se contó el número de flores abiertas por planta.
- Número de frutos por planta. Se contó el número de frutos por planta, considerando desde amarre de fruto hasta antes de cosechar.
 - Cuando el fruto logro obtener un color rojo se valoró:
- Número de frutos cosechados por planta. Los frutos de cada planta se contaron y cosecharon.

5.7.2. De cada tratamiento se tomó 20 frutos y se evaluó

- Diámetro polar. Se midió con vernier lo largo del fruto.
- Diámetro ecuatorial. Con vernier se midió el ancho de fruto a la mitad de la altura.
- Se evaluó el contenido de SST en fruto, de cada futo se obtuvo una gota y con la asistencia ayuda del refractómetro digital se analizaron los grados Brix.

5.8. Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar con cuatro tratamientos y dieciséis repeticiones, la unidad experimental estuvo constituida por una planta.

5.9. Análisis estadístico

Los análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) se analizaron con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) para Windows.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Análisis de número de flor

De acuerdo con el análisis de varianza para la variable número de flor de la planta de fresa (Cuadro 3) se tuvo 5 fechas donde se presentó diferencia significativa entre tratamientos únicamente durante la fecha 1, donde el tratamiento que sobresalió fue el tratamiento 1 (riego de 100%). Juárez (2007) menciona valores promedios de 2.80 siendo estos unos resultados establecidos en el ciclo de la planta. En ambos resultados muestran el número de flores es bajo, siendo estas afectadas por factores ambientales como las altas y bajas temperaturas registradas en el invernadero de (Max 42°C y Min de 8°C), siguiendo un informe de Taylor (2002), Taylor realizó experimentos para medir los efectos del fotoperiodo y la temperatura en el inicio de la floración y mostró que tanto la temperatura alta (> 30 °C) como la temperatura baja inhibían la floración. (< 10°C) impidiendo y reduciendo la floración.

Cuadro 3. Comparación de medias para la variable número de flor del cultivo de fresa en diferentes fechas. Teziutlán, Puebla.

Tratamientos	02/05/22	09/05/22	16/05/22	23/05/22	30/05/22
100 %	2.75 a ^z	1.25 a	1.25 a	0.75 a	0.00 a
90 %	2.00 ab	2.00 a	1.75 a	1.25 a	0.00 a
80 %	2.25 ab	3.00 a	2.00 a	0.5 a	0.75 a
70 %	1.00 b	1.75 a	0.00 a	0.5 a	0.00 a
CV	39.52	53.03	96.60	90.26	235.31
DMSH	1.65	2.22	2.53	1.42	1.00

^zValores con la misma letra dentro columnas, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

6.2. Análisis de número de fruto

Para la variable número de fruto de fresa (Cuadro 4). El análisis de varianza muestra diferencia significativa en la 3 (16/05/22) logrando valores promedio altos de 8.25 frutos por planta a diferencia del tratamiento 4 con valores promedio más bajos de 3.25 frutos por planta. Durante la temporada se mantuvo la producción similar ya que aunque no se obtuvo diferencia significativa durante las demás fechas en el Cuadro 4 se puede observar que en el tratamiento tres se mantuvieron con los valores más altos. Mixquititla *et al.* (2020) menciona valores obtenidos de una nutrición nutritiva universal rondando los 10.01 frutos siendo los resultados más altos que los obtenidos. El

número de frutos se redujo a base de falta de floración por temperaturas altas y bajas mostradas en el cuadro anterior.

Cuadro 4. Comparación de medias para la variable número de fruto del cultivo de fresa en diferentes fechas. Teziutlán, Puebla.

Tratamientos	02/05/22	09/05/22	16/05/22	23/05/22	30/05/22
100 %	6.00 a	8.25 a ^z	7.25 ab	6.50 a	2.50 a
90 %	3.25 a	5.50 a	5.25 ab	5.25 a	5.25 a
80 %	7.00 a	9.75 a	8.25 a	8.50 a	7.00 a
70 %	4.75 a	4.75 a	3.25 b	3.25 a	2.25 a
CV	63.53	51.90	32.98	51.88	60.94
DMSH	7.00	7.69	4.15	6.39	5.43

^zValores con la misma letra dentro columnas, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

6.3. Análisis del diámetro polar. Diámetro ecuatorial y sólidos solubles totales

El análisis de varianza (Cuadro 5 y Cuadro 6) en la fecha 1 y 2 para la calidad de fruto no se observan diferencias estadísticas entre la variable diámetro polar, diámetro ecuatorial y SST. Esto se debe a que en los tratamientos no mostraron demasiada diferencia ya que por tener una humedad relativa alta hizo que la planta no se estresara, por lo cual los resultados se mantuvieron similares por la retención de

líquido en la planta, y si la planta tiene una mayor retención de líquido hace que no demande más agua. Mixquititla (2020) muestra mismos resultados de 31.1 mm de diámetro polar y 22.6 mm de diámetro ecuatorial siendo resultados aceptables.

Cuadro 5. Comparación de medias para las variables diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE) y sólidos solubles totales (SST) del cultivo de fresa en el primer corte (02/05/22). Teziutlán, Puebla.

Tratamientos	DP	DE	SST
100 %	30.00 a	28.44 a	8.96 a
90 %	26.16 a	23.50 a	9.06 a
80 %	31.90 a	26.30 a	9.01 a
70 %	27.20 a	23.40 a	9.74 a
CV	21.12	15.08	21.01
DMSH	9.15	5.76	2.82

²Valores con la misma letra dentro columnas, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

DP; diámetro polar, DE; diámetro ecuatorial, SST; sólidos solubles totales.

Cuadro 6. Comparación de medias para las variables diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE) y Solidos solubles totales (SST) del cultivo de fresa en el segundo corte. Teziutlán, Puebla.

Tratamientos	DP	DE	SST
100 %	27.88 a ^z	24.11 a	9.87 a
90 %	31.75 a	24.50 a	10.55 a
80 %	29.37 a	26.25 a	8.01 a
70 %	29.00 a	27.83 a	8.43 a
CV	13.28	14.58	32.60
DMSH	5.50	5.22	4.25

^zValores con la misma letra dentro columnas, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P<0.05. DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

DP; diámetro polar, DE; diámetro ecuatorial, SST; solidos solubles totales.

En cambio, para la fecha tres el análisis estadístico (Cuadro 7) se observan diferencias estadísticas en las variables diámetro ecuatorial con valores altos de 27.66 mm para el tratamiento 2 y los valores más bajos con 21.62 mm obtenidos por el tratamiento 1. Contrario a los valores obtenidos para la variable de SST con un rango de 15.43 tratamiento 1 a 8.55 grados brix del tratamiento 2. No encontrando diferencias para la

variable diámetro polar. El rango de frutos cosechados en este experimento estuvo dentro de los rangos recomendados por Roudeillac y Trajkovski (2004) para la calidad poscosecha: un mínimo de 7 y un máximo de 12 °Brix. Contrariamente a los resultados de este estudio, Álvarez-Herrera *et al.* (2011) indicaron que el riego intensivo reduce el contenido de °Brix debido a que la concentración de azúcar se diluye por el mayor contenido de agua del fruto.

Cuadro 7. Comparación de medias para las variables diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE) y Solidos solubles totales (SST) del cultivo de fresa en el tercer corte. Teziutlán, Puebla.

Tratamientos	DP	DE	SST
100 %	28.00 a	21.62 b	15.43 a
90 %	29.83 a	27.66 a	8.55 b
80 %	29.90 a	23.90 ab	10.13 b
70 %	26.25 a	25.62 ab	9.18 b
CV	13.14	17.41	30.60
DMSH	4.74	5.46	4.85

^zValores con la misma letra dentro columnas, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

DP; diámetro polar, DE; diámetro ecuatorial, SST; solidos solubles totales.

6.4. Comportamiento de temperatura del dosel de la planta

Los resultados obtenidos en la Figura 1 muestran el comportamiento de las temperaturas del dosel de las plantas siendo estas tomadas entre las 12:00 y las 14:00 horas teniendo diferentes láminas de riego del 100% al 70%, obteniendo resultados no tan variables. Barrios-Gómez *et al.* (2011) menciona que entre más alta la temperatura de aire habrá mayor transpiración en la planta, y conforme se reduzca el contenido de agua en el suelo las plantas reflejarán síntomas severos de marchites en las hojas entre las 12:00 y las 15:00 horas que en cualquier otra hora.

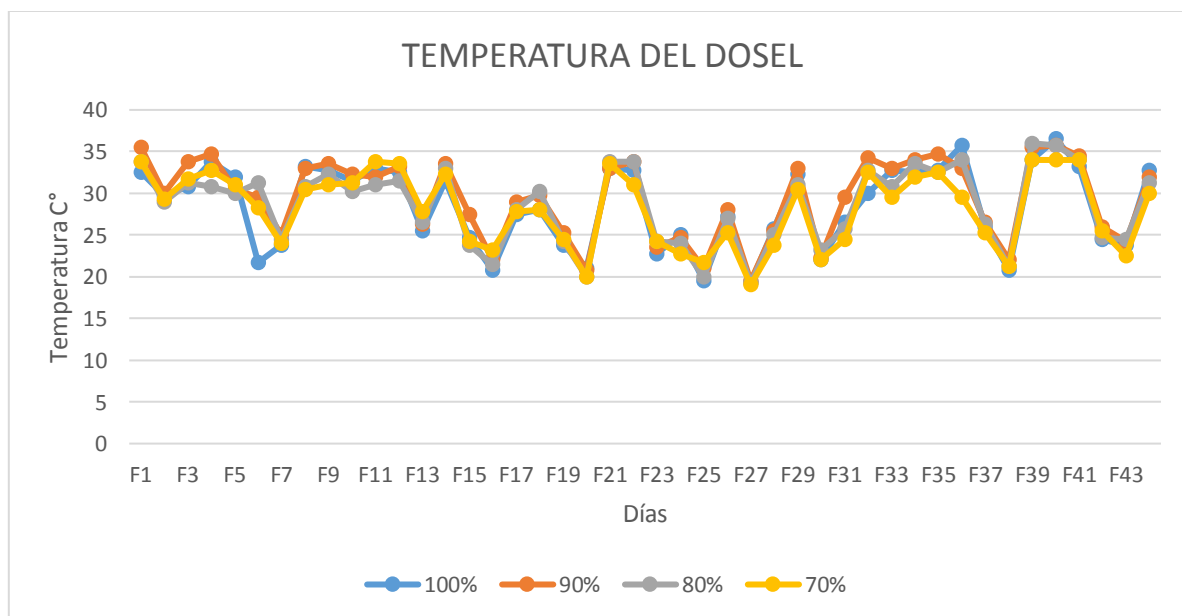


Figura 1. Comportamiento de temperatura del dosel de la planta con diferentes láminas de riego.

6.5. Comportamiento del Índice de Estrés Hídrico del Cultivo (CWSI)

El comportamiento del Índice de Estrés Hídrico durante el tiempo de estudio se presenta en la Figura 2, donde se observa valores más cercanos a cero siendo estos resultados de una planta no estresada, los resultados obtenidos con un valor de 1 son los que presentan un estrés, lo cual se muestra que solo fueron dos fechas diferentes con este valor, de acuerdo a la disponibilidad de agua el índice de estrés no muestra demasiada diferencia. Según Ferreyra *et al.* (2002), quien menciona que en el cultivo de vid, los valores de CWSI menores los cuales correspondieron a los tratamientos con mayor aporte hídrico, ya que cuando la disponibilidad de agua disminuyó la temperatura aumento, siendo este un clima semiárido.

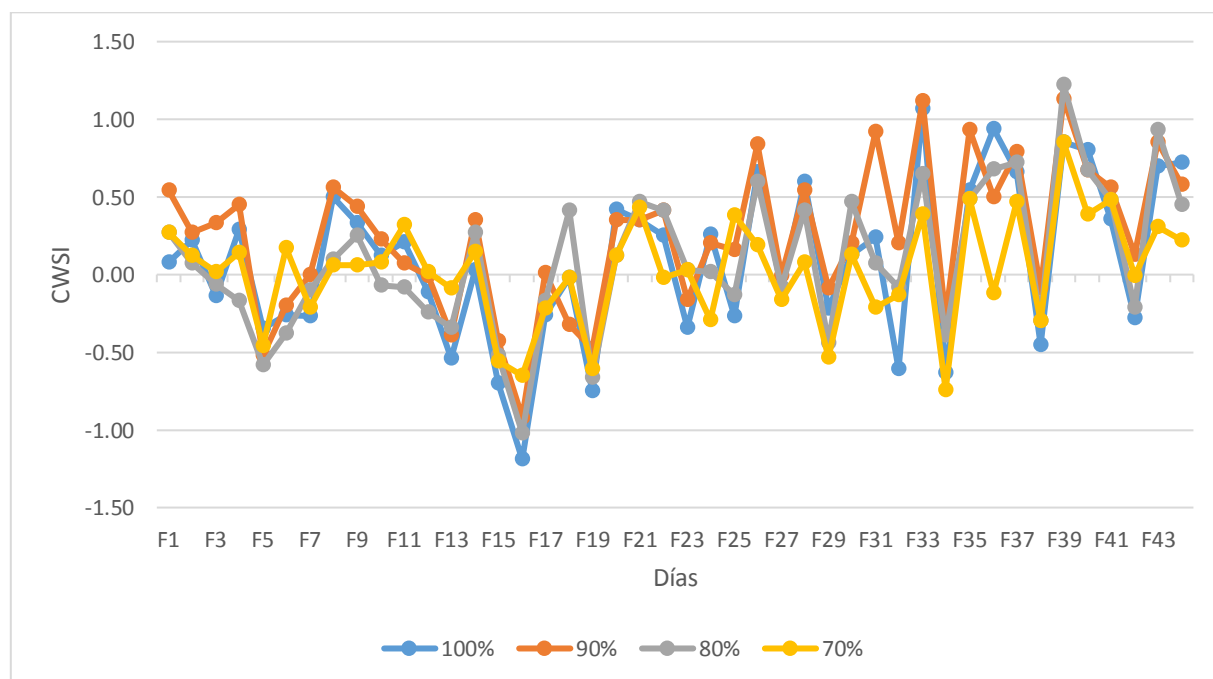


Figura 2. Comportamiento del índice de estrés hídrico de los diferentes tratamientos.

VII. CONCLUSIÓN

El CWSI obtenido a partir de la medición de temperatura del dosel de la planta, no es tan eficiente en climas húmedos ya que con diferentes aportes hídricos en los tratamientos estos no presentaron demasiada diferencia entre sí, ya que por mantener una humedad relativa alta no presenta síntomas de estrés o un aumento de temperatura en el dosel de la planta, teniendo como resultados no representativos en cada tratamiento.

VIII. LITERATURA CITADA

- Albregts E.E., Howard C.M. y Chandler C.K. 1991. Respuestas de fresa a la tasa de K en un suelo de arena fina. *HortScience* 26 (2): 135-138.
- Almazán D.R.C. 2003 Riego y Drenaje. Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Altamirano R. 2004. El cultivo de la fresa para el ciclo otoño-invierno, en California, Estados Unidos de Norte América [Undergraduate thesis, Universidad de Guadalajara]. Repositorio DSpace.
- Álvarez-Herrera J.G., W. Balaguera-López J. Merchán, J. Veloza y J. López. 2011. Láminas de riego y calidad de agua en la solución de problemas de salinidad en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 5: 57-68.
- Annan K. 2015. Agua Fuente de Vida. *Un_Water*. New York. ONU-Agua.
- Badillo M. F., Valdera F., Bodas V., Fuentelsaz F., Peiteado C. y WWF E. 2009. Manual de buenas prácticas de riego, Propuestas de WWF para un uso eficiente del agua en la agricultura. Amaya asiain. Madrid, España.
- Barrios-Gómez E. J., López-Castañeda C. y Kohashi-Shibata J. 2011. Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo "Flor de Mayo". *Agronomía Costarricense* 35(1):131-145.
- Bolda M., Dara S., Soto J., Sánchez M., Peterson K. y Barnum L. 2015. Manual de producción de fresa para los agricultores de la Costa Central. Grado de licenciatura. Universidad Politécnica Estatal del Carch. Repositorio digital. 116 p.
- Buchner R. P., Goldhamer D. A. and Shaw D. A. 1994. Irrigation scheduling in kiwifruit growing and handling, *In*: Hasey J.

- K.; Johnson, R. S.; Grant, J. A. and Reil, W. O. (eds.). University of California Publication 3344. pp: 43-49.
- Celia A. H. R. 2004. El cultivo de la fresa para el ciclo otoño-invierno, en California, Estados Unidos de Norte América. Grado de licenciatura. Universidad de Guadalajara Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias División de Ciencias Agronómicas. 72 p.
- Cervantes M. A. y Del Centro E. F. A. 2003. Cultivo De Fresas En Invernaderos. Agroinformación. Infoagro.
- Cosgrove W. y F. Rijisberman. 2014. World water vision: making wáter everybody's business. 2a ed. FAO, Roma.
- Chiqui Chiqui F. A. y Lema Cumbe M. L. 2010. Evaluación del rendimiento en el cultivo de fresa (*Fragaria sp*) variedad oso grande, bajo invernadero mediante dos tipos de fertilización (orgánica y química) en la parroquia Octavio Cordero Palacios, Cantón Cuenca. Grado de licenciatura. Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales. Universidad Politécnica Salesiana Ecuador. 101 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 2002. Cultivos: logrando el uso óptimo del agua en la agricultura. Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO). Roma.
- Ferreyra R., Selles G., Peralta J., Burgos L. y Valenzuela J. 2002. Efectos de la restricción del riego en distintos períodos de desarrollo de la vid cv. Cabernet Sauvignon sobre producción y calidad del vino. Agricultura técnica, 62(3): 406-417.
- Garrot Jr D. J., Ray D.T., Livingston M., Fangmeier D. D. and Husman S. H. 1990. Watermelon field irrigation management using the crop water stress index. Acta Hort. 278:755-762.

- Giuliani R., Magnanini A. and Flore J. A. 2001. Potential use of infrared thermometry for the detection of water deficit in apple and peach orchards. *Acta Hort.* 557:38-43.
- Groppa M. 1983. Riego por goteo. *Revista palmas* 4(1): 35-36.
- Hancock J. F. 1999. Strawberries. CABI Publishings. Michigan. USDA.
- Hanson B. y W. Bendixen. 2004. Drip irrigation evaluated in Santa Maria Valley strawberries. *Calif. Agric.* 58(1): 48-53.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) 2019. Anuario estadístico 2019. México.
- Jackson R. D., Idso S. B., Reginato R. J. and Pinter Jr P. J. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resour. Res.* 17:1133.
- Juárez-Rosete C. R. 2007. Comparación de tres sistemas de producción de fresa en invernadero. *Revista Terra Latinoamericana* 25(1): 017-023.
- Kirnak H., C. Kaya D. Higgs I. Bolat M. Simsek y A. Ikinici. 2003. Effects of preharvest drip-irrigation scheduling on strawberry yield, quality and growth. *Aust. J. Exp. Agric.* 43: 105-111.
- Krüger E., G. Schmidt y U. Brückner. 1999. Scheduling strawberry irrigation based upon tensiometer measurement and a climatic water balance model. *Sci. Hortic.* 81: 409-424.
- León M., G. Hernández y G. Sotomayor. 2003. Manejo de riego en fresa cultivada en organopónico. *Rev. Cienc. Técn. Agropec.* 12(1): 39-43.
- Liotta M. A., Carrión R. A., Ciancaglini N., y Olguin Pringles A. 2015. Riego por goteo. PROSAP INTA.
- López A. J. M. 2003. Situación actual y perspectiva del cultivo de la fresa a escala internacional. *In: II Curso internacional del cultivo de la fresa. Memorias.* Huelva, España. 315 p.

- López R. L., Ramírez R. A., Peña M. A. V., Cruz I. L. y Cohen I. S. 2009. Índice de estrés hídrico como un indicador del momento de riego en cultivos agrícolas. *Agricultura Técnica en México* 35(1): 92-106.
- Maas J. L. 1998. *Compendium of strawberries diseases*. 2aed. American Phytopathological Society. St. Paul, MN, USDA.
- Merchán-Gaitán J.B., R.L Ferrucho y J.G. Álvarez-Herrera. 2014. Efecto de dos cepas de *Trichoderma* en el control de *Botrytis cinerea* y la calidad del fruto en fresa (*Fragaria sp.*). *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 8(1): 44-56.
- Messina G. y Modica G. 2020. Applications of UAV Thermal Imagery in Precision Agriculture: State of the Art and Future Research Outlook. *Remote Sens* 12: 1-26.
- Mixquititla-Casbis G., Villegas-Torres O. G., Andrade-Rodríguez M., Sotelo-Nava H. y Cardoso-Taketa A. T. 2020. Crecimiento, rendimiento y calidad de fresa por efecto del régimen nutrimental. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 11(6): 1337-1348.
- Nava L. F. 2006. Cuando la gestión del agua se vuelve problemática: el caso de México. *Observatoire des Amériques* 6(38): 1-10.
- Nijensohn L. 1977. Criterios de eficiencia de lavado y desalinización con riego por goteo. Segundo Seminario Latinoamericano sobre riego por goteo. OEA-IICA. Coahuila. México. p. 1-23.
- Ojeda-Real L.A., R. Cárdenas-Navarro P. Lobit O. Grageda-Cabrera E. Valencia-Cantero y L. Macías-Rodríguez. 2008. Efecto de la nutrición nitrógena y sistemas de riego en el sabor de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 14(1): 61-70.
- Patiño D., García F., Barrera E., Quejada O., Rodríguez H. y Arroyo I. 2014. Manual técnico del cultivo de fresa bajo

- buenas prácticas agrícolas. Editorial, Francisco veles, Medellín, Colombia.
- Parkash V. y Singh S. 2020. A Review on Potential Plant-Based Water Stress Indicators for Vegetable Crops. *Sustainability* 12(10): 3945.
- Pires R., M. Folegatti F. Passos F. Arruda y E. Sakai. 2006. Vegetative growth and yield of strawberry under irrigation and soil mulches for different cultivation environments. *Sci. Agric.* 63(5): 417-425.
- Roudeillac P. and K. Trajkovski. 2004. Breeding for fruit quality and nutrition in strawberries. *Acta Hort.* (ISHS) 649:55-59.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) 2016. Planeación agrícola nacional 2017-2030.
- Santoyo J. A. y Martinez C. O. 2010. Paquete tecnológico para la producción de fresa. Sagarpa. Disponible en: <http://www.cofupro.org.mx/cofupro/publicaciones>. Consultado el: 11/09/22
- Taiz L. y E. Zeiger. 2006. *Plant physiology*. 4th ed. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, MA.
- Taylor D. R. 2002. The physiology of flowering in strawberry. *Acta Hort.* 567: 245-251.
- Toledo A. 2002. El agua en México y el mundo. *Gaceta ecológica* (64): 9-18.
- Vázquez-Gálvez G., R. Cárdenas-Navarro y P. Lobit. 2008. Efecto del nitrógeno sobre el crecimiento y rendimiento de fresa regada por goteo y gravedad. *Agric. México* 34(2):235-241.
- Zotarelli L., Dukes Y. y Morgan T. 2013. Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad. The Institute of Food and Agricultural Sciences. IFAS. pp. 1-5.