



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA
AGRICULTURA**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AGROPECUARIO**

**TEMA: “EVALUACIÓN DE CUATRO SUSTRATOS Y OCHO
COMBINACIONES, EN EL CULTIVO DE *Fragaria x ananassa* var. Albión,
EN UN SISTEMA SEMI-HIDROPÓNICO VERTICAL”**

AUTOR: TRUJILLO BAZANTE, CARLOS ANDRÉS

DIRECTOR: ING. LANDÁZURI ABARCA, PABLO ANIBAL, Mgs

SANGOLQUÍ

2019



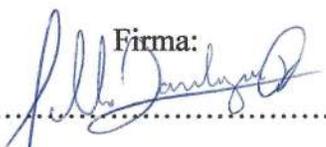
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “*EVALUACIÓN DE CUATRO SUSTRATOS Y OCHO COMBINACIONES, EN EL CULTIVO DE *Fragaria x ananassa var. Albión* EN UN SISTEMA SEMI – HIDROPÓNICO VERTICAL*” fue realizado por el señor *Trujillo Bazante, Carlos Andrés* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 29 de Julio del 2019

Firma:


Ing. Pablo Aníbal Landázuri Abarca

C.C 1708262348



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Trujillo Bazante, Carlos Andrés*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *“Evaluación de cuatro sustratos y ocho combinaciones, en el cultivo de fragaria x ananassa var. albión en un sistema semi – hidropónico vertical”* es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 29 de Julio del 2019

Firma:

.....
Carlos Andrés Trujillo Bazante

C.C: 1723303770



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN

*Yo, **Trujillo Bazante, Carlos Andrés** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “Evaluación de cuatro sustratos y ocho combinaciones, en el cultivo de fragaria x ananassa var. albión en un sistema semi – hidropónico vertical” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

Sangolquí, 29 de Julio del 2019

Firma:

.....
Carlos Andrés Trujillo Bazante

C.C.: 1723303770

DEDICATORIA

A mis padres Freddy y María quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo, valentía, perseverancia y coraje, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos y hermanas Mauricio, Belén y Michelle por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos y amigas, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias, siempre los llevaré en mi corazón

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, a toda las personas que conforman la Carrera de Ingeniería Agropecuaria, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Pablo Landázuri, mi tutor durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación	3
1.3	Planteamiento del problema	4
1.4	Objetivos	4
1.4.1	Objetivo General	4
1.4.2	Objetivos Específicos	5
1.5	Hipótesis	5

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	El cultivo de frutilla y su importancia	6
2.2	Clasificación Taxonómica	6
2.3	Requerimientos Agroecológicos	6
2.3.1	Luz	6
2.3.2	Temperatura	7
2.3.3	Humedad	7
2.3.4	Suelo	7
2.3.5	Requerimiento Hídrico	7
2.4	Requerimientos nutricionales	8
2.5	Hidroponía	8

2.5.1	Sistemas hidropónicos en agua	9
2.5.1.1	Sistema NFT.....	9
2.5.1.2	Sistemas estáticos (SAT).....	9
2.5.2	Sistemas semi-hidropónicos.....	9
2.5.2.1	Sistemas semi-hidropónicos verticales.....	10
2.6	Sustratos	11
2.6.1	Clasificación.....	12
2.6.1.1	Materiales orgánicos	12
2.6.1.2	Minerales.....	12
2.6.2	Arena de río.....	12
2.6.3	Cascarilla de Arroz.....	13
2.6.4	Pomina.....	14
2.6.5	Aserrín de pino.....	14

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Ubicación del área de investigación.....	16
3.1.1	Ubicación Geopolítica.....	16
3.1.2	Ubicación Ecológica	16
3.1.3	Condiciones climáticas del invernadero.....	17
3.2	Materiales de campo.....	17
3.2.1	Sustratos	17
3.3	Métodos.....	17
3.3.1	Preparación y homogenización de los sustratos.....	17
3.3.2	Conformación de los sustratos	18
3.3.3	Caracterización de las propiedades físicas.....	18
3.3.3.1	Densidad aparente	18
3.3.3.2	Porosidad total.....	18
3.3.3.3	Capacidad de Retención de Humedad (CRH).....	19
3.3.3.4	Granulometría.....	19
3.3.4	Caracterización de las propiedades químicas.....	19
3.3.4.1	pH y conductividad eléctrica.....	19
3.3.5	Material vegetal.....	20
3.3.6	Desinfección del material vegetal	20
3.3.7	Instalación del sistema semi-hidropónico vertical	20
3.3.8	Conformación de los tratamientos.....	21
3.3.9	Variables de respuesta.....	21
3.3.9.1	Altura de la planta	21
3.3.9.2	Número de hojas.....	21
3.3.9.3	Peso y tamaño del fruto.....	22
3.3.9.4	Clorofila en hojas	22
3.3.9.5	Sólidos solubles (°Brix) en el fruto.....	23
3.3.9.6	Medición del Área foliar	23
3.3.9.7	Protocolo de determinación de nitrógeno por el método de Kjeldahl.....	23

3.3.9.8	Protocolo para la determinación de iones mediante absorción atómica.....	24
3.4	Diseño experimental.....	26
3.4.1	Factores	26
3.4.2	Tratamientos.....	26
3.4.3	Tipo de Diseño	27
3.4.4	Características de las unidades experimentales.....	27
3.4.5	Croquis del experimento	27
3.4.6	Análisis Estadístico	28
3.4.7	Coefficiente de variación.....	28
3.5	Métodos específicos del manejo del experimento.....	28
3.5.1	Preparación solución nutritiva.....	28
3.5.2	Riego	29
3.5.3	Manejo de malezas	29
3.5.4	Podas	29

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Resultados	30
4.1.1	Caracterización de los sustratos antes de comenzar el experimento.....	30
4.1.2	Variables de crecimiento vegetativo: Altura, número de hojas, número de flores de la planta.....	33
4.1.2.1	Altura de la planta	33
4.1.2.2	Número de Hojas.....	34
4.1.2.3	Concentración de clorofilas: Clorofila α , Clorofila β y Clorofila total.....	36
4.1.3	Variables productivas: Área foliar, Peso del fruto, ancho del fruto, longitud del fruto y °Brix del fruto	39
4.1.3.1	Área foliar	40
4.1.3.2	Peso del fruto.....	41
4.1.3.3	Longitud del fruto.....	41
4.1.3.4	Ancho del fruto.....	41
4.1.3.5	°Brix del fruto	42
4.1.3.6	Rendimiento	42
4.1.4	Análisis foliar	43
4.1.4.1	Nitrógeno.....	43
4.1.4.2	Fósforo	43
4.1.4.3	Calcio, Magnesio, Potasio y Manganeso	44
4.1.4.4	Hierro	46
4.2	Discusión.....	47
4.2.1	Sustratos	47
4.2.2	Altura.....	48
4.2.3	Hojas.....	49
4.2.4	Clorofila	49
4.2.5	Área foliar	50
4.2.6	Peso del fruto.....	50

4.2.7	Diámetro del fruto	50
4.2.8	Longitud del fruto.....	51
4.2.9	Grados Brix del fruto.....	51
4.2.10	Rendimiento	51
4.2.11	Correlación de Pearson.....	53
4.2.12	Análisis Nutricional.....	53

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	54
5.2	Recomendaciones.....	54
5.3	Bibliografía.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Rangos de suficiencia de nutrientes en hojas de frutilla.....</i>	8
Tabla 2	<i>Características físico – químicas de la arena de río</i>	13
Tabla 3	<i>Características físico–químicas de la cascarilla de arroz.....</i>	13
Tabla 4	<i>Características físico–químicas de la pomina</i>	14
Tabla 5	<i>Características físico – químicas del aserrín de pino.....</i>	14
Tabla 6	<i>Descripción de las diferentes relaciones de los sustratos que conforman los tratamientos.....</i>	26
Tabla 7	<i>Partes por millón de los macro y micro elementos para el cultivo de fresa hidropónica.</i>	28
Tabla 8	<i>Propiedades físicas y químicas de los sustratos</i>	31
Tabla 9	<i>Promedio \pm error estándar del número de hojas de <i>Fragaria x ananassa</i> var. Albión medidas a los 20, 40, 60, 80 y 100 ddt, evaluada en diferentes sustrato</i>	33
Tabla 10	<i>Promedio \pm error estándar de la altura de <i>Fragaria x ananassa</i> var. Albión medidas a los 20, 40, 60, 80 y 100 días después del trasplante (ddt), evaluada en diferentes sustratos.....</i>	35
Tabla 11	<i>Promedio \pm error concentración de clorofilas en <i>Fragaria x ananassa</i> var. Albión medidas a los 20, 40, 60, 80 y 100 días después del trasplante (ddt) y evaluada en diferentes sustratos</i>	37
Tabla 12	<i>Promedio \pm error estándar del área foliar, peso, longitud, ancho y grados brix del fruto de <i>Fragaria x ananassa</i> var. Albión medidas a diferentes alturas de siembra y en diferentes sustratos</i>	39
Tabla 13	<i>Coeficientes de correlación de Pearson de las variables productivas en <i>Fragaria x ananassa</i> var. Albión.</i>	42
Tabla 14	<i>Promedio \pm error estándar de la concentración de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Hierro y Manganeso en <i>Fragaria x ananassa</i> var. Albión medidas a diferentes alturas de siembra y en diferentes sustratos.....</i>	45

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Plantas herbáceas dispuestas en torres.....	11
<i>Figura 2</i> Ubicación Geográfica del experimento	16
<i>Figura 3</i> Distribución de los sustratos en campo	27

RESUMEN

En la presente investigación se determina el efecto del uso de cuatros tipos diferentes de sustratos: cascarilla de arroz, pomina, aserrín y arena de río, en el cultivo semi-hidropónico vertical de *Fragaria x ananassa* var. Albión, como una alternativa: al uso del recurso suelo como un sustrato y a los sistemas tradicionales, ya que aprovecha el espacio aéreo del suelo, así aumentando la densidad de plantas por metro cuadrado. Este estudio se realizó en las instalaciones de los invernaderos de horticultura de la Hacienda El Prado, IASA I. Se conformó cuatros sustratos y ocho combinaciones entre los mismo, se realizó mediante un diseño en bloques completamente al azar (DBCA), con siete repeticiones por sustrato, dando como resultado 84 unidades muestrales. Las variables medidas fueron altura y número de hojas por planta; concentración de clorofilas; área foliar; peso, ancho, longitud y °Brix del fruto y rendimiento. El sustrato T9 (pomina) y T11 (arena de río) presentaron un mejor rendimiento ($76.53 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$), ($85.91 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$); grados Brix del fruto (8.44 °Brix), (8.41 °Brix); peso del fruto (24.39 g), (27.27 g); área foliar (1005.50 cm^2), (1233.54 cm^2); número de hojas ($9.64 \text{ hojas.planta}^{-1}$), ($9.89 \text{ hojas.planta}^{-1}$) y altura de la planta (16.11 cm), (21.74 cm) respectivamente.

PALABRAS CLAVES:

- **FRUTILLA VARIEDAD ALBIÓN**
- ***Fragaria x ananassa***
- **CULTIVO SEMI-HIDROPÓNICO VERTICAL**
- **CULTIVOS VERTICALES**
- **SUSTRATOS**

ABSTRACT

In the present investigation was determined the effect of the use of four different types of substrates: rice husk, pomina, sawdust and river sand, in the semi-hydroponic vertical crop of *Fragaria x ananassa* var. Albion, as an alternative: to the use of the soil resource as a substrate and to traditional systems, due to it takes advantage of the air space of the soil, thus increasing the density of plants per square meter. This study was carried out in the facilities of the horticultural greenhouses of the Hacienda El Prado, IASA I. Four substrates and eight combinations were formed, it was carried out through a completely randomized block design (CRBD), with seven repetitions per substrate, resulting in 84 sample units. The variables measured were height and number of leaves per plant; chlorophyll concentration; leaf area; weight, width, length and °Brix of the fruit and yield. The substrate T9 (pomina) and T11 (river sand) showed a better performance ($76.53 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$), ($85.91 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$); Brix degrees of the fruit ($8.44 \text{ }^{\circ}\text{Brix}$), ($8.41 \text{ }^{\circ}\text{Brix}$); fruit weight (24.39 g), (27.27 g); leaf area (1005.50 cm^2), (1233.54 cm^2); number of leaves ($9.64 \text{ leaves.plant}^{-1}$), ($9.89 \text{ leaves.plant}^{-1}$) and plant height (16.11 cm), (21.74 cm) respectively.

KEY WORDS:

- **STRAWBERRY VARIETY ALBION**
- *Fragaria x ananassa*
- **VERTICAL SEMI-HIDROPONIC CULTURE**
- **VERTICAL CROPS**
- **SUBSTRATE**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Se conoce que el origen del cultivo hidropónico inicia en el primer milenio a. C. en los Jardines Colgantes de Babilonia. El imperio Azteca y la cultura China también practicaban diferentes formas de hidroponía, sin embargo, la primera evidencia escrita data del año 1600, Jan Van Helmont de origen belga, en un experimento donde cultivo sauce en suelo seco; demostró que las plantas para poder desarrollarse obtienen sustancias a partir del agua. En 1699 el inglés John Woodward en una investigación similar, concluye que el desarrollo de las plantas es el resultado de las sustancias en el agua provenientes del suelo. Y en 1804 el químico, naturista suizo De Saussure postuló el principio de que los elementos químicos que forman todas las estructuras de las plantas son obtenidos a partir del agua, suelo y aire. En 1861 se inicia el origen de la nutricultura, gracias a los científicos alemanes Sachs y Knop quienes, utilizando solo soluciones nutritivas a partir de sales de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, lograron un desarrollo normal de las plantas (Grimshaw & Ward, 2004; Resh, 2013).

El cultivo hidropónico vertical comienza en los años 70's, en España, en Italia en la Universidad de Catania surgieron innovaciones importantes en donde se utilizaron tubos de plástico rellenos de tierra para el cultivo de plantas. Años más tarde se modifica esta práctica sustituyendo la tierra por sustratos inertes (Samperio R., 2007).

La frutilla es uno de los cultivos que mejor se adapta a la hidroponía y se ha cultivado extensivamente en diversos sistemas de producción en los últimos 100 años (Rea, 2012). El uso de sustratos factibles y económicos para la producción en sistemas intensivos para diversos cultivos está generando expectativa a nivel comercial en el Ecuador.

La utilización de sustratos factibles de conseguir y económicos en el cultivo de frutilla semi-hidropónica ha generado diversas investigaciones que estudian los diferentes tipos de sustratos o combinaciones de los mismos ideales para la producción de frutilla.

López, Cárdenas, Lobit, Martínez y Escalante en México (2005) realizaron una investigación en dos variedades de frutilla para evaluar el efecto de mezclas de fibra de coco con tezonte con respecto a un sustrato de vermiculita, encontrándose que la mezcla del 75% de tezonte y 25% de fibra de coco v.v⁻¹ fue el que produjo los mejores resultados en las variables de materia fresca y seca de raíz; corona; peciolo y hojas, área foliar y altura. En Colombia se evaluó el efecto de sustratos orgánicos en plantas de fresa “Albion” bajo condiciones de campo dando como resultado que el tratamiento compuesto por la mezcla de suelo + fibra de coco en relación 1:1, mostró los mejores valores para las variables del estudio (Medina, Pinzón, & Cely, 2016). Estudios realizados por Rea (2012), en el rendimiento de fresa sometida a diferentes tipos de sustratos dentro de un cultivo semi-hidroponico sobre suelo (aislado del contacto del suelo mediante plástico) en la parroquia Salinas provincia de Imbabura, Ecuador; concluyó que la combinación de los sustratos Arena de río + Turba + Bagazo de caña en relación 2:1:1 presentan el mejor comportamiento agronómico en el desarrollo y producción de la fresa. Mejía en el 2017 determinó la respuesta de tres variedades de fresa, sometidas a tres sustratos, mediante sistema semi-hidropónico en canales de polietileno en la provincia de Imbabura, Ecuador; obteniendo como resultado que el sustrato Pomina + Turba + Hummus en relación 3:2:1 respectivamente, permitieron un mejor comportamiento agronómico de porcentaje de germinación, días a la floración, número de frutos, diámetro de frutos y rendimiento de frutos.

1.2 Justificación

Existe cada vez una mayor degradación y escasez de recurso suelo y agua, esto pone en riesgo los sistemas de producción de alimentos del mundo. Esto se traduce en un desafío de poder alimentar a la población mundial actual, que para el 2050 habrá alcanzado los 9000 millones de habitantes. Se estima que el 25% del suelo del planeta se encuentra con un elevado estado de degradación, un 8% con degradación moderada, el 36% se encuentra en condiciones estables o una mínima degradación y solo un 10% se considera como suelos en recuperación o que se los está mejorando (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, 2011). Las prácticas agrícolas convencionales están favoreciendo la degradación del suelo, mediante erosión hídrica y eólica; pérdida de materia orgánica: desequilibrio y pérdida de nutrientes; compactación y anegamiento de los suelos; acidificación, salinización y contaminación química del suelo; y pérdida de biodiversidad. Esto convierte al recurso suelo en un sustrato que presenta factores cada vez más limitantes para la producción de alimentos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, 2011; Pennock & McKenzie, 2016).

La escasez del agua aumenta cada día, así también la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas (lixiviación); salinización; pérdida de los ecosistemas; y degradación de las masas de agua (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, 2011).

El crecimiento acelerado de las ciudades y las industrias ha generado el incremento de la urbanización de la población hacia áreas rurales destinadas a la agricultura. En consecuencia, se contaminan zonas cada vez más extensas mediante la acidificación y salinización del suelo; compactación del suelo por maquinaria pesada; y sellamiento del suelo de forma permanente

mediante capas de asfalto y cemento. Un análisis realizado en el 2000 encontró que la extensión de las áreas urbanas a nivel mundial fue del 0.45% de la superficie terrestre. Siguiendo con las tasas actuales de expansión de los centros urbanos y sellado de los suelos cultivables, se estima que para el 2030 la superficie de las áreas urbanas se triplicaran en países con un alto índice demográfico (Pennock & McKenzie, 2016).

1.3 Planteamiento del problema

El rápido deterioro de los suelos y el aumento de escasez de agua, hacen que la agricultura a nivel mundial posea más limitaciones, por lo que se debe promover la gestión sostenible del recurso suelo e hídrico mediante nuevas tecnologías de bajo impacto ambiental; que reduzcan el consumo de recursos; su materia prima sea reciclada y se pueda reutilizar; y libres de patógenos y contaminantes que puedan afectar al consumidor (Pennock & McKenzie, 2016). La semi-hidroponía vertical es un sistema de producción que ha demostrado mayor calidad y rendimiento de los cultivos. Esta nueva tecnología maneja eficazmente el recurso hídrico, el uso de fertilizantes y agroquímicos; evita la degradación del suelo mediante la sustitución de este por sustratos que en su mayoría son desechos o subproductos de otras industrias; y es una forma para combatir el impacto del crecimiento demográfico, la escasez de tierras cultivables debido a la súper urbanización de las ciudades en todo el mundo (Salazar, Rojano, & López, 2014).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de cuatro sustratos y ocho combinaciones, en el cultivo de *Fragaria x ananassa* var. Albión en un sistema semi-hidropónico vertical.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los cuatro sustratos y ocho combinaciones para un cultivo semi-hidropónico de *Fragaria x ananassa* var. Albión con el fin de conocer sus propiedades físicas y químicas para un manejo adecuado en campo.
- Seleccionar el sustrato o la combinación que permita mayor productividad en *Fragaria x ananassa* var. Albión en un sistema semi-hidropónico vertical.

1.5 Hipótesis

H_0 = Los cuatro sustratos y ocho combinaciones no tienen efecto sobre el comportamiento agronómico de desarrollo y productividad de frutilla en un sistema semi-hidropónico vertical.

H_1 = Los cuatro sustratos y ocho combinaciones tienen efecto sobre el comportamiento agronómico de desarrollo y productividad de frutilla en un sistema semi-hidropónico vertical.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El cultivo de frutilla y su importancia

La frutilla es uno de los cultivos más populares y se la produce en casi todas las regiones del planeta. En el 2016 los mayores productores de frutilla fueron China con alrededor de 3.8 millones de toneladas, en segundo lugar, Estados Unidos con 1.4 millones de toneladas y por último Egipto y México con una producción estimada de 460 mil toneladas de frutilla. El cultivo de frutilla tiene un gran potencial a nivel nacional e internacional debido a la creciente demanda del mercado mundial por lo que la producción de este cultivo se debe que enfocar en técnicas y sistemas que aumente el rendimiento y optimicen recursos (FAOSTAT, 2016).

2.2 Clasificación Taxonómica

Según Bonet (2010), la actual frutilla cultivada taxonómicamente pertenece al reino: *Plantae*, clase: *Magnoliopsida*, orden: *Rosales*, familia: *Rosaceae*, tribu: *Potentillege*, género: *Fragaria*, especie: *Fragaria x ananassa* Duch.

2.3 Requerimientos Agroecológicos

2.3.1 Luz

La cantidad de rayos solares que recibe la planta determinan la cantidad de tiempo necesario que esta requiere para el crecimiento, inducción floral y comportamiento productivo (Bianchi, 2000). Los días con más de 12 horas luz, favorecen al desarrollo vegetativo de hojas y estolones. Los días cortos, entre 8 a 11 horas luz, favorecen la producción de yemas sexuales o fructíferas (Morales et al., 2017).

2.3.2 Temperatura

El cultivo de frutilla se adapta muy bien a muchos tipos de climas. Su parte vegetativa soporta heladas, mientras que, a temperaturas inferiores a los 2 °C, las flores y sus órganos reproductivos sufren daños. A temperaturas mayores a 40 °C, produce frutos de deformes y de mala calidad (Bianchi, 2000; J. V. Maroto, 1983).

2.3.3 Humedad

El cultivo de frutilla necesita entre 60 a 75% de humedad relativa para su crecimiento adecuado. Valores mayores a 75% favorece el ataque de hongos y bacterias. Humedad relativa por debajo del 50% afecta los órganos sexuales de la planta, repercutiendo en la producción (S. Vargas, 2015).

2.3.4 Suelo

La frutilla se adapta muy bien a suelos de textura franco o franco – arenosa, buen sistema de drenaje y alta capacidad de retención de humedad. El suelo debe tener fertilidad media – alta y del 3 al 7% de materia orgánica. Este cultivo soporta pH entre 5.8 a 7.2. Es poco resistente a la salinidad, llegando a pérdidas del 50% de rendimiento (Morales et al., 2017; S. Vargas, 2015).

2.3.5 Requerimiento Hídrico

En el cultivo de frutilla el consumo de agua se considera entre los 400 – 600 mm anuales. El agua que se suministre a la frutilla debe ser de excelente calidad y no tener elementos químicos en exceso como: sodio, calcio, boro o cloruros que afectan las paredes celulares de la planta y calidad del fruto. Requiere riego abundante, debido a que es susceptible a stress hídrico rendimiento (Morales et al., 2017; S. Vargas, 2015).

2.4 Requerimientos nutricionales

En general el cultivo de frutilla tiene una alta demanda de Nitrógeno y Potasio, estos macro elementos son esenciales para el desarrollo óptimo de la planta (Hancock, Sjulín, & Lobos, 2008). El potasio es precursor de procesos bioquímicos como: activación de enzimas, transferencia de azúcares, síntesis de proteínas, funciones fotosintéticas y estomáticas (Mass, 1998). El calcio es fundamental para la dureza y firmeza de las paredes celulares de toda la planta en especial para la firmeza del fruto. La deficiencia de Boro y Zinc afecta a los órganos sexuales de la flor (Hancock et al., 2008).

Tabla 1

Rangos de suficiencia de nutrientes en hojas de frutilla

Nutriente	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe ppm	Zn ppm	B ppm
Cantidad	2.5-3.2	0.25-0.4	1.5-2.5	0.5-1.5	0.25-0.5	25-200	15-100	20-60

Nota. Recuperado de (Correa, Kirschbaum, & Bórquez, 2008).

2.5 Hidroponía

La palabra hidroponía proviene del griego “Hidro” agua y “Ponos” trabajo, que significa trabajo en agua. Esta técnica no es una práctica moderna, sino ancestral, las culturas antiguas como la de Babilonia, egipcia, azteca y entre otras ya empleaban estos métodos para la producción de cultivos. La hidroponía es un sistema de cultivo donde no se utiliza suelo. Mediante estructuras simples permite la producción de plantas de tipos herbáceas y semi-leñosas en zonas donde hay predominancia de suelos infértiles, degradados, con problemas de salinidad y con una elevada incidencia de enfermedades. También aprovecha los espacios en la zona urbana como terrazas, techos o azoteas. Con esta técnica es posible producir plantas de excelente calidad, sanidad y utilizar el recurso agua, luz y nutrientes eficientemente. La hidroponía se puede

clasificar en dos categorías: sistemas hidropónicos en agua y sistemas semi-hidropónicos (sustrato) (Beltrano & Giménez, 2015).

2.5.1 Sistemas hidropónicos en agua

2.5.1.1 Sistema NFT

El sistema de recirculación de solución nutritiva NFT (Nutrient Film Technique), se desarrolló en el Glasshouse Crop Research Institute, Inglaterra, en la década de los sesenta. El principio de este sistema hidropónico consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo, sin pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se constituye como un sistema cerrado (Bianchi, 2000).

2.5.1.2 Sistemas estáticos (SAT)

Este sistema es especial para cultivos de ciclo corto, pues la aplicación de la solución nutritiva solamente se hace al inicio del cultivo y debe durar hasta que el fruto esté listo para su cosecha, pues se calcula que la cantidad de solución suministrada es la equivalente para su consumo durante el crecimiento de la planta, teniendo en cuenta que el líquido también será absorbido por la planta cuando la temperatura interna del recipiente genere que se convierta en vapor provocando una cámara de aire (Medina et al., 2016).

2.5.2 Sistemas semi-hidropónicos

A partir del concepto de hidroponía se desarrolló esta nueva técnica que combina lo mejor del cultivo sobre suelo y los mejor de la hidroponía. Permite al sistema radicular desarrollarse sobre un sustrato que la sostiene y permite a la planta tener acceso a todos los nutrientes necesarios para su crecimiento mediante la ferti-irrigación (Beltrano & Giménez, 2015; Resh, 2013).

2.5.2.1 Sistemas semi-hidropónicos verticales

El cultivo de plantas en columnas verticales se desarrolló en Europa, particularmente en Italia y España. Este sistema se originó por el uso de barriles o tambores metálicos apilados verticalmente y llenos de sustratos, donde se perforaron agujeros en los lados alrededor de los contenedores para colocar las plantas en el medio. Años más tarde, se utilizaron tuberías de asbesto y cemento con orificios en espiral. El riego y la nutrición de las plantas en este tipo de sistemas se realizan mediante un sistema de riego por goteo montado en la parte superior de cada columna. Los cultivos verticales son capaces de producir seis a ocho veces más por unidad de área que cultivos sembrados en el suelo y de tres a cuatro veces más que cultivos en invernadero. La densidad de plantas como: lechugas, espinaca o frutillas es de aproximadamente 32 plantas por metro cuadrado (320,000 plantas por hectárea) (Resh, 2013).

Salinas (1988) describe las fortalezas y debilidades de los cultivos verticales. Entre las ventajas se encuentra la eficiencia en el uso del agua entre un 70%, mayor densidad de plantas por metro cuadrado, fácil manutención, utilización de materiales reciclados, evita degradación del suelo y existe poca incidencia de plagas, enfermedades y malezas. En cuanto a las desventajas son: requiere un alto costo inicial y existe una mala distribución del riego (mayor cantidad de agua en la parte inferior).

Esta técnica de cultivo es una de las alternativas para poder alcanzar el objetivo de la FAO de seguridad alimentaria, donde “todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana” (FAO, 2010), debido a que esta técnica aprovechar el espacio físico disponible, reduce mano de obra, optimiza

el recurso agua, disminuye costo de producción, aumenta la calidad y rendimiento del producto (Zapp, 1991).



Figura 1 Plantas herbáceas dispuestas en torres
Fuente: (Resh, 2013).

2.6 Sustratos

Son un medio solido inerte que sustituye todas las funciones que el suelo brinda a la planta. Los sustratos tienen dos funciones principales, la primera es anclar, aferrar y proteger al sistema radicular de la planta. La segunda es la de retener humedad y nutrientes, los cuales son de vital importancia para que la planta pueda crecer y desarrollarse correctamente. Los sustratos que se utilizan en la semi-hidroponía son de diversos orígenes (Calderón & Cevallos, 2002; Martínez & Roca, 2011).

2.6.1 Clasificación

2.6.1.1 Materiales orgánicos

Naturales: producto de la descomposición biológica de materia vegetal como: peat-moss o turba. Subproductos o residuos industriales: son los desechos resultantes del proceso de fabricación, transformación, utilización, etc. de la actividad industrial como: cascarilla de arroz, fibra de coco, bagazo de caña, aserrín, cortezas de árboles, virutas de maderas, entre otros. Sintéticos: polímeros orgánicos no biodegradables, se obtiene de la industria de los plásticos: espuma de poliuretano, poliestireno expandido, espuma fenólica, etc. (Martínez & Roca, 2011; Oasis, 2017).

2.6.1.2 Minerales

Naturales: son productos de rocas o minerales de diversos orígenes, no requieren ningún proceso de transformación como: arena de río, arena de mina, grava, grava volcánica, piedras y demás. Procesados: son rocas o minerales que han sufrido algún proceso de transformación físico o químico, el cual altera sus propiedades originales: perlita, lana de roca, pomina, vermiculita, arcilla expandida, entre otros. Subproductos industriales: escorias de alto horno, estériles de carbón entre otras cosas (Martínez & Roca, 2011; Oasis, 2017).

2.6.2 Arena de río

Este tipo de sustrato puede ser extraído de las minas o los ríos. La granulometría debe estar comprendida entre 0.5 a 2 mm (Martínez & Roca, 2011). No debe contener limo o arcilla debido a que conlleva a problemas de fijación iónica y los niveles de carbonato de calcio deben ser inferiores al 20% para evitar problemas de deficiencia de fósforo por fijación en la arena (Calderón & Cevallos, 2002).

Tabla 2
Características físico-químicas de la arena de río

Características	Valores
Densidad aparente (g.cm ⁻³)	1.5
Porosidad Total (%)	< 50
Capacidad de retención de agua fácilmente disponible	Alta
Capacidad de aireación	< 7.2
Reacción	Alcalina
Capacidad de intercambio catiónico en 100 gramos (meq.g ⁻¹)	< 5
Poder Tampón	Bajo

Nota. Recuperado de (Baixauli & Aguilar, 2002).

2.6.3 Cascarilla de Arroz

La cascarilla de arroz es un residuo del proceso de molienda del arroz. Esta recubre al grano de arroz y está compuesta por dos glumas unidas por un pericarpio. Es de consistencia dura y leñosa debido al alto contenido de silicio. Tiene conductividad catiónica baja, ideal para utilizarla como sustrato en semi-hidroponía (E. Vargas, 1995).

Tabla 3
Características físico-químicas de la cascarilla de arroz

Características	Cascarilla de arroz
Densidad aparente (g.cm ⁻³)	0.19
Porosidad Total (%)	89
Capacidad de intercambio catiónico en 100 gramos (meq.g ⁻¹)	21
pH	6.4
Conductividad eléctrica dS.m ⁻¹	1.1

Nota. Recuperado de (Quintero, Guzmán, & Valenzuela, 2012).

2.6.4 Pomina

Es de origen volcánico, este material es sometido a temperaturas de 1000 °C para modificar su estructura. Esta químicamente constituida por bióxido de magnesio y sodio en forma de óxidos. Como sustrato aumenta la capacidad de aireación y drenaje (Caso, Chang, & Rodríguez, 2010).

Tabla 4
Características físico-químicas de la pomina

Características	Valores
Densidad aparente (g.cm ⁻³)	0.14
Porosidad Total (%)	86
Capacidad de retención de agua fácilmente disponible (%)	24.6
Capacidad de intercambio catiónico en 100 gramos (meq.g ⁻¹)	1.5 – 2.5
Poder tampón	Muy bajo

Nota. Recuperado de (Baixauli & Aguilar, 2002).

2.6.5 Aserrín de pino

El procesamiento de la madera genera cantidades considerables de desechos en forma de aserrín y pequeños pedazos de madera. Es un material económico y de fácil acceso. Debido a que es un material orgánico, su principal componente es el Carbón y entra en descomposición, lo que reduce su vida útil como sustrato. Es posible que mezclándolo con otros materiales mejore sus propiedades físico-químicas. (D. Rodríguez, 2013).

Tabla 5
Características físico-químicas del aserrín de pino

Característica	Valores
Porosidad total (%)	93.7
Capacidad de aireación (%)	36.8
Agua fácilmente disponible (%)	34.8
Agua de reserva (%)	2.55
Agua total disponible (%)	37.3

CONTINÚA



Densidad aparente (g.cm⁻³) 0.16

Nota. Recuperado de (J. A. Hernández & López, 2015).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del área de investigación

3.1.1 Ubicación Geopolítica

El área de investigación se ubicó en la provincia de Pichincha, parroquia Sangolquí, barrio San Fernando, dentro de la Facultad de Ciencias Agropecuarias IASA 1 Hacienda “El Prado”. En las coordenadas $0^{\circ}, 23', 05''$ S, $78^{\circ}, 24', 53''$ O y altura de 2748 m.s.n.m.



Figura 2 Ubicación Geográfica del experimento
Fuente: (DigitalGlobe, 2018).

3.1.2 Ubicación Ecológica

Según datos proporcionados por la estación de agro-meteorología ubicada en la Hacienda “El Prado” IASA 1, la zona donde se realizó el estudio cuenta con las siguientes características. Piso altitudinal: monte bajo, región latitudinal: templado, clasificación bio-climática: húmedo-templado, una precipitación promedio entre 900 a 1000 mm anuales, 13.89°C temperatura promedio anual, humedad relativa del 66.30% y 12 horas de luminosidad.

3.1.3 Condiciones climáticas del invernadero

Las condiciones climáticas que se presentan en el invernadero donde se realizó el experimento son: temperatura promedio anual de 18.4 °C, humedad relativa del 40.16%, radiación ultra violeta 11.01 μmol y 658.91 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ de luz par respectivamente (Villareal, 2018).

3.2 Materiales de campo

3.2.1 Sustratos

Se utilizó 400 kg de arena de río, 200 kg de cascarilla de arroz, 275 kg de pomina y 150 kg de aserrín de pino.

3.3 Métodos

FASE I

*Metodología para la Caracterización de los sustratos a evaluarse para un cultivo semi-hidropónico de *Fragaria x ananassa* var. Albión con el fin de conocer sus propiedades físicas y químicas para un manejo adecuado en campo.*

3.3.1 Preparación y homogenización de los sustratos

Para esta investigación se utilizaron los siguientes sustratos: cascarilla de arroz, aserrín de pino, pomina y arena de río; en diferentes combinaciones, así como simples, para esto los sustratos se trataron de la siguiente forma.

Con el fin de optimizar las propiedades físicas y químicas la cascarilla de arroz se dejó fermentar durante 10 días, para así se evitar problemas causados por granos de arroz en el sustrato (Calderón & Cevallos, 2002). El aserrín de pino se dejó reposar durante 24 horas, en el río ubicado en las instalaciones de la Hacienda el “Prado” IASA 1 para así evitar la presencia de taninos, los cuales son nocivos para el desarrollo de las plantas, finalmente se lo dejó secar al aire

libre y se lo tamizó por una malla de 2 mm de acuerdo a la especificación técnica de Hernández y López (2015). La pomina y arena de río debido a su heterogeneidad del tamaño de las partículas, se las tamizó en una malla de 4 mm y 2 mm de diámetro respectivamente para así lograr homogenizar el tamaño de las partículas (Martínez & Roca, 2011).

3.3.2 Conformación de los sustratos

La caracterización de los sustratos para el cultivo de *Fragaria x ananassa* var. Albión en un sistema semi-hidropónico vertical, se realizó con pomina, arena de río, cascarilla de arroz y aserrín de pino. Los cuales se utilizaron solos y en combinaciones entre sí para formar nuevos sustratos. En total se conformaron 12 sustratos. Ver Tabla 7.

3.3.3 Caracterización de las propiedades físicas

3.3.3.1 Densidad aparente

La densidad aparente se midió con una probeta de capacidad de 250 cm³. La probeta se llenó de sustrato hasta alcanzar los 100 cm³, luego se pesó la probeta con el sustrato en una balanza marca Cambry (0.01g – 320 g). Se utilizó la siguiente fórmula para determinar la densidad:

$$DA = \frac{\text{Masa del sustrato}}{\text{Volumen ocupado}}$$

(Martínez & Roca, 2011)

3.3.3.2 Porosidad total

La porosidad total se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

$$PT = 95.83 - 32.43DA$$

donde: PT = Porosidad Total y DA = Densidad Aparente (Gras, 1983).

3.3.3.3 Capacidad de Retención de Humedad (CRH)

Para medir la CRH se utilizó recipientes plásticos de capacidad de 250 ml de fondo hueco, adaptados con una malla de 1 mm de diámetro en la parte inferior. Los sustratos se dejaron secar en una estufa por 24 horas a una temperatura de 90 °C. Transcurida las 24 horas se llenó 100 g de sustrato seco en los recipientes de plástico, luego se procedió a saturar con agua y se dejó reposar durante 15 min, con el fin de drenar todo el exceso de agua. Finalmente se pesó el sustrato húmedo en una balanza marca Cambry (0.01g – 320 g). La capacidad de retención de humedad se la expresó en porcentaje de volumen y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$CRH = \frac{P_1 - P_2}{D_{H_2O}}$$

donde: CRH = Capacidad de Retención de Humedad, P_1 = Peso de sustrato húmedo, P_2 = Peso de sustrato seco, D_{H_2O} = Densidad del agua (Calderón & Cevallos, 2002; Martínez & Roca, 2011).

3.3.3.4 Granulometría

Se pesó 1 Kg de sustrato en una balanza marca Cambry (0.01g – 320 g) y se colocó en un tamizador automático, que constaba de 6 tamices con diferentes diámetros de la malla: N5, 4mm; N12, 1.7mm; N30, 0.6mm; N60, 0.25 y N80, 0.18mm por un tiempo de 3 minutos. Luego se procedió a pesar y expresar en porcentaje los remanentes de cada tamiz.

3.3.4 Caracterización de las propiedades químicas

3.3.4.1 pH y conductividad eléctrica

Se midió el potencial de hidrogeno (pH) y la conductividad eléctrica (C.E.) de los sustratos mediante una relación: sustrato + agua destilada 1:1 (v/v). En un vaso de precipitación de capacidad de 200 ml, se llenó 50 ml de sustrato y 50 ml de agua destilada. Se removió para

formar una solución homogénea y con un pHímetro conductímetro marca Tecle (pH-870) se tomó los datos de pH y C.E. (Baixauli & Aguilar, 2002; Oasis, 2017).

FASE II

*Metodología para la selección del sustrato más productivo en *Fragaria x ananassa* var. Albión en un sistema semi-hidropónico vertical.*

3.3.5 Material vegetal

Para este experimento se utilizó 504 plántulas de frutilla (*Fragaria x ananassa*) variedad Albión fotoperiodo neutro.

3.3.6 Desinfección del material vegetal

Se realizó la desinfección de las plántulas de frutilla mediante una solución de mancozeb (nombre comercial: mancozeb nufarm 800 wp), dosis de 2.25 g.l⁻¹. Las plántulas de frutilla se sumergieron en de la solución durante 1 minuto (Valverde & Gamboa, 2005).

3.3.7 Instalación del sistema semi-hidropónico vertical

Materiales: para la instalación del sistema hidropónico se necesitó: 1 contenedor de capacidad de 1000 litros, 1 bomba de agua de 0.75 Hp marca Truper (caudal máximo. 8500 l.h⁻¹), 20 metros de tubería de 1½ pulgadas, 1 metro de tubería de 2 pulgadas, 15 metros de manguera de riego 1 pulgada, 96 goteros auto compensantes (caudal 10 l.h⁻¹), 15 uniones laterales tipo cruz, 84 recipientes para los sustratos y 504 plántulas de frutilla.

Instalación: para el tanque de fertilización, se realizó un orificio en la tierra con dimensiones de 0.7 m de largo, 0.8 m de ancho y 0.8 m de profundidad. Para la recirculación del agua, se utilizó una tubería principal conectada al tanque de fertilización y mediante una unión triple a los

a tres tubos secundarios, el sistema hídrico descrito anteriormente se lo realizó bajo suelo. La tubería secundaria estuvo conectada a cada una de las columnas de recipientes mediante un agujero de 2 pulgadas. En los recipientes se perforó un total de 6 agujeros en la parte media: 3 agujeros a tres bolillos en cada cara lateral del recipiente. Se procedió a llenar cada recipiente con el tratamiento correspondiente y se acomodó dependiendo del arreglo estadístico en columnas de 7 pisos. Se instaló la bomba de agua, la tubería de riego principal y los laterales de riego para cada columna de cultivo. Se procedió a sembrar las plantas de frutilla en los orificios de cada recipiente. El área del donde se realizó el experimento fue de 24 m², teniendo una densidad de siembra de 42 plantas.m².

3.3.8 Conformación de los tratamientos

Se formó 7 bloques, en cada bloque se dispuso de 12 unidades experimentales (sustratos, tabla 12), cada unidad experimental estuvo compuesta por 6 unidades muestrales. Las unidades muestrales son las plantas de *Fragaria x ananassa* var. Albión.

3.3.9 Variables de respuesta

3.3.9.1 Altura de la planta

Esta variable se dividió en 5 muestreos a los 20, 40, 60, 80 y 100 días después del trasplante (ddt), en cada muestreo con la ayuda de un flexómetro se midió la altura de la planta desde el cuello de la corona hasta la punta del ápice de la hoja más grande.

3.3.9.2 Número de hojas

Se contó y registró las hojas compuestas de las plantas existentes en cada unidad experimental a los 20, 40, 60, 80 y 100 ddt.

3.3.9.3 Peso y tamaño del fruto

De cada cosecha, los frutos se pesaron utilizando una balanza electrónica digital marca Cambry (0.01g – 320 g), después se tomó las medidas de la longitud y del ancho del fruto mediante vernier tipo regla.

3.3.9.4 Clorofila en hojas

Para la medición de clorofila, se utilizó las normas descritas por Cadahía (1892), donde se escogió 1 hojas por cada sustrato, estas deben constar de las siguientes características: ser hojas adultas más jóvenes totalmente desarrolladas y obtenidas en las épocas de floración de la planta.

De cada hoja se pesó 0.25 gramos de material vegetal de *Fragaria x ananassa* var. Albión y se colocó durante 15 minutos al congelador. Después de este tiempo en un mortero de porcelana se añadió 2.5 ml de alcohol etílico al 86% y se trituró la muestra hasta homogenizarla. Se colocó el macerado en frascos ámbar de 30 ml y se los llevó a refrigeración a 4°C durante 1 día.

El siguiente día se retiró las muestras de la refrigeración y se procedió a completar la trituración del macerado, inmediatamente se pesó el macerado a tubos de ensayo y se aforó hasta 6.5 ml. Se procedió a centrifugar los tubos de ensayo en una centrifugadora marca DYNAC a 5000 revoluciones por 20 minutos. En un cuarto oscuro con una micropipeta capacidad 1000 ul a 5000 ul se extrajo la parte no sedimentada de la muestra y se procedió a medir la clorofila en un espectrofotómetro marca WTW (COND-730) a 649 y 664 nm.

Se utilizará las siguientes ecuaciones:

$$\text{Clorofila } \alpha = 13.36 \times A_{664nm} - 5.19 \times A_{649nm}$$

$$\text{Clorofila } \beta = 27.43 \times B_{649nm} - 8.12 \times B_{664nm}$$

3.3.9.5 Sólidos solubles (°Brix) en el fruto

De cada frutilla se procedió a extraer 1 gota de su jugo, se colocó en un refractómetro digital marca ATAGO (PAL – 1), se registró los datos y se limpió el refractómetro con un paño seco para seguir con las mediciones de las demás muestras. Esto se realizó cada cosecha de frutos.

3.3.9.6 Medición del Área foliar

Para la medición del área foliar, se procedió, a 1 planta de cada unidad experimental, a cortar las hojas y separar los peciolo de las hojas. Luego se escaneó las hojas y se convirtió las imágenes a formato .jpg para poder procesarlas. Con la ayuda del programa IMAGE-J se midió el área foliar de cada hoja.

3.3.9.7 Protocolo de determinación de nitrógeno por el método de Kjeldahl

Equipos y materiales. Balanza analítica marca KERN 770, ($d=0.001$ g). Equipo Manto calefactor Kjeldahl, unidad de destilación Kjeldahl, sistema de titulación, tubos Kjeldahl, matraz de 250 ml.

Insumos y reactivos. Ácido sulfúrico concentrado, solución de hidróxido de sodio al 15%, solución indicadora de rojo de metileno al 0.1% y azul de metileno 0.1% en etanol, ácido bórico al 4% y solución de ácido clorhídrico 0.1 N.

Procedimiento. Se debe pesar 1.5 g de muestra previamente secada en una estufa a 90 grados Centígrados. En un tubo de Kjeldahl se coloca la muestra previamente pesada, se le añade 15 ml de ácido sulfúrico y una tableta de digestión de Kjeldahl. Se lleva a la estufa 15 minutos a 150 °C, otros 15 minutos a 250 °C y 60 minutos a 420 °C.

Se retira de la estufa y se deja enfriar por alrededor de 15 minutos. Una vez fría la muestra, se le añade 75 ml de agua destilada, aparte se prepara en un matraz de 250 ml, 30 ml de ácido bórico al 4% con 2 gotas de la solución indicador.

Se procede a destilar la muestra en la unidad de destilación Kjeldahl. Y se coloca el matraz preparado para recibir la destilación.

Una vez destilada la muestra se procede a titular con ácido clorhídrico, hasta que la muestra destilada se torne a un color rosa opaco. Se lee la cantidad de ácido clorhídrico gastado y se registra.

Se utiliza la siguiente ecuación para determinar la concentración de nitrógeno:

$$\%N = \frac{14 \times N \times V \times 100}{m \times 1000}$$

donde: N=Normalidad de la solución; V=Gasto de titulación de HCL al 0.1 N y m=masa de la muestra en gramos

3.3.9.8 Protocolo para la determinación de iones mediante absorción atómica

Equipos y materiales: tubos de ensayo, micropipeta, balón aforado de 50 ml, papel filtro de 125 mm, espectro fotómetro de absorción atómica marca SHIMADZU, espectro fotómetro marca WTW.

Insumos y reactivos: ácido clorhídrico 2N, agua desionizada, solución de óxido de Lantano.

Procedimiento. Se recolectó hojas de *Fragaria x ananassa*, luego se procedió a secarlas en una estufa marca Labor – Technik, durante 24 horas a una temperatura de 90 grados Centígrados. Después se procedió a triturar las muestras y pesar tres gramos de cada muestra. A continuación se calcinó las muestras en una mufla a 500 °C durante 4 horas en crisoles de porcelana. Pasado este tiempo se retiró los crisoles de mufla evitando que se expongan al aire por mucho tiempo,

luego se colocó 2 ml de agua desionizada en el crisol, para humedecer la ceniza. Seguidamente se agregó 10 ml de ácido clorhídrico 2N y se procedió a calentar el crisol en una plancha de calentamiento hasta llegar al punto de ebullición. Previamente se colocó un embudo de cristal dentro del balón aforado de 50 ml y se colocó el papel filtro de 125 mm. Cuidadosamente, el contenido del crisol se filtró al balón aforado.

Se esperó hasta que el contenido se haya filtrado en su totalidad y se procedió a aforar el balón de 50 ml con agua desionizada.

Para el análisis de hierro, cobre y zinc se utilizó 9 ml del contenido directo del balón.

Para el contenido de sodio y potasio se mezcló 9 ml de lantano, 1 ml de la muestra del balón y ml de agua desionizada.

Para calcio y magnesio se diluyó 0.5 ml de la muestra del balón un 9.5 ml de lantano y 0.5 ml de agua desionizada.

Para manganeso se diluyó 5 ml de la muestra del balón con 0.5 ml de lantano. Después se calibró el espectrofotómetro de absorción atómica y se leyó las concentraciones de Fe a 248.3 nm, Cu a 324.8 nm, Zn a 213.9 nm, K a 766.5 nm, Na a 589 nm, Ca a 422.7 nm, Mg a 285.2 nm y Mn a 279.5 nm.

Para la medición de fósforo se utilizó 3 ml de la muestra del balón y se midió en un espectrofotómetro normal a 466 nm.

Se utilizó la siguiente ecuación para cálculo de los iones:

$$ion\ g.Kg^{-1} = \frac{(a - b) \times V}{m \times 1000}$$

donde: a=mg.l⁻¹ de ion en el filtrado de la muestra, b= mg.l⁻¹ promedio del ion en los filtrados de los blancos, V=volumen final en ml del filtrado (50 ml) y m=masa en g de la muestra.

3.4 Diseño experimental

3.4.1 Factores

En esta investigación se probó 4 tipos de sustratos: arena de río, cascarilla de arroz, pomina y aserrín de pino en diferentes combinaciones, para evaluar el efecto que tienen en el rendimiento del cultivo de frutilla en un sistema semi-hidropónico vertical.

3.4.2 Tratamientos

Tabla 6

Descripción de las diferentes relaciones de los sustratos que conforman los tratamientos

Sustrato	Descripción	Relación
T ₁	Pomina + Cascarilla arroz	1:1
T ₂	Pomina + Cascarilla arroz	3:1
T ₃	Arena de río + Cascarilla arroz	1:1
T ₄	Arena de río + Cascarilla arroz	3:1
T ₅	Pomina + Aserrín de pino	1:1
T ₆	Pomina + Aserrín de pino	3:1
T ₇	Aserrín de pino + Arena de río	1:1
T ₈	Aserrín de pino + Arena de río	3:1
T ₉	Pomina	1
T ₁₀	Aserrín de pino	1
T ₁₁	Arena de río	1
T ₁₂	Cascarilla arroz	1

3.4.3 Tipo de Diseño

En esta investigación se realizó un diseño experimental en bloques completamente al azar (DBCA), donde se probó 12 sustratos en 7 bloques. Cada recipiente con sustrato es una unidad experimental, esta investigación contó con 84 unidades experimentales en total.

3.4.4 Características de las unidades experimentales

Se contó con 84 unidades experimentales (U.E), cada unidad experimental tiene 6 unidades muestrales un total de 504 plantas de *Fragaria x ananassa* var. Albión. El área donde se realizó el estudio fue de 24 m², teniendo así una densidad de siembra de 42 plantas.m².

3.4.5 Croquis del experimento

Bloque VII	T1	T9	T5	T7	T8	T2	T10	T6	T4	T11	T12	T3
Bloque VI	T5	T1	T7	T2	T11	T12	T3	T10	T9	T4	T8	T6
Bloque V	T3	T8	T9	T4	T12	T1	T5	T6	T11	T10	T2	T7
Bloque IV	T2	T3	T1	T7	T10	T6	T11	T8	T4	T12	T9	T5
Bloque III	T2	T7	T4	T10	T9	T12	T3	T11	T5	T1	T8	T6
Bloque II	T4	T9	T7	T6	T1	T3	T10	T12	T11	T8	T5	T2
Bloque I	T3	T4	T11	T2	T9	T10	T5	T6	T8	T12	T7	T1

Figura 3 Distribución de los sustratos en campo

3.4.6 Análisis Estadístico

Se trabajará con el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + B_i + T_j + e_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = variable de respuesta

μ = media general

B_i = efecto de la i -ésima altura

T_j = efecto de la j -ésima combinación de sustrato

e_{ij} = error experimental

3.4.7 Coeficiente de variación

$$CV(\%) = \frac{\sqrt{CME}}{\times -media} * 100$$

3.5 Métodos específicos del manejo del experimento

3.5.1 Preparación solución nutritiva

Se utilizará la solución nutritiva “Yamazaki”.

Tabla 7

Partes por millón de los macro y micro elementos para el cultivo de fresa hidropónica

Nutriente (mg.l⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg
Macro nutrientes	77.04	15.03	117.29	40.09	12.5
Nutriente (µg.l⁻¹)	Fe	Mn	Zn	B	Mo
Micro nutrientes	3000	123.15	88.37	87.42	4.38

Nota. Recuperado de (A. Rodríguez, Chang, Hoyos, & Falcon, 2000).

Se elaboraron 2 soluciones madres A y B. En la primera solución concentrada (A) se mezclaron nitrato de amonio, nitrato de potasio y nitrato de calcio. La segunda solución madre

(B) se mezclaron los quelatos de: hierro, cobre, manganeso, molibdeno, zinc y boro, también se mezclaron fosfato monopotásico y el sulfato de magnesio. En las soluciones madres se mantuvo un pH de 5.5 a 6, para evitar problemas de sedimentación de nutrientes (Husaini & Neri, 2016).

3.5.2 Riego

La primera 1 semana se regó 2 veces al día manualmente, aplicando un promedio total de 200 ml de agua a cada plántula. Después de la segunda semana hasta el primer cuaje de flores se aplicó un total de 400 ml de solución nutritiva 2 veces en el día. En la fase de producción se aplicó en total 500 ml de solución nutritiva, 2 veces al día. (Rea, 2012). Los riegos se realizaron a las 11:00 am y 1:00 pm, con la automatización mediante un timer marca Century.

3.5.3 Manejo de malezas

En los sistemas semi-hidropónicos la incidencia de maleza es muy baja, por lo tanto, se realizaron monitoreos cada 15 días para verificar la presencia de malezas en el cultivo de frutilla. En caso de la presencia de malezas, se procederá a limpiar manualmente (Bianchi, 2000).

3.5.4 Podas

Se realizaron las primeras 2 semanas después del trasplante, podas de las primeras flores, para darle vigor a la planta. Cada 10 días se realizó la eliminación de estolones, esta práctica se realizó desde el principio del ciclo de cultivo hasta el final del experimento. Se realizó podas de mantenimiento cada 20 días, eliminando hojas secas o que ya cumplieron su función, con la finalidad de mejorar la aireación y así evitar problemas de hongos y bacterias por exceso de humedad. Cada 15 días se realizó podas fitosanitarias, eliminando todas las hojas, flores o frutos con ataques de alguna enfermedad (Morales et al., 2017).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Un total de 504 plantas de *Fragaria x ananassa* var Albión, fueron asignadas para su crecimiento y desarrollo en doce sustratos T1=(pomina + cascarilla de arroz 1:1), T2=(pomina + cascarilla de arroz 1:3), T3=(arena de río + cascarilla de arroz 1:1), T4=(arena de río + cascarilla de arroz 1:3), T5=(pomina + aserrín 1:1), T6=(pomina + aserrín 1:3), T7=(aserrín + arena de río 1:1), T8=(aserrín + arena de río 1:3), T9=(pomina), T10=(aserrín), T11=(arena de río), T12=(cascarilla de arroz).

Para seleccionar el sustrato que permita mayor desarrollo agronómico y productividad en el cultivo de *Fragaria x ananassa* en un sistema semi-hidropónico vertical, se evaluaron las siguientes variables: altura de la planta, número de hojas, número de flores, concentración de clorofilas alfa y beta, área foliar, peso del fruto, ancho del fruto, largo del fruto, °Brix del fruto, rendimiento y análisis foliar.

4.1.1 Caracterización de los sustratos antes de comenzar el experimento

Antes de iniciar el experimento es muy importante la caracterización de los sustratos que se utilizaron. Esto permitió visualizar las diferencias que existen entre los sustratos a evaluar. A continuación, se puede observar las propiedades físicas y químicas en cuanto a la: densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, porosidad total, capacidad de retención de humedad y granulometría de los sustratos evaluados.

Tabla 8
Propiedades físicas y químicas de los sustratos

Sustratos	DA (g.cm ⁻³)	pH	CE (ds.m ⁻¹)	PT (% v/v)	CRH (% p/p)	G (%)					
						>4mm	1.7-4mm	0.6-1.7mm	0.25-0.6mm	0.18-0.25mm	<0.18mm
T1	0.15	7.00	0.28	91.19	56.04	11.13	50.68	27.38	7.68	2.08	1.05
T2	0.14	7.22	0.40	91.27	52.49	16.69	39.90	28.25	10.47	3.12	1.58
T3	0.88	6.27	0.30	67.83	38.77	0.83	47.05	30.09	15.71	3.50	2.82
T4	1.24	7.03	0.60	56.23	44.82	1.25	34.45	32.31	22.52	5.25	4.22
T5	0.23	7.17	0.26	88.63	71.53	30.69	32.65	25.30	8.23	2.08	1.05
T6	0.18	7.27	0.19	89.99	56.18	34.91	34.42	23.39	5.72	1.04	0.53
T7	0.96	7.69	0.05	65.27	50.13	20.40	29.02	28.01	16.26	3.50	2.82
T8	1.28	7.24	0.07	54.95	65.13	11.03	25.43	31.27	22.79	5.25	4.22
T9	0.14	7.32	0.14	91.35	53.00	22.25	29.11	29.11	13.27	4.15	2.11
T10	0.31	6.22	0.14	85.91	129.72	39.13	36.19	21.49	3.20	N.D	N.D
T11	1.60	6.45	0.14	44.63	29.02	1.67	21.84	34.53	29.32	7.00	5.63
T12	0.15	6.84	0.36	91.03	92.93	N.D	72.26	25.65	2.09	N.D	N.D

*DA, densidad aparente; CE, conductividad eléctrica; PT, porosidad total; CRH, capacidad de retención de humedad; G, granulometría; N.D, no determinó. T1 = (pomina + cascarilla de arroz 1:1), T2=(pomina + cascarilla de arroz 1:3), T3=(arena de río + cascarilla 1:1), T4=(arena de río + cascarilla de arroz 1:3), T5=(pomina + aserrín 1:1), T6=(pomina + aserrín 1:3), T7=(aserrín + arena de río 1:1), T8=(aserrín + arena de río 1:3), T9=(pomina), T10=(aserrín), T11=(arena de río), T12=(cascarilla de arroz).

Para la variable densidad aparente, el sustrato arena de río presenta la mayor densidad con un promedio de 1.60 g.cm^{-3} , mientras que el sustrato pomina registró la menor densidad aparente de 0.14 g.cm^{-3} en comparación a los demás sustratos

El pH de los sustratos varió entre 6.22 a 7.69. La conductividad que nos reportan los sustratos varió entre 0.05 hasta 0.60 ds.m^{-1} . Se registró que los sustratos con mayor porcentaje de porosidad fueron los que contenían cascarilla de arroz y pomina, donde se encontró un valor superior al 90%, así mismo la combinación de estos sustratos reportaron valores de porosidad similarmente altos. La menor porosidad se encontró con el sustrato T11 (arena de río) con un 44.63%.

La mayor capacidad de retención de humedad se registró en el sustrato de aserrín con un promedio de 129.72%, en segundo lugar se encontró con una media de 92.93% al sustrato de cascarilla de arroz. Mientras que la menor capacidad de retención de humedad fue registrada por arena de río con un promedio de 29.02%

Se evidenció que el mayor porcentaje de partículas se encuentran en los 3 primeros tamices, sin embargo, los sustratos que contiene arena de río, la mayor cantidad de partículas se encuentra en los 3 últimos tamices.

4.1.2 Variables de crecimiento vegetativo: Altura, número de hojas, número de flores de la planta

4.1.2.1 Altura de la planta

La variable altura de planta para los diferentes sustratos en estudio; fueron tomados a los 20, 40, 60, 80 y 100 días después del trasplante (ddt) de acuerdo a lo presentado en la tabla 10.

Tabla 9

*Promedio ± error estándar del número de hojas de *Fragaria x ananassa* var. Albión medidas a los 20, 40, 60, 80 y 100 ddt, evaluada en diferentes sustrato*

Sustratos	Altura de <i>Fragaria x ananassa</i> var. Albión (cm)				
	20 ddt	40 ddt	60 ddt	80 ddt	100 ddt
T1	3.94 ± 0.24 a	6.60 ± 0.60 b	11.06 ± 1.50 c	13.37 ± 1.87 b	16.85 ± 1.42 b
T2	4.28 ± 0.32 a	7.23 ± 0.67 b	11.19 ± 0.76 c	12.59 ± 1.23 b	16.27 ± 1.66 b
T3	4.41 ± 0.28 a	8.08 ± 0.31 b	13.45 ± 0.91 b	14.06 ± 0.81 b	16.36 ± 0.77 b
T4	4.40 ± 0.35 a	7.51 ± 0.36 b	13.69 ± 0.74 b	15.13 ± 0.90 b	17.10 ± 1.45 b
T5	3.69 ± 0.19 a	5.62 ± 0.38 b	9.25 ± 1.12 c	10.9 ± 1.05 c	15.75 ± 1.27 b
T6	3.99 ± 0.19 a	6.87 ± 0.45 b	11.03 ± 0.98 c	12.22 ± 1.05 b	16.58 ± 0.97 b
T7	4.07 ± 0.32 a	6.17 ± 0.47 b	9.64 ± 1.04 c	10.04 ± 1.20 c	17.23 ± 0.70 b
T8	3.64 ± 0.20 a	5.95 ± 0.22 b	10.34 ± 0.42 c	10.91 ± 0.54 c	14.79 ± 1.65 b
T9	3.73 ± 0.41 a	6.65 ± 0.69 b	12.45 ± 1.57 b	14.84 ± 1.59 b	16.11 ± 1.30 b
T10	3.22 ± 0.19 a	5.37 ± 0.53 b	8.46 ± 0.45 d	9.40 ± 1.00 c	13.95 ± 1.87 b

CONTINÚA



T11	4.87 ± 0.22 a	10.02 ± 0.28 a	19.66 ± 0.83 a	22.47 ± 0.81 a	21.74 ± 0.69 a
T12	3.69 ± 0.43 a	6.77 ± 0.67 b	12.28 ± 1.09 b	14.64 ± 1.16 b	16.91 ± 0.87 b
p – valor	0.2002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0261

*Medias de una columna seguidas por una misma letra, no son significativamente diferentes (DGC; $p \leq 0.05$). T1 = (pomina + cascarilla de arroz 1:1), T2=(pomina + cascarilla de arroz 1:3), T3=(arena de río + cascarilla 1:1), T4=(arena de río + cascarilla de arroz 1:3), T5=(pomina + aserrín 1:1), T6=(pomina + aserrín 1:3), T7=(aserrín + arena de río 1:1), T8=(aserrín + arena de río 1:3), T9=(pomina), T10=(aserrín), T11=(arena de río), T12=(cascarilla de arroz).

En la medición a los 20 ddt la altura promedio de las plantas de todos los sustratos fueron similares, por lo que no se encontró diferencias estadísticas significativas entre los diferentes sustratos ($F=2.27$; $p=0.2002$).

Desde la medición a los 40 ddt hasta los 100 ddt, las plantas pertenecientes al sustrato T11 (arena de río) inician un mayor crecimiento en comparación con el resto de plantas de los otros sustratos. Terminando a los 100 ddt T11 con una altura promedio de 21.74 cm; mientras que los rangos promedios de la altura de las plantas de los otros sustratos variaron entre 13.95 cm hasta 17.23 cm ($F=2.18$; $p=0.0261$). Tabla 9.

4.1.2.2 Número de Hojas

La medición de la variable número de hojas por planta, se realizó a los 20 ddt, 40 ddt, 60 ddt, 80 ddt y 100 ddt (Tabla 11).

Tabla 10

*Promedio ± error estándar de la altura de *Fragaria x ananassa* var. Albión medidas a los 20, 40, 60, 80 y 100 días después del trasplante (ddt), evaluada en diferentes sustratos*

Sustratos	Número de hojas por planta de <i>Fragaria x ananassa</i> var. Albión				
	20 ddt	40 ddt	60 ddt	80 ddt	100 ddt
T1	1.79 ± 0.12	2.62 ± 0.16 b	3.79 ± 0.28	4.38 ± 0.26 b	7.36 ± 0.50 b
T2	1.81 ± 0.14	2.76 ± 0.17 b	3.93 ± 0.33	4.53 ± 0.52 b	7.79 ± 1.30 b
T3	1.09 ± 0.14	3.00 ± 0.15 b	4.28 ± 0.32	4.62 ± 0.24 b	7.12 ± 0.62 b
T4	1.52 ± 0.12	2.62 ± 0.18 b	4.04 ± 0.33	4.03 ± 0.23 b	6.88 ± 0.50 b
T5	1.55 ± 0.14	2.36 ± 0.26 b	3.44 ± 0.38	4.12 ± 0.39 b	7.93 ± 0.39 b
T6	1.66 ± 0.14	2.86 ± 0.34 b	3.78 ± 0.31	4.44 ± 0.31 b	8.01 ± 1.13 b
T7	1.98 ± 0.11	2.93 ± 0.19 b	3.76 ± 0.28	4.62 ± 0.28 b	9.36 ± 1.02 a
T8	1.63 ± 0.07	2.41 ± 0.15 b	3.56 ± 0.16	3.91 ± 0.18 b	7.25 ± 0.62 b
T9	1.56 ± 0.15	2.57 ± 0.23 b	3.91 ± 0.38	5.00 ± 0.41 b	9.64 ± 1.13 a
T10	1.74 ± 0.17	2.12 ± 0.12 c	3.29 ± 0.23	4.07 ± 0.25 b	8.29 ± 0.50 b
T11	1.82 ± 0.18	3.69 ± 0.45 a	4.58 ± 0.52	5.63 ± 0.65 a	9.89 ± 1.40 a
T12	1.62 ± 0.24	2.67 ± 0.14 b	4.07 ± 0.25	4.67 ± 0.22 b	7.72 ± 0.69 b
p – valor	0.3866	0.0151	0.1396	0.0083	0.0166

*Medias de una columna seguidas por una misma letra, no son significativamente diferentes (DGC; $p \leq 0.05$). T1 = (pomina + cascarilla de arroz 1:1), T2=(pomina + cascarilla de arroz 1:3), T3=(arena de río + cascarilla 1:1), T4=(arena de río + cascarilla de arroz 1:3), T5=(pomina + aserrín 1:1), T6=(pomina + aserrín 1:3), T7=(aserrín + arena de río 1:1), T8=(aserrín + arena de río 1:3), T9=(pomina), T10=(aserrín), T11=(arena de río), T12=(cascarilla de arroz).

No se encontraron diferencias estadísticas para los 20 ddt ($F=1.09$; $p=0.3866$) y 60 ddt ($F=1.54$; $p=0.01396$) (Tabla 10).

A los 40 ddt ($F=2.38$; $p=0.0151$), 80 ddt ($F=2.60$; $p=0.0083$) y 100 ddt ($F=2.34$; $p=2.34$) se encontraron diferencias significativas. Tanto para los 40 ddt (3.69 ± 0.45) y para los 80 ddt (5.63 ± 0.65) el sustrato con el mayor número de hojas fue el T11 (arena de río), y para los 100 ddt los sustratos que presentaron mayor número de hojas con respecto a los demás sustratos fueron T11 (arena de río) con 9.98 ± 1.40 hojas.planta⁻¹, T9 (pomina) con 9.64 ± 1.13 hojas.planta⁻¹ y T7 (aserrín + arena de río 1:1) con 9.36 ± 1.02 hojas.planta⁻¹ con puede apreciarse en la Tabla 10.

4.1.2.3 Concentración de clorofilas: Clorofila α , Clorofila β y Clorofila total

Se analizó las clorofilas α , β y total para las diferentes alturas de siembra y para los diferentes sustratos.

Tabla 11

Promedio ± error concentración de clorofilas en Fragaria x ananassa var. Albión medidas a los 20, 40, 60, 80 y 100 días después del trasplante (ddt) y evaluada en diferentes sustratos

Fuente	Clorofila α (µg.ml⁻¹)	Clorofila β (µg.ml⁻¹)	Clorofila Total (µg.ml⁻¹)
Altura de siembra (cm)	NS	NS	NS
Sustratos	*	**	*
Altura de siembra (cm)			
35	30.06 ± 0.94	33.73 ± 3.20	63.79 ± 3.72
60	29.04 ± 1.17	24.89 ± 2.87	53.93 ± 3.78
85	29.25 ± 0.99	29.69 ± 3.82	58.95 ± 4.33
110	27.10 ± 1.67	22.30 ± 2.81	49.39 ± 4.27
135	30.39 ± 2.40	28.98 ± 3.84	59.37 ± 5.23
160	29.70 ± 0.56	31.69 ± 3.59	61.39 ± 3.85
185	29.59 ± 1.21	27.78 ± 2.66	57.37 ± 3.68
Sustratos			
T1	30.51 ± 0.70 a	32.24 ± 4.66 a	62.84 ± 4.78 a
T2	27.28 ± 1.67 b	26.35 ± 5.22 a	53.63 ± 6.67 a
T3	25.80 ± 2.24 b	29.61 ± 6.42 a	55.41 ± 0.36 a
T4	29.35 ± 1.78 a	27.38 ± 4.45 a	56.72 ± 5.60 a
T5	28.90 ± 1.11 a	24.80 ± 4.79 a	53.70 ± 5.44 a
T6	34.68 ± 3.29 a	30.95 ± 2.73 a	65.64 ± 4.55 a
T7	29.71 ± 1.31 a	29.89 ± 4.91 a	59.60 ± 5.49 a
T8	28.65 ± 1.54 a	28.90 ± 4.17 a	57.55 ± 5.31 a
T9	25.19 ± 1.90 b	18.01 ± 3.13 b	43.20 ± 4.94 b
T10	30.54 ± 0.87 a	28.31 ± 3.76 a	58.85 ± 4.18 a
T11	29.91 ± 0.53 a	27.13 ± 3.58 a	57.04 ± 4.00 a

CONTINÚA



T12	31.12 ± 0.28 a	37.57 ± 2.38 a	68.69 ± 2.12 a
-----	----------------	----------------	----------------

*Medias de una columna seguidas por una misma letra, no son significativamente diferentes (DGC; $p \leq 0.05$). NS, No significativo; *, significativo a $p \leq 0.05$; **, significativo a $p \leq 0.01$. T1 = (pomina + cascarilla de arroz 1:1), T2=(pomina + cascarilla de arroz 1:3), T3=(arena de río + cascarilla 1:1), T4=(arena de río + cascarilla de arroz 1:3), T5=(pomina + aserrín 1:1), T6=(pomina + aserrín 1:3), T7=(aserrín + arena de río 1:1), T8=(aserrín + arena de río 1:3), T9=(pomina), T10=(aserrín), T11=(arena de río), T12=(cascarilla de arroz).

En este estudio experimental se evidenció que la cantidad de luz solar fue uniforme para todas las plantas en las diferentes alturas de siembra. Se encontró que las concentraciones de clorofila α ($F=0.72$; $p=0.6373$) y clorofila β ($F=1.45$; $p=0.2105$) en las diferentes alturas de siembra no presentaron diferencias estadísticamente significativas, como se puede observar en la Tabla 11.

Se evidenció una diferente concentración de clorofilas α y β según las plantas de los diferentes sustratos. Las plantas de los sustratos con mayor concentración de clorofila α se encontraron en un rango de 28.65 hasta 34.68 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. Mientras que los sustratos T2 (pomina + cascarilla de arroz 1:3), T3 (arena de río + cascarilla de arroz 1:1) y T9 (pomina) presentaron menor concentración de clorofila α ; estos sustratos se diferenciaron estadísticamente ($F=2.29$; $p=0.0193$). Las plantas de los sustratos con mayor concentración de clorofila β se encontraron en un rango de 24.80 hasta 37.57 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. El sustrato T9 presentó menor concentración de clorofila β , siendo esta diferencia estadísticamente significativa ($F= 2.73$; $P=0.0057$). Como se puede observar en la Tabla 11.

4.1.3 Variables productivas: Área foliar, Peso del fruto, ancho del fruto, longitud del fruto y °Brix del fruto

Tabla 12

Promedio ± error estándar del área foliar, peso, longitud, ancho y grados brix del fruto de Fragaria x ananassa var. Albión medidas a diferentes alturas de siembra y en diferentes sustratos

Fuente	Área foliar (cm ²)	Peso Fruto (g)	Longitud Fruto (cm)	Ancho Fruto (cm)	°Brix Fruto (°Bx)	Rendimiento (Tn.kg ⁻¹ . año ⁻¹)
Altura siembra (cm)	**	NS	NS	NS	*	**
Sustratos	**	**	NS	NS	*	*
Altura siembra (cm)						
35	666.56 ± 37.40 c	24.96 ± 1.59	4.71 ± 0.09	3.57 ± 0.08	7.96 ± 0.28 b	18.75 ± 0.23 c
60	570.20 ± 42.26 c	25.12 ± 1.39	4.70 ± 0.10	3.37 ± 0.10	7.73 ± 0.20 b	23.51 ± 0.61 c
85	581.55 ± 77.72 c	23.96 ± 1.55	4.74 ± 0.23	3.52 ± 0.12	7.89 ± 0.25 b	25.10 ± 0.38 c
110	846.54 ± 100.38 c	26.03 ± 1.55	4.81 ± 0.11	3.59 ± 0.09	8.61 ± 0.23 b	35.20 ± 0.59 c
135	785.54 ± 100.39 c	26.10 ± 0.89	4.87 ± 0.08	3.57 ± 0.07	8.03 ± 0.17 b	54.54 ± 1.03 b
160	1143.34 ± 140.04 b	24.25 ± 1.04	4.63 ± 0.10	3.47 ± 0.06	8.27 ± 0.25 b	62.89 ± 1.47 b
185	2316.28 ± 225.04 a	23.06 ± 0.89	4.69 ± 0.07	3.40 ± 0.06	9.48 ± 0.25 a	100.57 ± 1.90 a
Sustratos						
T1	916.88 ± 168.00 a	24.12 ± 1.02 b	4.69 ± 0.08	3.51 ± 0.05	7.99 ± 0.32 a	47.71 ± 1.49 b
T2	1100.42 ± 386.70 a	27.58 ± 1.39 a	4.78 ± 0.07	3.73 ± 0.09	8.44 ± 0.31 a	62.65 ± 3.52 b
T3	790.75 ± 207.11 b	24.06 ± 1.83 b	4.82 ± 0.15	3.41 ± 0.11	7.99 ± 0.35 a	54.63 ± 1.88 b
T4	628.80 ± 62.64 b	26.56 ± 2.46 a	4.89 ± 0.23	3.64 ± 0.14	8.59 ± 0.25 a	27.63 ± 0.46 b
T5	885.14 ± 392.93 a	26.12 ± 1.90 a	4.84 ± 0.10	3.60 ± 0.11	8.31 ± 0.30 a	24.09 ± 0.63 b

CONTINÚA



T6	1241.88 ± 386.01 a	23.76 ± 1.26 b	4.61 ± 0.09	3.21 ± 0.12	8.57 ± 0.53 a	31.70 ± 1.05 b
T7	1036.93 ± 226.93 a	23.47 ± 1.02 b	4.58 ± 0.10	3.49 ± 0.09	7.97 ± 0.59 a	32.91 ± 0.50 b
T8	992.10 ± 207.56 a	21.70 ± 0.51 b	4.86 ± 0.15	3.53 ± 0.13	7.52 ± 0.59 b	34.98 ± 1.04 b
T9	1005.50 ± 261.89 a	24.39 ± 1.47 b	4.68 ± 0.12	3.41 ± 0.09	8.44 ± 0.44 a	76.53 ± 2.22 a
T10	1104.44 ± 295.31 a	21.35 ± 2.05 b	4.33 ± 0.32	3.35 ± 0.14	8.55 ± 0.16 a	39.01 ± 1.18 b
T11	1233.54 ± 313.02 a	26.82 ± 2.23 a	4.94 ± 0.14	3.53 ± 0.11	8.41 ± 0.27 a	85.92 ± 1.91 a
T12	907.35 ± 186.33 a	27.27 ± 1.20 a	4.83 ± 0.05	3.55 ± 0.04	8.62 ± 0.28 a	31.62 ± 0.79 b

*Medias de una columna seguidas por una misma letra, no son significativamente diferentes (DGC; $p \leq 0.05$). NS, No significativa; *, significativa a $p \leq 0.05$; **, significativa a $p \leq 0.01$. T1 = (pomina + cascarilla de arroz 1:1), T2=(pomina + cascarilla de arroz 1:3), T3=(arena de río + cascarilla 1:1), T4=(arena de río + cascarilla de arroz 1:3), T5=(pomina + aserrín 1:1), T6=(pomina + aserrín 1:3), T7=(aserrín + arena de río 1:1), T8=(aserrín + arena de río 1:3), T9=(pomina), T10=(aserrín), T11=(arena de río), T12=(cascarilla de arroz)

4.1.3.1 Área foliar

En el presente experimento se encontraron diferencias significativas ($F=28.18$; $p=0.0001$) en el área foliar, cuando se comparó las diferentes alturas de siembra. Encontrándose que a una altura de siembra de 185 cm, el área foliar fue de $2316.28 \pm 225.04 \text{ cm}^2$, mientras que a una altura de siembra de 35 cm, el área foliar fue de $666.56 \pm 47.40 \text{ cm}^2$.

En lo referente al área foliar con respecto a los diferentes sustratos investigados; las plantas de los sustratos con mayor área foliar estuvieron en un rango de $885.14 \pm 396.93 \text{ cm}^2$ hasta $1241.88 \pm 386.01 \text{ cm}^2$. Las plantas de los sustratos T3 (Arena + cascarilla 1:1) y

T4 (Arena + cascarilla 1:3) desarrollaron menor área foliar. Demostrándose que la interacción de arena de río + cascarilla de arroz fue negativa para el desarrollo del follaje de las plantas ($F=2.62$; $p=0.0079$). Tabla 12.

4.1.3.2 Peso del fruto

No se encontró diferencias significativas en el peso del fruto con respecto a las alturas de siembra ($F=0.80$; $p=0.5756$). Tabla 12.

Los mejores pesos se registraron en los sustratos T2 (pomina + cascarilla 1:3) con $27.58g \pm 1.39g$, T4 (arena de río + cascarilla de arroz 1:3) $26.57g \pm 2.46g$, T5 (pomina + aserrín 1:1) con $26.12g \pm 1.90g$, T11 (arena de río) con $26.82g \pm 2.23g$ y T12 (cascarilla de arroz) con $27.27g \pm 1.20g$. Estos pesos de los frutos más altos son estadísticamente significativos. ($F=3.53$; $p=0.0006$). Como puede apreciarse en la Tabla 12.

4.1.3.3 Longitud del fruto

No se encontraron diferencias significativas de la longitud del fruto con respecto a la altura de la siembra ($F=0.43$; $p=0.8530$). Así también no se encontraron diferencias significativas con respecto los diferentes sustratos ($F=1.83$; $p=0.0657$). Tabla 12.

4.1.3.4 Ancho del fruto

No se encontraron diferencias significativas del ancho del fruto con respecto a la altura de la siembra ($F=1.68$; $p=0.0974$). Así también no se encontraron diferencias significativas del ancho del fruto con respecto los diferentes sustratos ($F=1.15$; $p=0.3450$). Tabla 12.

4.1.3.5 °Brix del fruto

Se encontraron diferencias estadísticas en los °Brix del fruto en el último piso de siembra (185 cm) ($F=6,77$; $p=0.0001$). Tabla 12.

Los frutos con mayor cantidad de °Brix se encuentran en un rango de 8.62 ± 0.28 °Brix hasta 7.97 ± 0.59 °Brix. La cantidad de azúcares presentes en el fruto fue menor en T8 (aserrín + arena de río 1:3) siendo esto estadísticamente significativo ($F=2,21$; $p=0.0241$). Tabla 12.

4.1.3.6 Rendimiento

En este estudio se encontró que rendimiento total aumenta conforme se eleva la altura de siembra. El último piso de siembra registró el mayor rendimiento promedio ($100.57 \text{ Tn.kg}^{-1}.\text{año}^{-1}$) mientras que el menor rendimiento lo registró el primer piso de altura de siembra ($18.75 \text{ Tn.kg}^{-1}.\text{año}^{-1}$). La diferencia de rendimiento entre los pisos extremos es de $81.82 \text{ Tn.kg}^{-1}.\text{año}^{-1}$. Esta diferencia es altamente significativa ($F=9,14$; $p=0.0001$). Ver Tabla 12.

Por otra parte, se encontró que el rendimiento es mayor en los sustratos T9 (pomina) y T11 (arena de río), difiriendo estadísticamente con los demás sustratos. ($F=2,35$; $p=0.0162$). Tabla 12

Tabla 13

*Coeficientes de correlación de Pearson de las variables productivas en *Fragaria x ananassa* var. Albión*

Variables	AF	PF	LF	ANF	BF	RT
AF	1	-0.07	-0.01	-0.1	0.36*	0.45*
PF		1	0.77*	0.74*	0.23*	0.09
LF			1	0.69*	0.11	0.12
ANF				1	0.08	0.06
BF					1	0.06
R						1

NS, No significativa; *, significativa a $p \leq 0.05$; **, significativa a $p \leq 0.01$. AF, área foliar (cm^2); PF, peso del fruto (g); LF, longitud del fruto (cm); ANF, ancho del fruto (cm); BF, grados brix del fruto (°BX); RT, rendimiento.

Se realizaron correlaciones de Pearson para las diferentes variables productivas en el estudio. Se encontró que a mayor área foliar mayor °Brix ($p < 0.05$) y mayor rendimiento ($p < 0.001$). A mayor peso del fruto mayor longitud del fruto ($p < 0.05$) y mayor °Brix ($p < 0.05$)

4.1.4 Análisis foliar

4.1.4.1 Nitrógeno

De acuerdo al análisis foliar se encontró que en el último piso de siembra (185 cm) existe mayor cantidad de nitrógeno, el resto de los pisos tienen concentraciones similares. Esta diferencia entre el último piso de siembra (185 cm) y los otros pisos de siembra, son estadísticamente significativa ($F=7,11$; $p=0,001$).

En cuanto a la concentración de nitrógeno foliar, se encontró que hay mayor concentración de nitrógeno foliar en los siguientes sustratos: T5 (pomina + aserrín 1:1); T7 (aserrín + arena 1:1); T8 (aserrín + arena 1:3) y T10 (aserrín). Todos estos sustratos tienen en su composición aserrín. La diferencia de concentración de nitrógeno foliar en estos sustratos es estadísticamente significativa ($F=2,81$; $p=0,0047$).

4.1.4.2 Fósforo

No hay diferencias en la concentración de fósforo foliar en las plantas en los diferentes niveles de altura de siembra ($F=2.11$; $p=0.0642$).

Las plantas con mayor concentración foliar de fósforo están localizadas en los sustratos T5 (pomino + aserrín 1:1); T6 (pomino + aserrín); T8 (aserrín + arena 1:3); T9 (pomina); T10 (aserrín); T12 (cascarilla de arroz). Las diferencias son estadísticamente significativas ($F= 3.74$; $p=0.0004$).

4.1.4.3 Calcio, Magnesio, Potasio y Manganeso

No se encontró diferencias estadísticas significativas en las concentraciones foliares de estos iones en las plantas, tanto en las diferentes alturas de siembra, como en los sustratos evaluados ($p > 0.05$).

Tabla 14

Promedio ± error estándar de la concentración de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Hierro y Manganeso en Fragaria x ananassa var. Albión medidas a diferentes alturas de siembra y en diferentes sustratos

Fuente	N g.Kg⁻¹	P g.Kg⁻¹	K g.Kg⁻¹	Ca g.Kg⁻¹	Mg g.Kg⁻¹	Fe mg.Kg⁻¹	Mn mg.Kg⁻¹
Altura de siembra (cm)	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Sustratos	**	**	NS	NS	NS	*	NS
Altura de siembra (cm)							
35	2.27 ± 0.06 b	0.43 ± 0.03	2.07 ± 0.17	1.51 ± 0.11	0.47 ± 0.04	2.72 ± 0.94	2.69 ± 0.65
60	2.24 ± 0.09 b	0.49 ± 0.01	2.01 ± 0.19	1.40 ± 0.11	0.55 ± 0.04	2.31 ± 0.81	2.18 ± 0.44
85	2.30 ± 0.07 b	0.48 ± 0.01	2.18 ± 0.18	1.20 ± 0.06	0.51 ± 0.04	1.66 ± 0.32	2.45 ± 0.51
110	2.09 ± 0.06 b	0.50 ± 0.01	2.14 ± 0.19	1.23 ± 0.11	0.50 ± 0.04	2.54 ± 0.60	1.92 ± 0.25
135	2.09 ± 0.07 b	0.50 ± 0.01	2.31 ± 0.22	1.43 ± 0.12	0.47 ± 0.05	1.65 ± 2.27	1.51 ± 0.23
160	2.18 ± 0.05 b	0.46 ± 0.02	2.01 ± 0.19	1.52 ± 0.90	0.45 ± 0.03	2.20 ± 0.49	2.00 ± 0.34
185	2.58 ± 0.09 a	0.51 ± 0.01	1.81 ± 0.15	1.56 ± 0.10	0.46 ± 0.04	2.03 ± 0.34	1.60 ± 0.28
Sustratos							
T1	2.16 ± 0.11 b	0.47 ± 0.01 b	2.01 ± 0.26	1.40 ± 0.14	0.49 ± 0.04 b	2.70 ± 0.70 a	2.80 ± 0.81
T2	2.10 ± 0.13 b	0.47 ± 0.01 b	1.78 ± 0.22	1.32 ± 0.13	0.64 ± 0.06 a	1.55 ± 0.30 a	2.95 ± 0.52
T3	2.26 ± 0.11 b	0.45 ± 0.03 b	1.77 ± 0.23	1.32 ± 0.17	0.42 ± 0.05 b	1.04 ± 0.18 b	1.71 ± 0.27
T4	2.25 ± 0.06 b	0.48 ± 0.02 b	2.07 ± 0.28	1.53 ± 0.12	0.47 ± 0.06 b	3.17 ± 1.06 a	2.72 ± 0.55
T5	2.35 ± 0.11 a	0.50 ± 0.01 a	1.67 ± 0.19	1.24 ± 0.13	0.61 ± 0.04 a	1.74 ± 0.67 b	1.27 ± 0.27

CONTINÚA



T6	2.23 ± 0.08 b	0.51 ± 0.02 a	2.05 ± 0.28	1.28 ± 0.14	0.46 ± 0.04 b	2.87 ± 1.33 b	1.93 ± 0.55
T7	3.51 ± 0.09 a	0.46 ± 0.02 b	2.04 ± 0.24	1.64 ± 0.11	0.50 ± 0.07 b	1.84 ± 0.58 a	2.64 ± 0.31
T8	2.39 ± 0.12 a	0.50 ± 0.03 a	2.18 ± 0.22	1.23 ± 0.13	0.55 ± 0.04 b	3.51 ± 1.39 a	2.82 ± 0.97
T9	2.07 ± 0.08 b	0.50 ± 0.02 a	2.42 ± 0.18	1.35 ± 0.12	0.46 ± 0.04 b	1.60 ± 0.50 b	1.61 ± 0.36
T10	2.38 ± 0.13 a	0.52 ± 0.01 a	2.20 ± 0.29	1.62 ± 0.09	0.51 ± 0.06 b	1.89 ± 0.31 b	1.39 ± 0.32
T11	2.12 ± 0.08 b	0.45 ± 0.05 b	2.35 ± 0.21	1.42 ± 0.16	0.43 ± 0.07 b	2.05 ± 0.52 b	1.56 ± 0.33
T12	2.15 ± 0.09 b	0.50 ± 0.02 a	2.38 ± 0.26	1.54 ± 0.17	0.42 ± 0.05 b	1.95 ± 0.39 b	1.15 ± 0.29

*Medias de una columna seguidas por una misma letra, no son significativamente diferentes (DGC; $p \leq 0.05$). NS, No significativo; *, significativo a $p \leq 0.05$; **, significativo a $p \leq 0.01$. T1 = (pomina + cascarilla de arroz 1:1), T2=(pomina + cascarilla de arroz 1:3), T3=(arena de río + cascarilla 1:1), T4=(arena de río + cascarilla de arroz 1:3), T5=(pomina + aserrín 1:1), T6=(pomina + aserrín 1:3), T7=(aserrín + arena de río 1:1), T8=(aserrín + arena de río 1:3), T9=(pomina), T10=(aserrín), T11=(arena de río), T12=(cascarilla de arroz).

4.1.4.4 Hierro

No hay diferencias significativas en la concentración de hierro foliar en las plantas sembradas en las diferentes alturas de siembra ($F=1,22$; $p=0,30$).

Si, se encontró mayores concentraciones de hierro foliar en las plantas de los siguientes sustratos: T1 (pomina + cascarilla de arroz 1:1); T2 (pomina +cascarilla de arroz 1:3); T4 (arena de río + cascarilla 1:3); T7 (aserrín + arena de río 1:1); T8 (aserrín + arena de río 1:3). Estas diferencias en la concentración de hierro foliar son estadísticamente significativas ($F=1,83$; $p=0,0357$).

4.2 Discusión

Se han realizado múltiples intentos de encontrar un sustrato óptimo para alcanzar el mejor rendimiento en el cultivo de *Fragaria x ananassa* var. Albión. En esta investigación se analizó básicamente cuatro sustratos y sus diferentes combinaciones.

Caracterización de los sustratos a evaluarse para un cultivo semi-hidropónico de Fragaria x ananassa var. Albión con el fin de conocer sus propiedades físicas y químicas para un manejo adecuado en campo

4.2.1 Sustratos

Bowman & J. L. (1993), Cabrera (1999) y Martínez & Roca (2011) describen que las propiedades físicas y químicas ideales de un sustrato para la producción de cultivos semi-hidropónicos deben poseer las siguientes propiedades: una densidad aparente $< 0.75 \text{ g.cm}^3$, porosidad total $> 70\%$ en volumen, capacidad de retención de humedad entre $55 - 70\%$, el tamaño de la partícula en base al peso de $10 - 2 \text{ mm}$ debe ser $< 20\%$; entre $2 - 0.5 \text{ mm}$ debe ser $> 60\%$; y un 20% de partículas $< 0.5 \text{ mm}$, la conductividad eléctrica entre $0 - 1.0 \text{ dS.m}^{-1}$ y el pH debe mantenerse entre un rango de 5 a 6.5. En la presente investigación los sustratos T10 (aserrín) y T12 (cascarilla de arroz) son los que mejor se ajustaron a los parámetros descritos anteriormente, sin embargo, las plantas que se desarrollaron en estos sustratos tuvieron un menor rendimiento, en comparación con T9 (pomina) y T11 (arena de río) que presentaban características muy distintas sobre todo en densidad aparente, porosidad total y capacidad de retención de humedad, con lo que se obtuvo el mayor rendimiento.

*Selección del sustrato más productivo en *Fragaria x ananassa* var. Albión en un sistema semi-hidropónico vertical*

4.2.2 Altura

En la presente investigación se pudo evidenciar que las plantas de *Fragaria x ananassa* var. Albión que se desarrollaron en el sustrato T11 (arena de río), registraron los mayores promedios de alturas en el transcurso del experimento. Estos resultados concuerdan con investigaciones realizadas por Rea (2012) y Mejía (2017) en el cultivo de *F. chiloensis* y *F. vesca* respectivamente, donde registraron que el mayor promedio de altura se obtuvo en las plantas que se desarrollaron en los sustratos arena de río + turba + bagazo de caña y arena de río + turba + hummus. Otro estudio realizado por Diputado, Loreto & Mangmang (2005) en el cultivo de *Brassica napus* L. demostró que a lo largo del estudio las mayores alturas promedio, se obtuvieron en plantas que crecieron en sustratos que contenían arena de río. Según Calderón (2002) y Cabrera (1999) señalan dos ventajas que posee la arena de río como sustrato para su utilización en la semi-hidroponía; la primera es su poder amortiguador cuando interactúa con la solución nutritiva, manteniendo un pH constante para evitar la disminución de la fracción disponible de nutrientes para la planta; y la segunda es la de mantener la uniformidad del sistema de riego, y así evitar zonas poco húmedas o secas que se pueda presentar en el sustrato. Estas dos razones podrían explicar lo que paso en el presente experimento donde T11 (arena de río) presento una mayor altura.

4.2.3 Hojas

El número de hojas es importante para determinar el mejor rendimiento de una planta. En el presente estudio encontramos que a partir del día 80 ddt tres sustratos son los que se diferencia de los todos los otros, las plantas con mayor número de hojas pertenecen a los sustratos T7 (aserrín + arena de río 1:1); T9 (pomina) y T11 (arena de río). Mendoza en el 2015 también utilizó arena de río con muchas combinaciones, llegando a obtener un número de hojas mayor que en este estudio (11 – 14 hojas en promedio). Mamani (2015), utilizó diferentes concentraciones de arena de río y cascarilla, llegó a obtener un promedio entre 11 a 14 hojas por planta. En una relación 1:1 de arena de río y cascarilla, similar a este experimento, llegó a tener 12 hojas en promedio por planta, en la presente investigación solamente se llegó a obtener un promedio de 7.12 hojas por planta. Esto se pudo deber a que en la investigación desarrollada por Mamani utilizó una solución nutritiva diferente. No se encontró estudios con sustratos de pomina que describan el número de hojas por planta.

4.2.4 Clorofila

En la presente investigación se pudo evidenciar que el contenido de clorofilas alfa y beta no fueron significativamente diferentes, a pesar de que la estructura vertical de la investigación generó sombras en los pisos inferiores. Estos resultados son similares al estudio realizado por Casierra & Rojas (2009) en hojas de fresa, el cual demostró que no existe una relación directa en el contenido de clorofila beta causado por el sombreado de la planta. Sin embargo, varias investigaciones afirman que hay mayor cantidad de clorofila beta en las partes sombreadas de la planta. (Souza & Válio, 2003)

4.2.5 Área foliar

En esta investigación se encontró que el área foliar tiene diferencias significativas en los diferentes pisos de siembra del sistema vertical, teniendo los pisos más bajos menor área foliar. Francescangeli, Sangiacomo & Martí (2007) reportan que al área foliar incrementa cuando existe más sombras. Resultados contradictorios con los resultados obtenidos por Casierra, Peña & Zapata (2014) y los resultados del presente estudio donde se encontró que el área foliar se reducía mientras se aumenta la sombra en los pisos inferiores del experimento.

4.2.6 Peso del fruto

Para el peso del fruto se encontró que se presentó una diferencia estadística significativa del peso promedio del fruto según los diferentes sustratos. Los mejores sustratos fueron T4; T5; T11 y T12. En el estudio de Wilmer (2017) se encontró que el peso promedio del fruto vario desde 48,9 g a 30,5 g. Pero el experimento se desarrolló en el sustrato de tierra más turba por lo que no es comparable con este experimento. En diferentes investigaciones el rango promedio del fruto oscila entre 20 g a 50 g (Balbontín & Ortiz, 2017). Por lo que los pesos de la frutilla de los sustratos de este experimento se encuentran también dentro de este rango.

4.2.7 Diámetro del fruto

En esta investigación el diámetro del fruto no hubo diferencias significativas entre las diferentes alturas de siembra, tampoco entre los diferentes sustratos. Los promedios del diámetro del fruto en esta investigación fluctuaron entre 3.21 cm hasta 3.64 cm. Estos resultados son similares a los reportados por Mejía (2017), que obtuvo rangos entre 3.8 cm a 3.39 cm. Los resultados de estas dos investigaciones fueron superiores a los reportados por Wilmer (2017) y

Mendoza (2013), donde el mayor diámetro promedio del fruto fue de 2.82 cm y 2.9 cm respectivamente.

4.2.8 Longitud del fruto

En esta investigación el promedio de la longitud del fruto varió entre 4.33 cm hasta 4.94 cm. En el estudio realizado por Mendoza en el (2013), utilizando una mezcla de tierra más turba como sustrato se obtuvo un promedio de longitud del fruto que varió desde 3.06 cm hasta 3.35 cm. Estos frutos fueron más pequeños que los del presente estudio. Llumiquinga (2017) en el 2017 desarrolló un experimento en tierra y el promedio de la longitud del fruto varió entre 3.77 hasta 4.6, longitudes similares a las del presente estudio.

4.2.9 Grados Brix del fruto

Una de las características importantes para el mercado de la frutilla es su dulzor, el mismo que se midió con °Brix. En este trabajo todos los sustratos estudiados produjeron frutillas con °Brix de alrededor de 8. Según el protocolo de calidad para frutillas frescas y congeladas, la cantidad de sólidos solubles deben ser mínimo de 7 °Brix. Todos los frutos de los sustratos de esta investigación calificaron según el protocolo de calidad. Los resultados de esta investigación son muy similares a los resultados obtenidos por Mendoza (2013) (°Brix de 7.7 a 7.9). Pero son diferentes a los resultados obtenidos por Wilmer (2017) quien obtuvo °Brix bajos entre 5.88 a 6.17.

4.2.10 Rendimiento

El principal objetivo de la presente investigación es el de encontrar un sustrato que mejore la productividad en los sistemas semi-hidropónicos verticales. Se comparó 12 sustratos y se observó

que dos de ellos registraron mayor rendimiento. Se estimó el rendimiento de toneladas de frutillas por hectárea y por año para poder comparar con otros estudios similares. Los sustratos T11 (arena de río) y T9 (pomina) produjeron $85.91 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ y $76.52 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ respectivamente. Estos resultados fueron estadísticamente significativo con respecto a los otros sustratos estudiados ($F=2.35$; $p=0.0162$). En un experimento similar el cultivo de Frutilla semi-hidropónica vertical Caso, Chang & Rodríguez (2010) registraron para el sustrato (cascarilla + arena de río 3:1) un promedio de $43.1 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, mientras que la productividad que se alcanzó en esta investigación fue de $27.63 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, con una diferencia de $15.47 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ lo cual es significativamente menor. Así mismo Caso *et al.*, (2010) estimaron con varios sustratos, así: pomina al 100% con un rendimiento de $68.9 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, mientras que en el presente estudio se estimó un promedio de rendimiento de $76.52 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, un resultado mayor; sustrato de cascarilla y pomina en una relación 1:1, obteniendo un promedio de $68.6 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, nuestros resultados revelan un rendimiento de $47.7 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, evidenciándose un resultado menor); cascarilla de arroz, obtuvo un rendimiento de $71.2 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, mientras tanto los resultados del presente estudio fue de $31.62 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$. Lamentablemente Caso no realizó ensayos con sustrato de arena de río al 100%, donde en nuestro trabajo se pudo registrar un mayor rendimiento de $85.72 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$. Rendimiento que supera completamente los resultados obtenidos por Caso *et al.*, (2010).

En el presente estudio con el sustrato de arena de río se obtuvieron rendimientos muy altos de $85.72 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, si compararnos esta producción con cultivos semi-hidropónicos horizontales, Hernández (2017) obtuvo $48.57 \text{ Tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, lo cual es casi la mitad del rendimiento que se estimó en el presente estudio en un sistema hidropónico vertical. Si comparamos con una

investigación realizar en tierra donde Chilibringa (2017) registró un rendimiento de 34 Tn.ha⁻¹.año⁻¹ menos de la mitad de lo logrado con el sustrato de arena de río en el presente trabajo.

4.2.11 Correlación de Pearson

En el presente estudio el área foliar es un determinante del 20% del rendimiento total de las plantas ($r^2=0.2025$). El área foliar determinó el 12.9% ($r^2=0.1296$) de los °Brix del fruto. El peso del fruto estuvo determinado por la longitud del fruto y por el ancho del fruto un valor de 59.2% ($r^2=0.5929$) y 54.7% ($r^2=0.5476$) respectivamente.

4.2.12 Análisis Nutricional

El análisis bromatológico del presente estudio se comparó con la Tabla de análisis foliar de los niveles de referencia para el cultivo de fresón de Cadahia (2005). Cuando comparamos el porcentaje de nitrógeno por la altura de la siembra, se puede observar que en el piso más alto (185 cm), donde aparentemente existe más recepción de luz solar, se encontró mayor cantidad de nitrógeno foliar, lo cual cae en un rango excesivo según la tabla. Lo mismo ocurre con el fosforo en la última altura de siembra (185 cm) que cayó en un valor excesivo. En lo referente al potasio la mayoría de los resultados cayeron en valores bajos y unos pocos fueron de valores medios. En lo referente al calcio la mayoría de los valores registrados fueron medios. La mayoría de los valores de magnesio reportaron valores altos. Con respecto al hierro los valores se encontraron entre normal y medio. Con lo referente al micro nutriente magnesio los valores caen sobre un rango normal.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- En relación con las propiedades físicas y químicas de los sustratos recomendadas como ideales, se pudo evidenciar que los sustratos que menos se acercaron a estas características fueron T9 (pomina) y T11 (arena de río), sin embargo, las plantas que se desarrollaron en estos sustratos fueron las que mejor comportamiento agronómico se observó en el presente estudio.
- Los sustratos sin combinar T9 (pomina) y T11 (arena de río) fueron los que mayor rendimiento reportaron, sin embargo, las combinaciones entre sustratos no presentaron valores favorables en cuanto al rendimiento.
- El sustrato T9 (pomina) y T11 (arena de río) presentaron un mejor rendimiento ($76.53 \text{ Tn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), ($85.91 \text{ Tn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$); grados Brix del fruto ($8.44 \text{ }^\circ\text{Brix}$), ($8.41 \text{ }^\circ\text{Brix}$); peso del fruto (24.39 g), (27.27 g); área foliar (1005.50 cm^2), (1233.54 cm^2); número de hojas ($9.64 \text{ hojas}\cdot\text{planta}^{-1}$), ($9.89 \text{ hojas}\cdot\text{planta}^{-1}$) y altura de la planta (16.11 cm), (21.74 cm) respectivamente.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda el uso de arena de río como sustrato para el cultivo de *Fragaria x ananassa* en los sistemas semi-hidropónicos verticales.
- Se recomienda el uso del sustrato pomina, como una alternativa al sustrato arena de río para el cultivo de *Fragaria x ananassa* en los sistemas semi-hidropónicos verticales.
- Se recomienda realizar los análisis foliares de las plantas en un laboratorio certificado.

- Se recomienda realizar los análisis de concentración de clorofilas, en un entorno completamente oscuro, para evitar la destrucción de las mismas debido a la interacción con la luz solar.

5.3 Bibliografía

- Austin, S. (2015). Cómo plantar y cuidar fresas. *Mini Garden*, 3.
- Baixauli, C., & Aguilar, J. (2002). Cultivo sin suelo de hortalizas: aspectos prácticos y experiencias. In *Valencia (España), Generalitat Valenciana*. Valencia, España: Edición Generalitat Valencia.
- Balbontín, C., & Ortiz, D. (2017). Frutilla. *INDAP:PAUTA*, 1, 1–4.
- Baldassari, T. (1975). *Fruticultura industrial con la nueva palmeta*. Madrid, España: S.A. Mundi Prensa Libros.
- Beltrano, J., & Giménez, D. (2015). *Cultivo en hidroponía* (Vol. 1). La Plata, Argentina: Universidad Nacional de La Plata.
- Bianchi, P. G. (2000). *Guía completa del cultivo de las fresas*. Ciudad de México, México: Editorial De Vecch.
- Bonet, J. (2010). *Desarrollo Y Caracterización De Herramientas Genómicas En Fragaria Diploide Para La Mejora Del Cultivo De Fresa*. Universidad Autonoma de Barcelona.
- Bowman, D. C., & J. L., P. (1993). Understanding of container media vital knowledge for growing successful plants. *Pacific Coast Nurseryman and Garden Supply Dealer, March*, 48–50.
- Branzanti, C. E. (1989). *La Fresa*. Madrid, España: Ed. Mundi Prensa.
- Bunt, A. C. (1988). *Media and mixes for container-grown plants*. Great Britain: Unwin & Hyman Ltd.
- Cabrera, R. I. (1999). Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5(1), 5–11. Obtenido de

<https://www.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchshV741.pdf>

Cadahia, C. (2005). *Fertirrigación en cultivos hortícolas, frutales y ornamentales* (3ava Edici).

México: Ediciones Mundi - Prensa.

Calderón, F., & Cevallos, F. (2002). *Los Sustratos*. Bogotá, Colombia: DRCARDERONLABS.

Casierra, F., & Rojas, J. (2009). Efecto de la exposición del semillero a coberturas de colores sobre el desarrollo y productividad del brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*). *Agr. Col*, 27(1), 49–55.

Casierra, Fánor, Peña, J., & Zapata, Esteban. (2014). Contenido de Pigmentos en hojas de fresa (*Fragaria* sp.) expuestas a diferente calidad de luz. *U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 17(1), 87–94.

Caso, C., Chang, M., & Rodríguez, D. (2010). Efecto del sustrato sobre la producción de fresa en sistema de columna. *Unalm*, 49, 55–60.

Chiliquinga, P. (2017). *Evaluación de fertilización mineral y órgano/mineral con fertirriego en el cultivo de frutillo *Fragaria x ananassa* (Weston) Duchesne; variedad albión*. Universidad Central del Ecuador.

Chiqui, F. A., & Lema, M. L. (2010). *Evaluación del rendimiento en el cultivo de fresa (*Fragaria* sp) variedad oso grande, bajo invernadero mediante dos tipos de fertilización (orgánica y química) en la parroquia Octavio Cordero Palacio, Cantón Cuenca*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

Correa, M., Kirschbaum, D., & Bórquez, A. (2008). Fertilización de frutilla (Fertilization of strawberry). In *La Fertilización de Cultivos y Pasturas* (2da ed., pp. 475–480).

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4618.8884>

Darrow, G. H. (1966). The Strawberry: History, breeding and physiology. *The New England*

Institute for Medical Research, 447.

De la Rosa, P., & Herrea, I. A. (2015). *La producción hidropónica ¿una alternativa alimentaria en espacios urbanos?* Universidad Autónoma del Estado de México.

Díaz, Alejandra. (2007). *Medio de cosecha para Plantaciones de Frutilla hidropónica*. Universidad de Chile.

DigitalGlobe. (2018). *IASA 1 Map*. Google Earth.

Diputado, M., Loreto, M., & Mangmang, J. (2005). Evaluation of a simple re-circulating hydroponic system for sweet pepper (*Capsicum annum* L.) and pechay (*Brassica napus* L.). *Annals of Tropical Research*, 27(2), 18–30.

F.A.O, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011). The State of the World's land and water resources for Food and Agriculture. In *Food and Agriculture Organization*. <https://doi.org/978-1-84971-326-9>

F.A.O, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). *¿Qué es la Seguridad Alimentaria?* Roma, Italia: FAO.

FAOSTAT. (2016). *Production quantities of Strawberries by country*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Fernández, M. (2006). EFICIENCIA EN SISTEMAS HORTÍCOLAS Introducción. *Tecnoambiente*, 160, 131–134.

Folquer, F. (1986). *La frutilla o fresa : estudio de la planta y su producción comercial*. Buenos Aires, Argentina: Hemisferio Sur.

Francescangeli, N., Sangiacomo, M., & Martí, H. (2007). Vegetative and reproductive plasticity of broccoli at three levels of incident photosynthetically active radiation. *Spanish Journal of*

Agricultural Research, 5(3), 389–401.

Geraud, F., Chirinos, D., Marín, M., & Chirios, D. (1995). Desarrollo de la planta de tomate, *Lycopersicon esculentum* Miller, cv. Río Grande en la zona del río Limón del Estado Zulia, Venezuela. 11. Índice de crecimiento relativo, razón de peso foliar y gamma. *Revista de La Facultad de Agronomía, Universidad de Zulia*, 12, 15–23.

Giménez, G., Paullier, J., & Maeso, D. (2003). *Identificación y manejo de las principales enfermedades y plagas en el cultivo de frutilla* (L. C., Ed.). Montevideo, Uruguay: Unidad de Agronegocios y Difusión del INIA.

Gras, R. (1983). Algunas propiedades físicas de sustratos hortícolas. *PHM Society*, 21, 1–14.

Grav, L. A. (2008). *No Title* (Tercera Ed). Barcelona, España: Editorial SINTE, S.A.

Grimshaw, J., & Ward, B. (2004). *ATLAS DE JARDINERÍA. Los orígenes, descubrimiento y cultivo de las plantas de jardín más populares del mundo* (1era edici). Madrid, España: Edilupa Ediciones S.l.

Guevara, E., & Guenni, O. (2009). Potencial de crecimiento en cuatro líneas e leucaena leucocephala (LAM) durante el establecimiento. *Gominas*, 37, 216–220.

Hancock, J. F., Sjulín, T. M., & Lobos, G. A. (2008). Strawberries. *Temperate Fruit Crop Breeding: Germplasm to Genomics*, (June), 393–437. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6907-9-13>

Hernández, B. (2017). *EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRESA EN DOS SISTEMAS HIDROPÓNICOS*. Universidad Autónoma del Estado de México.

Hernández, J. A., & López, U. S. (2015). *Bagazo de caña, sustrato orgánico para la producción de pepino en invernadero*. Ciudad de México, México: Secretaria de Agricultura, Ganadería,

- Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (inifap).
- Hunt, R. (1990). *Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners*. Boston, Massachusetts: George Allen & Unwin.
- Hunt, R. (2003). *Growth analysis, individual plants*. London, United Kingdom: Academic Press.
- Husaini, A. M., & Neri, D. (2016). *Strawberry: growth, development and diseases*. London, United Kingdom: Centre for Agricultural Bioscience International & CPI Group.
- Ibadango, D. (2017). *Eficiencia y rentabilidad del sistema hidropónico vertical frente al convencional en la producción de tres variedades de fresa (Fragaria vesca L.), en la granja experimental yuyucocha, Imbabura*. Universidad Técnica del Norte.
- INFOAGRO. (2012). El cultivo de la Fresa.
- Lallana, V., & Lallana, M. (2004). *Crecimiento*. Oro Verde, Panamá: Universidad Nacional de Entre Ríos.
- Lee, J. H., & Heuvelink, E. (2003). Simulation of leaf area development based on dry matter partitioning and specific. *Annals of Botany*, 91, 319–237.
- López, L., Cárdenas, R., Lobit, P., Martínez, O., & Escalante, O. (2005). Selección De Un Sustrato Para El Crecimiento De Fresa En Hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana Rev. Fitotec. Mex*, 28(282), 171–174.
- Mamani, J. (2015). *Comportamiento agropomico de dos variedades de Frutilla (Fragaria ssp.) con diferentes frecuencias de aplicación de hummus de lombriz bajo invernadero en el municipio de El Alto*. Universidad mayo de San Andrés.
- Maroto, J. V., & López, S. (1988). *Producción de Fresas y Fresones*. Madrid, España: Ed. Mundi

Prensa.

Maroto, J. V. (1983). *Horticultura Herbacea Especial*. Madrid, España: Ediciones Mundi - Prensa.

Martínez, P. F., & Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. *Sustratos, Manejo Del Clima, Automatización y Control En Sistemas de Cultivo Sin Suelo*, (Diciembre), 37–77.

Mass, J. L. (1998). *Compendium of Strawberry Diseases* (Second Edi). Saint Paul, Minesota, Estados Unidos: American Phytopathological Society.

Medina, J., Pinzón, E., & Cely, G. (2016). Efecto de sustratos orgánicos en plantas de fresa (*Fragaria* sp.) cv ‘Albion’ bajo condiciones de campo. *Revista Ciencia y Agricultura*, 13(2), 19–28. <https://doi.org/10.19053/01228420.V13.N2.2016.5548>

Mejía, D. I. (2017). “*Respuesta de tres variedades de fresa (Fragaria vesca), sometidas a tres sustratos, mediante sistema semi-hidropónico en canales de polietileno en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura – Ecuador.*” Universidad Técnica de Babahoyo.

Mendoza C., I. P. (2013). *Comportamiento productivo vertical de la Frutilla (Fragaria sp.) en relación a la densidad de siembra en dos tipos de sustrato en ambiente protegido*. Universidad Mayor de San Andrés.

MINAGRI. (2008). *Estudio de la fresa en el Perú y el mundo*. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI).

Molen, S. van der. (2013). Ficha de *Fragaria*. Botánica Y Jardines.

Morales, C., Pedreros, A., Riquelme, J., Uribe, H., Hirzel, J., Abarca, P., & France, A. (2017). *Manual de manejo agronómico de la frutilla*. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones

Agropecuarias (INIA).

Morandi, B., Losciale, P., Manfrini, L., Zibordi, M., & Corelli, L. (2010). Comprender como crece la fruta para mejorar su calidad. *Revista Frutícola y Hortícola*, 72(7–8), 36–42.

Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (2013). *Tablas de composición de alimentos* (16 Ed.). Madrid, España: Editorial Pirámide.

Muciño, L. A., & Mendoza, E. A. (2015). *Paredes Comestibles*. Hidalgo, México: Centro Educativo Cruz Azul.

Nazario, F., Gallegos, G., Yisa, O., & Hernandez, F. (2014). Aspectos Fundamentales del Tizón Común Bacteriano Patogenicidad y Control Fundamental aspects of Common Bacterial Blight (*Xanthomonas axonopodis* pv . *phaseoli* Smith): Characteristic , Pathogenicity and Control. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 31(2), 147–160.

Oasis, E. P. (2017). *Manual de hidroponia*. México: Oasis Easy Plant.

Ospina, J. E. (1995). *Agricultura* (Primera). Bogotá, Colombia: Terranova.

Palacios Vélez, E. (1991). La eficiencia en el uso del agua en los distritos de riego. *Agua Para La Agricultura*, (January), 1–9.

Pastor, J. N. (2000). Utilización de sustratos en viveros. *Terra*, 17, 231–235.

Patiño, D., García, E., Barrera, E., Quejada, O., Rodríguez, H., & Arroyave, I. (2014). *Manual técnico del cultivo de fresa bajo buenas prácticas agrícolas*. Medellín, Colombia: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Gobierno de Antioquia.

Pennock, D., & McKenzie, N. (2016). *Estado mundial del Recurso suelo*. Roma: FAO y GTIS.

Pérez, A. J. (1979). *Cultivo de Fresa*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura de España.

Quintero, M. F., Guzmán, J. M., & Valenzuela, J. L. (2012). Evaluación de sustratos alternativos

- para el cultivo de miniclavel (*Dianthus caryophyllus* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(1), 76–87.
- Rea, L. O. (2012). *Análisis del rendimiento de la fresa (Fragaria chiloensis L. Duch) sometida a diferentes tipos de sustratos dentro de un cultivo semihidropónico en la parroquia Salinas provincia del Imbabura*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO, El Ángel, Carchi.
- Resh, H. M. (2013). *Hydroponic Food Production A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower* (Séptima Ed). <https://doi.org/10.1201/b12500>
- Rodríguez, A., Chang, M., Hoyos, M., & Falcon, F. (2000). *Manual práctico de hidroponía*. Lima, Perú: Universidad Agraria La Molina.
- Rodríguez, D. (2013). *Evaluación de sustratos orgánicos alternativos en la producción de pepino (Cucumis sativus L) en Invernadero*. Universidad Autónoma de San Luís Potosí.
- Salazar, R., Rojano, A., & López, I. (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 5(2), 177–183.
- Salinas, M. (1988). *Agricultura organizada en pequeña escala; huerto doméstico y huerto comunitario*. Valparaiso, Chile: Centro de Estudios en Tecnologías Apropriadas para America Latina.
- Samperio R., G. (2007). *Un Paso Más En La Hidroponía*. Ciudad de México, México: Editorial Diana.
- Sánchez V., O., CORDEP, P. de D. R. de C., & DAI, D. A. I. (1993). *Perfil Económico de Frutilla*. Cochabamba, Bolivia: CORDEP/DAI.
- SOQUIMICH. (2006). Cultivo estratégico de berries. *Fundamentos Básicos de La Nutrición*

Vegetal Aplicados a La Producción de Berries, 25.

Souza, R., & Válio, I. (2003). Leaf optical properties as affected by shade in saplings of six tropical tree species differing in successional status. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 15(1), 49–54.

Valverde, Y., & Gamboa, O. (2005). Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales. *Kurú: Revista Forestal*, 2(6), 34. [https://doi.org/ISBN: 9977-57-304-2](https://doi.org/ISBN:9977-57-304-2)

Vargas, E. (1995). El valor nutritivo de los subproductos del arroz en Costa Rica. Composición química, disponibilidad y uso. *Nutrición Animal Tropical*, Vol. 2(Nº 1), 31–50.

Vargas, S. (2015). Requerimientos de Clima y Suelo. In *Cultivo de Frutilla. En una Realidad sin Bromuro de Metilo en Chile* (p. 148). Santiago, Chile: Ministerio del Medio Ambiente de Chile & ONUDI.

Villagrán, V., Reyes, M., & Zschau, B. (2012). Frutilla, consideraciones productivas y manejo. *INIA, Boletín*, 252, 150.

Villareal, V. (2018). Evaluación de las condiciones climáticas y fuentes de boro, para la germinación in vitro de polen en frutilla (*Fragaria x ananassa*) variedad festival. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Weimar, H. (2017). *Producción de Fresas semi - hidropónico en diferentes sistemas de cultivo*. Universidad Federal de Mato Grosso.

Wikipedia. (2009). Sangolquí.

Zapp, J. (1991). *Cultivo sin tierra; hidroponía popular, una opción para la superación de la pobreza*. New York, Estados Unidos: United Nations Development Fund for Women.

Zaragoza, R. D. (2013). *Evaluación de hidropónicas en el cultivo de Fresa (Fragaria x*

ananassa) bajo invernadero. Coahuila, México: Centro de Investigación en Química Aplicada.

Zequera, M., Molar, A., Ruiz, D. G., Fentanes, G., Carrillo-fasio, J. A., García-estrada, R. S., ... Chamilpa, C. (2005). Control Biológico de Antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz .) Penz . y Sacc .] y su Efecto en la Calidad Poscosecha del Mango (*Mangifera indica* L .) en Sinaloa , México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 23(1).