

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto De La Mezcla De Sustratos Y Las Concentraciones De La Solución Nutritiva En El Crecimiento De Fresa cv. “Frontera”.

Por:

RICARDO LUGO MATA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Febrero, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto De La Mezcla De Sustratos Y Las Concentraciones De La Solución Nutritiva En El
Crecimiento De Fresa cv. "Frontera".

Por:

RICARDO LUGO MATA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

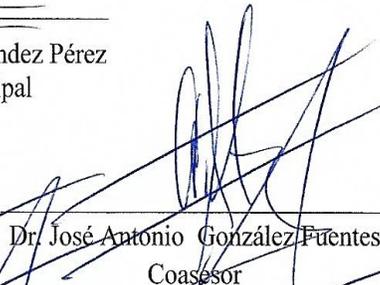
Aprobada por el Comité de Asesoría:



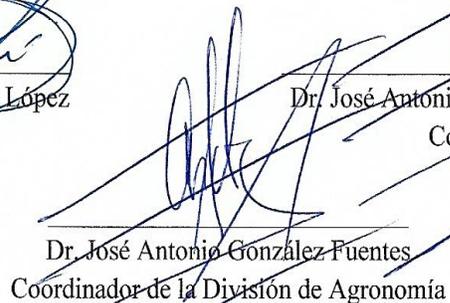
Dr. Armando Hernández Pérez
Asesor Principal



Dr. Alonso Méndez López
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Febrero, 2022

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos.

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de exigir y declaramos que este trabajo es original.

Pasante



Ricardo Lugo Mata

Asesor Principal



Dr. Armando Hernández Pérez

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen de Guadalupe

Por sus bendiciones, por prestarme vida y salud siempre y en todo momento, por permitirme culminar una meta más de mi vida, por siempre ser mis guías y haberme acompañado durante todo el transcurso de mi preparación académica profesional.

A mis padres

SRA. SILVIA MATA MARTÍNEZ

SR. RAYMUNDO LUGO MONTOYA

Les dedico este trabajo que simboliza una culminación de una etapa importante de mi vida y el inicio de una nueva, que a pesar de la distancia, los momentos de triunfo y fracaso, siempre estuvieron apoyándome, animándome y demostrándome su incomparable apoyo incondicional tanto económico como emocional, su gran y arduo esfuerzo realizado, para que yo pueda concluir mis estudios, amor, cariño y confianza, guiándome con cada uno de sus consejos llenos de sabiduría, los cuales han sido la base para formarme como una persona de bien, por creer en mí, por jamás dejarme desamparado, por la mas gran herencia que me han brindado les estaré siempre eternamente agradecido con amor, respeto y cariño, siendo el resultado un trabajo en equipo, sientan este triunfo como suyo.

A mis hermanos

Edgar Lugo Mata y Wendy Lugo Mata

Gracias por todo el apoyo incondicional que siempre me brindaron por siempre animarme para no darme por vencido en este camino, por siempre estar ahí para mí en todo momento, en cada uno de los obstáculos y triunfos que se presentaron y siempre enseñarme a luchar en familia y salir siempre con la frente en alto ante cualquier situación.

A mi novia Fernanda Álvarez Orduña, por estar siempre conmigo en todo momento y jamás dejarme desamparado, gracias por tu amor, paciencia, cariño, comprensión y apoyo.

AGRADEICMIENTOS

A Dios y a la Virgen de Guadalupe, por brindarme la vida, sabiduría, paciencia y el entendimiento suficiente para cada etapa de mi vida, por brindarme las fuerzas necesarias y permitirme culminar una meta más en mi vida y guiarme siempre por el mejor camino a lo largo de mi preparación académica.

A mi Alma Terra Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por haberme permitido que me desarrollara académicamente dentro de sus instalaciones, así como alojarme dentro de sus dormitorios y alimentarme dentro de su comedor y poderme permitir terminar mi carrera profesional en las mejores condiciones, brindándome muchos amigos con los cuales se vivieron muchas experiencias dentro de sus instalaciones, las cuales siempre quedaran como las mejores de esta etapa de estudiante.

Al Dr. Amando Hernández Pérez, quien es mi asesor principal por siempre brindarme el apoyo incondicional y necesario, para realizar este trabajo y así poder culminar esta meta en mi vida, gracias a su paciencia, compromiso y siempre ser contaste como asesor principal, gracias a ello he podido terminar este proyecto. También agradezco por la confianza, para compartir sus momentos libres, sus buenas vibras, sus consejos, esos momentos de convivencia los cuales siempre recordare y sus conocimientos compartidos y así poder tener la dicha de terminar mi carrera como Ingeniero en Horticultura.

Al Dr. Alonso Méndez López, quien es mi coasesor, por brindarme apoyo incondicional en todo momento de la carrera, por esos consejos que nunca faltaron, sus buenas vibras y entusiasmo que lo recalca como persona, los tiempos de convivencia y por siempre estar atento para cualquier duda o apoyo técnico dentro de este proyecto apoyándome con sus conocimientos los cuales siempre fueron de apoyo para salir adelante.

A todos y cada uno de mis compañeros y amigos de carrera y clases que conocí dentro de esta institución que dejan gratos recuerdos y amistades incomparables y porque gracia a ellos me llevo muy bien con mucha gente y me ayudaron a acoplarme en una nueva ciudad, a los veteranos Ricardo Baeza, Juan de Dios Vargas, Oscar Nava, Yair Terrazas, Gamaliel Manzano, Diego Balbuena, Omar, André Pérez, al joven Raúl barajas, al MC. Raúl Morales, solo por mencionar ya que me faltan muchas personas. También a todos mis compañeros de

generación, en especial, a José Leonel, Raymundo Cuevas, Jaramillo, Jessica, Alonso, Jaime, Heriberto, José Antonio Huertos, Efrén, Jesús Torres y Gustavo, por todos esos buenos momentos compartidos y vividos a lo largo de mi carrera profesional.

INDICE GENERAL

I	INTRODUCCION.....	1
1.1	Objetivo.....	2
1.2	Hipótesis.....	2
II	REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1	Hidroponía o cultivo sin suelo.....	3
2.2	Definición de sustrato.....	3
2.3	Uso de los sustratos.....	3
2.4	Clasificación de los sustratos.....	4
2.5	Características de los sustratos.....	5
2.5.1.	Propiedades físicas.....	5
2.5.2.	Propiedades químicas.....	7
2.5.3.	Propiedades biológicas.....	8
2.6	Importancia de la oxigenación o aireación en los sustratos.....	9
2.7	Relación entre aireación y absorción de nutrientes en las plantas.....	9
2.8	Solución nutritiva.....	10
2.9	Concentración de soluciones nutritivas.....	10
2.10	Concentración de las soluciones nutritivas y el crecimiento de las plantas.....	11
2.11	Propiedades fisicoquímicas de las soluciones nutritivas a considerar.....	12
2.12	Interacción entre sustratos y soluciones nutritivas.....	14
2.13	Origen del cultivo.....	14
2.14	Clasificación botánica de la fresa.....	15
2.15	Morfología.....	15
2.16	Aspectos ecofisiológicos.....	16
2.17	Etapas fenológicas.....	17
2.18	Ciclos de producción.....	17
2.19	Requerimientos edafoclimaticos.....	18
2.20	Producción nacional.....	19
2.21	Producción internacional.....	19
III	MATERIALES Y METODOS.....	20
3.1	Localización del experimento.....	20

3.2 Material vegetal	21
3.3 Preparación y caracterización del sustrato	21
3.4 Tratamientos	22
3.5 Diseño experimental.	23
3.7 Riego y Manejo nutricional	23
3.8 Variables evaluadas	24
3.9 Análisis estadísticos.....	25
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1 Comparación de medias de los tratamientos.....	25
1.2 Efecto de las interacciones	28
4.2.1 Longitud de raíz (LR)	28
4.2.2 Volumen de raíz (VR).....	29
4.2.3 Peso seco de raíz (PSR)	30
4.2.4 Peso seco de corona (PSC)	31
4.2.5 Peso seco aéreo (PSA)	32
V CONCLUSIONES	34
VI LITERATURA CITADA	35

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Rangos aceptables de relaciones entre iones en soluciones nutritivas (Steiner, 1996).....	12
Cuadro 2. Plagas y enfermedades.....	21
Cuadro 3. Relación de tratamientos evaluados.....	24
Cuadro 4. Comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) para las variables altura de planta, longitud de raíz, volumen de raíz, peso seco de raíz, peso seco de corona, peso seco aéreo en el cultivo de Fresa.....	28

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fenología del cultivo.....	18
Figura 2. Efecto de la interacción entre mezcla de sustratos y concentración de la solución nutritiva en la longitud de la raíz de las plantas fresa cv. Frontera.....	30
Figura 3. Efecto de la interacción entre mezcla de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el volumen de raíz de las plantas fresa cv. Frontera.....	31
Figura 4. Efecto de la interacción entre mezcla de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el peso seco de raíz de las plantas fresa cv. Frontera.....	32
Figura 5. Efecto de la interacción entre mezcla de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el peso seco de corona de las plantas fresa cv. Frontera.....	33
Figura 6. Efecto de la interacción entre mezcla de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el peso seco aéreo de las plantas fresa cv. Frontera.....	34

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el efecto de tres mezclas de sustratos con una oxigenación del 25 %, las cuales fueron: Mezcla 1 (peat moss:perlita, 1:3 v/v); Mezcla 2 (fibra de coco:peat

moss, 3.1:0.9 v/v); Mezcla 3 (peat moss:fibra de coco:perlita, 1.2:1.0:1.8 v/v/v), acompañadas de diferentes concentraciones de la solución nutritiva (SN) Steiner, las cuales fueron: SN1 (40 %, 60 %), SN2 (60%, 80%), SN3 (80 %, 100%), en la etapa vegetativa y de floración del cultivo de fresa (*Fragaria ananasa*) cv. Frontera. Los riegos se aplicaron en forma periódica cada tercer día. El experimento se estableció bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con un arreglo factorial 3 x 3, con nueve tratamientos y cuatro repeticiones, dentro de un invernadero tipo capilla. Las variables evaluadas fueron: altura de planta (AP), longitud de raíz (LR), volumen de raíz (VR), peso seco de raíz (PSR), peso seco de corona (PSC), peso seco aéreo (PSA). Las variables longitud de raíz, volumen de raíz, peso seco de raíz, peso seco de corona y peso seco aéreo fueron favorecidas por la aplicación de la SN al 60% en fase vegetativa y 80% en la fase de floración y crecidas en la mezcla de fibra de coco + peat moss. La mezcla de perlita + fibra de coco + peat moss solo aumentó el peso seco de raíz. La interacción de los factores tuvo efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas de fresa. El uso de mezcla de sustratos orgánicos y la dosificación de la solución nutritiva de acuerdo con la fase fenológica del cultivo de fresa mejora su crecimiento.

Palabras clave: Sustratos, Oxigenación, Frutillas, Cultivo sin suelo.

I INTRODUCCION

El uso de materiales para sustratos se ha expandido constantemente, debido a la extensión de tierra que cada día disminuye conforme aumenta la población, acompañado de los cambios climáticos que se están dando día con día y lo cual dificulta el desarrollo, control de drenajes en el suelo, plagas, enfermedades de raíz. Por su parte, Cruz-Crespo *et al.* (2013), describen un sustrato como todo material que puede proporcionar anclaje, oxígeno y agua suficiente para el óptimo desarrollo de las plantas, o en su caso nutrientes, requerimientos que pueden cubrirse con un solo material o en combinación con otros, los cuales deberán ser colocados en un contenedor.

Hydro environment (2021), nos menciona las características de los sustratos que más se utilizan en hidroponía: La perlita es un silicato de aluminio de origen volcánico, presenta un color blanco o grisáceo, se caracteriza por presentar una baja densidad, de igual manera presenta una retención de humedad un promedio de 63%, una buena oxigenación gracias a su porosidad. La fibra de coco es un residuo agroindustrial de origen tropical, el cual genera después de que el fruto de coco ha sido procesado, obteniendo diferentes tamaños de fibras generando buenas propiedades, de igual manera presenta una retención de humedad un promedio de 57%, una alta relación de nitrógeno/carbono, lo cual le permite mantenerse químicamente estable. El peat moss es un material importado, el cual es procedente de Canadá, posee características muy similares a las de fibra de coco, solo que este material no requiere de ningún proceso; una de sus principales características es la retención de humedad de 70 %. Ayala y Valdez, (2008), menciona que el Peat Moss está constituido de musgo del género *Sphagnum* y se comercializa preparado con una carga de nutrientes que incluye N, K, Ca, y Mg, y el pH ajustado en 6.2. Al proponer nuevos materiales como fuente de sustrato, estos deben estar sustentados principalmente por características físicas, químicas y biológicas en el caso de sustratos orgánicos, determinación del tamaño de partículas, lo cual nos permita desarrollar un sustrato o una mezcla que sea la más ideal para cada cultivo y disminuya la lixiviación, nos genere mejores adaptación, producción en las plantas y una menor contaminación (Gayosso- Rodríguez *et al.*, 2016).

El suministro de una solución nutritiva es de gran importancia, ya que es una solución acuosa en la cual se encuentran disueltos los nutrientes esenciales para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas (INTAGRI, 2017). El cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*), ha tomado gran importancia debido a la participación que ha demostrado dentro de las frutillas con mayor exportación. Es considerada una fruta exótica de gran aroma, por lo cual se ha convertido en un producto con grandes ofertas dentro del mercado, tanto nacional como internacional. México ocupa el tercer lugar con una producción estimada de 861, 337 toneladas en el año 2020, según las estadísticas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020).

1.1 Objetivo

- Evaluar tres concentraciones de solución nutritiva Steiner aplicadas en la fase vegetativa y fase de floración, y tres mezclas de sustratos orgánicos ajustados a una oxigenación estandarizada sobre el crecimiento de fresa (*Fragaria ananassa*) cv. Frontera.

1.2 Hipótesis

- Al menos una concentración de solución nutritiva aplicada en etapa vegetativa y etapa de floración, en combinación con una mezcla de sustratos orgánicos tendrá efecto positivo en el crecimiento de las plantas de fresa.

II REVISION DE LITERATURA

2.1 Hidroponía o cultivo sin suelo

El termino hidroponía se deriva de las palabras griegas “hidro” que significa agua y “ponos” que significa trabajo. La hidroponía se define como la técnica de cultivar plantas en condiciones sin suelo, técnica que depende solo de una solución nutritiva y de un medio inerte “sustrato” (Mamta, 2013), pero, cultivos sin suelo se refiere a un sistema con medio de crecimiento sustratos orgánicos (Baixauli y Aguilar, 2002).

2.2 Definición de sustrato

El término sustrato apegado a la horticultura existe gran diversidad de definiciones. Abad *et al.* (2005), definen como todo material sólido natural, de síntesis o residual, orgánico o mineral, puro o mezclado que en un contenedor permite el anclaje del sistema radical, da soporte a la planta e interviene o no en su nutrición. Por su parte, Cruz-Crespo *et al.* (2013), describen como todo material que puede proporcionar anclaje, oxígeno y agua suficiente para el óptimo desarrollo de las plantas, o en su caso nutrientes, requerimientos que pueden cubrirse con un solo material o en combinación con otros, los cuales deberán ser colocados en un contenedor. Por otro lado, Schindler *et al.* (2017), denominan “sustrato” como el suelo utilizado en macetas o sustratos para la jardinería o sin suelo, que se utilizan ampliamente para la producción de hortalizas y flores en la horticultura.

2.3 Uso de los sustratos

Desde hace algunos años debido a aspectos relacionados con la conservación del medio ambiente la concepción del uso de los sustratos cambió, por lo cual hay otros factores a considerar al seleccionar un material como sustrato tal como lo es el agua, suelo y el reciclaje de materiales de desecho (Cruz-Crespo *et al.*, 2013). Por ello cultivar en bandejas con un volumen pequeño con sustrato, es dado a su disponibilidad y su menor costo de producción junto con la ventaja de un mejor manejo y una mayor cantidad de plantas en menor superficie (Benedetto, 2016). En décadas recientes fue favorecido porque disminuye la utilización de fertilizantes y agroquímicos, y mitiga el impacto ambiental. La producción de hortalizas en

maceta depende en gran parte del sustrato utilizado, para ello es necesario tomar en cuenta las características físicas, químicas y biológicas del mismo, el sistema de producción, el manejo del cultivo y el tipo de contenedor el cual tiene que ser apropiado para cada especie (Gayosso- Rodríguez *et al.*, 2016). Asimismo, debe proporcionar un suministro de agua y aire adecuado para un mejor desarrollo radicular, además de apoyar físicamente en el desarrollo de la planta (Santos Júnior *et al.*, 2014).

2.4 Clasificación de los sustratos

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, entre ellos son: basado en el origen de los materiales, sus propiedades, su naturaleza, su capacidad de degradación etc. Este tipo de clasificación trata de abarcar las diferencias más relevantes desde el punto de vista hortícola que existe en cada uno de los sustratos. Bhandari *et al.*(2016), clasifica los sustratos como orgánicos, inorgánicos y sintéticos; entre los sustratos orgánicos está el aserrín, turba de coco, musgos de turba, astillas de madera, vellón, orujo, corteza, mientras que en los materiales inorgánicos se mencionan perlita, vermiculita, zeolita, grava, lana de roca, arena, lana de vidrio, piedra pómez, sepiolita, arcilla expandida, toba volcánica y en los materiales sintéticos hidrogel, mates de espuma (poliuretano), oasis (espuma plástica). Por otra parte Martínez y Roca, (2011), clasifica los sustratos por su origen y por sus propiedades: los sustratos según su origen se encuentran materiales naturales y materiales sintéticos , los naturales necesitan un tratamiento de compostaje para ser aptos para el cultivo y entre los cuales se encuentran turbas rubias, negras, fibra de coco, cortezas de árbol etc. Existen los sintéticos entre los cuales se encuentran los poliuretano, poliacrilamida y poliestireno, mientras que en los materiales minerales encontramos los naturales y los tratados, los naturales son aquellos que proceden de las rocas y minerales diversos: arenas, gravas, gravas volcánicas (puzolanas, zeolitas), etc: los tratados son productos que proceden de rocas y minerales tratados industrialmente por procedimientos físicos en general: perlita, lana de roca, vermiculita, arcilla expandida, escorias industriales de altos hornos, estiércoles del carbón, etc. Por sus propiedades los sustratos se clasifican por ser: Químicamente inertes: arena silíceo o granita, grava, roca volcánica, perlita, lana de roca, arcilla expandida, y

Químicamente activos: turbas rubias y negras, orujos, residuos de la industria maderera, vermiculita, etc.

La diferencia entre ambos grupos se establece por la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Martínez y Roca, 2011). La CIC se define como las interacciones electroquímicas interfaciales roca-fluido que determinan la cantidad de iones cargados positivamente por unidad de peso de roca seca (Chen, 2017). Los sustratos de baja CIC son los empleados para cultivos hidropónicos, ya que, actúa exclusivamente como medio de soporte para el cultivo, sin ejercer influencia sobre el intercambio de los minerales de los cuales se alimenta la planta. Los materiales químicamente activos acumulan los nutrientes y van formando una reserva de la cual los va absorbiendo la planta, por lo tanto estos actúan como un colchón nutritivo para la planta el cual amortigua cualquier variación del suministro de nutrientes a lo largo del tiempo (Martínez y Roca, 2011).

2.5 Características de los sustratos

Las características físicas y químicas de los sustratos, son propiedades que se consideran las más importantes para la producción de cualquier cultivo sin suelo (Urrestarazu, 2015). Al proponer nuevos materiales como sustratos, debe estar sustentado bajo las características físicas, químicas y biológicas, determinación de tamaños de partículas, grado de madurez de composta, procedimientos mecanizados y mezclas, que permitan optimizar la homogeneidad de resultados, disminuir los lixiviados como fuente de contaminación, uso eficiente de agua y reincorporación inocua de residuos al ambiente (Gayosso- Rodríguez *et al.*, 2016).

2.5.1. Propiedades físicas

Una vez que el sustrato es explorado por las raíces del cultivo establecido, ya no es posible modificar sus características físicas, por lo cual es muy importante hacer la selección y caracterización correcta del material a utilizar. Las propiedades físicas son características que describen el comportamiento de un sustrato en relación a su porosidad. Estas características determinan las fracciones sólidas, líquidas y gaseosas, por lo tanto determinan las cantidades de agua y aire de las cuales dispondrá la planta. Entre las propiedades físicas que usualmente

se determinan son granulometría, densidad real, densidad aparente, porosidad total, agua fácilmente disponible, capacidad de contenedor (Martínez y Roca, 2011).

a. Granulometría

La granulometría expresa la distribución de las partículas como porcentaje de la masa de cada fracción de tamaño, en relación con la masa total seca al aire.

Los materiales gruesos son los de partículas mayores a 0,9 mm. Estos materiales tienen buena aireación pero escasa retención de agua. Los materiales finos tienen un tamaño de partícula menos de 0,25 mm y al contrario de los gruesos, retiene mucha agua y su capacidad de aireación es muy escasa (Martínez y Roca, 2011).

b. Densidad real

La densidad real expresa la relación entre la masa del material seco a 105° C y el volumen real ocupado por las partículas, sin incluir el espacio poroso intermedio. La densidad real de los materiales orgánicos ronda los 1.45 g.cm⁻³ y la de los minerales ronda los 2.65 g.cm⁻³ (Cabrera, 1999; Mascarini et al., 2012).

c. Densidad aparente

Se define como la masa del volumen del sustrato, definida como la relación entre masa del material seco a 105°C y el volumen ocupado, incluido el espacio de los poros intermedios (Cruz et al., 2013).

d. Porosidad total

Es el volumen total de sustrato no ocupado por partículas. Su estimación se lleva a cabo a partir de las densidades real (DR) y aparente (DA) (Morales y Casanova, 2015).

$$PT (\%) = (1 - DA/DR) \times 100$$

e. Agua fácilmente disponible

Se define como el volumen de agua que libera el sustrato al aumentar la tensión de succión de 10 a 50 cm de columna de agua (-1 a -5 kPa), por lo cual al presentar se estas condiciones hídricas, la planta tiene un crecimiento óptimo (Cruz et al., 2013).

f. Capacidad de contenedor

Se define como la humedad de una masa de sustrato, que después de ser saturado con agua, se deja drenar totalmente y este alcanza un estado de equilibrio (Abad et al., 2004; Cruz et al., 2013).

2.5.2. Propiedades químicas

En lo que se refiere a las propiedades químicas, los sustratos orgánicos son los que contribuyen en mayor grado a estas propiedades. La capacidad de intercambio catiónico (CIC), disponibilidad de nutrientes, salinidad y la relación C/N son también importantes (Martínez & Roca, 2011). Por su parte, Puerta et al. (2012), consideran el contenido de nutrimentos, capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, CE, relación C/N y elementos fitotóxicos como las características químicas más destacadas.

a. Potencial hidrogeno (pH)

El pH de los sustratos afecta directamente en la disponibilidad de los iones para la planta. El rango óptimo en sustratos se considera de 5 a 6,5 (en extracto de saturación), lo cual no excluye que pueda variar este intervalo (Martínez y Roca, 2011).

b. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Se define como las interacciones electroquímicas interfaciales roca-fluido que determinan la cantidad de iones cargados positivamente por unidad de peso de roca seca (Chen, 2017).

c. Salinidad (CE)

Es la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato. Se considera que valores de CE medidas en el extracto de saturación, superiores a 3,5 ds/m son excesivos para la mayoría de las especies cultivadas (Martínez y Roca, 2011).

d. Relación carbono/nitrógeno (C/N)

La relación C/N en los sustratos orgánicos, permite apreciar el estado de degradación en el que se encuentra el material a emplear como sustrato y su estabilidad a lo largo del cultivo, en la cual interviene los microorganismos, que en el proceso de transformación del material, consumen principalmente nitrógeno y oxígeno. Para el cultivo en sustrato orgánico se considera óptima una relación C/N inferior a 20 que indica que el material es estable. En los materiales con alta concentración C/N, son muy poco estables y sufren una transformación a lo largo del tiempo, que harán variar tanto las propiedades químicas como las físicas (Domeño et al., 2011).

2.5.3. Propiedades biológicas.

Las propiedades biológicas se evalúan mayoritariamente en los sustratos orgánicos ya que son los más susceptibles a sufrir descomposición durante su permanencia en cualquier recipiente. Burés, 1997; Cruz *et al.*, (2013), nos mencionan que los sustratos orgánicos son inestables ya que la materia orgánica se degrada por la acción de los microorganismos y por reacciones químicas de hidrólisis.

Por lo tanto es importante determinar estas características biológicas, tales como población microbiana y su relación con la presencia de sustancias reguladoras, contenido de materia orgánica y evolución del CO₂ como un indicador de la velocidad de descomposición.

Alsanius *et al.*, (2020), nos mencionan que la determinación de las propiedades biológicas nos afirman la ausencia de patógenos y semillas de malas hierbas en el medio de cultivo y es muy importante analizarlas por dos razones:

- La reutilización de los sustratos de cultivo como resultado de la reducción de la entrada externas en los sistemas de cultivo hortícola tanto en plantas ornamentales como hortalizas, ya que el material a utilizar puede ser natural inorgánica u orgánica y es susceptible a diferentes procesos y cambios realizados por microbios.
- Aspectos fitosanitarios relacionados con los sustratos de cultivos en diferentes etapas de uso.

2.6 Importancia de la oxigenación o aireación en los sustratos

El crecimiento y desarrollo de las raíces de la planta y su producción total están muy relacionados a diferentes propiedades físicas, en especial al porcentaje de la oxigenación que presenta el sustrato utilizado, ya que esta característica nos sustenta una mejor calidad de raíces y por consecuencia una mejor adaptación y calidad de la planta. El crecimiento de las raíces de un cultivar de fresa, es más abundante cuando ronda entre 13 % y 25 % de aireación, expresando un máximo crecimiento en un valor promedio por contenedor del 19.5 %. La baja capacidad de retención de humedad de un sustrato asociada con un alta porosidad y aireación mayor del 31 % en cultivares de fresa, da como resultado un crecimiento muy pobre de la raíz (González et al., 2016).

2.7 Relación entre aireación y absorción de nutrientes en las plantas

El espacio poroso es muy importante, dado que cuando estos poros están llenos de agua, las raíces pueden quedarse rápidamente sin el oxígeno necesario para la respiración celular. Por lo tanto es importante tener un buen porcentaje de aireación o espacio poroso, que tenga disponible el agua y los nutrientes necesarios para un buen desarrollo de la raíz y por ende un mejor desarrollo de la planta. Volder y Iersel, (2019), nos mencionan que la alta porosidad de los sustratos hace que sea poco probable que la resistencia del sustrato afecte significativamente el alargamiento de las raíces. Cuando hay oxígeno disponible, las raíces pueden llevar a cabo la fosforilación oxidativa, generando (ATP) por sacarosa. En condiciones de bajo oxígeno, la fosforilación oxidativa ya no es una vía viable y el rendimiento máximo de ATP es por sacarosa a través de la glucólisis solamente. Estas condiciones retroalimentan inmediatamente los dos procesos que consumen la mayor cantidad de energía en un sistema de raíces en crecimiento: la división celular se reduce fuertemente y la absorción activa de nutrientes, que requiere ATP para mantener el H⁺ gradientes a través de las membranas celulares, se reduce severamente. Por lo tanto, no es sorprendente que muchas plantas regadas en exceso desarrollen signos de deficiencia grave de nutrientes y el problema con tales plantas a menudo se diagnostica erróneamente.

2.8 Solución nutritiva

La producción de cultivos hidropónicos cada vez va aumentando significativamente, ya que permite un uso más eficiente de agua y fertilizantes, menor costo de producción, así como un mejor control del clima, plagas y enfermedades. El factor considerado como el más importante en estos sistemas hidropónicos, es la solución nutritiva (SN) ya que este factor es el determinante del rendimiento y la calidad de los cultivos. Una SN para sistemas hidropónicos es una solución acuosa que contiene principalmente iones inorgánicos de sales solubles de elementos esenciales para las plantas superiores (Steiner, 1968; Trejo y Gómez, 2012). Andreau *et al.*, (2015) definen que, una SN como un medio que le provee a las plantas agua y los nutrientes necesarios para su buen crecimiento y desarrollo. Una SN completa debe tener los siguientes nutrientes; Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S), estos son conocidos como macronutrientes (g L^{-1}). Otros elementos como el Hierro (Fe), Molibdeno (Mo), Boro (B), Zinc (Zn), Nickel (Ni) y Cobre (Cu), son los micronutrientes (mg L^{-1}).

2.9 Concentración de soluciones nutritivas

Santos y Ríos, (2016) mencionan como es que las plantas absorben los diferentes nutrientes y cuáles son las diferentes concentraciones que se dan en las soluciones nutritivas. Los nutrientes son tomados por las raíces de las plantas, cuando estos están disueltos en el agua en forma de iones: cationes si tienen carga positiva y aniones si tiene carga negativa. Las plantas toman estos nutrientes en unos rangos de concentración más o menos amplios entre los cuales se expresan:

Mol: se define como la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas partículas elementales (átomos y moléculas) como átomos hay en 0.012 kg de carbono 12. En la práctica, la masa de un mol coincide con la masa atómica o molecular de la partícula elemental.

Equivalente: referido a mol, sería el resultado de multiplicar éste por la valencia de la partícula elemental. La valencia en las soluciones nutritivas, coincide con el número de cargas del ion.

La concentración de los diferentes elementos de la solución nutritiva (cantidad de soluto en mg, mmoles o meq por cada litro de disolución) puede venir dada de tres diferentes maneras:

- **Miligramos por litro (mg/L).** Es una unidad que equivaldría en las soluciones nutritivas a partes por millón (ppm).
- **Milimoles por litro (mmol/L).** En el caso de los microelementos se usan los micromoles/L (umol/L).
- **Miliequivalentes por litro (meq/L).**

2.10 Concentración de las soluciones nutritivas y el crecimiento de las plantas

Las soluciones nutritivas deben estar adaptadas a las concentraciones a las que efectivamente las plantas absorben los nutrientes y las interacciones entre ellos, para así tener la mejor respuesta de las plantas en cuanto el crecimiento y desarrollo de las mismas. Por ello Steiner (1996) definió unas zonas de concentraciones relativas o relaciones entre iones, donde las plantas eran capaces de tomar los nutrientes sin problemas. Para ello, trabajó con los porcentajes de la concentración de cada catión o anión (meq L^{-1}) con respecto a la total de cationes o aniones, respectivamente, proponiendo los rangos “universales (Steiner, 1996; Santos y Ríos, 2016).

Cuadro 1. Rangos aceptables de relaciones entre iones en la solución nutritiva (Steiner, 1996).

	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	NO_3^-	$\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$	SO_4^{2-}	Cl^-
Rango aceptable	% sobre total cationes				% sobre total aniones			
	25-45	35-55	17-23	0-15	35-65	3-12	25-45	0-20

El crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas está muy apegado a la concentración utilizada desde la preparación de la plántula, seguida por cada etapa fenológica a la cual se le aplica una concentración de solución nutritiva adecuada. La concentración de la solución

nutritiva es un factor crítico que afecta el crecimiento de las plantas en hidroponía (Sakamoto y Suzuki, 2020). Debido a que la SN es la única fuente de nutrientes minerales en las plantas cultivadas en hidroponía, concentraciones extremadamente bajas de nutrientes generalmente conducen a una inhibición del crecimiento. Por otro lado, las concentraciones altas de nutrientes en la solución nutritiva, causa estrés osmótico, toxicidad iónica, y restricción de crecimiento (Savvas y Adamidis, 1999; Sakamoto y Suzuki, 2020).

2.11 Propiedades fisicoquímicas de las soluciones nutritivas a considerar

El éxito de un cultivo en hidroponía está determinado entre los diferentes iones minerales, conductividad eléctrica (CE), y el pH por el cual está constituida la solución nutritiva principalmente, aunque también existen factores importantes los cuales también hay que tener en cuenta para tener éxito en los cultivos hidropónicos.

a. Calidad de agua

Es necesario conocer la calidad del agua a utilizar para la preparación de las soluciones nutritivas, debiendo checar la cantidad de cationes presentes para verificar el grado de dureza de la misma. Las aguas para las preparaciones de las soluciones nutritivas contienen normalmente cantidades apreciables de CO_3HCa , CO_3HMg , SO_4^{2-} y NO_3^- , pudiendo encontrarse también con frecuencia pequeñas cantidades de Fe, trazas de Mn, Zn y B (Carbone, 2015).

b. Disponibilidad de oxígeno

La disponibilidad de O_2 juega un rol fundamental en la absorción iónica, obteniendo así un normal crecimiento y funcionamiento de las raíces. En los medios con buena disponibilidad de oxígeno las células pueden respirar y generar energía metabólica (ATP) y por consecuencia pueden absorber todos los nutrientes necesarios para su crecimiento. La falta de O_2 por estancamiento en los sustratos puede producir acumulación de CO_2 en el medio radicular (Favela *et al.*, 2006).

c. Alcalinidad del agua

Se refiere al equilibrio entre CO_3/HCO_3 . Es importante determinar esta relación para determinar la resistencia del agua a la acidificación, ya que será necesario agregar ácido para reducir el pH a valores cercanos a 5,3 -5,5 para su uso en hidroponía (Carbone, 2015).

d. Influencia de la temperatura

La temperatura en la solución es un factor importante, ya que incrementos excesivos afectan el metabolismo celular incluso llegando a la muerte del mismo. La disponibilidad de oxígeno es más en aguas frías que calientes. El aumento de temperatura incrementa la absorción de iones K y fosfatos, así como la tasa respiratoria de las raíces que trae por ende una disminución en la disponibilidad de Fe . A bajas temperaturas en ión NH_4^+ se absorbe más rápidamente que los iones NO_3^- (Favela *et al.*, 2006).

e. Influencia de la interacción entre iones

La relación entre dos nutrientes dependerá de la concentración de cada uno de ellos, así es como dos elementos pueden ser sinérgicos a bajas concentraciones pero antagónicos a altas concentraciones. La interacción entre los nutrientes puede ocurrir durante la absorción, la translocación o en el metabolismo (Carbone, 2015).

f. Influencia del pH

El pH tiene un efecto directo sobre la absorción de nutrientes. Las soluciones con $\text{pH} \geq 7.5$ producen disminución en la absorción de NO_3^- , independientemente de la concentración de éstos, ejerciendo un efecto similar sobre el ion fosfato. Los descensos de pH restringen la absorción de NH_4^+ y aumenta la de NO_3^- . Las soluciones con $\text{pH} \leq 4$ disminuye la absorción de K produciendo un desbalance en la polaridad de las membranas celulares de las raíces. Los incrementos de pH en la solución nutritiva producen la precipitación de iones (Carbone, 2015).

Mantener el pH adecuado de la solución es muy importante, para que los nutrientes se mantengan disueltos en la solución. La mayoría de las especies cultivadas crecen en medios ligeramente ácidos en un rango de pH de 5,8-6,5. Al no mantener un pH adecuado algunos

elementos se pueden precipitar, lo que ocasionaría que no estén disponibles para la planta y como resultado se presenten deficiencias (Andreau *et al.*, 2015)

g. Influencia de la CE

La CE se define como la capacidad que tiene una solución de transportar o conducir electricidad por unidad de área. La CE se mide en S/cm²(donde S = Siemens, la unidad del sistema internacional para la conductancia) o mmhos/cm, esta nos da una idea de la cantidad de sales disueltas en la solución, la cual se debe mantener en un rango de 1.8 – 2.3 mmhos/cm. Si no se mantienen este balance puede afectar la disponibilidad de los nutrientes (Andreau *et al.*, 2015).

2.12 Interacción entre sustratos y soluciones nutritivas

La interacción entre sustrato y solución es que estos dos factores (sustrato, y solución) junto con la aireación, conforman un sustrato ideal para cultivar plantas.

Andreau, (2015), nos menciona que el sustrato está formado por tres fases:

- ❖ Fase sólida, constituida por las partículas del sustrato
- ❖ Fase líquida, constituida por el agua o solución que contiene sustancias disueltas (solución nutritiva)
- ❖ Fase gaseosa, que es el aire de los poros del sustrato

Estas fases interactúan entre sí para dar un mejor ambiente para el desarrollo y crecimiento de las plantas; de la fase líquida dependen la disponibilidad de agua, el soporte y transporte de nutrientes para las plantas. De la fase sólida (sustrato) se espera que sea el medio de cultivo ideal, mediante el cual se obtenga el máximo rendimiento potencial del cultivo. En cuanto a la fase gaseosa, se espera que se tenga el mejor aprovechamiento de la solución nutritiva así como el desarrollo radicular y por ende una mejor absorción de nutrientes.

2.13 Origen del cultivo

La fruta que se consume actualmente es el resultado de un cruzamiento espontáneo entre la variedad ‘Fragaria chiloensis’ y la variedad ‘Fragaria virginia’. El resultado es una planta vigorosa de hoja grande con pecíolo largo, flores hermafroditas autocompatibles, frutos de

gran forma y tamaño; denominada desde 1966 como *Fragaria x ananassa* que corresponde a las frutillas comerciales (Tonelli, 2010).

La fresa cultivada de frutos grandes (*Fragaria × ananassa*) se originó en Europa en el siglo XVIII. La mayoría de los países desarrollaron sus propias variedades durante el siglo XIX, que suelen ser especialmente adecuadas para el clima, la duración del día, la altitud o el tipo de producción requerido en una región en particular. La fresa proviene de un género de más de 20 especies de plantas con flores de la familia de las rosas (Rosaceae). Las fresas son nativas de las regiones del hemisferio norte y sus variedades son cultivadas en todo el mundo. Las frutas son ricas en vitamina C y comúnmente se consumen frescas como fruta de postre (Britannica, 2021).

2.14 Clasificación botánica de la fresa

Reino: Vegetal

Familia: Rosáceas

Subfamilia: Rosídeas

Género: *Fragaria*

Especie: Europeas *F. Vesca*

F. moschata

F. viridis

Americanas *F. chiloensis*

F. virginiana

Asiaticas *F. índica*

Nombre científico: *Fragaria* sp.

Nombre común: Fresa

2.15 Morfología

La planta es de tipo herbáceo, pequeña de no más de 50 cm de altura, con numerosas hojas originadas de una corona o rizoma muy corto que se encuentra a nivel del suelo y constituye la base del crecimiento de la planta, el sistema radicular es fasciculado y se compone de

raíces y raicillas (SAGARPA, 2017). El sistema radicular es fibroso y de desarrollo superficial alcanzando en sentido lateral hasta 30 cm y de 30 a 50 cm de profundidad.

El tallo es un eje corto y cónico, con forma de roseta de 2- 3 cm de longitud, denominado corona, del que emergen hojas de los nudos y una yema en la axila de cada hoja. Los estolones tienen dos entrenudos largos seguidos por entrenudos cortos que conforman la corona y da origen una nueva plantita. Una planta puede producir entre 10 y 15 estolones a lo largo, de los cuales se pueden producir alrededor de 100 plantas hijas.

Las hojas son largamente pecioladas, provistas de estipulas de color rojizas trifoliadas de borde aserrados, de color verde brillante y el as pubescente.

Las flores se disponen en inflorescencias de tipo corimbo o racimos, son perfectas o hermafroditas, corola formada por 5 pétalos blancos, cáliz persistente formado por 5 sépalos. La polinización es entomófila.

El fruto es un aquenio (cada fruto está conformado aproximadamente de 150 a 200 aquenios) cuyo desarrollo estimula el crecimiento y la coloración de la parte comestible o frutilla antes mencionada, que es un receptáculo carnoso, muy desarrollado, que contiene a los aquenios (Tonelli, 2010).

2.16 Aspectos ecofisiológicos

Tonelli (2010) menciona que, el crecimiento, desarrollo vegetativo y reproductivo de la planta de frutilla, responden a los cambios de temperatura y fotoperiodo.

Temperatura

La floración inicia a partir de la acumulación de determinado número de horas frío, las que oscilan según el cultivar, entre 250 y 1000 horas con temperaturas inferiores a los 7 °C, las cuales pueden ser reunidas por frío natural, artificial o combinado entre los dos.

Fotoperiodo

De día corto: las altas temperaturas y los días largos, con más de 12 horas de heliofania, provocan crecimiento vegetativo excesivo; mientras que las bajas temperaturas y días cortos inducen la floración. El mayor pico de producción se enfoca entre los meses de junio y julio.

De día neutro: o reflorescentes, por que florecen cualquiera sea el fotoperiodo, lo que les permite producir tres o más picos de floración.

2.17 Etapas fenológicas

Loeza (2018) describe las etapas de desarrollo del cultivo de fresa divididas en: etapa vegetativa, reproductiva y productiva.

Etapa vegetativa

- ❖ Brotes, las yemas principales comienzan a crecer.
- ❖ Desarrollo de las hojas: de las primeras hojas emergentes primeras hojas desplegadas, hasta nueve o más hojas desplegadas.
- ❖ Desarrollo de las partes vegetativas cosécales: comienzo de la formación del estolón (de 2 cm de longitud), brotes de las plantas hijas para llevarse a trasplante.

Etapa reproductiva

- ❖ Aparición del órgano floral: primeras yemas florales salidas.
- ❖ Floración: primeras flores abiertas, plena floración y caída de pétalos.

Etapa productiva

- ❖ Formación del fruto.
- ❖ Maduración del fruto
- ❖ Senescencia y comienzo del reposo vegetativo.

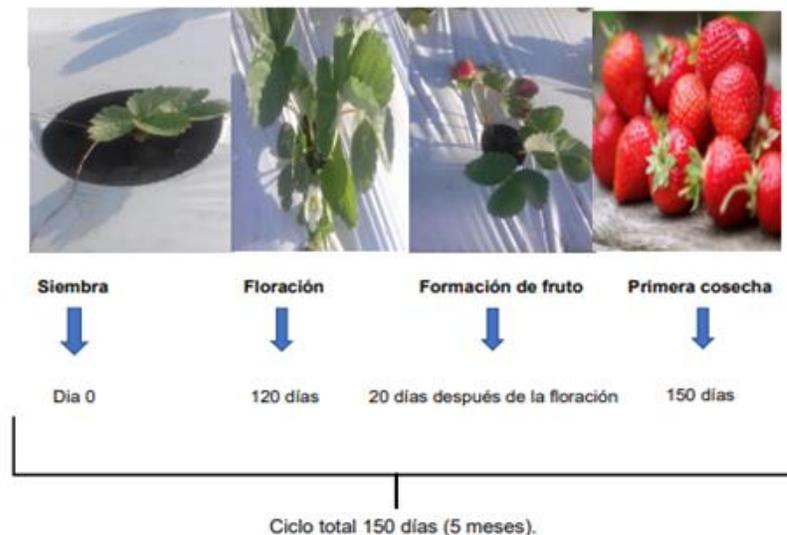


Figura 1. Fenología del cultivo de fresa (Loeza, 2018).

2.18 Ciclos de producción

Este cultivo tiene un tiempo de producción, comercialmente viable de dos años (Loeza, 2018). Los ciclos o tiempos de producción están apegados a 4 diferentes estaciones del año,

los cuales influyen en el desarrollo y producción de las plantas (Garcia, 2014). Verano: periodo con influencia de días largos y temperaturas elevadas, en el cual la planta crece y se multiplica vegetativamente por emisión de estolones. Otoño: con incidencia de días cortos y bajas temperaturas, en el cual se da una paralización progresiva del crecimiento, con una acumulación de reserva en las raíces. Aquí comienza la iniciación floral y la latencia de la planta. Invierno: es un periodo de días cortos y temperaturas descendentes en el cual se produce una paralización de crecimiento hasta que la planta acumula las horas frío necesarias para salir de latencia. Primavera: presenta temperaturas elevadas y días largos, se reanuda la actividad vegetativa, floración y fructificación, aumentando con la longitud del día.

2.19 Requerimientos edafoclimaticos

La zona apta para la producción de esta frutilla se ubica entre 1,300 y 2,000 msnm. Prefiere suelos equilibrados, ricos en materia orgánica, aireados, bien drenados, pero con cierta capacidad de retención de agua (SAGARPA, 2017). (Tonelli, 2010), menciona que, el clima afecta la productividad y la calidad del fruto, sobre todo el sabor y la firmeza, mas sin embargo, esta frutilla se cultiva en una amplia diversidad de condiciones climáticas, siendo ideal un clima templado-fresco, con temperaturas media entre 15 y 20° C con mínimas de 5-6° C bajo cero y máxima 35° C. Prefiere suelos sueltos, permeables, y bien mullidos, no tolera la falta de drenaje y se ve favorecido por los suelos levemente ácidos. Es exigente en cuanto a niveles de materia orgánica, siendo los niveles ideales entre 2-3 %.

Es muy poco exigente en cuanto el agua, teniendo un requerimiento hídrico mínimo de 600 mm anuales. (Garcia, 2014) por su parte nos menciona que el clima apto para la planta de fresa es muy amplio, por lo cual la planta se adapta muy bien a diferentes tipos de climas. La parte vegetativa es altamente resistente a heladas, soportando temperaturas de hasta -20 °C, aunque los órganos florales se ven afectados al llegar a loa 0 °C. Temperaturas por debajo de 12 °C durante el cuajado dan lugar a deformaciones por frío, a diferencia de cuando se presentan temperaturas muy elevadas se acelera la maduración y coloración obteniendo como resultado frutos muy pequeños inadecuados para la comercialización. El suelo catalogado como ideal para el cultivo de fresa seria aquel arenoso o franco- arenoso y homogéneamente profundo, con una granulometría aproximada de 50% de arena, 20 % de arcilla, 15 % de

caliza y un 5% de materia orgánica. El pH ideal para la fresa fluctúa entre 6 y 7, situándose el óptimo entre 6.5.

2.20 Producción nacional

Los cinco principales estados productores de fresa en México son Michoacán que contribuye con el 57 % del volumen total; Baja California, 37.3 %; Guanajuato, 4.1 %; México y Aguascalientes. El valor estimado del volumen de producción nacional de fresa es de 861 miles de toneladas con un consumo per cápita anual de 4.7 kilogramos (SIAP, 2020).

2.21 Producción internacional

Ramírez-Padrón *et al.* (2020) señalan que, los principales países productores de fresa son China, Estados Unidos de América, México, Turquía y Egipto, los cuales en conjunto aportan más del setenta por ciento del volumen total de la producción de fresa en el mundo. México, ocupa el tercer lugar en cuanto a productor mundial de fresa con un volumen de 8, 885,028 toneladas con una superficie cosechada de 396,401 hectáreas de 8, 885,028 por lo que el rendimiento promedio mundial fue de 22.4 toneladas por hectárea según FAOSTAT, (2019).

2.22 Plagas y Enfermedades

Cuadro 2. Plagas y enfermedades del cultivo de fresa.

Plaga	Control
Araña roja (<i>tetranychus</i> sp)	Abamectina
Pulgonos (<i>Mizus persicae</i> y <i>Aphis</i> sp)	Metamidophos, Dimetoato, Garlic
Gusano de tierra (<i>Agrotis</i> sp)	Cebos tóxicos
Gusano blanco o sancho (<i>Bothynus</i> sp)	Cebos tóxicos

Babosas y caracoles
(Agriolimax lavezis, Helix
sp)

Cebos tóxicos

Enfermedades	Control
Mancha de la hoja (Mycosphaerella fragariae)	Eliminación de hojas dañadas y aplicaciones preventivas a base de mancozeb y agrilife
Pudredumbre gris (Botrytis cinérea)	Zineb y benomil cuando los botones florales sean visibles
Oidium (spheroteca macularis)	Azufre micronizado
Podredumbre negra de la raíz (Phytophthora sp, rhizoctonia sp)	Plantas sanas y tratadas con agrilife

Fuente :Garcia, (2014).

III MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del experimento

El presente trabajo se realizó durante el periodo primavera-verano en el 2021, en uno de los invernaderos del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria

Antonio Narro, que está ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Las coordenadas de la ubicación del invernadero son 25°21'22.1"N 101°02'09.5"W.

3.2 Material vegetal

El material utilizado en este trabajo fueron plántulas de fresa de la variedad “Frontera” en cepellón, es una variedad mejorada desarrollada por Doug Shaw y Kirk Larsen en la universidad de California en el año 2014, las cuales fueron adquiridas en Jacona municipio de Zamora, Estado de Michoacán.

3.3 Preparación y caracterización del sustrato

La preparación del sustrato ideal para establecer las plántulas de fresa, consto de tres mezclas con diferentes sustratos: peat moss, fibra de coco y perlita. Estos tres sustratos se mezclaron en diferentes cantidades tomando como medida litros y teniendo por objeto; lograr una aireación promedio del 25 % en tres diferentes mezclas.

Las mezclas que se lograron fueron las siguientes:

Mezcla 1:

1 litro de peat moss

3 litros de perlita

Mezcla 2:

3.1 litros de fibra de coco

0.9 litro de peat moss

Mezcla 3:

1.21 litros de peat moss

0.97 litros de fibra de coco

1.82 litros de perlita

Para calcular la aireación requerida de las mezclas se utilizó un cilindro de tubo PVC de un diámetro de 11 cm y una altura de 20 cm, con tapón, con 4 orificios en el inferior, asimilando una maceta.

El procedimiento que se siguió para obtener la aireación consistió en llenar el cilindro con cada una de las tres mezclas de sustratos hasta la altura requerida, para después proseguir a sumergir el cilindro en un bote de 20 litros, lleno de agua, sin que el agua entre por la parte superior del cilindro, dejando que el agua suba lentamente por los espacios porosos abajo hacia arriba (capilaridad), hasta llegar a formar una película de agua a la altura donde se dejó el sustrato. Al estar completamente llenos de agua todos los poros del sustrato, se taparon los 4 orificios del cilindro, se sacó y se dejó drenar en un recipiente por un tiempo promedio de 15 minutos, hasta que ya no escurriera agua por los orificios. Al agua que escurrió se le llamo “volumen drenado”, la cual se utilizó para calcular la aireación correcta de las tres mezclas de sustratos.

Para el cálculo del volumen del cilindro se utilizan la siguiente formula:

$$V = \pi * r^2 * A$$

Donde

V= volumen total del cilindro

$\pi = 3.1416$

r^2 = radio al cuadrado del cilindro

A= Altura a manejar en el cilindro

Para el cálculo del % de aireación del sustrato o mezcla de sustratos, se utiliza la siguiente formula:

$$\% \text{ aireación} = (\text{volumen drenado} / \text{volumen del cilindro}) * 100$$

3.4 Tratamientos

Los tratamientos consistieron en la aplicación de 3 concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, definidas por la etapa vegetativa y etapa de floración, las concentraciones de la solución nutritiva fueron: SN1 (40 %, 60 %), SN2 (60%, 80%), SN3 (80 %, 100%) y las tres mezclas de sustratos, con una oxigenación del 25 %, las cuales fueron: Mezcla 1 (1 litro de peat moss, 3 litros de perlita); Mezcla 2 (3.1 litros de fibra de coco, 0.9 litro de peat moss); Mezcla 3 (1.21 litros de peat moss, 0.97 litros de fibra de coco, 1.82 litros de perlita).

Cuadro 3. Relación de tratamientos evaluados.

Tratamiento (T)	Número de mezcla (M)	Solución Nutritiva (SN)
1	M1	SN1
2	M1	SN2
3	M1	SN3
4	M2	SN1
5	M2	SN2
6	M2	SN3
7	M3	SN1
8	M3	SN2
9	M3	SN3

3.5 Diseño experimental.

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial 3 x 3, dando un total de nueve tratamientos y cuatro repeticiones en cada tratamiento.

3.6 Plantación.

Se llenaron 36 macetas en bolsas de 6 litros de capacidad, con cada una de las tres mezclas designadas, 12 macetas de cada mezcla. El trasplante de la planta de fresa se realizó el 16 de marzo de 2021, con plántulas de 3 hojas desarrolladas, cuando las mezclas estuvieron bien establecidas, y las macetas llenas hasta una altura de 20 cm.

3.7 Riego y Manejo nutricional

Los riegos se comenzaron desde el día 16 de marzo de 2021, con una aplicación cada tercer día de 400 ml en una sola aplicación en las horas de la tarde.

Para el mes de mayo se elevó la cantidad de agua a 500 ml pero en dos aplicaciones, una en la mañana y otra en la tarde de 250 ml. Este procedimiento se realizó hasta el 22 de junio de 2021, cuando se evaluaron las plantas. Los riegos se realizaron manualmente.

El manejo nutricional durante el ciclo de la fresa, consistió en una solución Steiner aplicada en tres diferentes concentraciones, tomando en cuenta su etapa fenológica. Se comenzó con una concentración del 50 %, para adaptación de las plantas, desde el día 17 de marzo hasta el 7 de mayo, cuando se comenzó con los tratamientos.

La etapa vegetativa, en la cual se aplicaron tres diferentes concentraciones de las cuales consistió, solución 1 (40%), solución 2 (60%), solución 3 (80%).

Durante la etapa de floración se cambiaron las concentraciones de cada solución. La solución 1 (60%), la solución 2 (80%), la solución 3 (100%).

3.8 Variables evaluadas

Altura de planta (AP). La unidad de medida para esta variable fue en centímetros (cm), la cual fue tomada con una cinta métrica (flexómetro).

Longitud de raíz (LR). Para esta variable fue necesario sacar de la maceta la planta y limpiar la raíz completamente, al estar limpia se tomaron las medidas en centímetros (cm), con un flexómetro, desde la parte donde comienza la corona hasta la punta inferior de la raíz.

Volumen de raíz (VR). Esta variable consistió en limpiar muy bien la raíz y quitar todo aquel residuo ajeno a ella, para después con ayuda de una probeta y agua, aforar la probeta hasta una cantidad conocida (400 ml), prosiguiendo con sumergir la raíz y anotar en mililitros (ml) el dato resultante del aumento en la probeta.

Peso seco de raíz (PSR). En gramos (g), se midió esta variable tomando solo el fragmento seco de la raíz, la cual se pesó en una báscula digital, después por un proceso de secado a una estufa por 72 horas a 65°C.

Peso seco de corona (PSC). Después del secado se pesaron en una báscula digital y obtener los datos en gramos (g).

Peso seco aéreo (PSA). La unidad de medida de esta variable fue gramos (g), la cual fue tomada en una báscula digital el 13 de julio una vez que haya pasado por un proceso de secado en bolsas de papel estraza.

3.9 Análisis estadísticos

Los datos colectados se sometieron a un análisis de varianza y una comparación media múltiple de con la prueba Tukey ($\alpha \leq 0.05$), con ayuda del programa SAS versión 9.0.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Comparación de medias de los tratamientos

El crecimiento de las plantas de fresa fue afectado significativamente por la dosificación de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la etapa vegetativa y etapa de floración, y por la formulación de la mezcla sustrato (Cuadro 4). En la altura de planta (AP) se observó un mayor crecimiento cuando se suministró la combinación de SN FV80-FF100 (80% y 100%, respectivamente) y se utilizó la mezcla de Fibra de coco + Peat moss (FC+PM) seguido de la combinación Perlita + Fibra de coco + Peat moss (P+FC+PM), sin embargo, la interacción

de los factores no se obtuvo influencia sobre esta variable al no mostrar diferencia estadística significativa (Cuadro 4).

La longitud de raíz (LR) no presentó diferencias estadísticas significativas por el suministro dosificado de la Solución nutritiva, sin embargo, es posible apreciar un ligero incremento al aplicar la combinación de solución nutritiva FV80-FF100 (80% fase vegetativa y 100% fase de floración, respectivamente). Esta variable tuvo una mayor longitud cuando las plantas se establecieron en la mezcla de sustrato de Fibra de coco + Peat moss (FC+PM). En esta variable se observó una interacción estadísticamente positiva entre los dos factores evaluados (Cuadro 4).

El volumen de raíz (VR) presentó diferencia estadística significativa entre los factores evaluados. Las plantas presentaron mayor volumen de raíz con las concentraciones Fase Vegetativa (60 % y 80 %) y Fase de Floración (80 % y 100 %) respectivamente. La mezcla de sustratos promovió el incremento del volumen de raíz, este fue mayor cuando las plantas se establecieron en FC + PM, seguido por la mezcla de P + FC + PM (Cuadro 4). La interacción entre los factores tuvo influencia altamente significativa sobre la variable en mención.

El peso seco de raíz (PSR) fue mayor cuando las plantas fueron fertilizadas en la FV y FF con 80% y 100% respectivamente de la SN, en comparación con aquellas que recibieron una concentración igual o menor de 80% de la SN de ambas fases. De igual manera la mezcla de sustratos que promovió mayor PSR fueron P+FC+PM y FC + PM, en comparación de aquellas plantas que crecieron en P+PM (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) para las variables altura de planta, longitud de raíz, volumen de raíz, peso seco de raíz, peso seco de corona, peso seco aéreo en el cultivo de Fresa.

Solución nutritiva (%)	Altura de planta (cm)	Longitud de raíz (cm)	Volumen de raíz (ml)	Peso seco de raíz (g)	Peso seco de corona (g)	Peso seco aéreo (g)
FV40-FF60	8.233b	42.783a	12.883b	2.083b	1.150b	5.816b
FV60-FF80	9.550b	46.033a	23.108a	4.500a	1.608a	11.550a
FV80-FF100	11.608a	45.317a	22.442a	4.750a	1.550a	11.492a
Anova $p \leq$	0.001	NS	0.004	0.001	0.002	0.001
Mezcla de Sustratos						
P+PM	8.217b	41.958b	15.442b	2.800b	1.058b	6.667b
FC+PM	10.825a	48.092a	23.000a	4.208a	1.725a	11.442a
P+FC+PM	10.350a	44.083b	19.992ba	4.325a	1.525a	10.750a
Anova $p \leq$	0.002	0.001	0.017	0.004	0.001	0.001
Interacción $p \leq$	0.11	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
CV (%)	14.03	7.79	30.77	23.28	17.27	16.31

FV40-FF60: Fase vegetativa 40 % - Fase floración 60 %; FV60- FF80: Fase vegetativa 60 % – Fase floración 80 %; FV 80- FF100: Fase vegetativa 80 % - Fase floración 100 %; P+PM: Perlita+Peat moss; FC+PM: Fibra de coco+Peat moss; P+FC+PM: Perlita+Fibra de coco+Peat moss; CV (%): Coeficiente de variación.

Los pesos secos de corona (PSC) y de la parte aérea (PSA) mostraron diferencias estadísticas significativas con la aplicación de los tratamientos. En ambas variables se registraron diferencias significativas con el suministro de las concentraciones de SN y de la mezcla de sustratos. Las plantas alcanzaron mayor peso seco de corona y parte aérea con la nutrición FV y FF con 60% y 80% respectivamente, seguida de la dosificación FV y FF con 80% y 100% respectivamente. Resultado similar se presentó con la mezcla de sustrato, en este factor la mezcla de FC + PM, seguido por la mezcla de P + FC + PM promovieron el

incremento del peso seco de la corona y parte aérea (Cuadro 4). La interacción de estos dos factores en las dos variables tuvo efectos estadísticamente significativos (Cuadro 4).

1.2 Efecto de las interacciones

4.2.1 Longitud de raíz (LR)

Las plantas cultivadas en la mezcla FC+PM obtuvieron una mayor LR, siempre y cuando estas fueran nutridas en la FV y de FF con 60 % y 80 % respectivamente, de la SN en comparación con aquellas que se nutrieron con una concentración menor o mayor a 80 % de la SN y una mezcla de sustrato diferente (Figura 2).

Los resultados obtenidos en esta investigación se asemejan a los obtenidos por Moguel-Ordóñez *et al.* (2018), que al utilizar una mezcla de musgo (*Sphagnum*) y fibra de coco, obtuvo formación de raíces en menor tiempo, una adaptación más rápida y un mejor desarrollo de las plantas de estevia (*Stevia rebaudiana* B.). El efecto de mayor longitud de raíz puede ser debido a que los sustratos a base de musgo y fibra de coco no solo brindan soporte a la planta sino que también intervienen en procesos de adsorción, son químicamente activos, ya que se ha reportado que intervienen en la fijación de nutrientes (Pastor, 2000; Moguel-Ordóñez *et al.*, 2018).

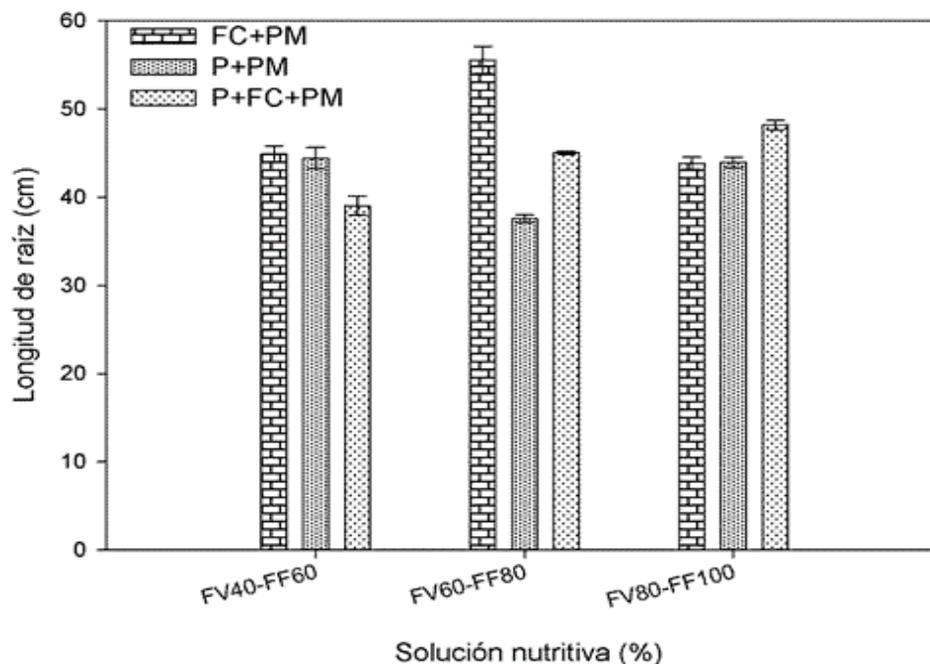


Figura 2. Efecto de la interacción entre mezcla de sustratos y concentración de la solución nutritiva en la longitud de la raíz de las plantas fresa cv. Frontera.

4.2.2 Volumen de raíz (VR)

La mezcla FC+PM promovió un mayor VR cuando estas recibieron una nutrición en la FV y FF con 60% y 80% de la SN, sin embargo, una mezcla diferente a esta y otro concentración de la SN el VR tiende a disminuir su crecimiento (Figura 3). El tamaño de partícula de los sustratos equivalente a 0,50 mm determina un cambio importante y altamente significativo sobre la relación humedad: aire, ya que presentan una óptima capacidad de retención de humedad, lo que significa que el agua se encuentra fácilmente disponible a las raíces de las plantas y una capacidad de aireación que permite el crecimiento de estas sin daño mecánico por problemas de compactación (Noguera et al. 2004; Morales-Maldonado y Casanova-Lugo, 2015). Por su parte, Rodríguez (2019) demostró que, una solución Steiner a concentraciones del 50% y 100 % en combinación con una mezcla de vermicompos + jal en diferentes concentraciones, reflejan un mejor desarrollo, mayor crecimiento radicular así como mejor rendimiento en plantas de tomate saladette.

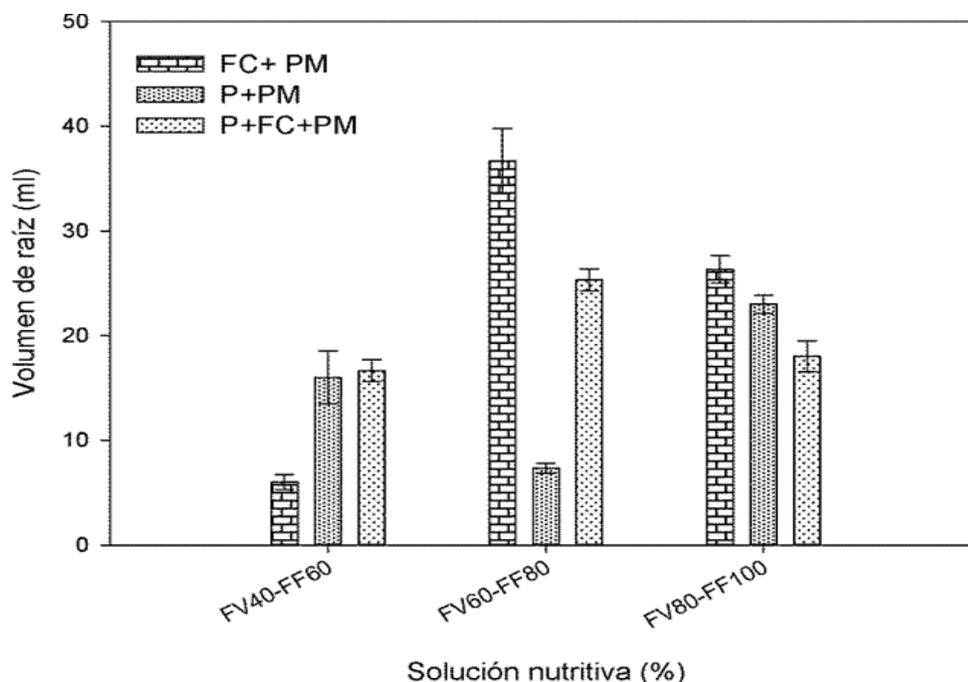


Figura 3. Efecto de la interacción entre mezcla de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el volumen de raíz de las plantas fresa cv. Frontera.

4.2.3 Peso seco de raíz (PSR)

El medio de crecimiento a base de FC+PM y con la aplicación de la SN en las FV y FF de una concentración igual a 60% y 80% promovieron un mayor peso seco de raíz (PSR). De igual forma se observa que el menor PSR se presencié cuando estas recibieron una concentración igual o menor de 60% de la SN en la FF e independientemente del tipo de mezcla de sustrato (Figura 4). López *et al.* (2005) y Medina-Bolívar *et al.* (2016) mencionan que, el valor de peso seco de raíz, está muy relacionado a la absorción de agua y nutrientes dada por las propiedades de los sustratos ya que, algunos pueden presentar un mayor contenido de nutrientes y una mejor retención de humedad.

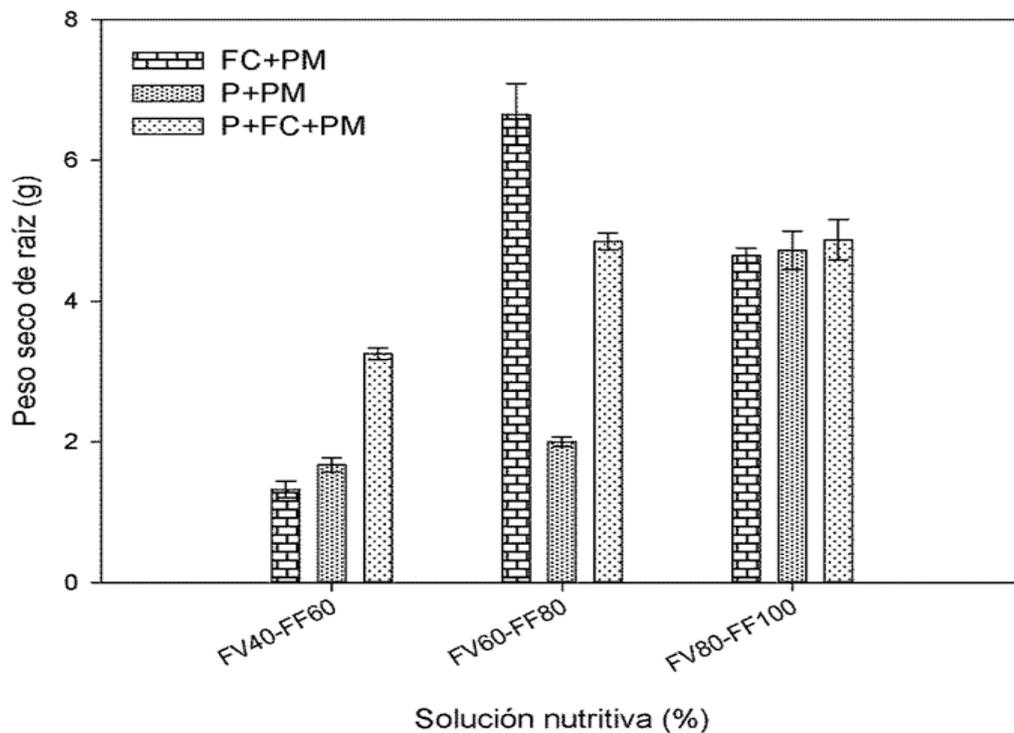


Figura 4. Efecto de la interacción entre mezcla de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el peso seco de raíz de las plantas fresa cv. Frontera.

4.2.4 Peso seco de corona (PSC)

En cuanto al PSC fue mayor con la mezcla FC+PM con el suministro en FV y FF de 60 % y 80 % respectivamente de la SN, similar efecto se observa con esta misma mezcla de sustrato pero con el 80 % y 100 % de SN en la FV y FF (Figura 5). El aumento del peso de corona en esta mezcla pudo presentarse debido a que las propiedades físicas de la fibra de coco son muy semejantes en cuanto a las turbas rubias, respecto al tamaño de partícula, inercia termina, retención de humedad, aireación y drenaje (Alarcón y Murcia, 2000; Medina-Bolívar *et al.*, 2016).

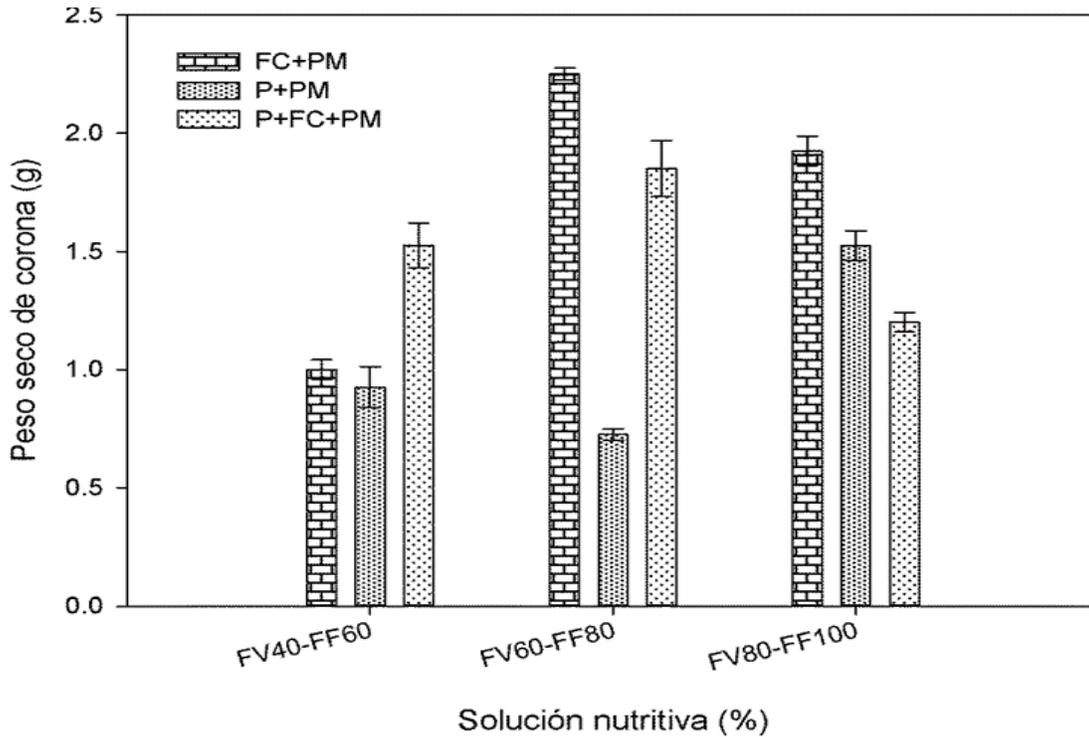


Figura 5. Efecto de la interacción entre mezcla de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el peso seco de corona de las plantas fresa cv. Frontera.

4.2.5 Peso seco aéreo (PSA)

El PSA se incrementó en plantas que se establecieron en la mezcla FC+PM y nutridas en la FV y FF con una concentración de 60 % y 80 % respectivamente, de la SN. En general, la mezcla P+PM en las tres concentraciones presento un menor PSA (Figura 6). El mayor desarrollo de la planta pudo haber estado influenciado por distintas propiedades que solo los sustratos orgánicos contribuyen, tales como, propiedades que mejoran la absorción y asimilación de nutrientes por medio de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), disposición de nutrientes, salinidad y su relación C/N (Cruz-Crespo *et al.*, 2013). Además, este aumento en el crecimiento de la parte aérea de la planta también puede ser debido a que

tuvieron mayor crecimiento radicular, porque pudo a ver facilitado una mayor absorción de agua y nutrientes.

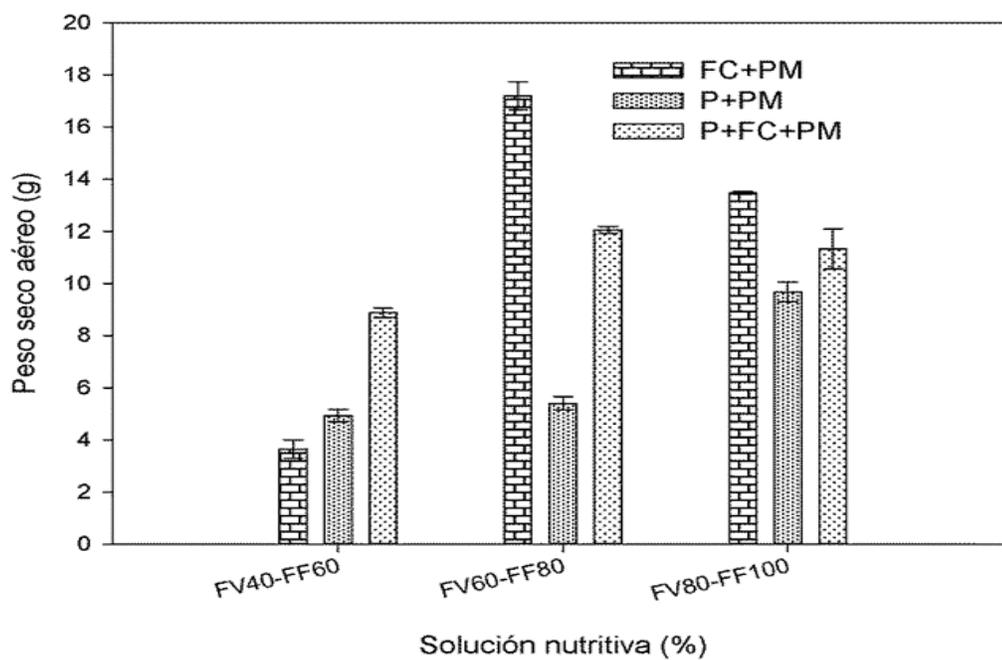


Figura 6. Efecto de la interacción entre mezcla de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el peso seco aéreo de las plantas fresa cv. Frontera.

V CONCLUSIONES

El crecimiento de las plantas de fresa es favorecido por la aplicación de las concentraciones de la solución nutritiva Steiner. La variable altura de planta tubo mejor respuesta con la aplicación de las concentraciones 80% en fase vegetativa y 100% en la fase de floración. Las variables longitud de raíz, volumen de raíz, peso seco de raíz, peso seco de corona y peso seco aéreo tuvieron mayor crecimiento con la aplicación de la concentración 60% en fase vegetativa y 80% en la fase de floración.

Las plantas presentaron mayores incrementos en la longitud de raíz, volumen de raíz, peso seco de corona y peso seco aéreo cuando se establecieron en la mezcla de fibra de coco + peat moss. La mezcla de perlita + fibra de coco + peat moss tuvo efecto positivo sobre las variables peso seco de raíz.

El suministro de la concentración de solución nutritiva de 60% en fase vegetativa y 80% en la fase de floración, en interacción con la mezcla de fibra de coco + peat moss promovieron mayor longitud de raíz, volumen de raíz, peso seco de raíz, peso seco de corona y peso seco aéreo.

VI LITERATURA CITADA

- . **M. D. S. 2013.** a Review on Plant Without Soil - Hydroponics. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 02(03), 299–304.
- Abad B., M., P. Noguera M., y C. B. Carrión. 2005.** Sustratos en los cultivos sin suelo y fertirrigación. In: Cadahía, C. L. (ed.). *Fertirrigación: Cultivos Hortícolas y Ornamentales*. MundiPrensa. Madrid, España. pp: 299-352.
- Abad, M., Noguera, P., & Carrión, C. 2004.** Los sustratos en los cultivos sin suelo. *Tratado de cultivo sin suelo*, 3, 113-158.
- Alarcón A, Murcia L. 2000.** Cultivo en fibra de coco. En: *Tecnología para cultivos de alto rendimiento*. Novedades Agrícolas, España. pp 245-250.
- Alsanius, B. W., Horticulture, M., Wohanka, W., & Phytomedicine, S. 2020.** *Prospects for Biological Characterization and Evaluation of Growing Media*. 2000, 99–110.
- Andreau, R., Giménez, D., y Beltrano, J. 2015.** Soluciones nutritivas II. *Cultivo en Hidroponía*. J. Beltrano y DO Giménez (coords.) *Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad Nacional de La Plata*. Buenos Aires, Argentina. pp, 91-108.
- Andreau. R. 2015.** Soluciones Nutritivas I. *Cultivo en Hidroponía*. J. Beltrano y DO Giménez (coords.) *Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad Nacional de La Plata*. Buenos Aires, Argentina. pp, 73-90.
- Ayala- Sierra, A y Valdez- Aguilar, L. A. 2008.** El polvo de coco como sustrato alternativo para la obtención de plantas ornamentales para trasplante. *Revista Chapingo serie Horticultura* 14 (2): 161-167.
- Benedetto, A. Di. 2016.** In : *Ornamental Plants : Types , Cultivation and Nutrition root restriction and post- transplant effects for bedding pot plants* (Issue February).
- Bhandari, N. S., Jatav, V., & Goshwami, V. 2016.** *Substrate Culture : Future Perspective*

for Horticultural Crops Production. 5(22), 10268–10271.

Britannica, los editores de la enciclopedia. "Fresa". *Enciclopedia Británica*, 20 de febrero de 2021, <https://www.britannica.com/plant/strawberry>. Consultado el 28 de julio de 2021.

Carbone, A. 2015. Nutrición Mineral. *Cultivo en Hidroponía*. J. Beltrano y DO Giménez (coords.) Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires, Argentina. pp, 62-72.

Cheng, Kai y Zoya Heidari. "Un nuevo método para cuantificar la capacidad de intercambio catiónico en minerales de arcilla". Documento presentado en el 58 ° Simposio Anual de Tala de SPWLA, Oklahoma City, Oklahoma, EE. UU. UU., Junio de 2017.

Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Sandoval-Villa, M., Bugarín-Montoya, R., Robles-Bermúdez, A., & Juárez-López, P. 2013. Sustratos en la horticultura substrates in horticulture. *Revista Biociencias*, 2(2), 17–26.

Dimitrios Savvas & Konstantinos Adamidis. 1999. Manejo automatizado de soluciones de nutrientes basado en la conductividad eléctrica objetivo, ph y proporciones de concentración de nutrientes, *Journal of Plant Nutrition*, 22: 9, 1415-1432, DOI: [10.1080 / 01904169909365723](https://doi.org/10.1080/01904169909365723)

Domeño, I., I. Irigoyen, y J. Muro. 2011. Comparison of traditional and improved methods for estimating the stability of organic growing media. *Sci. Hort.* 130: 335-340

FAO. 2019. División de estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: Principales productores de fresa 2019. Consultado el día 24 de enero de 2022. <https://www.fao.org/statistics/es/>

Favela, E., Preciado, P., Benavides, A. 2006. Manual preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 1- 148.

Fuentes, JAG., Evans, RY., López-Cervantes, R., Benavides-Mendoza, A. y De la Fuente, MC. 2016. Las propiedades físicas del sustrato de crecimiento operacional el

desarrollo de la fresa cultivar 'Albion'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (17), 3607-3621.

García, M. 2014. *Ficha Técnica para el Cultivo de la Fresa*. 2, 9. [http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/Ficha Técnica para el Cultivo de la Fresa_0.pdf](http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/Ficha_Técnica_para_el_Cultivo_de_la_Fresa_0.pdf)

Gayosso-Rodríguez, S., Borges-Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M. A., & Garruña-Hernández, R. 2016. Sustratos para producción de flores. *Agrociencia*, 50(5), 617-631.

Hydro environment. 2021. Guía: tipos de sustratos para la hidroponía. Retrieved December 05, 202. https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=32

INTAGRI. 2017. Solución Nutritiva y su Monitoreo Mediante Análisis Químico Completo. Serie Horticultura Protegida. Núm. 27. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3p.

Loeza, J. 2018. Manual de producción de fresa en Coalcomán Michoacán. *Tecnológico Nacional de México*, 1–53. [https://www.itscoalcoman.edu.mx/content/descargas/vinculacion/ \(Esteban Favela Chavez, 2006\)cultivo de fresa en coalcoman.pdf](https://www.itscoalcoman.edu.mx/content/descargas/vinculacion/(Esteban_Favela_Chavez,2006)cultivo_de_fresa_en_coalcoman.pdf)

López L, Cárdenas R, Lobit P, Martínez O, Escalante O. 2005. Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. *Rev. Fitotec. Mex*, 28(2): 171-174

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*, 37–77.

Medina-Bolívar, J. S., Pinzón-Sandoval, E. H., & Cely, G. E. 2016. Efecto de sustratos orgánicos en plantas de fresa (*Fragaria sp.*) cv ‘Albion’ bajo condiciones de campo. *Ciencia y Agricultura*, 13(2), 19–28. <https://doi.org/10.19053/01228420.v13.n2.2016.5548>

Moguel Ordóñez, Y., Ramírez Jaramillo, G., & Tepal Chalé, J. 2018. Efecto de la calidad del agua y sustratos en la producción de plántulas de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 21, 4284–4295. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1529>

Morales-Maldonado, E. R., & Casanova-Lugo, F. 2015. Mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos, tamaño de partícula y proporción. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2), 365. <https://doi.org/10.15517/am.v26i2.19331>

Noguera, P., M. Abad, R. Puchades, A. Maquieira y V. Noguera. 2004. Influencia del tamaño de partícula en las propiedades físicas y químicas del polvo de fibra de coco como medio de contenedor. *Comun. Ciencia del suelo. Plant Anal.* 34: 593-605.

Pastor, J. 2000. Utilización de sustratos en vivero. Universidad de Lleida, Depto. de Hortofruticultura, Botánica y Jardinería. Madrid, España. 231-235 pp.

Puerta A., C. E., T. Russián L., y C. A. Ruíz S. 2012. Producción de plántulas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en sustratos orgánicos a base de mezclas con fibra de coco. *Rev. Cient. UDO Agríc.* 12: 298-306.

Ramírez Padrón, L. C., Cauich, I. C., Fernández, V. G. P., Luis, D. M., & Fernández, A. P. 2020. Análisis de los indicadores de competitividad de las exportaciones de fresa mexicana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 815–827. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2049>

Rodríguez, M. A. 2019. Evaluación de vermicomposta como componentes de sustrato en la producción de jitomate. [Tesis maestría. Universidad de Guadalajara].

Sáez, J. N. P. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 231-235.

SAGARPA. 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. pp, 1-20

Santos, C. B., & Ríos, M. D. 2016. *Cálculo de soluciones nutritivas.*

http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_622_soluciones_nutritivas.pdf

Santos Júnior, J. A., Gheyi, H. R., Dias, N. da S., Araujo, D. L., & Guedes Filho, D. H. 2014. Substratos e diferentes concentrações da solução nutritiva preparada em água residuária no crescimento do girassol. *Revista Ciência Agronômica*, 45(4), 696–707. <https://doi.org/10.1590/s1806-66902014000400007>

Schindler, U., Lischeid, G., & Müller, L. 2017. Hydraulic performance of horticultural substrates-3. Impact of substrate composition and ingredients. *Horticulturae*, 3(1). <https://doi.org/10.3390/horticulturae3010007>

SIAP. 2020. Panorama Agroalimentario 2020. pp 74-200

Trejo-Téllez, LI y Gómez-Merino, FC. 2012. Soluciones nutritivas para sistemas hidropónicos. *Hidroponía: una metodología estándar para las investigaciones biológicas de las plantas*, 1-22.

Tonelli, B. 2010. Cultivo de Frutilla. Catedra Horticultura, 9.

Urrestarazu, M. 2015. Manual Práctico del Cultivo sin Suelo e Hidroponía. Mundi-Prensa. Madrid, España. 278 p.

Villasmil M. Uso de desechos orgánicos compostados en mezclas para la producción de dos plantas de temporada (Tesis) Maestría en Horticultura. Barquisimeto, estado Lara, Venezuela: Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, 2008

Volder, A., & Iersel, M. van. 2019. Root growth, physiology, and potential impact of soilless culture on their functioning. In *Soilless Culture: Theory and Practice Theory and Practice* (Second Edi). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00002-5>