

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**PRODUCCIÓN DE FRESA (*Fragaria ananassa* Duch.) EN SISTEMAS
HIDROPÓNICOS BAJO INVERNADERO EN ZAACHILA, OAXACA**

TESIS QUE PRESENTA

Luis Cerero Cruz

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN
AGROECOSISTEMAS**

DIRECTOR

Dr. Vicente Arturo Velasco Velasco



Ex -hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca.
Agosto de 2023



Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**PRODUCCIÓN DE FRESA (*Fragaria ananassa* Duch.) EN SISTEMAS
HIDROPÓNICOS BAJO INVERNADERO EN ZAACHILA, OAXACA**

TESIS QUE PRESENTA:

Luis Cerero Cruz

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN
AGROECOSISTEMAS**

DIRECTOR

Dr. Vicente Arturo Velasco Velasco



Ex -hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca.
Agosto de 2023

| | | |
|---|---|---------------------------------|
|  | Nombre de la Información Documentada: Formato Autorización del comité para entrega de tesis. | Código: ITVO-AC-PR-08-02 |
| | Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.5.2 | Revisión: 1 |
| | | Página 1 de 1 |

EXPEDIENTE: 20DIT0009G

Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca, 28 de junio del 2023

OFICIO No. DEPI/0507/23

C. LUIS CERERO CRUZ
ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS
P R E S E N T E

Los que suscriben, miembros de su Comité Tutorial, le comunicamos que hemos revisado el contenido de su tesis **"PRODUCCIÓN DE FRESA (*Fragaria ananassa* Duch.) EN SISTEMAS HIDROPÓNICOS BAJO INVERNADERO EN ZAACHILA, OAXACA"**, Por lo que con base en los lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México se le otorga la **AUTORIZACIÓN** para que proceda a la entrega del documento final de la misma, impresa y en formato digital (PDF); para continuar con su trámite y asignarle la fecha de su examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento nos permitimos reconocer su esfuerzo y felicitarle por el logro de su documento de tesis.

ATENTAMENTE
"Ciencia y Tecnología para el Campo"


DR. VICENTE ARTURO VELASCO VELASCO
DIRECTOR DE TESIS


M.C. JUDITH RUIZ LUNA
ASESORA


DR. JOSÉ RAYMONDO ENRÍQUEZ DEL VALLE
ASESOR

| | | |
|---|--|---------------------------------|
|  | Nombre de la Información Documentada: Formato Autorización de DEPI para entrega de Tesis. | Código: ITVO-AC-PR-08-03 |
| | Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.5.2 | Revisión: 1 |
| | | Página 1 de 1 |

Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca, 30/junio/2023

OFICIO No. DEPI/0537/2023

C. LUIS CERERO CRUZ
ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS
EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS
P R E S E N T E

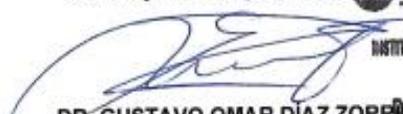
Con base en los Lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, respecto a la presentación del examen de grado, me es muy grato comunicarle que esta División de Estudios de Posgrado e Investigación a mi cargo, **AUTORIZA** la entrega del documento final de su tesis en formato digital (PDF) titulada: **"PRODUCCIÓN DE FRESA (*Fragaria ananassa* Duch.) EN SISTEMAS HIDROPÓNICOS BAJO INVERNADERO EN ZACHILA, OAXACA"**.

Cuyo contenido ha sido revisado y aprobado por su Comité Tutorial y cumple en lo general con el formato establecido para este documento, como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas.

Sin más por el momento le felicito cordialmente por el logro de esta meta y le reitero el respaldo institucional de su Alma Mater.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
"Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Educativo"


INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DR. GUSTAVO OMAR DÍAZ ZORRILLA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

La presente tesis titulada: **PRODUCCIÓN DE FRESA (*Fragaria ananassa* Duch.) EN SISTEMAS HIDROPÓNICOS BAJO INVERNADERO EN ZAACHILA, OAXACA**, fue realizada bajo la dirección del Consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

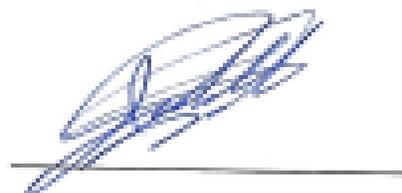
**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN
AGROECOSISTEMAS**

DR. VICENTE ARTURO VELASCO VELASCO



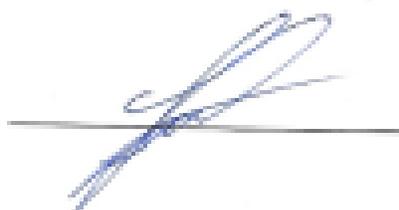
DIRECTOR

M. C. JUDITH RUIZ LUNA



ASESOR

DR. JOSÉ RAYMUNDO ENRÍQUEZ DEL VALLE



ASESOR

Ex -hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. Agosto de 2023

DEDICATORIA

A mis hijos, María Fernanda Cerero Guzmán y Luis Fernando Cerero Guzmán, porque son la motivación más grande que me impulsó en cada momento del desarrollo de mis estudios de posgrado.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca que, a través de la División de Estudios de Posgrado e Investigación, me brindó la oportunidad de cursar mis estudios de posgrado.

Al Dr. Vicente Arturo Velasco Velasco por brindarme su confianza y guiarme en mi formación profesional a través de su experiencia y sabiduría para lograr culminar mis estudios de posgrado.

A mi familia, mi esposa Karen del Carmen Guzmán Sebastián, por la paciencia, tiempo, y todo el apoyo que me brindó en el desarrollo de mis estudios.

A mis padres, porque siempre han confiado en mí, y me han apoyado en todos mis proyectos personales, profesionales y de estudio.

El presente trabajo se llevó a cabo con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), a través del número de becario CVU: 1020261, con el tema de investigación: Producción de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) en sistemas hidropónicos bajo invernadero en Zaachila, Oaxaca

ÍNDICE GENERAL

| | Página |
|--|--------|
| ÍNDICE GENERAL | i |
| ÍNDICE DE CUADROS | iii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | iv |
| RESUMEN.. | v |
| SUMMARY..... | vi |
| CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN..... | 7 |
| 1.1. Objetivo general | 9 |
| 1.1.2. Objetivos específicos | 9 |
| 1.2 Hipótesis | 10 |
| CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO..... | 11 |
| 2.1. Importancia de la fresa..... | 11 |
| 2.2. Descripción taxonómica | 12 |
| 2.3. Estructura de la planta | 13 |
| 2.4 Estadios o fases fenológicas..... | 20 |
| 2.5 Producción de fresa en Oaxaca | 21 |
| 2.6. Sistemas de producción de fresa | 22 |
| 2. 7. Sistemas hidropónicos | 23 |
| 2.7.1 Sistema hidropónico NFT..... | 25 |

| | |
|--|----|
| 2.7.2 Sistema hidropónico NGS | 26 |
| 2.8. Tipos de sustratos para la producción hidropónica de fresa | 28 |
| CAPÍTULO III CULTIVO DE FRESA (<i>Fragaria ananassa</i> Duch.) EN SISTEMAS HIDROPÓNICOS CON MEZCLAS DE SUSTRATOS | |
| 3.1 RESUMEN | 30 |
| 3.2 ABSTRACT | 31 |
| 3.3 INTRODUCCIÓN | 32 |
| 3.4 MATERIALES Y MÉTODOS | 33 |
| 3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 39 |
| 3.6 CONCLUSIONES | 49 |
| 3.7 BIBLIOGRAFÍA | 50 |
| CAPÍTULO IV CALIDAD DE FRUTA EN EL CULTIVO DE FRESA (<i>FRAGARIA ANANASSA DUCH.</i>) EN TRES SISTEMAS HIDROPÓNICOS CON CUATRO SUSTRATOS | |
| 4.1 RESUMEN | 53 |
| 4.2 ABSTRACT | 54 |
| 4.3 INTRODUCCIÓN | 55 |
| 4.2 MATERIALES Y MÉTODOS | 57 |
| 4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 62 |
| 4.4 CONCLUSIONES | 67 |
| 4.5 BIBLIOGRAFÍA | 67 |
| CAPÍTULO V CONCLUSIONES GENERALES | 74 |
| CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA | 76 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Número de cuadro | Página |
|--|--------|
| 1. Codificación BBCH de los estadios fenológicos de desarrollo de la fresa..... | 20 |
| 2 Clasificación de los sistemas hidropónicos | 24 |
| 3. Registro de temperatura y humedad relativa en el sitio del cultivo..... | 40 |
| 4.- Resumen de análisis de varianza por factor y su interacción..... | 41 |
| 5. Efecto de la interacción entre tratamientos en variables agronómicas de fresa (<i>Fragaria ananassa</i> Duch.) variedad Albión | 42 |
| 6. Efecto del factor sistemas hidropónicos en variables agronómicas de fresa (<i>Fragaria ananassa</i> Duch.) en la variedad Albión..... | 44 |
| 7. Efecto del factor sustrato en variables agronómicas de fresa (<i>Fragaria ananassa</i> Duch.) variedad Albión | 46 |
| 8. Correlaciones de variables evaluadas en sistemas hidropónicos | 48 |
| 9. Resumen de análisis de varianza por factor y su interacción..... | 62 |
| 10. Efecto de los sistemas hidropónicos en variables de frutos de fresa (<i>Fragaria</i> <i>ananassa</i> Duch.) | 63 |
| 11. Efecto del factor sustrato en variables de frutos de fresa (<i>Fragaria ananassa</i> Duch.) | 65 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Número de figura | Página |
|---|--------|
| 1. Estructura de la planta de fresa | 13 |
| 2. Raíz de planta de fresa..... | 14 |
| 3 Plantas de estolones de fresa..... | 17 |
| 4. Flor de fresa..... | 18 |
| 5. Sistema hidropónico vertical..... | 35 |
| 6. Sistema hidropónico piramidal..... | 36 |
| 7. Sistema hidropónico horizontal..... | 37 |

RESUMEN

La fresa es cultivada en diferentes sistemas de producción. En los últimos años se ha explorado la producción de fresa en sistemas hidropónicos con altas densidades, con sustratos que pueden ser diversos, no solo los comerciales, sino también los residuos o subproductos de otras actividades como la paja de cereales, la fibra de coco, ladrillo triturado, fibra de madera, etc. El objetivo de esta investigación fue evaluar tres sistemas de producción hidropónico, vertical, piramidal y horizontal, con el cultivo de fresa en invernadero, utilizando cuatro mezclas de sustratos para determinar el comportamiento de variables agronómicas, el rendimiento y calidad de fruta. El crecimiento de las plantas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.), en las variables de biomasa, área foliar, volumen de raíz, número de hojas, diámetro y número de coronas, el sistema horizontal presentó significativamente (Duncan, $p \leq 0.05$) los valores más altos. El sustrato que mostró los valores más altos significativamente (Duncan, $p \leq 0.05$) para las variables de crecimiento fue la mezcla a base de fibra de coco+turba+perlita. En los sistemas hidropónicos se presentaron diferencias significativas para los °Brix y volumen de frutos. El sustrato a base de fibra de coco+ turba + perlita (2:1:1) mostró significativamente (Duncan, $p \leq 0.05$) el mayor número y tamaño de frutos, rendimiento y volumen. El sustrato olote presentó significativamente los valores más bajos en las variables de calidad de frutos y crecimiento de plantas.

Palabras clave: crecimiento, fertirrigación, frutilla, sustrato

SUMMARY

The strawberry is cultivated in different production systems. In recent years, strawberry production in hydroponic systems with high densities has been explored. In hydroponic systems, the substrates used can be diverse, not only the well-known commercial ones, but also the residues or by-products of other activities such as cereal straw, coconut fiber, crushed brick, wood fiber, etc. The objective of this research was to evaluate three hydroponic production systems (vertical, pyramidal and horizontal) with strawberry cultivation in greenhouses, using four mixtures of substrates to determine the behavior of agronomic variables, yield and fruit quality. The growth of strawberry plants (*Fragaria ananassa* Duch.), in the variables of biomass, leaf area, root volume, number of leaves, diameter and number of crowns, the horizontal system presented significantly (Duncan, $p \leq 0.05$) the highest values. The substrate that showed the highest values significantly (Duncan, $p \leq 0.05$) for the growth variables was the mixture based on coconut fiber+peat+perlite. In the hydroponic systems there were significant differences for the °Brix and fruit volume. The substrate based on coconut fiber + peat + perlite (2:1:1) showed significantly (Duncan, $p \leq 0.05$) the highest number and size of fruits, yield and volume. The cob substrate significantly presented the lowest values in the variables of fruit quality and plant growth.

Keywords: fertigation, growth, strawberry, substrate

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La fresa es cultivada en diferentes sistemas de producción (Alvarado et al., 2014), los cuales son clasificados en función de la colocación de la fruta en campo, inocuidad, calidad que se obtiene y el periodo de producción. El volumen y valor de producción de fresa se concentran en un 96% en los estados de Michoacán, Baja California, Jalisco y Guanajuato (SIACON, 2023). Los sistemas de producción van de acuerdo con el nivel tecnológico que se utiliza: el tradicional, semi - tecnológico y el tecnificado (Alvarado et al., 2020). Cada uno de estos sistemas presentan características diferentes que influyen en el rendimiento, con una diferencia considerable entre el tradicional y el de alta tecnología.

En el 2020, los rendimientos fueron de 1.1733 kg m² en sistemas tradicionales (SIACON, 2023), mientras que en sistemas hidropónicos de tipo piramidal se han obtenido rendimientos de 14.35 kg m² (Alvarado et al., 2020) , como también lo mencionan Gimenez , *et al.* (2015), en Europa bajo sistemas hidropónicos con sustratos se obtuvieron rendimientos entre 5 y 10 kg m²

El cultivo en hidroponía se ha posicionado mundialmente como una alternativa de producción técnica y ambientalmente eficiente que permite lograr mayor producción por unidad de superficie, eficiencia en el uso de los recursos naturales; reducción en el uso de agroquímicos y desinfectantes químicos de suelos y sustratos; incremento en el bienestar de los trabajadores y expansión de las fronteras productivas (Garbi et al., 2021).

En los sistemas hidropónicos los sustratos utilizados pueden ser diversos, no solo los comerciales conocidos, sino también los residuos o subproductos de otras actividades como la paja de cereales, la fibra de coco, ladrillo triturado, fibra de madera, etc.

En los últimos años se ha explorado la producción de fresa en sistemas hidropónicos con altas densidades, dentro de los que destacan los sistemas de bolsa individual, horizontales con tubos de PVC, vertical con macetas o bolsas de polietileno.

1.1. Objetivo general

Evaluar tres sistemas de producción hidropónico (vertical, piramidal y horizontal) con el cultivo de fresa en invernadero, utilizando cuatro mezclas de sustratos para determinar el comportamiento de variables agronómicas, el rendimiento y calidad de fruta.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar las variables agronómicas del cultivo de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) en tres sistemas hidropónicos y cuatro sustratos.
- Evaluar el rendimiento y calidad de fruta de fresa en función de los sistemas hidropónicos y sustratos.

1.2 Hipótesis

- El crecimiento del cultivo de fresa es homogéneo en condiciones de invernadero bajo sistemas hidropónicos, y con mezclas de sustratos.
- La calidad y tamaño de frutos de fresa se expresan en mayores valores en condiciones de invernadero bajo sistemas hidropónicos, y con mezclas de sustratos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Importancia de la fresa

La fresa es una fruta blanda nativa de las regiones templadas (Mixquititla, 2020) de alto valor económico, y muy apreciada en el mercado extranjero, nacional y local. Los consumidores la adquieren por su sabor agradable, es considerada una de las frutas de mayor uso, como producto fresco, como saborizante en la repostería, y como fuente nutricional (López et al., 2016).

Es una fuente sustancial de vitamina A, B1, B2, B6, C y E (Seguil et al., 2020) taninos, flavonoides, antocianinas, catequinas, quercetina, kaemferol y ácidos orgánicos (cítrico, málico y oxálico). La fresa tiene propiedades antioxidantes (Kessel, 2012). Por cada porción comestible de 100 g aporta al consumidor 32 kcal, 7.7 g de carbohidratos, 4.9 g de azúcares totales, 2 g de fibra, 153 mg de potasio. 0.5 mg de cobre, 58.8 mg de vitamina C, 24 µg de folatos, 0.29 mg de

vitamina E, 2.2 mg de vitamina K (Fischer et al., 2018), concentraciones muy similares a las reportadas por Mohan et al., (2019).

Algunos factores que pueden influir en su calidad y sabor principalmente son la madurez, la variedad, el riego y la fertilización (Fischer et al., 2018), así como factores climáticos y el suelo.

2.2. Descripción taxonómica

Las fresas pertenecen a la División: Magnoliophyta; Clase: Magnoliopsida; Orden: Rosales; Familia: Rosaceae; Subfamilia: Rosoideae; Tribu: Potentilleae; Subtribu: Fragariinae; Género: *Fragaria* L. del Reino Vegetal. El género *Fragaria* es un grupo de hierbas rastreras bajas y perennes distribuidas en estado silvestre en las regiones templadas y subtropicales del mundo. Tiene un pariente taxonómico cercano bajo el género *Potentilla* (Mohan et al., 2019)

La variedad Albión es una planta herbácea y perenne, pertenece a la familia Rosácea. La profundidad de la raíz es de 30 a 40 cm, posee un tallo corto y aéreo. Se constituye de eje central denominado corona. En la corona se forman las flores y el pedúnculo de las hojas. Las hojas son de forma ovalar pinadas y trifoliales. Está integrada por un gran número de estomas (300 aproximadamente) lo cual le permite a esta especie realizar una intensa transpiración (Gómez, 2006). En la corona surgen varios estolones, que se convierten en nuevas plantas (Mixquititla, 2020). Lo que se conoce como fruta de

la fresa, es en realidad un falso fruto producto del engrosamiento del receptáculo floral. Sobre este falso fruto se encuentran gran cantidad de semillas, que son los verdaderos frutos y se denominan aquenios (Kessel, 2012).

2.3. Estructura de la planta

Las fresas que se cultivan en la actualidad, *Fragaria x ananassa* Duch. son progenies híbridas de *F. chiloensis* y *F. virginiana*, a partir de las cuales se obtienen genotipos que brindan frutos de gran tamaño y elevada calidad.

La planta de fresa es una herbácea (Mohan et al., 2019) que también se considera de tipo perenne (Kirschbaum, 2021), compuesta por raíces, coronas, hojas, estolones, inflorescencias y frutos (bayas). Es de estatura baja (<30 cm) y su ciclo productivo puede durar hasta tres años (Mohan et al., 2019) (Figura 1).

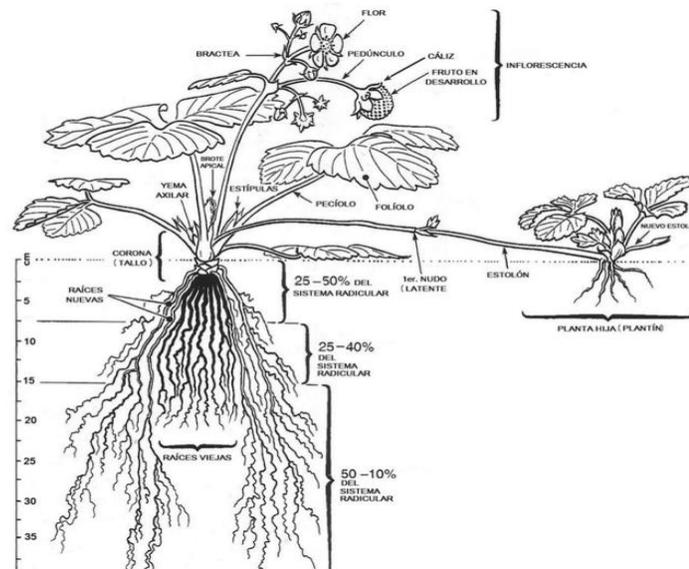


Figura 1. Estructura de la planta de fresa (Kirschbaum, 2021)

Raíces

Las raíces se desarrollan a partir de la copa de la planta, su longitud y número depende de las condiciones del suelo y la densidad de siembra. La planta de fresa tiene un sistema radical poco profundo, con 80-90% en los primeros 15 cm de profundidad del suelo y 50% en los 15 cm superiores, cuando las condiciones son favorables, nuevas raíces se generan de la corona en la base de cada nueva hoja (Kirschbaum, 2021).

Las raíces primarias suministran agua y nutrientes a las partes aéreas y duran más de una temporada, de dos a tres años (Kirschbaum, 2021). Hay alrededor de 20 a 35 raíces por planta, que miden entre 10 y 15 cm de longitud (Figura 2). Las raíces también sirven como sitios de almacenamiento para las reservas de almidón durante el invierno, que se utiliza para un crecimiento vigoroso, una floración profusa y una elevada producción de bayas (Mohan et al., 2019).



Figura 2. Raíz de planta de fresa (Elaboración propia)

Corona

La planta de fresa tiene un tallo modificado comprimido y engrosado denominado "corona", que tiene un punto de crecimiento en el extremo superior y raíces en su base. Las coronas de las ramas son coronas más pequeñas que emergen de la corona principal. Las plantas pueden tener uno o dos racimos de flores en cada corona de rama, cada corona de las ramas aumenta el rendimiento de la corona principal al producir su propio "racimo de flores", botánicamente denominado inflorescencia (Kirschbaum, 2021). Las coronas de las ramas y las coronas principales se vuelven estructuralmente idénticas. Sin embargo, es esencial tener suficiente crecimiento de plantas (tres o cuatro coronas / planta) para la fructificación; El crecimiento vegetativo excesivo (más de seis coronas / planta) de las plantas puede disminuir el tamaño de los frutos. (Mohan et al., 2019)

Hojas

Las plantas de fresa tienen hojas compuestas con la lámina de la hoja dividida en tres folíolos separados (trifoliados) con amplias dentaduras. Las hojas nacen en pecíolos (tallos de hojas) a lo largo de la corona y están dispuestas en forma de espiral alrededor de la corona. La vida media de la hoja es de 1 a 3 meses y está influenciada por la variedad y fertilización nitrogenada (Theodore et al., 2015). Aunque la emergencia de las hojas ocurre durante toda la temporada, y la mayor parte de la producción ocurre durante días largos, el proceso puede ralentizarse en condiciones de temperatura desfavorablemente extremas (> 40 °C o < 0 °C). Un Sistema de dosel de hojas bien establecido es importante para proporcionar energía para la iniciación de los botones florales. La muerte de las

hojas originales de la planta recién plantadas puede ser un revés para la planta y puede retrasar la fructificación, por lo que el número de hojas y el área total de hojas antes de la iniciación de los botones florales están directamente relacionados con el rendimiento de fruta. Las hojas con peciolo largo son más propensas a la muerte de las hojas después de la siembra que las hojas con peciolo corto. Los fotosintatos sintetizados por las hojas se trasladan a frutos en desarrollo y a partes de la planta para mantener y apoyar su posterior crecimiento (Mohan et al., 2019).

Estolones

Las plantas de fresa producen estolones (estolones o plantas hijas), que se utilizan para la propagación clonal de cultivares a escala comercial. El desarrollo de los estolones es un proceso natural, que surge de la corona, creando un tren de estolones. El estolón es un tallo epigeo, delgado, que crece horizontalmente sobre el suelo, dando lugar a raíces y coronas en puntos especializados llamados nudos. Los estolones cuentan con dos nudos: intermedio y terminal (Figura 3). Una planta hija se forma a partir del nudo terminal, mientras que el nudo intermedio tiene una yema latente, que eventualmente puede dar origen a un nuevo estolón. Cada planta hija tiene la capacidad de producir sus propios estolones. La planta madre puede transferir agua, nutrientes, asimilados y estímulos a la planta hija durante varias semanas (Nakai et al., 2022). Una planta suele producir anualmente entre 8 y 40 estolones, pero hasta 15 con condiciones ideales de crecimiento, y se independizan de la planta madre a los 30 y 40 días después del enraizamiento (Mohan et al., 2019).

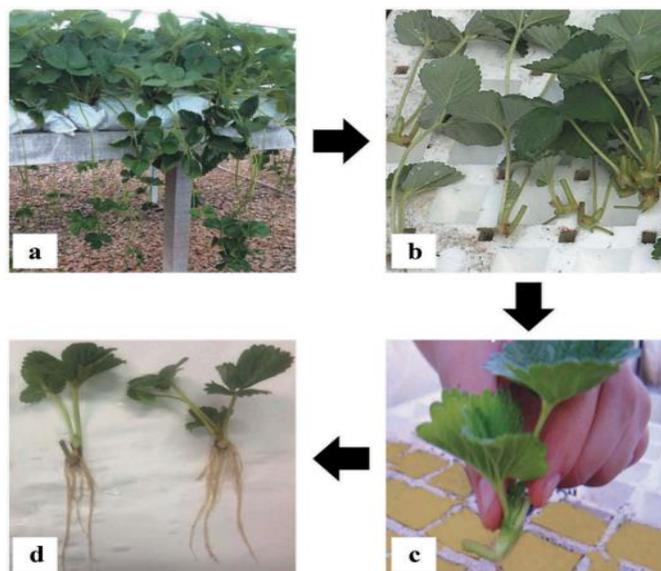


Figura 3 Plantas de estolones de fresa, cultivar 'Albion'. (a) Plantas madre de fresa; (b) puntas de estolones; (c) estolón; (d) estolón con raíz (Chiomento et al., 2019).

La temperatura juega un papel muy importante en la producción de estolones, y se ha observado que 30–35 °C es ideal para la proliferación de corredores. Una temperatura mayor de 40 °C puede reducir significativamente la producción de corredores por planta (Mohan et al., 2019).

Flor

La inflorescencia de la fresa es un tallo modificado que termina en una flor primaria. En la inflorescencia de la fresa surgen cuatro tipos de flores (primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias). La flor primaria o terminal produce la fruta más grande. En los cultivares modernos, las flores secundarias se desarrollan de manera terminal en cada una de las dos o tres (o a veces cuatro) ramas debajo de la flor primaria en el eje floral principal. A partir de entonces, la estructura se vuelve estrictamente dicasial, con dos flores terciarias formándose en cada rama

secundaria y dos cuaternarias en cada terciaria, y así sucesivamente (Mohan et al., 2019).

Las flores son blancas, de 2,5 a 3,75 cm de ancho con 5 a 10 sépalos verdes, cinco pétalos ovalados, numerosos estilos y de dos a tres docenas de estambres dispuestos en tres verticilos (Figura 4). Las flores son completas, generalmente autofértiles y compuestas por numerosos pistilos. Los pistilos nacen de un tallo de soporte de flores redondeado o cónico llamado "receptáculo", que se agranda después de la madurez. Después de la fertilización, cada pistilo se convierte en una fruta de una sola semilla (aquenio). Estos frutos verdaderos se distribuyen en un patrón de espiral de Fibonacci en el exterior del receptáculo (tejido carnoso comestible) (Kirschbaum, 2021).



Figura 4. a) Flor de fresa. b) Esquema de un corte transversal de un fruto de fresa (Kirschbaum, 2021).

El aquenio es un ovario de una sola semilla, superior y maduro, pero el pericarpio y la cubierta de la semilla están libres entre sí. Más comúnmente, se observa que los aquenios forman frutos agregados. Las flores con gineceo múltiple apocarado pueden dar lugar a varios frutos, ya que hay varios ovarios libres, cada uno de

los cuales puede dar lugar a un fruto. Pero como todos estos frutos se desarrollan a partir de una sola flor, se juntan a partir de un fruto agregado (mejor llamado frutos). A veces, estas frutas se fusionan, dando la apariencia de una sola fruta. mientras que en muchos casos los frutos quedan libres unos de otros formando un racimo o etaerio de frutos.

Frutos

Botánicamente, la fruta roja llamada "baya" es un tallo de flor agrandado (receptáculo) con muchas semillas (aquenios) incrustadas en la superficie exterior. Las frutas o bayas son de hecho receptáculos hinchados con las verdaderas frutas (aquenios) en su superficie. El tamaño de la baya está relacionado positivamente con el tamaño de la flor y el número de partes florales, particularmente el número de carpelos, pero también puede ser modificado por una serie de factores ambientales (Mohan et al., 2019).

Una fruta de tamaño mediano de la mayoría de las variedades de fresa tiene alrededor de 20 a 500 aquenios. En realidad, lo que parecen semillas son en realidad los "verdaderos frutos", a los que se hace referencia propiamente como aquenios. Dentro de la pared seca del ovario de cada aquenio hay una semilla real (óvulo) con el potencial de convertirse en una planta de fresa única (plántula). El fruto es un agregado de aquenios o frutos de una sola semilla. Tiene un receptáculo, que acumula azúcares y vitaminas y madura como una verdadera fruta carnosa. Cada aquenio contiene un solo óvulo y, por lo tanto, puede

considerarse una fruta individual. Además de tener un tamaño de baya grande y más aquenios, las bayas primarias son las primeras en madurar, seguidas de las bayas secundarias y terciarias. Las bayas cuaternarias son las más pequeñas (generalmente no comercializables). Desde la floración hasta la maduración, el desarrollo de la baya tarda entre 20 y 35 días.

2.4 Estadios o fases fenológicas

Según la Codificación BBCH (Cuadro 1) de los estadios fenológicos de desarrollo de la fresa (*Fragaria ananassa* Duch.), durante su ciclo de vida atraviesan por nueve estadios o fases fenológicas (Meier, 2018).

Cuadro 1. Codificación BBCH de los estadios fenológicos de desarrollo de la fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) según Meier (2018).

| Código | Descripción |
|---------------------|--|
| Estadio principal 0 | Brotación La yema principal comienza a crecer |
| Estadio principal 1 | Desarrollo de las hojas de una a nueve hojas |
| Estadio principal 4 | Desarrollo de las partes vegetativas cosechables Formación de estolón: estolones visibles (alrededor de 2 cm de longitud) |
| Estadio principal 5 | Aparición del órgano floral. Los primeros primordios florales aparecen en la base de la roseta foliar |
| Estadio principal 6 | Floración Primeras flores, abiertas (primarias o flores A). Flores marchitándose: la mayoría de los pétalos, caídos |
| Estadio principal 7 | Formación del fruto Receptáculo sobresaliendo de la corona de sépalos |

| | |
|---------------------|---|
| Estadio principal 8 | Maduración del fruto. Comienzo de la maduración: la mayoría de los frutos, blancos. Los primeros frutos comienzan a adquirir el color varietal típico |
| Estadio principal 9 | Cosecha principal: La mayoría de los frutos, coloreados Estadio principal 9. Senescencia y comienzo del reposo vegetativo. Comienzo de la formación de los botones axilares. Hojas nuevas con limbo más pequeño y pedúnculo corto, visibles. Hojas viejas, muriéndose; hojas jóvenes, curvándose; hojas viejas, del color varietal típico. Hojas viejas, muertas |

En este cultivo el tiempo para que la baya madure está estrechamente relacionado con la temperatura, varía de 20 a 60 días. Generalmente se divide en cuatro etapas diferenciadas por el color del fruto; verde, blanca, rosada y roja (Mohan et al., 2019).

2.5 Producción de fresa en Oaxaca

Los principales estados a nivel nacional (2019) en producción de fresa según datos del Sistema de Información agroalimentaria (SIACON, 2023) enlistándolo de acuerdo con su superficie sembrada son: Michoacán, Baja California, Guanajuato, México, Aguascalientes, Baja California Sur, Zacatecas, Jalisco, Puebla, Morelos, Oaxaca. Tlaxcala, Veracruz y Chihuahua. Del 2019 al 2020, México se ha posicionado en el 1er lugar como exportador a nivel mundial con una producción de 781 089.41 t ha⁻¹.

En el estado de Oaxaca los principales municipios productores de fresa son San Dionisio, Ocotlán y Zimatlán (SIACON, 2023). En la Planeación Agrícola Nacional

2017-2030 de fresa mexicana, se considera al Estado de Oaxaca como una de las regiones potenciales productivas de fresa, en dicho Plan se fomenta la aplicación de técnicas de agricultura protegida(SAGARPA, 2017).

2.6. Sistemas de producción de fresa

La fresa se desarrolla en climas entre 10 y 25 °C, siendo el óptimo entre 12 y 18 °C. Las bajas temperatura y los días cortos inducen la floración. Los niveles aptos para la producción de fresa se encuentran entre 1300 y 2000 m de altitud, suelos ricos en materia orgánica, aireados, bien drenados, pero con un cierto nivel de retención de agua (SAGARPA, 2017).

Los sistemas de producción de fresa en México se clasifican en sistema tradicional, sistema semi tecnificado y sistema tecnificado. En el tradicional el cultivo es en el suelo a cielo abierto, se utiliza el agua de riego y no cuenta con cubiertas protectoras, bajo estas condiciones la producción es menos inocua.

En el sistema semi tecnificado se aplica fertirrigación, riego por goteo y acolchado plástico, por lo que se tiene mejor aprovechamiento de nutrientes a través del fertirriego y un adecuado uso del agua. Con la implementación de algunas técnicas como el de acolchado se puede reducir la presencia de enfermedades al no tener contacto directo la planta y el fruto con el suelo.

En el sistema tecnificado se da un mejor uso de agua mediante el fertirriego, uso de acolchado plástico, establecido bajo cubierta. Estas condiciones mejoran el manejo fitosanitario. El periodo de cosecha se prolonga y por lo tanto en este sistema los rendimientos son mejores con frutos de mejor calidad (Rodríguez et al., 2013).

Se estima un aumento del 34.44% en la demanda mundial para el año 2030. La producción nacional de fresa tiene la capacidad de incrementarse en un 26.44%. por lo cual es necesario impulsar la producción para cubrir al mercado nacional y a las exportaciones (SAGARPA, 2017).

2. 7. Sistemas hidropónicos

La hidroponía es un método para cultivar sin suelo que abarca todos los sistemas que permiten la producción de plantas en las que el suministro de agua y minerales se realiza en soluciones nutritivas, con o sin un medio de cultivo (por ejemplo, lana de roca, turba, perlita, piedra pómez, fibra de coco, etc.). Los sistemas de cultivo sin suelo, comúnmente conocidos como sistemas hidropónicos, se pueden dividir en sistemas abiertos, donde la solución nutritiva excedente no se recicla, y sistemas cerrados, donde el exceso de flujo de nutrientes de las raíces se recolecta y se recicla nuevamente al sistema (Goddek et al., 2019)

Los sistemas hidropónicos de mayor presencia son los de tipo abierto, en los que la solución nutritiva sobrante se vierte a los cuerpos de agua subterráneos y superficiales, o en cultivos de campo abierto. En los sistemas cerrados a diferencia con los abiertos, la solución nutritiva tiene una recirculación y los sustratos se reutilizan. Goddek et al., (2019) clasifican los sistemas hidropónicos de acuerdo a sus características como sistemas sin suelo, abiertos o cerrados y por el tipo de suministro de agua (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación de los sistemas hidropónicos según diferentes aspectos (Goddek et al., 2019).

| Característica | Categorías | Ejemplos |
|-------------------------|--------------------------------------|---|
| Sistema sin suelo | Sin sustrato | NFT (Técnica de película de nutrientes) Aeroponía DFT (Técnica de flujo profundo) |
| | Con sustrato | Sustratos orgánicos (turba, fibra de coco, corteza, aserrín, etc.) Sustratos inorgánicos (lana de roca, piedra pómez, arena, perlita, vermiculita, arcilla expandida) Sustratos inorgánicos (poliuretano, poliestireno) |
| Sistema abierto/cerrado | Sistemas abiertos o run-to-waste | Las plantas se alimentan continuamente con solución “fresca” sin recuperar la solución drenada de los módulos de cultivo |
| | Sistemas cerrados o de recirculación | La solución de nutrientes drenada se recicla y se completa con los nutrientes que faltan hasta el nivel correcto de conductividad eléctrica |
| | Continuo | NFT (técnica de película de nutrientes) |

| | | |
|--------------------|-----------|---|
| Suministro de agua | Periódico | DFT (técnica de flujo profundo) Riego por goteo, flujo y reflujos, aeroponía |
|--------------------|-----------|---|

Además de los sistemas que se mencionan en la tabla anterior, existe otro sistema hidropónico denominado NGS, el cual consiste en un sistema cerrado, desarrollado en España, por la empresa New Growing System, S. L.

2.7.1 Sistema hidropónico NFT

El sistema NFT (Nutrient Film Technique) es un tipo de sistema hidropónico que suministra agua, oxígeno y nutrientes a las plantas mediante una corriente de agua poco profunda, contiene todos los nutrientes disueltos necesarios para el crecimiento de las plantas y se recircula a través de las raíces desnudas del cultivo en un canal hermético (Megan, 2019) . Para que la película de nutrientes permita que el agua, oxígeno y nutrientes puedan ser absorbidos por las raíces de las plantas, se debe de tomar en cuenta que la pendiente del canal, la longitud del canal, y el caudal sean los correctos.

Goddek et al., (2019) mencionan que la recirculación de la solución nutritiva y la ausencia de sustrato representan una de las principales ventajas del sistema NFT, además de su gran potencial de automatización para ahorrar costos de mano de obra (siembra y cosecha) y la oportunidad de administrar la densidad óptima de plantas durante el ciclo de cultivo. Por otro lado, la falta de sustrato y

los bajos niveles de agua hacen que el NFT sea vulnerable a la falla de las bombas, debido, por ejemplo, a una obstrucción o falla en el suministro de energía. Las fluctuaciones de temperatura en la solución nutritiva pueden causar estrés en las plantas seguido de enfermedades.

2.7.2 Sistema hidropónico NGS

El sistema NGS® es una modalidad de cultivo hidropónico caracterizado por la ausencia de sustrato (Durán et al., 2010), en el que las raíces se desarrollan en una solución nutritiva recirculante por un circuito cerrado, lo que permite un ahorro muy significativo de agua y fertilizantes y da a este sistema un carácter ecológico y de respeto al medio ambiente. En este sistema hidropónico la solución nutritiva circula por el interior de un conjunto de láminas de polietileno superpuestas en forma de “V”. La disposición de las láminas se hace de tal forma que la solución nutritiva después de recorrer cierta distancia, pasa o cae a la lámina siguiente por medio de orificios perforados en la parte inferior o en las caras laterales de dichas láminas (Durán et al., 2010).

Durán et al., (2010), describen el funcionamiento del sistema NGS desde el momento en que la solución nutritiva es liberada por el sistema de goteo, hasta que alcanza la última lámina (colectora), la solución nutritiva recorre un largo camino; es a lo largo de este camino, cuando la solución nutritiva pone a disposición de las raíces agua, nutrientes y oxígeno. Al mismo tiempo, retira de la capa límite que rodea las raíces (rizosfera) los iones no asimilados o los

compuestos excretados por las raíces y contribuye a renovar los gases que participan en la respiración radical.

Las raíces, una vez que han superado el cepellón en el que se encuentran cuando se realiza el trasplante, alcanzan la primera capa; guiadas por el movimiento del agua a favor de la pendiente, son conducidas hacia un agujero que les permite descender a la capa inferior. Este proceso se repite tantas veces como capas interiores tiene la bolsa; de este modo, el sistema se adapta fácilmente a diferentes cultivos (Durán et al., 2010).

Otra etapa del sistema, es la recolección de la solución nutritiva al final de cada línea de cultivo, mediante un embudo conectado a un colector que conduce, por gravedad, los drenajes hacia un depósito ubicado en el cabezal de riego. En este depósito es donde se repone el agua y los nutrientes consumidos por la planta (Durán et al., 2010).

En el sistema NGS se puede establecer una densidad de plantas que van de 111 mil plantas por hectárea en líneas fijas, hasta 300 mil plantas por hectárea con líneas móviles oscilantes y suspendidas.

2.8. Tipos de sustratos para la producción hidropónica de fresa

En un cultivo hidropónico, el sustrato es el material que sustituirá al suelo, cumple la función de sostén de la raíz de la planta y al mismo tiempo retener la humedad, puede ser orgánico o inorgánico. Actualmente se practican tres tipos de cultivo: en agua, en grava y en agregados.

Los sustratos más utilizados son la lana de roca, fibra de coco y tezontle, sin embargo, se pueden disponer de otros materiales tanto orgánicos como inorgánicos que podrían ser evaluados en el cultivo hidropónico de fresa (Mixquititla, 2020).

Sustrato comercial para fresa. En el mercado podemos encontrar distintos sustratos ideales para cultivos hidropónicos, como la agrolita, perlita, turba, así como distintas proporciones de mezclas de turba con otros materiales. Un buen sustrato desde un punto de vista físico debe ser liviano, poroso y con buena capacidad de almacenar agua.

Fibra de coco. La fibra de coco (*Cocos nucifera*) es un material biológico de lenta descomposición que se origina a partir de residuos de cáscaras de coco. La fibra se obtiene de la parte gruesa del mesocarpio del fruto del cocotero, la fibra de coco consiste en partículas de celulosa, hemicelulosa y lignina (Quintero et al., 2011). Estructuralmente es una de las fibras más duras, las partículas son de 0.5

a 2 mm aproximadamente (Alvarado et al., 2014). Esta fibra cumple con características adecuadas como sustrato y es de bajo costo comercial.

Olote molido. Es un residuo o subproducto agrícola. Su incorporación reduce la concentración de nitrato en el medio, con forme se descompone libera dióxido de carbono a la atmosfera del invernadero. Pocos estudios documentan los usos del olote como sustrato en hidroponía, sin embargo Muñoz (2019) , mostró que el olote combinado con composta (50:50) generó mayor número de racimos por planta en la producción de tomate.

CAPÍTULO III

CULTIVO DE FRESA (*Fragaria ananassa* Duch.) EN SISTEMAS HIDROPÓNICOS CON MEZCLAS DE SUSTRATOS

3.1 RESUMEN

El cultivo de fresa puede establecerse en campo abierto o bajo condiciones controladas, al utilizar invernaderos, macro túneles y sistemas hidropónicos. Estos últimos permiten obtener productos de mejor calidad y aumentar la eficiencia del uso de agua y fertilizantes. El propósito de esta investigación fue evaluar variables agronómicas que influyen en el crecimiento de plantas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) variedad Albión, en tres sistemas hidropónicos con cuatro mezclas de sustratos en condiciones de invernadero. Se estableció un diseño experimental completamente aleatorio con arreglo factorial 3 x 4, esto es, tres sistemas hidropónicos (piramidal, vertical y horizontal) y cuatro mezclas de sustratos (fibra de coco+turba+perlita; fibra de coco; fibra de coco+perlita; y olote). Se aplicó solución nutritiva de Steiner al 100% en sistemas cerrados. En el sistema horizontal, la biomasa (16.71 g), altura de planta (20.04 cm), diámetro de corona (21.40 mm), número de hojas (17.72) y de coronas (17.72), volumen de raíz (14.05 mL) y área foliar (603.09 cm²) mostraron significativamente (Duncan, $p \leq 0.05$) mayores valores respecto a los sistemas vertical y piramidal. La mezcla fibra de coco+turba+perlita, mostraron los valores más altos de todas las variables evaluadas. La mezcla a base de fibra de coco+turba+perlita en un sistema hidropónico horizontal favoreció el crecimiento vegetativo de las plantas de fresa.

Palabras clave: Área foliar, biomasa, calidad, crecimiento, rendimiento.

3.2 ABSTRACT

Strawberry cultivation can be established in the open field or under controlled conditions, using greenhouses, macro tunnels and hydroponic systems. Hydroponic systems present advantages by obtaining better quality products and increasing the efficiency of the use of water and fertilizers. The purpose of this research was to evaluate agronomic variables that influence in the growth of strawberry plants (*Fragaria ananassa* Duch.) variety Albion, in three hydroponic systems with four mixtures of substrates in greenhouses. A completely randomized experimental design was established with a 3 x 4 factorial arrangement, that is, 3 hydroponic systems (pyramidal, vertical and horizontal) and 4 mixtures of substrates (coconut fiber+peat+perlite; coconut fiber; coconut fiber+perlite; and cob). Steiner's 100% nutrient solution is applied in closed systems. A daily irrigation renewing the solution every 7 days. In the horizontal system, biomass (16.71 g), plant height (20.04 cm), crown diameter (21.40 mm), number of leaves (17.72) and crowns (17.72), root volume (14 0.05 mL) and leaf area (603.09 cm²) showed significantly (Duncan, $p \leq 0.05$) higher values with respect to the vertical and pyramidal systems. The mixture of coconut fiber+peat+perlite showed the highest values of all the variables evaluated. The mixture based on coconut fiber+peat+perlite in a horizontal hydroponic system favors the vegetative growth of strawberry plants.

Key words: leaf area, biomass, growth, yield, quality

3.3 INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) es uno de los cultivos importantes en el mundo dado su alto nivel de consumo, sabor y aportaciones nutrimentales. Durante el año 2021, en México se cultivaron alrededor de 11 935.27 ha con rendimiento de 542 890.63 t. El 95 % de la superficie total sembrada se localiza en Michoacán, Guanajuato y Baja California (SIACON, 2023). El cultivo puede establecerse en campo abierto o bajo condiciones controladas al utilizar invernaderos, macro túneles, sustratos y sistemas hidropónicos; en el primero, el rendimiento puede llegar a 26 t ha⁻¹, mientras que en hidroponía hasta 80 t ha⁻¹. Además, tiene las ventajas de aprovechar sitios que no cuentan con las características ideales para la producción agrícola, obtener productos de mejor calidad y aumentar la eficiencia en el uso de agua y fertilizantes. El agua y los minerales se suministran a través de soluciones nutritivas, con o sin un medio de cultivo (Beltrano et al., 2015; Goddek et al., 2019). El sustrato tiene las funciones de almacenar y mantener disponibles los minerales, proporcionar soporte físico (Beltrano et al., 2015) y protección al sistema radical de la planta, por lo que se considera un factor importante para el éxito de los cultivos en contenedores (Liu Xu, 2015).

Algunos sustratos que se utilizan para la producción de hortalizas son: carbón-biochar, corteza de pino, aserrín, fibra de coco y turba (Yang et al., 2022) por sus propiedades fisicoquímicas y biológicas presentan diferentes periodos de

degradación microbiológica, lo cual está relacionado con su naturaleza recalcitrante (Awad et al., 2017). En sistemas hidropónicos abiertos los excedentes del fertirriego se liberan sin ningún control; en los sistemas hidropónicos cerrados los excedentes se captan para poder reutilizarlos en los siguientes riegos.

Por lo anterior, el propósito de esta investigación fue evaluar variables agronómicas que intervienen en el crecimiento de las plantas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.), variedad Albión en tres sistemas hidropónicos con cuatro mezclas de sustratos en invernadero.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en un invernadero tipo túnel de 100 m², cubierto con plástico color blanco (lechoso), y malla anti áfidos en los costados a una altura de 2 m, con ventilación natural; orientado de este-oeste, localizado en el municipio de la Villa de Zaachila, en la región de los Valles Centrales en el Estado de Oaxaca, México. Se sitúa en los 16°57'02' LN y 96°45'02' LO, a una altitud de 1506 m. Presenta un clima templado húmedo (C) con lluvias en verano (w) (García, 2004), con precipitación de 600 a 800 mm (Vásquez & Rodríguez, 2018).

Material vegetal

Se utilizaron plantas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) variedad Albión de 28 días al trasplante en cepellón con turba, tratada con fungicida a base de N-triclorometiltio-4-ciclohexeno-1,2- dicarboximida antes del envío, 10 cm de altura promedio y 2 a 3 hojas completamente extendidas.

Diseño experimental

El experimento se estableció con un diseño experimental completamente aleatorio, con arreglo factorial incompleto 3 x 4, el factor sistema hidropónico en tres niveles: piramidal, vertical y horizontal; y el factor sustrato en cuatro niveles: fibra de coco+turba+perlita (2:1:1); fibra de coco (1); fibra de coco+perlita (1:1); y olote (1). En el tratamiento “horizontal-olote” no se obtuvieron datos, por lo que se generó un arreglo factorial incompleto con 11 tratamiento. Se consideraron cuatro repeticiones, la unidad experimental estuvo formada por tres plantas.

Sustratos

En el caso de los materiales fibra de coco y olote se les aplicó un lavado con agua corriente antes del llenado de los contenedores, para ajustar su conductividad eléctrica (CE) a 1.5 dS m^{-1} (Hanna, modelo 98130), debido a que presentaban más de 2 dS m^{-1} no tolerable para el cultivo.

Instalación de los sistemas hidropónicos

Para el sistema hidropónico vertical, se utilizaron cinco macetas de plástico de 20 x 20 cm por 18 cm de profundidad, esto representa un volumen de 7.2 L. Las macetas se apilaron verticalmente, y la parte central de las macetas se perforó, para colocar un tubo (1.5") de policloruro de vinilo (PVC) de 1.6 m de altura, que quedó fijo en el suelo para asegurar la estabilidad de la columna. Las macetas se apilaron de tal manera que las esquinas quedaron libres para colocar una planta (Figura 5).



Figura 5. Sistema hidropónico vertical

En la parte superior de la columna se colocó la cintilla de riego con un gotero y distribuidor de cuatro salidas, en los extremos del distribuidor se acopló una extensión de microtubo que suministró la solución nutritiva a las cuatro macetas superiores, la última (inferior) se regó por escurrimiento de las cuatro macetas superiores.

El sistema hidropónico piramidal, se construyó con seis canaletas (tubos de PVC de 4") de 2.6 m de longitud colocadas horizontalmente con una pendiente de 2% (Figura 6). Los extremos de cada tubo se sellaron con tapas elaboradas del mismo material. A lo largo del tubo en la parte superior se realizaron perforaciones de 5 cm de diámetro espaciadas cada 20 cm, en donde se sembró cada planta. Los dos niveles inferiores se colocaron a una altura de 0.50 m y el tercer nivel a 1.00 m. En la tapa del extremo del nivel inferior de cada tubo se realizó una perforación de 1.8 cm de diámetro, en donde se puso un conducto para drenar la solución nutritiva hacia el depósito.



Figura 6. Sistema hidropónico piramidal.

El sistema horizontal, se construyó con ocho contenedores (tubos de PVC de 4") de 2.60 m de longitud con perforaciones circulares de 5 cm de diámetro y 20 cm de distancia entre ellas (Figura 7), fueron acomodadas por pares sobre una base de 1.00 m de altura con una pendiente de 2%; la distancia entre cada par fue de 0.20 m, en cada perforación se estableció una planta.



Figura 7. Sistema hidropónico horizontal.

Después de la instalación de cada sistema hidropónico y acondicionamiento de los sustratos, se llenaron los contenedores con las mezclas a evaluar y al final se realizó un riego con agua corriente.

Fertirriego

El sistema de riego se formó con un depósito con capacidad de 200 L para la solución nutritiva, una bomba eléctrica de 0.5 hp (Hyundai) para succión y una línea de distribución con cintilla de riego de 16 mm, en donde se colocaron goteros con un distribuidor para cuatro plantas.

La solución nutritiva utilizada para suministrar los macronutrientes a todos los tratamientos fue la solución universal de Steiner (1984) al 100%, (12.0 me L^{-1} de NO_3^- , 1.0 me L^{-1} de H_2PO_4^- , 7.0 me L^{-1} de SO_4^- , 7.0 me L^{-1} de K^+ , 9.0 me L^{-1} de Ca^{2+} y 4.0 me L^{-1} de Mg^{2+}); para los micronutrientes con base en la metodología propuesta por Hewitt (1966); el suministro de solución nutritiva a los diferentes tratamientos se realizó mediante sistemas cerrados con líneas de distribución con

cintilla de riego de 16 mm, con goteros cada 20 cm, de donde se distribuía de forma individual para cada planta. Cada semana se renovó la solución nutritiva y se aplicó un riego de lavado con agua corriente al sistema. Los riegos se realizaron diariamente previo ajuste de la solución a pH 5.5.

Registro de variables

Transcurridas 28 semanas después del trasplante, se registró por planta la altura desde la base de la corona hasta la hoja más alta con un flexómetro; el diámetro de la corona con un vernier digital; el número de hojas; el número de coronas; el volumen de la raíz se determinó por desplazamiento de agua con una probeta de cristal de 1.0 L, previo lavado con abundante agua para evitar residuos de sustratos; la longitud de la raíz desde la base de la corona hasta el extremo con mayor longitud; y el área foliar con el software IMAGEJ 1.53t a partir imágenes digitales. También se determinó la biomasa al registrar el peso fresco con una balanza analítica, después se colocaron las muestras dentro de una estufa de convección (Memmert modelo 100-800), en donde se mantuvieron a 70 °C hasta peso constante, para determinar el peso seco.

Para el registro de las variables ambientales (humedad relativa y temperatura), se utilizó un registrador de datos (Hobo connect) que se programó para registrar los datos cada hora a partir de la fecha del establecimiento del cultivo.

Análisis de datos

Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete computacional Statistical Analysis System® (SAS versión 9.4), se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Shapiro-Wilk y Bartlett ($\alpha=0.05$), respectivamente; al no cumplir con los supuestos las variables altura, diámetro y número de coronas, número de hojas, el volumen y longitud de raíz se transformaron a $\log(x)$. Se realizaron los análisis de varianza correspondientes y se efectuó la prueba de medias de Duncan ($p \leq 0.05$). De igual forma se hicieron análisis de correlación de Pearson (r), se obtuvieron los modelos de regresión y los coeficientes de determinación (R^2) para las variables en estudio.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables ambientales

La temperatura osciló entre 21.28 a 25.43 °C durante el periodo evaluado del cultivo. La humedad relativa en el sitio fue de 51.63 a 71.83 % los registros cambiaron gradualmente de acuerdo con la época del año (Cuadro 3). Mohan et al. (2019) mencionan que los valores óptimos para el cultivo de fresa son de 25 °C a los 30 °C. Las plantas muestran su mejor crecimiento de hojas y peciolo a los 25°C. Las temperaturas más altas afectan el proceso fotosintético, aceleran la maduración lo que puede reducir la duración del ciclo productivo del cultivo.

Cuadro 3. Registro de temperatura (°C) y humedad relativa (%) en el sitio del cultivo.

| Año | Mes | Temperatura °C | Humedad relativa % |
|------------------------------|------------|-------------------|-----------------------|
| - - - Promedio mensual - - - | | | |
| 2022 | Septiembre | 22.27 | 71.83 |
| | Octubre | 23.63 | 62.97 |
| | Noviembre | 23.68 | 58.50 |
| | Diciembre | 20.86 | 57.21 |
| | Enero | 21.28 | 54.07 |
| | Febrero | 22.26 | 51.63 |
| 2023 | Marzo | 24.58 | 52.08 |
| | Abril | 25.13 | 55.24 |
| | Mayo | 25.43 | 57.23 |

Valores promedio de los registros diarios de cada mes del año.

Crecimiento vegetativo

Los análisis de varianza para los factores sistemas hidropónicos, sustratos y sus interacciones, mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para biomasa, altura y número de coronas. El diámetro de corona presentó diferencia significativa para el sustrato y la interacción sustrato-sistema hidropónico; el volumen de raíz tuvo diferencias significativas para el sistema hidropónico y sustrato, pero no para su interacción. El número de hojas y área foliar fueron significativas para el sustrato; y la longitud de la raíz solo al sistema hidropónico (Cuadro 4).

Los resultados indican que el factor sustrato presentó mayor diferencia significativa en todas las variables, a excepción de la longitud de raíz, esto se puede deber a sus propiedades físicas y químicas, que influyen en la

disponibilidad de nutrientes, temperatura de sustrato y oxigenación para el crecimiento de las plantas (Florián & Dolors, 2011).

Cuadro 4.- Resumen de análisis de varianza por factor y su interacción.

| Variable | Sistema | Sustrato | Si-Su | CV | $\sqrt{\text{CME}}$ |
|--------------------|--------------------------|----------|---------|-------|---------------------|
| | -----Cuadrado medio----- | | | | |
| Biomasa | 1.44** | 8.42** | 0.93** | 21.35 | 0.38 |
| Altura | 0.18* | 1.22** | 0.17** | 6.81 | 0.19 |
| Diámetro de Corona | 0.03 ns | 3.30** | 0.26* | 9.44 | 0.26 |
| Número de hojas | 0.24 ns | 6.44** | 0.20 ns | 19.96 | 0.43 |
| Número de coronas | 0.99** | 2.02** | 0.60** | 46.02 | 0.32 |
| Volumen de raíz | 0.24** | 1.73** | 0.04 ns | 18.25 | 0.14 |
| Longitud de raíz | 0.45** | 0.02 ns | 0.10 ns | 8.38 | 0.22 |
| Área foliar | 0.71 ns | 19.34** | 0.20 ns | 10.69 | 0.54 |

CV=Coeficiente de variación, CME=cuadrado medio del error, Si-Su= Interacción entre los factores sistema y sustrato, * significativo($p \leq 0.05$), **altamente significativo ($p \leq 0.01$), ns=no significativo ($p > 0.05$).

Las plantas de fresa que se establecieron en los tratamientos horizontal-fibra de coco; vertical-fibra de coco+perlita; y horizontal-fibra de coco+turba+perlita (Cuadro 5), presentaron los valores más altos en biomasa sin diferencia significativa (Duncan, $p \leq 0.05$) entre ellos. La mayor altura se obtuvo en el sistema horizontal-fibra de coco y presentó diferencia significativa respecto a los demás tratamientos. El mayor diámetro de corona lo presentaron los sistemas; vertical-fibra de coco+turba+perlita, horizontal-fibra de coco+turba+perlita, vertical-fibra de coco+perlita, piramidal-fibra de coco+turba+perlita, horizontal-fibra de coco, sin diferencia significativa entre tratamientos. La mayor cantidad de hojas se obtuvo en el sistema hidropónico horizontal-fibra de coco+turba+perlita.

Los resultados indican que el tratamiento horizontal-fibra de coco+turba+perlita presentó los valores más altos con diferencia significativa para biomasa, número de hojas, volumen de raíz, y área foliar. Lo anterior posiblemente se debió a que los factores ambientales como la intensidad lumínica, calidad de luz, fotoperiodo, temperatura, disponibilidad de agua y nutrientes fueron favorables. El número de hojas es una variable importante ya que en la parte superior de cada hoja existe una yema axilar que puede generar coronas laterales o estolones (Kirschbaum, 2021).

El tratamiento horizontal-fibra de coco, presentó el mayor número de coronas, esto es favorable para el rendimiento, ya que cada corona que se forma produce sus propias inflorescencias y frutos.

Cuadro 5. Efecto de la interacción entre tratamientos en variables agronómicas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) variedad Albión

| Tratamiento | | Biomasa (g) | Altura (cm) | Dcorona (mm) | NHojas |
|-------------|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| Sistema | Sustrato | | | | |
| Piramidal | FC | 3.1±0.0 c | 12.7±1.3 de | 14.0±3.7 cde | 6.2±3.2 bc |
| Piramidal | FC+T+P | 15.5±1.4 ab | 22.8±0.3 b | 23.7±3.5 abc | 19.1±2.6 ab |
| Piramidal | Olote | 2.0±0.0 c | 8.6±0.2 e | 9.0±0.9 de | 3.5±0.6 c |
| Piramidal | FC+P | 6.1±2.0 bc | 15.1±4.8 cd | 18.7±4.6 bcd | 8.6±1.3 bc |
| Vertical | FC | 3.0±0.8 c | 15.3±2.0 cd | 10.3±1.5 de | 8.7±1.9 bc |
| Vertical | FC+T+P | 14.2±2.5 ab | 22.3±1.2 b | 30.9±3.3 a | 18.8±3.8 ab |
| Vertical | Olote | 1.7±0.3 c | 12.6±1.9 de | 7.2±0.6 e | 3.5±0.8 c |
| Vertical | FC+P | 22.4±5.0 a | 19.9±0.1 bc | 24.2±4.6 abc | 13.7±2.2 bc |
| Horizontal | FC | 25.0±0.0 a | 32.9±0.0 a | 22.0±0.0 abc | 7.0±0.0 bc |
| Horizontal | FC+T+P | 21.9±5.8 a | 22.8±0.8 b | 29.5±3.7 ab | 28.2±7.5 a |
| Horizontal | Olote | 2.1±0.0 c | 8.0±0.0 e | 4.8±1.2 e | 2.0±0.0 c |
| Sistema | Sustrato | NCoronas | VRaíz | LRaíz | AFoliar |
| Piramidal | FC | 2.2±1.2 cd | 9.7±1.2 bcd | 14.3±0.8 abc | 87.0±1.1 bc |

| | | | | | |
|------------|--------|-------------|--------------|--------------|----------------|
| Piramidal | FC+T+P | 3.2±0.3 bc | 15.0±0.5 ab | 10.6±1.5 bc | 638.2±137.3 ab |
| Piramidal | Olote | 1.0±0.0 d | 1.8±0.2 e | 14.8±0.6 abc | 29.1±5.7 c |
| Piramidal | FC+P | 2.3±0.3 bcd | 6.3±0.6 cde | 11.6±1.3 abc | 212.4±116.9 bc |
| Vertical | FC | 1.4±0.2 d | 3.5±0.8 de | 17.7±2.4 a | 128.6±32.0 bc |
| Vertical | FC+T+P | 2.6±0.5 bcd | 10.9±2.0 bc | 17.5±2.5 ab | 644.1±123.5 ab |
| Vertical | Olote | 1.0±0.0 d | 1.1±0.1 e | 17.1±1.5 ab | 25.3±5.0 c |
| Vertical | FC+P | 2.0±0.0 cd | 7.7±1.7 cde | 14.9±0.9 abc | 271.1±100.0 bc |
| Horizontal | FC | 7.0±0.0 a | 10.0±0.0 bcd | 11.0±0.0 abc | 162.0±0.0 bc |
| Horizontal | FC+T+P | 3.9±0.5 b | 21.3±3.8 a | 12.9±0.6 abc | 1004.8±283.9 a |
| Horizontal | Olote | 1.0±0.0 d | 1.5±0.5 e | 8.5±0.5 c | 20.1±11.6 c |

Los datos con letras distintas en la misma columna presentan diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p \leq 0.05$). La media se acompaña de \pm su error estándar. FC= fibra de coco; T= turba; P= perlita; DCorona, diámetro de corona; NHojas, número de hojas; Ncoronas, número de coronas; VRaíz, volumen de raíz; LRaíz, longitud de raíz; AFoliar, área foliar.

Efecto del sistema hidropónico

El sistema hidropónico horizontal mostró en todas las variables evaluadas los valores mayores, seguido por el sistema vertical y piramidal; sin embargo, con diferencias significativas (Duncan, $p \leq 0.05$) en biomasa, número de coronas, volumen de raíz y área foliar (Cuadro 6); estos resultados pudieron deberse a que las plantas del sistema horizontal se encontraban a una misma altura, lo que permite que la captación de luz sea similar para todas. Al respecto, Van Os et al. (2019) describen que, por el diseño de los sistemas hidropónicos, las plantas que se encuentran en niveles inferiores reciben menos luz, y como consecuencia el comportamiento del crecimiento no es homogéneo. Además, al colocar las plantas arriba del nivel del suelo, permite una mejor circulación del aire y reduce la incidencia de enfermedades. La luz recibida por las plantas influye en la fotosíntesis y morfología, la cual se puede medir a través del flujo de fotones fotosintéticos diarios, también llamado luz diaria integrada (DLI) (Kubota, 2019).

Por su parte, Ruangrak & Khummueng (2019), afirman que las luces azul y verde influyen de manera positiva en el crecimiento, su capacidad fotosintética y la producción de fotoquímicos de las plantas, por lo que los rangos espectrales rojo, azul y verde son los más importantes para impulsar la fotosíntesis (Keiko Oashi et al., 2007). La luz azul (400 a 500 nm) influye en la morfología y la luz roja (600 a 700 nm) en la fotosíntesis.

Cuadro 6. Efecto del factor sistema hidropónico en variables agronómicas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) en la variedad Albión.

| Variable | Sistemas hidropónicos | | |
|----------------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| | Horizontal | Vertical | Piramidal |
| Biomasa (g) | 16.71±4.92 a | 9.16±2.41 b | 7.40±1.86 b |
| Altura (cm) | 20.04±3.44 a | 17.56±1.36 ab | 15.15±1.89 b |
| DCorona (mm) | 21.40±4.85 a | 18.12±3.13 a | 16.36±2.21 a |
| NHojas | 17.72±6.42 a | 11.42±2.09 ab | 10.04±2.22 b |
| NCoronas | 4.51±1.69 a | 2.21±0.24 b | 1.77±0.34 b |
| VRaíz (mL) | 14.05±4.15 a | 5.91±1.31 b | 8.31±1.68 b |
| LRaíz (cm) | 11.41±0.87 b | 17.08±1.07 a | 12.81±0.79 b |
| AFoliar (cm ²) | 603.09±243.38 a | 285.32±81.33 b | 272.38±91.38 b |

Los datos con letras distintas dentro de cada fila presentan diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p \leq 0.05$). La media se acompaña de su error estándar (\pm). DCorona= diámetro de corona, NHojas=número de hojas, NCoronas= número de coronas, VRaíz= Volumen de raíz, LRaíz=Longitud de raíz, AFoliar=Área foliar.

A pesar de que el crecimiento no fue favorable para los sistemas vertical y piramidal, el rendimiento de estos sistemas puede ser similar o mayor que en el sistema hidropónico horizontal, debido a que la cantidad de plantas establecidas por metro cuadrado puede ser mayor (Touliatos et al., 2016).

La longitud de raíz fue significativamente mayor (Duncan, $p \leq 0.05$) en el sistema vertical, respecto a los sistemas horizontal y piramidal. Este resultado puede deberse a que los recipientes del sistema vertical (macetas de 20x20x18 cm) duplicaron en altura a los recipientes de los sistemas piramidal y horizontal (tubos PVC 4" de diámetro)

El número de hojas en el sistema horizontal fue de 17.72 ± 6.42 , superior al sistema vertical que presentó 11.42 ± 2.09 y el sistema piramidal con 10.04 ± 2.22 . El valor de esta variable en el sistema piramidal fue similar con lo que reporta Alvarado et al. (2020), a las 30 semanas después de trasplante con 13 hojas por planta en el estrato más alto de un sistema piramidal a una altura de 2 m.

Efecto del sustrato

Las plantas establecidas en la mezcla fibra de coco+turba+perlita, mostraron los valores más altos significativamente para las variables biomasa, número de hojas, volumen de raíz y área foliar, similar a lo reportado por Juárez-Rosete et al. (2019) en donde al utilizar turba los valores de altura de planta y el número de hojas fue mayor en comparación con otros sustratos.

En los sustratos a base de fibra de coco+turba+perlita y fibra de coco comercial, el número de coronas fue mayor significativamente respecto a los sustratos fibra de coco+perlita y olote (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto del factor sustrato en variables agronómicas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) variedad Albión.

| Variable | Sustratos | | | |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| | FC+T+P | FC+P | FC | Olote |
| Biomasa (g) | 17.25±2.21 a | 14.25±5.19 a | 6.18±3.17 b | 1.95±0.11 b |
| Altura (cm) | 22.68±0.47 a | 17.52±2.41 b | 17.11±2.91 b | 9.83±0.91 c |
| DCorona (mm) | 28.08±2.07 a | 21.47±2.50 b | 13.07±1.99 c | 7.48±0.74 c |
| NHojas | 22.10±2.96 a | 11.20±1.82 b | 7.78±1.34 b | 3.16±0.42 b |
| NCoronas | 3.25±0.30 a | 2.17±0.18 b | 3.45±1.79 a | 1.03±0.03 b |
| VRaíz (mL) | 15.79±1.85 a | 7.05±0.86 b | 6.25±1.37 b | 1.51±0.16 c |
| LRaíz (cm) | 13.70±1.26 a | 13.27±1.15 a | 15.81±1.65 a | 14.17±1.25 a |
| AFoliar (cm ²) | 762.41±114.48a | 241.75±65.05 b | 121.51±19.85 b | 25.86±3.58 b |

Los datos con letras distintas en la misma fila presentan diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p \leq 0.05$). La media se acompaña de su error estándar (\pm). FC= fibra de coco; T= turba; P= perlita. DCorona, diámetro de corona; NHojas, número de hojas; Ncoronas, numero de coronas; VRaíz, volumen de raíz; LRaíz, longitud de raíz; AFoliar, área foliar.

El volumen de raíz presentó el valor más alto en el sustrato a base de fibra de coco+turba+perlita, posiblemente debido su capacidad de retención y hacer fácilmente disponible la solución nutritiva, condiciones que favorecen el crecimiento de raíces primarias y ramificadas (Kubota, 2019; Ellis et al., 2006). Los valores más bajos los presentó el sustrato olote (1.51±0.16), seguido de la fibra de coco (7.05±0.86) y el sustrato a base de fibra de coco+perlita (6.25±1.37), en estos dos últimos sustratos no hubo diferencia significativa. Los resultados sugieren que estos sustratos no permiten una buena retención de humedad, García et al. (2019) demostraron que la fibra de coco presentó mayor demanda de riegos para mantener una humedad del 80%.

La longitud de raíz no presentó diferencias significativas entre los sustratos, esto puede deberse a que los sustratos brindaron la suficiente porosidad para que esta parte de la planta creciera, como lo reportan similarmente Juárez et al., (2019) en los sustratos pumita, perlita+turba a los 72 días después de plantado en el cultivo de fresa.

El área foliar presentó diferencia significativa (Duncan, $p \leq 0.05$) en el sustrato a base de fibra de coco+turba+perlita, con el mayor valor ($762.41 \pm 114.48 \text{ cm}^2$), esto representa 68.3 % más área foliar que el obtenido en el sustrato con fibra de coco+perlita; 85% más que en la fibra de coco comercial; y 96.6 % más que en olote. El área foliar y el número de hojas, son importantes, debido a que en las hojas es donde la planta realiza la fotosíntesis (Rodrigues et al., 2019) y se generan fotoasimilados, como la sacarosa para su uso inmediato y el almidón para almacenarlo y exportarlo a otros órganos (Nakai et al., 2022). Medina et al. (2016), señalan que, a mayor área foliar, es mayor el aprovechamiento de la energía lumínica, lo que se refleja en la cantidad de fotoasimilados generados, los cuales son translocados a órganos de las plantas (León et al., 2021), como los frutos, raíces (Aluko et al., 2021) y otras estructuras de almacenamiento, lo que llega a influir en el rendimiento del cultivo (Hidaka et al., 2019). La respuesta a un número menor de hojas repercute en su rendimiento, como lo reporta Vázquez et al., (2022), en donde las plantas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) que fueron defoliadas disminuyó en 17 % su producción.

Correlaciones

En el análisis de correlación, la variable longitud de raíz mostró correlaciones < a 0.2 positivas y negativas con las variables evaluadas; las correlaciones de las otras variables fueron > a 0.7 (Cuadro 8).

Cuadro 8. Correlaciones, modelos de regresión y coeficientes de determinación entre las variables evaluadas.

| Variables | Correlación | Modelo de regresión | r ² |
|------------------|-------------|-------------------------------------|----------------|
| Biomasa-Altura | 0.8664 | $Y = -0.016x^2 + 0.4007x + 2.1055$ | 0.7517 |
| Biomasa-Dcorona | 0.9055 | $Y = -0.0529x^2 + 0.7286x + 1.6311$ | 0.8249 |
| Biomasa-Nhojas | 0.8499 | $Y = 0.014x^2 + 0.6537x + 0.9071$ | 0.7226 |
| Biomasa-Ncoronas | 0.8213 | $Y = 0.043x^2 + 0.3417x - 0.1232$ | 0.6777 |
| Biomasa-Vraíz | 0.8622 | $Y = -0.0671x^2 + 0.604x - 0.0561$ | 0.7590 |
| Biomasa-Lraíz | -0.1300 | $Y = -0.0368x + 2.6856$ | 0.0195 |
| Biomasa-Afoliar | 0.8857 | $Y = -0.0929x^2 + 1.5414x + 2.6428$ | 0.7873 |
| Altura-Dcorona | 0.8149 | $Y = 1.2209x - 0.6522$ | 0.6641 |
| Altura-Nhojas | 0.8101 | $Y = -0.5065x^2 + 4.4128x - 6.0794$ | 0.6625 |
| Altura-Ncoronas | 0.7629 | $Y = 1.7628x^2 - 8.283x + 9.8062$ | 0.7217 |
| Altura-Vraíz | 0.7813 | $Y = 0.0548x^2 + 0.5319x - 1.1532$ | 0.6107 |
| Altura-Lraíz | 0.0624 | $Y = 2.4965e^{0.0151x}$ | 0.0032 |
| Altura-Afoliar | 0.873 | $Y = 0.8198x^{1.7606}$ | 0.7732 |
| Dcorona-Nhojas | 0.9064 | $Y = 0.224x^2 + 0.0967x + 0.1468$ | 0.8315 |
| Dcorona-Ncoronas | 0.7937 | $Y = 0.1006x^2 + 0.2855x - 0.8735$ | 0.6337 |
| Dcorona-Vraiz | 0.8667 | $Y = 0.0499x^2 + 0.3508x - 0.5991$ | 0.7532 |
| Dcorona-Lraíz | -0.0031 | $Y = 0.0398\ln(x) + 2.58$ | 0.0013 |
| Dcorona-Afoliar | 0.9334 | $Y = 0.2091x^2 + 1.0485x + 0.5488$ | 0.8746 |
| Nhojas-Ncoronas | 0.7341 | $Y = 0.0069x^2 + 0.5082x - 0.4451$ | 0.5390 |
| Nhojas-Vraiz | 0.8395 | $Y = 0.4237x - 0.1692$ | 0.7048 |
| Nhojas-Lraíz | 0.0594 | $Y = 2.5681e^{0.0062x}$ | 0.0024 |
| Nhojas-Afoliar | 0.9502 | $Y = 0.0641x^2 + 1.2918x + 1.8985$ | 0.9042 |
| Ncorona-Vraíz | 0.7752 | $Y = -0.31x^2 + 1.1154x + 0.2518$ | 0.7604 |
| Ncoronas-Lraíz | -0.1880 | $Y = -0.0819x + 2.6751$ | 0.0355 |
| Ncoronas-Afoliar | 0.7311 | $Y = 1.6405x + 3.9041$ | 0.5345 |
| Vraíz-Lraíz | -0.1528 | $Y = -0.0963x + 2.6904$ | 0.0234 |
| Vraíz-Afoliar | 0.8865 | $Y = 2.8821x + 2.8869$ | 0.786 |
| Lraíz-Afoliar | -0.0155 | $Y = -0.0802x + 5.2436$ | 0.0002 |

DCorona, diámetro de corona; NHojas, número de hojas; Ncoronas, numero de coronas; VRaíz, volumen de raíz; LRaíz, longitud de raíz; AFoliar, área foliar.

De acuerdo con el análisis de correlación, se observó que todas las variables de crecimiento evaluadas, a excepción de la longitud de raíz, presentaron una correlación alta ($r \geq 0.73$). La correlación más alta la presentó el área foliar-número de hojas, seguida por el diámetro de corona-área foliar. Estos resultados son similares a los que reportan (Cecatto et al., 2016), en donde la correlación entre el índice de área foliar y altura de la planta que obtuvieron lo reportan en el intervalo de $r = 0.84$ a 0.79 en tratamientos inoculados con hongos micorrícicos, similar a lo que se obtuvo en esta investigación ($r = 0.87$).

3.6 CONCLUSIONES

El crecimiento de las plantas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.), en el sistema horizontal en las variables biomasa, altura, diámetro de corona, numero de hojas, numero de coronas, volumen de raíz, y área foliar presentaron significativamente (Duncan, $p \leq 0.05$) los valores más altos. La variable longitud de raíz no presentó diferencias significativas entre los sistemas hidropónicos piramidal y horizontal y entre todos los sustratos. El sustrato que mostró los valores más altos significativamente (Duncan, $p \leq 0.05$) para las variables de crecimiento fue la mezcla a base de fibra de coco+turba+perlita. La correlación para la longitud de raíz con las demás variables fue $< \pm 0.2$. Para las variables biomasa, área foliar, número y diámetro de corona, número de hojas y volumen de raíz la correlación fue > 0.7 .

3.7 BIBLIOGRAFÍA

- Aluko, O. O., Li, C., Wang, Q., & Liu, H. (2021). Sucrose utilization for improved crop yields: A review article. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), 1–29. <https://doi.org/10.3390/ijms22094704>
- Alvarado, C. J. A., Gómez, G. A., Lara, H. A., Díaz, P. J. C., & García, H. E. J. (2020). Rendimiento y calidad de fruto de fresa cultivada en invernadero en sistema hidropónico piramidal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8). <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2460>
- Awad, Y. M., Lee, S. E., Ahmed, M. B. M., Vu, N. T., Farooq, M., Kim, I. S., Kim, H. S., Vithanage, M., Usman, A. R. A., Al-Wabel, M., Meers, E., Kwon, E. E., & Ok, Y. S. (2017). Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables. *Journal of Cleaner Production*, 156, 581–588. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.070>
- Beltrano, J., Gimenez, D. O., & Ruscitti, M. F. (2015). Cultivo en hidroponía. In *Cultivo en hidroponía* (1a. Ed. Adaptada). Universidad Nacional de la Plata.
- Cecatto, A. P., Calvete, E. O., Martínez, F., Martínez, J., & Palencia, P. (2016). Correlación entre parámetros vegetativos de plantas de fresa inoculadas con hongos micorrícicos en cultivo sin suelo en España. *1a. Jornada Binacional de Jovens Cientistas*, 2–5.
- Ellis, M. A., Funt, R. C., Wright, S., Demchak, K., Wahle, E., Doohan, D., Ecologist, E. W., Welty, C., & Williams, R. N. (2006). *Midwest strawberry production* (Vol. 926). Communications and Technology the Ohio State University.
- Florián, M. P., & Dolors, R. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. In Martínez P. F. & Roca D. (Eds.), *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (pp. 37–77).
- García, C. E. F., Moyano, A. J. C., Martínez, N. H. F., Orozco, R. J. M., & Santillán, M. C. J. (2019). Sistemas embebidos open source para la caracterización de la humedad en un cultivo hidropónico de fresa por la variación climática. *Polo Del Conocimiento*, 4(4), 153–171. <https://doi.org/10.23857/pc.v4i4.941>
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. In *Cartas de climas de la Republica Mexicana* (Quinta). Instituto de Geografía-UNAM.
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Gavin, M. B. (2019). *Aquaponics food production systems combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. European cooperation in science & technology. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>

- Hidaka, K., Miyoshi, Y., Ishii, S., Suzui, N., Yin, Y. G., Kurita, K., Nagao, K., Araki, T., Yasutake, D., Kitano, M., & Kawachi, N. (2019). Dynamic analysis of photosynthate translocation into strawberry fruits using non-invasive ¹¹C-labeling supported with conventional destructive measurements using ¹³C-labeling. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01946>
- Juárez, R. C. R., Aguilar, C. J. A., Bugarín, M. R., Aburto, G. C. A., & Alejo, S. G. (2019). Medios de enraizamiento y aplicación de auxinas en la producción de plántulas de fresa. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num1_art:1319
- Keiko Oashi, K., Masahide, T., Noya, K., Kasuhiro, F., & Kenji, K. (2007). Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce. *Environmental Control in Biology*, 45(3), 189–198.
- Kirschbaum, D. S. (2021). Cultivo, poscosecha, procesado y comercio de berries. In *Cultivo, poscosecha, procesado y comercio de berries*. Namesny, A., Conesa, C., Olmos, L. M. Papasseit, P.
- Kubota, C. (2019). Growth, development, transpiration, and translocation as affected by abiotic environmental factors. In *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production: Second Edition* (pp. 207–220). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00013-3>
- León, B. A. F., Beltrán, C. G. Y., Barragán, P. A. L., & Balaguera, L. H. E. (2021). Distribución de foto asimilados en los órganos vertederos de plantas Solanáceas, caso tomate y papa. *Ciencia y Agricultura*, 18(3). <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n3.2021.13566>
- Medina, B. J. S., Pinzón, S. E. H., & Cely, G. E. (2016). Efecto de sustratos orgánicos en plantas de fresa (*Fragaria* sp.) cv 'Albion' bajo condiciones de campo. *Ciencia y Agricultura*, 13(2). <https://doi.org/10.19053/01228420.v13.n2.2016.5548>
- Mohan, S. R., Yamdagni, R., Kumar, D. A., & Pandey, V. (2019). *Strawberries production, postharvest management and protection* (Primera, Vol. 1). CRC Press.
- Nakai, H., Yasutake, D., Kimura, K., I, K., Hidaka, K., Eguchi, T., Hirota, T., Okayasu, T., Ozaki, Y., & Kitano, M. (2022). Dynamics of carbon export from leaves as translocation affected by the coordination of carbohydrate availability in field strawberry. *Environmental and Experimental Botany*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104806>
- Rodrigues, J., Inzé, D., Nelissen, H., & Saibo, N. J. M. (2019). Source–Sink Regulation in Crops under Water Deficit. In *Trends in Plant Science* (Vol. 24, Issue 7). <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.04.005>

- Ruangrak, E., & Khummueng, W. (2019). Effects of artificial light sources on accumulation of phytochemical contents in hydroponic lettuce. In *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* (Vol. 94, Issue 3, pp. 378–388). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/14620316.2018.1504630>
- SIACON (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta). (2023). Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Información consultada el 10 de mayo de 2023 en <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In Steiner Abram A (Ed.), *Sixth International Congress on Soilless Culture* (pp. 633–650).
- Touliatos, D., Dodd, I. C., & Mcainsh, M. (2016). Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics. *Food and Energy Security*, 5(3), 184–191. <https://doi.org/10.1002/fes3.83>
- Van Os, E. A., Gieling, T. H., & Heinrich Lieth, J. (2019). Technical equipment in soilless production systems. In *Soilless Culture: Theory and Practice Theory and Practice*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00013-X>
- Vásquez, R. P. S., & Rodríguez, O. G. (2018). Los suelos de los valles centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 5(2), 156–167.
- Vázquez, G. G., Livera, M. M., González, H. V. A., & Muratalla, L. A. (2022). Efecto de la eliminación de órganos sobre la producción y calidad de frutos de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. Fern. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 23(2). <https://doi.org/10.35196/rfm.2000.2.355>
- Yang, T., Altland, J. E., & Samarakoon, U. C. (2022). Evaluation of substrates for cucumber production in the Dutch bucket hydroponic system. *Scientia Horticulturae*.

CAPÍTULO IV

CALIDAD DE FRUTA EN EL CULTIVO DE FRESA (*FRAGARIA ANANASSA* DUCH.) EN TRES SISTEMAS HIDROPÓNICOS CON CUATRO SUSTRATOS

4.1 RESUMEN

La fresa es una fruta muy apreciada por los consumidores por su sabor, color, y propiedades nutricionales, características que la hacen importante en los mercados locales, nacionales e internacionales. El objetivo de esta investigación fue evaluar el rendimiento y calidad de fruta de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) variedad Albión en tres sistemas hidropónicos (piramidal, vertical y horizontal) con cuatro mezclas de sustratos (fibra de coco+turba+perlita; fibra de coco; fibra de coco+perlita; y olote). Se aplicó solución nutritiva de Steiner al 100% en sistemas cerrados. En el sistema horizontal y piramidal los grados Brix no presentaron diferencia significativa, pero si para el sistema vertical, el volumen de la fruta presentó significativamente el valor más alto en el sistema piramidal. La variable número de frutos, peso total cosechado, peso promedio de fruto, diámetro ecuatorial y polar, °Brix y volumen, fueron mayores significativamente (Duncan, $p \leq 0.05$) en el sustrato a base de fibra de coco+turba+perlita; el mayor rendimiento en peso total de fruta fue en el sustrato a base de fibra de coco+turba+perlita (54.36 ± 6.44); el peso promedio de la fruta no tuvo diferencia significativa entre los sustratos a base de fibra de coco+turba+perlita, fibra de coco+perlita y fibra de coco comercial; el diámetro ecuatorial y polar de las frutas no presentaron diferencia significativa en los sustratos fibra de coco+turba+perlita, fibra de coco+perlita y la fibra de coco comercial.

Palabras clave: fibra de coco, grados brix, rendimiento, turba

4.2 ABSTRACT

Strawberries are highly appreciated by consumers for their flavor, color, and nutritional properties, characteristics that make them important in local, national, and international markets. The objective of this research was to evaluate the yield and quality of strawberry fruit (*Fragaria ananassa* Duch.) Albión variety in three hydroponic systems (pyramidal, vertical and horizontal) with four mixtures of substrates (coconut fiber+peat+perlite; coconut; coconut fiber+perlite; and cob). Steiner's nutrient solution was applied at 100% in closed systems. In the horizontal and pyramidal system, the Brix degrees did not present a significant difference, but for the vertical system, the volume of the fruit significantly presented the highest value in the pyramidal system. The variable number of fruits, total harvested weight, average fruit weight, equatorial and polar diameter, °Brix and volume, were significantly higher (Duncan, $p \leq 0.05$) in the substrate based on coconut fiber+peat+perlite; the highest yield in total fruit weight was in the substrate based on coconut fiber+peat+perlite (54.36 ± 6.44); the average weight of the fruit had no significant difference between the substrates based on coconut fiber+peat+perlite, coconut fiber+perlite and commercial coconut fiber; the equatorial and polar diameter of the fruits did not present a significant difference in the substrates coconut fiber+peat+perlite, coconut fiber+perlite and commercial coconut fiber.

Keywords: coconut fiber, brix degrees, yield, peat

4.3 INTRODUCCIÓN

La fresa es una fruta muy apreciada por los consumidores por su sabor, color, y propiedades nutricionales, características que la hacen importante en los mercados locales, nacionales e internacionales. La fresa se cultiva en diferentes sistemas de producción, a campo abierto o en instalaciones protegidas para mejorar el rendimiento, la calidad de fruta y para extender el periodo de cosecha (Hidaka et al., 2017). En condiciones controladas se utilizan diversas alternativas, algunas de ellas son los sistemas hidropónicos, los cuales tienen diferentes diseños que buscan hacer más eficiente el uso del espacio, nutrientes, agua y luz.

En los sistemas hidropónicos se encuentran los sistemas en donde las plantas están a un mismo nivel arriba del suelo (horizontales); verticales, en los que su

característica principal es que las plantas están colocadas en columnas de contenedores que se apilan; piramidales, formadas por diferentes niveles en los que la estructura de carga aparenta formar un triángulo, y a lo largo de esta estructura son colocadas bolsas o contenedores con sustrato y donde posteriormente se siembran las plantas (Van Os et al., 2019). Estos diseños de sistemas hidropónicos han sido evaluados con diferentes cultivos, sustratos y condiciones climáticas, comprobando que existe influencia en el crecimiento, producción y calidad del cultivo objetivo (C. J. A. Alvarado et al., 2020; Y. Li et al., 2021; Tang et al., 2020).

Un elemento importante para el éxito de los sistemas hidropónicos es el sustrato, componente que brinda el soporte y condiciones de retención y disponibilidad de los nutrientes para el crecimiento y producción del cultivo. Existen diversos materiales a utilizar como sustratos; orgánicos (humus, biochar, fibra de coco, turba, cascarilla de arroz, etc.) (Hermes et al., 2013; Liu Xu, 2015; Medina et al., 2016; Tapia et al., 2008) o inorgánicos (lana de roca, perlita, arcilla expandida) (Florián & Dolors, 2011), algunos considerados como residuos de otras actividades agrícolas y que presentan la oportunidad de aprovechamiento en la hidroponía (Diel et al., 2018; Palencia et al., 2016; Prasad et al., 2021).

La fresa se cultiva en diferentes sistemas de producción; en campo abierto en suelo con o sin el uso de cubiertas protectoras; y en ambientes controlados que

utilizan diferentes niveles de tecnología. La planta es de tipo perenne, con estructura aérea baja y raíces de longitud corta, lo que le permite adaptarse a contenedores de dimensiones pequeñas. Estas características permiten que las plantas se adapten a los diseños de sistemas hidropónicos con contenedores de diferentes dimensiones, con sustratos que le brinden las condiciones adecuadas para su crecimiento y potencialicen su nivel productivo. Por tal motivo el objetivo de esta investigación fue evaluar el rendimiento y calidad de fruta en tres sistemas hidropónicos con cuatro sustratos en la villa de Zaachila, Oaxaca.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en un invernadero tipo túnel de 100 m², cubierto con plástico color blanco (lechoso), y malla anti áfidos en los costados a una altura de 2 m, con ventilación natural; orientado de este-oeste, localizado en el municipio de la Villa de Zaachila, en la región de los Valles Centrales en el Estado de Oaxaca, México. Situado 16°57'02' LN y 96°45'02' LO, a una altitud de 1506 m. Presenta un clima templado húmedo (C) con lluvias en verano (w) (García, 2004); con precipitación de 600 a 800 mm (Vásquez & Rodríguez, 2018).

Material vegetal

Se utilizaron plantas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) variedad Albión de 28 días al trasplante en cepellón con turba, tratada con fungicida a base de N-triclorometilitio-4-ciclohexeno-1,2- dicarboximida antes del envío, 10 cm de altura promedio y 2 a 3 hojas completamente extendidas.

Diseño experimental

El experimento se estableció con un diseño experimental completamente aleatorio, con arreglo factorial incompleto 3 x 4, el factor sistema hidropónico en tres niveles: piramidal, vertical y horizontal; y el factor sustrato en cuatro niveles: fibra de coco+turba+perlita (2:1:1); fibra de coco (1); fibra de coco+perlita (1:1); y olote (1). En el tratamiento “horizontal-olote” no se obtuvieron datos, por lo que se generó un arreglo factorial incompleto con 11 tratamiento. Se consideraron cuatro repeticiones, la unidad experimental estuvo formada por tres plantas.

Sustratos

En el caso de los materiales fibra de coco y olote se les aplicó un lavado con agua corriente antes del llenado de los contenedores, para ajustar su conductividad eléctrica (CE) a 1.5 dS m^{-1} (Hanna, modelo 98130), debido a que presentaban más de 2 dS m^{-1} no tolerable para el cultivo.

Instalación de los sistemas hidropónicos

Para el sistema hidropónico vertical, se utilizaron cinco macetas de plástico de 20 x 20 cm por 18 cm de profundidad, y volumen de 7.2 L. Las macetas se apilaron verticalmente, y la parte central de las macetas se perforó, para colocar un tubo (1.5") de policloruro de vinilo (PVC) de 1.6 m de altura, que quedo fijo en el suelo para asegurar la estabilidad de la columna. Las macetas se apilaron de tal manera que las esquinas quedaron libres para colocar una planta.

En la parte superior de la columna se colocó la cintilla de riego con un gotero y distribuidor de cuatro salidas, en los extremos del distribuidor se acopló una extensión de microtubo que suministró la solución nutritiva a las cuatro macetas superiores, la última (inferior) se regó por escurrimiento de las cuatro macetas superiores.

El sistema hidropónico piramidal, se construyó con seis canaletas (tubos de PVC de 4") de 2.6 m de longitud colocadas horizontalmente con una pendiente de 2%. Los extremos de cada tubo se sellaron con tapas elaboradas del mismo material. A lo largo del tubo en la parte superior se realizaron perforaciones de 5 cm de diámetro espaciadas cada 20 cm, en donde se sembró cada planta. Los dos niveles inferiores se colocaron a una altura de 0.50 m y el tercer nivel a 1.00 m. Las plantas se colocaron a 20 cm de distancia entre ellas. En la tapa del extremo del nivel inferior de cada tubo se realizó una perforación de 1.8 cm de diámetro, en donde se puso un conducto para drenar la solución nutritiva hacia el depósito.

El sistema horizontal, se construyó con ocho contenedores (tubos de PVC de 4") de 2.60 m de longitud con perforaciones circulares de 5 cm de diámetro y 20 cm de distancia entre ellas, fueron acomodados por pares sobre una base de 1.00 m de altura con una pendiente de 2%; la distancia entre cada par fue de 0.20 m, en cada perforación se estableció una planta.

Después de la instalación de cada sistema hidropónico y acondicionamiento de los sustratos, se llenaron los contenedores con las mezclas a evaluar y al final se realizó un riego con agua corriente.

Fertirriego

El sistema de riego se formó con un depósito con capacidad de 200 L para la solución nutritiva, una bomba eléctrica de 0.5 hp (Hyundai) para succión y una línea de distribución con cintilla de riego de 16 mm en donde se colocaron goteros con un distribuidor para cuatro plantas.

La solución nutritiva utilizada para suministrar los macronutrientes a todos los tratamientos fue la solución universal de Steiner (1984) al 100%, (12.0 me L⁻¹ de NO₃⁻, 1.0 me L⁻¹ de H₂PO₄⁻, 7.0 me L⁻¹ de SO₄⁻, 7.0 me L⁻¹ de K⁺, 9.0 me L⁻¹ de Ca²⁺ y 4.0 me L⁻¹ de Mg²⁺); para los micronutrientes con base en la metodología propuesta por Hewitt (1966); el suministro de solución nutritiva a los diferentes tratamientos se realizó mediante sistemas cerrados con líneas de distribución con

cintilla de riego de 16 mm, con goteros cada 20 cm, de donde se distribuía de forma individual para cada planta. Cada semana se renovó la solución nutritiva y se aplicó un riego de lavado con agua corriente al sistema. Los riegos se realizaron diariamente previo ajuste de la solución a pH 5.5.

Registro de variables

Transcurridas 8 semanas después del trasplante se registró el número de frutos por planta; el peso por fruta y peso total de frutas con una báscula digital (Santul®) con capacidad de 1g a 5000g; el diámetro ecuatorial y polar del fruto con vernier digital; los grados brix con refractómetro (Aqueous Lab, modelo COMINHKPR124469); el volumen de fruta se midió por desplazamiento de agua con una probeta de cristal de 1 L.

Análisis de datos

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el paquete computacional Statistical Analysis System® (SAS versión 9.4), se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Shapiro-Wilk y Bartlett ($p \geq 0,05$), respectivamente; al no cumplir con los supuestos las variables número de frutos, peso total de frutos y ° Brix se transformaron, la variable peso total de frutas a $\log(x+1)$, y las variables número de frutos $\log(\cos(x+1))$ y ° Brix a $\text{atan}(x)$. Se realizaron los análisis de varianza correspondientes y se efectuó la prueba de medias de Duncan ($p \leq 0.05$).

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de varianza para el factor sustrato y su interacción con el factor sistema mostraron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) para el peso total de frutos. El peso promedio de frutos, el diámetro polar y ecuatorial presentaron diferencias significativas para el sustrato; El volumen del fruto presentó diferencia significativa para el factor sistema. El número de frutos y °Brix, no presentaron diferencias significativas para los factores y su interacción. (Cuadro 9).

Cuadro 9.- Resumen de análisis de varianza por factor y su interacción.

| Variable | Sistema | Sustrato | Si-Su | CV | \sqrt{CME} |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------|---------|--------------|
| | -----Cuadrado medio----- | | | | |
| N. Frutos | 0.420 ns | 0.080 ns | 0.000 ns | -41.241 | 0.166 |
| Peso Total | 0.126 ns | 5.319 ** | 0.598 * | 15.475 | 0.463 |
| Peso promedio | 4.627 ns | 28.532 * | 2.751 ns | 28.305 | 2.401 |
| Diámetro ecuatorial | 12.261 ns | 48.697 ** | 2.899 ns | 12.005 | 2.807 |
| Diámetro polar | 17.039 ns | 52.320 * | 10.227 ns | 13.304 | 3.766 |
| °Brix | 0.001 ns | 0.001 ns | 0.000 ns | 1.309 | 0.019 |
| Volumen de fruto | 38.292 * | 23.985 ns | 9.899 ns | 38.054 | 2.886 |

CV=Coeficiente de variación, CME=cuadrado medio del error, Si-Su= Interacción entre los factores sistema y sustrato, * significativo($p \leq 0.05$), **altamente significativo ($p \leq 0.01$), ns=no significativo ($p > 0.05$).

Efecto de los sistemas

En los sistemas hidropónicos no mostraron diferencias significativas las variables número de frutos, peso total producido, peso promedio de fruta, diámetro ecuatorial y diámetro polar.

En el sistema horizontal y piramidal los grados Brix no presentaron diferencia significativa, pero si para el sistema vertical, posiblemente debido a que la ubicación de las plantas permitió que el área foliar fuera similar en los dos sistemas hidropónicos, esto permite que la sacarosa, glucosa y fructosa que se importan durante el desarrollo de la fruta hasta cosecha sean similares.(Schwieterman et al., 2014).

El volumen de la fruta presentó significativamente el valor más alto en el sistema piramidal, los valores más bajos los presentaron los sistemas horizontal y vertical, sin presentar diferencia significativa entre ellos.

Cuadro 10. Efecto de los sistemas hidropónicos en variables de frutos de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.).

| Variables en frutos | Sistemas hidropónicos | | |
|--------------------------|-----------------------|--------------|--------------|
| | Horizontal | Vertical | Piramidal |
| Número | 3.17±0.87 a | 2.79±0.56 a | 3.08±0.65 a |
| Peso total (g) | 27.02±7.22 a | 23.36±5.52 a | 28.47±6.42 a |
| Peso promedio (g) | 8.26±0.89 a | 7.96±0.59 a | 9.08±0.67 a |
| Diámetro ecuatorial (mm) | 22.63±1.07 a | 22.96±0.50 a | 24.38±0.91 a |
| Diámetro polar (mm) | 27.14±1.38 a | 28.26±1.04 a | 29.35±0.92 a |
| °Brix | 8.67±0.69 a | 7.33±0.21 b | 7.66±0.21 ab |
| Volumen (mL) | 6.20±0.83 b | 6.89±0.70 b | 9.34±0.95 a |

Los datos con letras distintas dentro de cada fila presentan diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p \leq 0.05$). La media se acompaña de \pm su error estándar.

Efecto de los sustratos

Todas las variables evaluadas presentaron diferencia significativa respecto a los sustratos. La variable número de frutos, peso total cosechado, peso promedio de fruto, diámetro ecuatorial y polar, °Brix y volumen, fueron mayores

significativamente (Duncan, $p \leq 0.05$) en el sustrato a base de fibra de coco+turba+perlita.

El número de frutos en este experimento en comparación con otras investigaciones fue menor, esto puede deberse a condiciones ambientales o nutrimentales inadecuadas (Ikegaya et al., 2020), lo que provoca una deficiente polinización, sin embargo, el sustrato que presentó mayor cantidad de frutos (5.97 ± 0.77) fue la fibra de coco+turba+perlita,

El mayor rendimiento en peso total de fruta fue en el sustrato a base de fibra de coco+turba+perlita (54.36 ± 6.44), lo que representa 70% más que el sustrato de fibra de coco+perlita (16.34 ± 3.29), 72.5% más que en el sustrato de fibra de coco comercial (14.96 ± 2.22) y 92% más que en el sustrato de olote (10.31 ± 3.10). Este resultado se puede deber a que el sustrato a base de fibra de coco+turba+perlita, mantuvo más fácilmente disponible la solución nutritiva y proveer la mayor cantidad de nutrimentos a las plantas, situación nutricional que como menciona Durner (2018) afecta la producción de las plantas (Narváez-Ortiz et al., 2018; Singhalage et al., 2019). Además, el rendimiento total, el peso por fruto y el número de frutos, también puede estar afectados por factores como la intensidad de luz, el fotoperiodo, la temperatura, la concentración de CO_2 , humedad del ambiente y la velocidad del viento (Hidaka et al., 2017).

El peso promedio de la fruta no tuvo diferencia significativa entre los sustratos a base de fibra de coco+turba+perlita, fibra de coco+perlita y fibra de coco comercial, sin embargo, en el sustrato de olote si se presentó diferencia significativa; valores debajo de los que reportan Singhalage et al. (2019) al obtener frutas con peso de 19 g después de aplicar biofertilizantes en combinación con nitrógeno y fósforo. Aunque no se presentó diferencia significativa en el peso promedio de los frutos entre los sustratos de fibra de coco+turba+perlita y el sustrato de fibra de coco+perlita, en el primero se obtuvo el mayor rendimiento (54.36 ± 6.44) y mayor número de frutos (5.97 ± 0.77).

Cuadro 11. Efecto del factor sustrato en variables de frutos de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.).

| Variable | Sustratos | | | |
|---------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| | 502525 | 5050 | 7030 | Olote |
| Número de frutos | 5.97±0.77 a | 1.67±0.26 b | 1.89±0.31 b | 1.67±0.33 b |
| Peso total | 54.36±6.44 a | 16.34±3.29 b | 14.96±2.22 b | 10.31±3.10 b |
| Peso promedio | 9.39±0.39 a | 9.59±0.91 a | 7.99±0.77 a | 5.52±0.76 b |
| Diámetro ecuatorial | 24.90±0.67 a | 24.55±0.89 a | 22.61±0.93 a | 19.64±1.06 b |
| Diámetro polar | 29.78±0.86 a | 29.54±1.33 a | 27.68±1.25 ab | 24.27±1.19 b |
| °Brix | 7.94±0.15 a | 7.88±0.76 a | 7.33±0.27 a | 8.83±0.82 a |
| Volumen | 9.23±0.35 a | 7.79±1.10 ab | 6.33±0.73 b | 6.22±2.39 b |

Los datos con letras distintas dentro de cada fila presentan diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p\leq 0.05$). La media se acompaña de \pm su error estándar. 502525= Mezcla de sustrato fibra de coco+turba+perlita (2:1:1), 5050= mezcla de sustrato fibra de coco+perlita (1:1), 7030= fibra de coco comercial.

El diámetro ecuatorial y polar de las frutas no presentaron diferencia significativa en los sustratos fibra de coco+turba+perlita, fibra de coco+perlita y la fibra de coco comercial, respecto a este resultado Schwieterman et al. (2014) adjudican la ganancia de peso y ganancias de diámetro, a la concentración de auxinas en la planta, por lo que este regulador de crecimiento podría estar en similares

concentraciones en las plantas de estos sustratos, y disminuir el efecto de la absorción de los nutrientes de la planta para esas variables.

Los °Brix es la escala para medir la concentración de sacarosa (Gerosa et al., 2019), el cual es un fotoasimilado que se importa mayormente de los tejidos fotosintéticos (Chandramohan & Goyal, 2020) y es el carbohidrato predominante de la fruta de fresa (D. Li et al., 2019), en este experimento los ° Brix no fueron diferentes significativamente entre todos los sustratos, posiblemente debido a que en estos sustratos el fósforo estuvo fácilmente disponible para las plantas, ya que este elemento esta positivamente correlacionado con el contenido de azúcar de la fruta (Zhang et al., 2023) por sus funciones de transformación de energía, fijación de carbono y el transporte de fotoasimilados, lo que puede deducirse que este elemento fue mayormente absorbido de la solución nutritiva, como lo demostraron Wu et al., (2021), al suministrar fertilizantes fosfatados al suelo a plantas de cítricos y mejorar la concentración de azúcares.

Los frutos con mayor volumen (9.23 ± 0.35) se obtuvieron en el sustrato fibra de coco+turba+perlita, sin presentar diferencia significativa para el sustrato fibra de coco+perlita (7.79 ± 1.10).

4.4 CONCLUSIONES

En los sistemas hidropónicos se presentaron diferencias significativas para los °Brix y volumen de frutos, y no se obtuvieron diferencias significativas en las variables número y peso de frutos, diámetro polar y ecuatorial y rendimiento.

El sustrato a base de fibra de coco+ turba + perlita (2:1:1) mostró significativamente (Duncan, $p \leq 0.05$) el mayor número y tamaño de frutos, rendimiento y volumen.

En este experimento el sustrato fibra de coco+turba+perlita mostró en general los mayores resultados para las variables de calidad de frutos. El sustrato olote presentó significativamente los valores más bajos en las variables de calidad de frutos.

4.5 BIBLIOGRAFÍA

- Aluko, O. O., Li, C., Wang, Q., & Liu, H. (2021). Sucrose utilization for improved crop yields: A review article. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), 1–29. <https://doi.org/10.3390/ijms22094704>
- Alvarado, C. J. A., Gómez, G. A., Lara, H. A., Díaz, P. J. C., & García, H. E. J. (2020). Rendimiento y calidad de fruto de fresa cultivada en invernadero en sistema hidropónico piramidal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8). <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2460>
- Alvarado, H., Tavera, M., Mena, G., Calderón, G., López R., & Salinas Edmar. (2014, July 15). Crecimiento y producción de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en sustratos a base de compostas. *ECORFAN Tópicos Selectos de Recursos*, 5, 50–63.
- Awad, Y. M., Lee, S. E., Ahmed, M. B. M., Vu, N. T., Farooq, M., Kim, I. S., Kim, H. S., Vithanage, M., Usman, A. R. A., Al-Wabel, M., Meers, E., Kwon, E. E., & Ok, Y. S. (2017). Biochar, a potential hydroponic growth substrate,

- enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables. *Journal of Cleaner Production*, 156, 581–588. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.070>
- Beltrano, J., Gimenez, D. O., & Ruscitti, M. F. (2015). Cultivo en hidroponía. In *Cultivo en hidroponía* (1a. Ed. Adaptada). Universidad Nacional de la Plata.
- Cecatto, A. P., Calvete, E. O., Martínez, F., Martínez, J., & Palencia, P. (2016). Correlación entre parámetros vegetativos de plantas de fresa inoculadas con hongos micorrícicos en cultivo sin suelo en España. *1a. Jornada Binacional de Jovens Cientistas*, 2–5.
- Chandramohan, R. G., & Goyal, R. K. (2020). Growth, yield and quality of strawberry as affected by fertilizer N rate and biofertilizers inoculation under greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 44(1), 46–58. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1806301>
- Chiomento, J. L. T., da Costa, R. C., de Nardi, F. S., Trentin, N. dos S., Nienow, A. A., & Calvete, E. O. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi communities improve the phytochemical quality of strawberry. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94(5), 653–663. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1599699>
- Diel, M. I., Pinheiro, M. V. M., Thiesen, L. A., Altíssimo, B. S., Holz, E., & Schmidt, D. (2018). Cultivation of strawberry in substrate: Productivity and fruit quality are affected by the cultivar origin and substrates. *Ciencia e Agrotecnologia*, 42(3). <https://doi.org/10.1590/1413-70542018423003518>
- Durán, J. M., Retamal, N., & Moratiel, R. (2010). *NGS@: Un nuevo sistema de cultivo hidropónico* (pp. 276–282). Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos Universidad Politécnica de Madrid.
- Durner, E. F. (2018). Long-day and nitrogen conditioning of ‘Albion’ strawberry (*Fragaria X ananassa* Duch.) enhances off-season field production. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 93(3), 296–305. <https://doi.org/10.1080/14620316.2017.1370985>
- Ellis, M. A., Funt, R. C., Wright, S., Demchak, K., Wahle, E., Doohan, D., Ecologist, E. W., Welty, C., & Williams, R. N. (2006). *Midwest strawberry production* (Vol. 926). Communications and Technology the Ohio State University.
- Fischer, G., López, V. D., Sánchez, G. M., & Acuña, C. J. F. (2018). Propiedades fisicoquímicas en frutos de siete variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) durante su maduración. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num1_art:528

- Florián, M. P., & Dolors, R. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. In Martínez P. F. & Roca D. (Eds.), *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (pp. 37–77).
- Garbi, M., Virginia Cuellas, M., Fernández, R., & Amoia, P. (2021). Libro de resúmenes 41º Congreso Argentino de Horticultura. *V Simposio de Aromáticas, Medicinales y Condimenticias*, 211–218.
- García, C. E. F., Moyano, A. J. C., Martínez, N. H. F., Orozco, R. J. M., & Santillán, M. C. J. (2019). Sistemas embebidos open source para la caracterización de la humedad en un cultivo hidropónico de fresa por la variación climática. *Polo Del Conocimiento*, 4(4), 153–171. <https://doi.org/10.23857/pc.v4i4.941>
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. In *Cartas de climas de la Republica Mexicana* (Quinta). Instituto de Geografía-UNAM.
- Gerosa, F., García, R., Martínez, V. L., & Franco, J. I. (2019). Producción de hidrógeno biológico para celdas de combustible tipo PEM. *Industria & Química*, 25–36.
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Gavin, M. B. (2019). *Aquaponics food production systems combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. European cooperation in science & technology. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>
- Gómez, M. J. A. (2006). *Descripción del comportamiento de insectos y enfermedades asociadas al cultivo de la fresa (Fragaria spp, L) en el municipio de la Sabana, Departamento de Madriz*. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía.
- Hermes, A. T., Cardona, A. C., & Correa, Á. E. (2013). Efecto de diferentes sustratos en la calidad de plántulas de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(1), 55–61. <https://doi.org/10.17584/rcch.2013v7i1.2035>
- Hidaka, K., Dan, K., Imamura, H., & Takayama, T. (2017). Crown-cooling treatment induces earlier flower bud differentiation of strawberry under high air temperatures. *Environmental Control in Biology*, 55(1), 21–27. <https://doi.org/10.2525/ecb.55.21>
- Hidaka, K., Miyoshi, Y., Ishii, S., Suzui, N., Yin, Y. G., Kurita, K., Nagao, K., Araki, T., Yasutake, D., Kitano, M., & Kawachi, N. (2019). Dynamic analysis of photosynthate translocation into strawberry fruits using non-invasive ¹¹C-labeling supported with conventional destructive measurements using ¹³C-

labeling. *Frontiers in Plant Science*, 9.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01946>

- Ikegaya, A., Kawata, T., Ikari, T., Emoto, Y., Sato, Y., Takeuchi, T., Ito, S., & Arai, E. (2020). Characteristics of fertilizer uptake and biodistribution in strawberry plants in two Japanese cultivars in hydroponic culture. *Soil Science and Plant Nutrition*, 66(3), 449–457. <https://doi.org/10.1080/00380768.2020.1766938>
- Juárez, R. C. R., Aguilar, C. J. A., Bugarín, M. R., Aburto, G. C. A., & Alejo, S. G. (2019). Medios de enraizamiento y aplicación de auxinas en la producción de plántulas de fresa. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num1_art:1319
- Keiko Oashi, K., Masahide, T., Noya, K., Kasuhiro, F., & Kenji, K. (2007). Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce. *Environmental Control in Biology*, 45(3), 189–198.
- Kessel, A. (2012). Mejora genética de la fresa (*Fragaria ananassa* Duch.), a través de métodos biotecnológicos. *Cultivos Tropicales*, 33, 34–41.
- Kirschbaum, D. S. (2021). Cultivo, poscosecha, procesado y comercio de berries. In *Cultivo, poscosecha, procesado y comercio de berries*. Namesny, A., Conesa, C., Olmos, L. M. Papasseit, P.
- Kubota, C. (2019). Growth, development, transpiration, and translocation as affected by abiotic environmental factors. In *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production: Second Edition* (pp. 207–220). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00013-3>
- León, B. A. F., Beltrán, C. G. Y., Barragán, P. A. L., & Balaguera, L. H. E. (2021). Distribución de foto asimilados en los órganos vertederos de plantas Solanáceas, caso tomate y papa. *Ciencia y Agricultura*, 18(3). <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n3.2021.13566>
- Li, D., Zhang, X., Xu, Y., Li, L., Aghdam, M. S., & Luo, Z. (2019). Effect of exogenous sucrose on anthocyanin synthesis in postharvest strawberry fruit. *Food Chemistry*, 289, 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.042>
- Liu Xu, L. (2015). *Desarrollo de nuevos sustratos a base de compost y biochar para la propagación y producción de Rosmarinus officinalis L. en vivero profesional*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del medio Natural.
- Li, Y., Zhang, Y., Liu, X., Xiao, Y., Zhang, Z., Shi, Y., Kong, W., Yang, X., Jiang, G., Zhang, B., & Chen, K. (2021). Cultivation conditions change aroma

volatiles of strawberry fruit. *Horticulturae*, 7(4).
<https://doi.org/10.3390/horticulturae7040081>

- López, S. A. M., Aparicio, V. A., & Ortega, A. R. M. (2016). Beneficios nutricionales y sanitarios asociados al consumo de kiwi. *Nutrición Hospitalaria*, 33, 21–25. <https://doi.org/10.20960/nh.340>
- Medina, B. J. S., Pinzón, S. E. H., & Cely, G. E. (2016). Efecto de sustratos orgánicos en plantas de fresa (*Fragaria* sp.) cv 'Albion' bajo condiciones de campo. *Ciencia y Agricultura*, 13(2). <https://doi.org/10.19053/01228420.v13.n2.2016.5548>
- Megan, F. (2019). Improving energy and resource efficiency in greenhouse cultivation in kosovo project. In *U.S. Agency for International Development. Kosovo*.
- Meier, U. (2018). Etapas de desarrollo de las plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas. In *Instituto Julius Kühn* (4th ed., pp. 11–19). <https://doi.org/10.5073/20180906-075743>
- Mixquititla, C. G. (2020). *Rendimiento y calidad de la fresa en respuesta a diferentes sustratos y nutrición inorgánica* (pp. 36–45). Universidad Autónoma del Estado Morelos.
- Mohan, S. R., Yamdagni, R., Kumar, D. A., & Pandey, V. (2019). *Strawberries production, postharvest management and protection* (Primera, Vol. 1). CRC Press.
- Muñoz, S. O. G. (2019). *Evaluación de sustratos orgánicos a base de raquis de maíz y compost con dos programas de fertirrigación, en tomate manzano var. Matías, bajo condiciones de macrotunel en Zamorano, Honduras* (pp. 8–19).
- Nakai, H., Yasutake, D., Kimura, K., I, K., Hidaka, K., Eguchi, T., Hirota, T., Okayasu, T., Ozaki, Y., & Kitano, M. (2022). Dynamics of carbon export from leaves as translocation affected by the coordination of carbohydrate availability in field strawberry. *Environmental and Experimental Botany*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104806>
- Narváez-Ortiz, W. A., Lieth, J. H., Grattan, S. R., Benavides-Mendoza, A., Evans, R. Y., Preciado-Rangel, P., Valenzuela-García, J. R., & Gonzalez-Fuentes, J. A. (2018). Implications of physiological integration of stolon interconnected plants for salinity management in soilless strawberry production. *Scientia Horticulturae*, 241, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.098>
- Palencia, P., Giné Bordonaba, J., Martínez, F., & Terry, L. A. (2016). Investigating the effect of different soilless substrates on strawberry productivity and fruit

- composition. *Scientia Horticulturae*, 203, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.005>
- Prasad, R., Lisiecka, J., Antala, M., & Rastogi, A. (2021). Influence of different spent mushroom substrates on yield, morphological and photosynthetic parameters of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Agronomy*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/agronomy11102086>
- Quintero, C. M. F., González, M. C. A., & Guzmán, M. (2011). Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. In *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (1st ed., pp. 79–107). Universidad Nacional de Colombia.
- Rodrigues, J., Inzé, D., Nelissen, H., & Saibo, N. J. M. (2019). Source–Sink Regulation in Crops under Water Deficit. In *Trends in Plant Science* (Vol. 24, Issue 7). <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.04.005>
- Rodríguez, D. E., Salcedo, P. E., Rodríguez, M. R., González, E. D. R., & Mena, M. S. (2013). Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Terra Latinoamericana*, 31.
- Ruangrak, E., & Khummueng, W. (2019). Effects of artificial light sources on accumulation of phytochemical contents in hydroponic lettuce. In *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* (Vol. 94, Issue 3, pp. 378–388). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/14620316.2018.1504630>
- SAGARPA. (2017). Fresa Mexicana planeación agrícola nacional. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*, 2–20.
- Schwieterman, M. L., Colquhoun, T. A., Jaworski, E. A., Bartoshuk, L. M., Gilbert, J. L., Tieman, D. M., Odabasi, A. Z., Moskowitz, H. R., Folta, K. M., Klee, H. J., Sims, C. A., Whitaker, V. M., & Clark, D. G. (2014). Strawberry flavor: Diverse chemical compositions, a seasonal influence, and effects on sensory perception. *PLoS ONE*, 9(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088446>
- Seguil, M. C. G., Mendoza, F. Z. K., & Casimiro, S. E. M. (2020). Evaluación de las formulaciones de película comestible de *Nostoc sphaericum* aplicadas a la conservación de fresas. *Alimentos, Ciencia e Ingeniería*, 2020, 79–93.
- Singhalage, I. D., Seneviratne, G., Madawala, H. M. S. P., & Wijepala, P. C. (2019). Profitability of strawberry (*Fragaria ananassa*) production with biofilmed biofertilizer application. *Scientia Horticulturae*, 243, 411–413. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.033>
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In Steiner Abram A (Ed.), *Sixth International Congress on Soilless Culture* (pp. 633–650).

- Tang, Y., Ma, X., Li, M., & Wang, Y. (2020). The effect of temperature and light on strawberry production in a solar greenhouse. *Solar Energy*, *195*, 318–328. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2019.11.070>
- Tapia, P. V., Ramos, J. Z. C., García, P. S., Chávez, L. T., Romero, R. M. L., & Arredondo, J. L. O. (2008). Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *31*(4), 375–381.
- Theodore, M. D., Steven, A. W., Kirk, D. L., & Daniel, S. K. (2015). Differential response of early and intermediate flowering strawberry cultivars to nursery late-season nitrogen applications and digging date. *African Journal of Plant Science*, *9*(6), 250–263. <https://doi.org/10.5897/ajps2015.1280>
- Touliatos, D., Dodd, I. C., & Mcainsh, M. (2016). Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics. *Food and Energy Security*, *5*(3), 184–191. <https://doi.org/10.1002/fes3.83>
- Van Os, E. A., Gieling, T. H., & Heinrich Lieth, J. (2019). Technical equipment in soilless production systems. In *Soilless Culture: Theory and Practice Theory and Practice*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00013-X>
- Vásquez, R. P. S., & Rodríguez, O. G. (2018). Los suelos de los valles centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, *5*(2), 156–167.
- Vázquez, G. G., Livera, M. M., González, H. V. A., & Muratalla, L. A. (2022). Efecto de la eliminación de órganos sobre la producción y calidad de frutos de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. Fern. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *23*(2). <https://doi.org/10.35196/rfm.2000.2.355>
- Wu, S., Li, M., Zhang, C., Tan, Q., Yang, X., Sun, X., Pan, Z., Deng, X., & Hu, C. (2021). Effects of phosphorus on fruit soluble sugar and citric acid accumulations in citrus. *Plant Physiology and Biochemistry*, *160*, 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.015>
- Yang, T., Altland, J. E., & Samarakoon, U. C. (2022). Evaluation of substrates for cucumber production in the Dutch bucket hydroponic system. *Scientia Horticulturae*.
- Zhang, C., Liu, Y., Wang, B., Li, H., Zhang, J., Ma, Y., Dai, H., Wang, Y., & Zhang, Z. (2023). CRISPR/Cas9 targeted knockout FvPHO2 can increase phosphorus content and improve fruit quality of woodland strawberry. *Scientia Horticulturae*, *317*, 112078. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2023.112078>

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES GENERALES

El crecimiento de las plantas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.), en las variables de biomasa, área foliar, volumen de raíz, número de hojas, diámetro y número de coronas, el sistema horizontal presentó significativamente (Duncan, $p \leq 0.05$) los valores más altos. La variable longitud de raíz no presentó diferencias significativas en los sistemas hidropónicos y en los sustratos. El sustrato que mostró los valores más altos significativamente (Duncan, $p \leq 0.05$) para las variables de crecimiento fue la mezcla a base de fibra de coco+turba+perlita. La correlación para la longitud de raíz con las demás variables fue menor a 0.2. Para las variables biomasa, área foliar, número y diámetro de corona, número de hojas y volumen de raíz la correlación fue mayor a 0.7.

En los sistemas hidropónicos se presentaron diferencias significativas para los °Brix y volumen de frutos, y no se obtuvieron diferencias significativas en las variables número y peso de frutos, diámetro polar y ecuatorial y rendimiento.

El sustrato a base de fibra de coco+ turba + perlita (2:1:1) mostró significativamente (Duncan, $p \leq 0.05$) el mayor número y tamaño de frutos, rendimiento y volumen.

En este experimento el sustrato fibra de coco+turba+perlita mostró en general los mayores resultados para las variables de calidad de frutos. El sustrato olote presentó significativamente los valores más bajos en las variables de calidad de frutos.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- Aluko, O. O., Li, C., Wang, Q., & Liu, H. (2021). Sucrose utilization for improved crop yields: A review article. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), 1–29. <https://doi.org/10.3390/ijms22094704>
- Alvarado, C. J. A., Gómez, G. A., Lara, H. A., Díaz, P. J. C., & García, H. E. J. (2020). Rendimiento y calidad de fruto de fresa cultivada en invernadero en sistema hidropónico piramidal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8). <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2460>
- Alvarado, H., Tavera, M., Mena, G., Calderón, G., López R., & Salinas Edmar. (2014, July 15). Crecimiento y producción de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en sustratos a base de compostas. *ECORFAN Tópicos Selectos de Recursos*, 5, 50–63.
- Awad, Y. M., Lee, S. E., Ahmed, M. B. M., Vu, N. T., Farooq, M., Kim, I. S., Kim, H. S., Vithanage, M., Usman, A. R. A., Al-Wabel, M., Meers, E., Kwon, E. E., & Ok, Y. S. (2017). Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables. *Journal of Cleaner Production*, 156, 581–588. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.070>
- Beltrano, J., Gimenez, D. O., & Ruscitti, M. F. (2015). Cultivo en hidroponía. In *Cultivo en hidroponía* (1a. Ed. Adaptada). Universidad Nacional de la Plata.
- Cecatto, A. P., Calvete, E. O., Martínez, F., Martínez, J., & Palencia, P. (2016). Correlación entre parámetros vegetativos de plantas de fresa inoculadas con hongos micorrícicos en cultivo sin suelo en España. *1a. Jornada Binacional de Jovens Cientistas*, 2–5.
- Chandramohan, R. G., & Goyal, R. K. (2020). Growth, yield and quality of strawberry as affected by fertilizer N rate and biofertilizers inoculation under

- greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 44(1), 46–58. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1806301>
- Chiomento, J. L. T., da Costa, R. C., de Nardi, F. S., Trentin, N. dos S., Nienow, A. A., & Calvete, E. O. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi communities improve the phytochemical quality of strawberry. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94(5), 653–663. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1599699>
- Diel, M. I., Pinheiro, M. V. M., Thiesen, L. A., Altíssimo, B. S., Holz, E., & Schmidt, D. (2018). Cultivation of strawberry in substrate: Productivity and fruit quality are affected by the cultivar origin and substrates. *Ciencia e Agrotecnologia*, 42(3). <https://doi.org/10.1590/1413-70542018423003518>
- Durán, J. M., Retamal, N., & Moratiel, R. (2010). *NGS@: Un nuevo sistema de cultivo hidropónico* (pp. 276–282). Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos Universidad Politécnica de Madrid.
- Durner, E. F. (2018). Long-day and nitrogen conditioning of ‘Albion’ strawberry (*Fragaria X ananassa* Duch.) enhances off-season field production. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 93(3), 296–305. <https://doi.org/10.1080/14620316.2017.1370985>
- Ellis, M. A., Funt, R. C., Wright, S., Demchak, K., Wahle, E., Doohan, D., Ecologist, E. W., Welty, C., & Williams, R. N. (2006). *Midwest strawberry production* (Vol. 926). Communications and Technology the Ohio State University.
- Fischer, G., López, V. D., Sánchez, G. M., & Acuña, C. J. F. (2018). Propiedades fisicoquímicas en frutos de siete variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) durante su maduración. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num1_art:528
- Florián, M. P., & Dolores, R. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. In Martínez P. F. & Roca D. (Eds.), *Sustratos, manejo*

del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo (pp. 37–77).

- Garbi, M., Virginia Cuellas, M., Fernández, R., & Amoia, P. (2021). Libro de resúmenes 41º Congreso Argentino de Horticultura. *V Simposio de Aromáticas, Medicinales y Condimenticias*, 211–218.
- García, C. E. F., Moyano, A. J. C., Martínez, N. H. F., Orozco, R. J. M., & Santillán, M. C. J. (2019). Sistemas embebidos open source para la caracterización de la humedad en un cultivo hidropónico de fresa por la variación climática. *Polo Del Conocimiento*, 4(4), 153–171. <https://doi.org/10.23857/pc.v4i4.941>
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. In *Cartas de climas de la Republica Mexicana* (Quinta). Instituto de Geografía-UNAM.
- Gerosa, F., García, R., Martínez, V. L., & Franco, J. I. (2019). Producción de hidrógeno biológico para celdas de combustible tipo PEM. *Industria & Química*, 25–36.
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Gavin, M. B. (2019). *Aquaponics food production systems combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. European cooperation in science & technology. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>
- Gómez, M. J. A. (2006). *Descripción del comportamiento de insectos y enfermedades asociadas al cultivo de la fresa (Fragaria spp, L) en el municipio de la Sabana, Departamento de Madriz*. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía.
- Hermes, A. T., Cardona, A. C., & Correa, Á. E. (2013). Efecto de diferentes sustratos en la calidad de plántulas de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(1), 55–61. <https://doi.org/10.17584/rcch.2013v7i1.2035>
- Hidaka, K., Dan, K., Imamura, H., & Takayama, T. (2017). Crown-cooling treatment induces earlier flower bud differentiation of strawberry under high air temperatures. *Environmental Control in Biology*, 55(1), 21–27. <https://doi.org/10.2525/ecb.55.21>
- Hidaka, K., Miyoshi, Y., Ishii, S., Suzui, N., Yin, Y. G., Kurita, K., Nagao, K., Araki, T., Yasutake, D., Kitano, M., & Kawachi, N. (2019). Dynamic analysis of photosynthate translocation into strawberry fruits using non-invasive ¹¹C-labeling supported with conventional destructive measurements using ¹³C-labeling. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01946>

- Ikegaya, A., Kawata, T., Ikari, T., Emoto, Y., Sato, Y., Takeuchi, T., Ito, S., & Arai, E. (2020). Characteristics of fertilizer uptake and biodistribution in strawberry plants in two Japanese cultivars in hydroponic culture. *Soil Science and Plant Nutrition*, 66(3), 449–457. <https://doi.org/10.1080/00380768.2020.1766938>
- Juárez, R. C. R., Aguilar, C. J. A., Bugarín, M. R., Aburto, G. C. A., & Alejo, S. G. (2019). Medios de enraizamiento y aplicación de auxinas en la producción de plántulas de fresa. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num1_art:1319
- Keiko Oashi, K., Masahide, T., Noya, K., Kasuhiro, F., & Kenji, K. (2007). Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce. *Environmental Control in Biology*, 45(3), 189–198.
- Kessel, A. (2012). Mejora genética de la fresa (*Fragaria ananassa* Duch.), a través de métodos biotecnológicos. *Cultivos Tropicales*, 33, 34–41.
- Kirschbaum, D. S. (2021). Cultivo, poscosecha, procesado y comercio de berries. In *Cultivo, poscosecha, procesado y comercio de berries*. Namesny, A., Conesa, C., Olmos, L. M. Papasseit, P.
- Kubota, C. (2019). Growth, development, transpiration, and translocation as affected by abiotic environmental factors. In *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production: Second Edition* (pp. 207–220). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00013-3>
- León, B. A. F., Beltrán, C. G. Y., Barragán, P. A. L., & Balaguera, L. H. E. (2021). Distribución de foto asimilados en los órganos vertederos de plantas Solanáceas, caso tomate y papa. *Ciencia y Agricultura*, 18(3). <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n3.2021.13566>
- Li, D., Zhang, X., Xu, Y., Li, L., Aghdam, M. S., & Luo, Z. (2019). Effect of exogenous sucrose on anthocyanin synthesis in postharvest strawberry fruit. *Food Chemistry*, 289, 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.042>
- Liu Xu, L. (2015). *Desarrollo de nuevos sustratos a base de compost y biochar para la propagación y producción de Rosmarinus officinalis L. en vivero profesional*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del medio Natural.
- Li, Y., Zhang, Y., Liu, X., Xiao, Y., Zhang, Z., Shi, Y., Kong, W., Yang, X., Jiang, G., Zhang, B., & Chen, K. (2021). Cultivation conditions change aroma volatiles of strawberry fruit. *Horticulturae*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/horticulturae7040081>

- López, S. A. M., Aparicio, V. A., & Ortega, A. R. M. (2016). Beneficios nutricionales y sanitarios asociados al consumo de kiwi. *Nutrición Hospitalaria*, 33, 21–25. <https://doi.org/10.20960/nh.340>
- Medina, B. J. S., Pinzón, S. E. H., & Cely, G. E. (2016). Efecto de sustratos orgánicos en plantas de fresa (*Fragaria* sp.) cv 'Albion' bajo condiciones de campo. *Ciencia y Agricultura*, 13(2). <https://doi.org/10.19053/01228420.v13.n2.2016.5548>
- Megan, F. (2019). Improving energy and resource efficiency in greenhouse cultivation in kosovo project. In *U.S. Agency for International Development. Kosovo*.
- Meier, U. (2018). Etapas de desarrollo de las plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas. In *Instituto Julius Kühn* (4th ed., pp. 11–19). <https://doi.org/10.5073/20180906-075743>
- Mixquititla, C. G. (2020). *Rendimiento y calidad de la fresa en respuesta a diferentes sustratos y nutrición inorgánica* (pp. 36–45). Universidad Autónoma del Estado Morelos.
- Mohan, S. R., Yamdagni, R., Kumar, D. A., & Pandey, V. (2019). *Strawberries production, postharvest management and protection* (Primera, Vol. 1). CRC Press.
- Muñoz, S. O. G. (2019). *Evaluación de sustratos orgánicos a base de raquis de maíz y compost con dos programas de fertirrigación, en tomate manzano var. Matías, bajo condiciones de macrotunel en Zamorano, Honduras* (pp. 8–19).
- Nakai, H., Yasutake, D., Kimura, K., I, K., Hidaka, K., Eguchi, T., Hirota, T., Okayasu, T., Ozaki, Y., & Kitano, M. (2022). Dynamics of carbon export from leaves as translocation affected by the coordination of carbohydrate availability in field strawberry. *Environmental and Experimental Botany*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104806>
- Narváez-Ortiz, W. A., Lieth, J. H., Grattan, S. R., Benavides-Mendoza, A., Evans, R. Y., Preciado-Rangel, P., Valenzuela-García, J. R., & Gonzalez-Fuentes, J. A. (2018). Implications of physiological integration of stolon interconnected plants for salinity management in soilless strawberry production. *Scientia Horticulturae*, 241, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.098>
- Palencia, P., Giné Bordonaba, J., Martínez, F., & Terry, L. A. (2016). Investigating the effect of different soilless substrates on strawberry productivity and fruit composition. *Scientia Horticulturae*, 203, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.005>

- Prasad, R., Lisiecka, J., Antala, M., & Rastogi, A. (2021). Influence of different spent mushroom substrates on yield, morphological and photosynthetic parameters of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Agronomy*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/agronomy11102086>
- Quintero, C. M. F., González, M. C. A., & Guzmán, M. (2011). Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. In *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (1st ed., pp. 79–107). Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez, J., Inzé, D., Nelissen, H., & Saibo, N. J. M. (2019). Source–Sink Regulation in Crops under Water Deficit. In *Trends in Plant Science* (Vol. 24, Issue 7). <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.04.005>
- Rodríguez, D. E., Salcedo, P. E., Rodríguez, M. R., González, E. D. R., & Mena, M. S. (2013). Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Terra Latinoamericana*, 31.
- Ruangrak, E., & Khummueng, W. (2019). Effects of artificial light sources on accumulation of phytochemical contents in hydroponic lettuce. In *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* (Vol. 94, Issue 3, pp. 378–388). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/14620316.2018.1504630>
- SAGARPA. (2017). Fresa Mexicana planeación agrícola nacional. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*, 2–20.
- Schwieterman, M. L., Colquhoun, T. A., Jaworski, E. A., Bartoshuk, L. M., Gilbert, J. L., Tieman, D. M., Odabasi, A. Z., Moskowitz, H. R., Foltá, K. M., Klee, H. J., Sims, C. A., Whitaker, V. M., & Clark, D. G. (2014). Strawberry flavor: Diverse chemical compositions, a seasonal influence, and effects on sensory perception. *PLoS ONE*, 9(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088446>
- Seguil, M. C. G., Mendoza, F. Z. K., & Casimiro, S. E. M. (2020). Evaluación de las formulaciones de película comestible de *Nostoc sphaericum* aplicadas a la conservación de fresas. *Alimentos, Ciencia e Ingeniería*, 2020, 79–93.
- Singhalage, I. D., Seneviratne, G., Madawala, H. M. S. P., & Wijepala, P. C. (2019). Profitability of strawberry (*Fragaria ananassa*) production with biofilmed biofertilizer application. *Scientia Horticulturae*, 243, 411–413. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.033>
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In Steiner Abram A (Ed.), *Sixth International Congress on Soilless Culture* (pp. 633–650).
- Tang, Y., Ma, X., Li, M., & Wang, Y. (2020). The effect of temperature and light on strawberry production in a solar greenhouse. *Solar Energy*, 195, 318–328. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2019.11.070>

- Tapia, P. V., Ramos, J. Z. C., García, P. S., Chávez, L. T., Romero, R. M. L., & Arredondo, J. L. O. (2008). Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(4), 375–381.
- Theodore, M. D., Steven, A. W., Kirk, D. L., & Daniel, S. K. (2015). Differential response of early and intermediate flowering strawberry cultivars to nursery late-season nitrogen applications and digging date. *African Journal of Plant Science*, 9(6), 250–263. <https://doi.org/10.5897/ajps2015.1280>
- Touliatos, D., Dodd, I. C., & Mcainsh, M. (2016). Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics. *Food and Energy Security*, 5(3), 184–191. <https://doi.org/10.1002/fes3.83>
- Van Os, E. A., Gieling, T. H., & Heinrich Lieth, J. (2019). Technical equipment in soilless production systems. In *Soilless Culture: Theory and Practice Theory and Practice*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00013-X>
- Vásquez, R. P. S., & Rodríguez, O. G. (2018). Los suelos de los valles centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 5(2), 156–167.
- Vázquez, G. G., Livera, M. M., González, H. V. A., & Muratalla, L. A. (2022). Efecto de la eliminación de órganos sobre la producción y calidad de frutos de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. Fern. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 23(2). <https://doi.org/10.35196/rfm.2000.2.355>
- Wu, S., Li, M., Zhang, C., Tan, Q., Yang, X., Sun, X., Pan, Z., Deng, X., & Hu, C. (2021). Effects of phosphorus on fruit soluble sugar and citric acid accumulations in citrus. *Plant Physiology and Biochemistry*, 160, 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.015>
- Yang, T., Altland, J. E., & Samarakoon, U. C. (2022). Evaluation of substrates for cucumber production in the Dutch bucket hydroponic system. *Scientia Horticulturae*.
- Zhang, C., Liu, Y., Wang, B., Li, H., Zhang, J., Ma, Y., Dai, H., Wang, Y., & Zhang, Z. (2023). CRISPR/Cas9 targeted knockout FvPHO2 can increase phosphorus content and improve fruit quality of woodland strawberry. *Scientia Horticulturae*, 317, 112078. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2023.112078>