



DIRECCIÓN DE POSGRADO

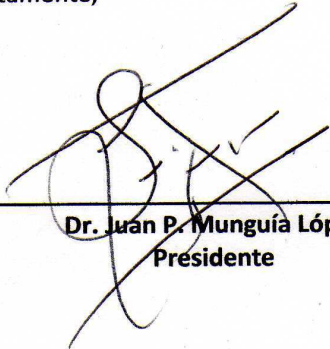
Saltillo, Coahuila a 27 de Noviembre de 2013

**Coordinación de Posgrado
Presente**


Por este conducto nos permitimos informar a esta coordinación que, el documento de tesis preparado por **RAMÓN DONOVAN ZARAGOZA NIETO** titulado "***Evaluación de técnicas hidropónicas en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) bajo invernadero***" el cual fue presentado el día **22 de Noviembre de 2013**, ha sido modificado de acuerdo a las observaciones, comentarios y sugerencias, realizadas por el Comité Evaluador asignado. Por tal motivo, avalamos que el documento adjunto corresponde a la versión final del documento de tesis.

Atentamente,

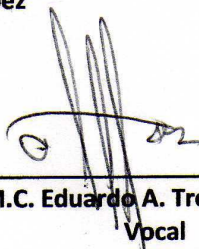
SINODALES



Dr. Juan P. Munguía López
Presidente



Dr. R. Hugo Lira Saldívar
Secretario

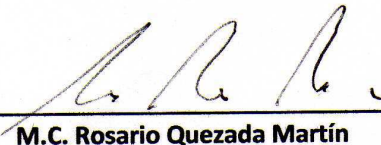


M.C. Eduardo A. Treviño López
Vocal

Vo. Bo. de los ASESORES



Dr. Marco Antonio Arellano García



M.C. Rosario Quezada Martín

TESIS CON CARACTER ABIERTO

PROGRAMA: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

AUTOR: RAMÓN DONOVAN ZARAGOZA NIETO FIRMA 

TITULO: Evaluación de técnicas hidropónicas de producción en el cultivo de fresa (Fragaria x ananassa) bajo invernadero.

ASESORES: Dr. Marco Antonio Arellano García FIRMA: 

M.C. Ma. Rosario Quezada Martín FIRMA: 

El Centro de Investigación en Química Aplicada clasifica el presente documento de tesis como ABIERTO.

Un documento clasificado como Abierto se expone en los estantes del Centro de Información para su consulta. Dicho documento no puede ser copiado en ninguna modalidad sin autorización por escrito del Titular del Centro de Información o del Director General del CIQA.

Saltillo, Coahuila, a 22 de Noviembre de 2013



Sello de la Institución

Dr. Oliverio Santiago Rodríguez Fernández
Director General del CIQA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



PROGRAMA DE POSGRADO EN AGROPLASTICULTURA

**“Evaluación de Técnicas Hidropónicas de Producción en el Cultivo de Fresa
(*Fragaria x ananassa*) Bajo Invernadero”**

TESIS

Presentada por:

RAMÓN DONOVAN ZARAGOZA NIETO

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre del 2013

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura

TESIS

**Evaluación de técnicas hidropónicas de producción en el cultivo de fresa
(Fragaria x ananassa) bajo invernadero**

Presentada por:

RAMÓN DONOVAN ZARAGOZA NIETO

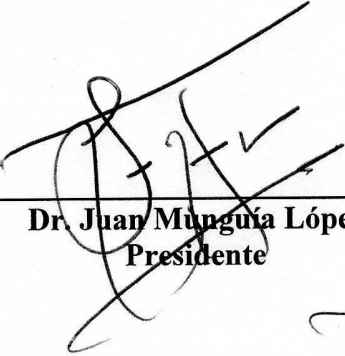

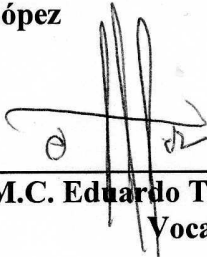
Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Agroplasticultura

Asesorado por:

Dr. Marco Antonio Arellano García
M.C. Ma. Rosario Quezada Martín

SINODALES

 _____ Dr. Juan Munguía López Presidente	 _____ Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar Secretario
 _____ M.C. Eduardo Treviño López Vocal	

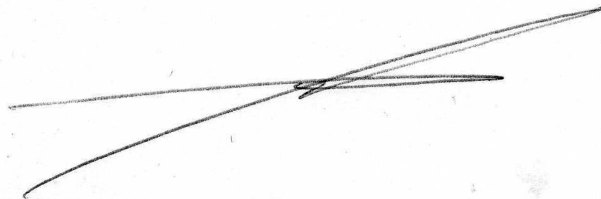
Saltillo, Coahuila

Noviembre, 2013

DECLARACIÓN

Declaro que la información contenida en la Parte Experimental así como en la Parte de Resultados y Discusiones de este documento y que forman parte de las actividades de investigación y desarrollo realizadas durante el período que se me asignó para llevar a cabo mi trabajo de tesis, será propiedad del Centro de Investigación en Química Aplicada.

Saltillo, Coahuila a 22 de noviembre de 2013



RAMÓN DONOVAN ZARAGOZA NIETO

Nombre y Firma

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología**, por otorgarme el apoyo económico con lo cual me permitió realizar este proyecto.

Al **Centro de Investigación en Química Aplicada** por darme la oportunidad de continuar con mi formación académica.

Al **Dr. Marco Antonio Arellano** por compartir sus conocimientos y por el apoyo brindado en la realización del presente trabajo de investigación.

A la **M.C Ma. Del Rosario Quezada Martín** por haberme dado sus consejos prácticos y orientación sobre la realización de este presente trabajo.

Al **MC. Eduardo Alfonso Treviño López**, al **Ing. Felipe Hernández Castillo** y a la **M.C Juanita Flores Velázquez**, al **Sr. Jacobo Prado** por haber colaborado en las actividades realizadas en campo y darme su amistad y apoyo durante la realización de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PP
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
2.1 Objetivo general	3
2.1.1 Objetivos específicos	3
2.1 Hipótesis	3
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Origen de la fresa	4
3.2. Descripción botánica	5
3.2.1 Cultivares	6
3.2.2 Propagación de la planta de fresa	8
3.3 Requerimientos ambientales	9
3.3.1 Fotoperiodo	9
3.3.2 Temperatura	9
3.4 Solución nutritiva	10
3.4.1 potencial de hidrogeno (pH).....	10
3.4.2 Conductividad eléctrica (CE)	11
3.4.3 Requerimiento nutricional del cultivo	12
3.5 Cultivos sin suelo	12
3.5.1 Sistema hidropónico en sustrato.....	14
3.5.1.1 Turba (peat moss)	15
3.5.2 Sistema NFT (Nutrient Film Technique).	16
3.5.4 sistema Aeropónico	16
3.6 Cultivos protegidos	17
3.6.1 Factores que afectan la producción en invernadero	18
3.6.1.1 Efecto de la radiación.....	18

3.6.1.2 Radiación fotosintéticamente activa	19
3.6.1.3 Radiación difusa	20
3.6.1.4 Temperatura.....	21
3.6.1.5 Humedad relativa.....	22
3.6.1.6 Concentraciones de bióxido de carbono.....	23
3.7 Eficiencia en el uso de agua y de nutrimentos en el cultivo	24
3.8 Descripción de los índices de crecimiento.....	24
3.8.1 Tasa de crecimiento relativo (TCR).	25
3.8.2 Tasa de asimilación neta (TAN).....	26
3.8.3 Razón de área foliar (RAF).....	26
3.8.4 Razón de peso foliar (RPF).....	26
3.8.5 Área foliar específica (AFE).	26
3.8.6 Coeficiente de partición de biomasa (CBP).....	27
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
4.1 Materiales para la instalación de los sistemas.....	28
4.2 Equipos, fertilizantes y agroquímicos	29
4.3 Metodología.....	29
4.3.1 Sitio experimental.....	29
4.3.2 Clima	30
4.3.3 Sistemas evaluados.....	30
4.3.4 Material vegetal.....	33
4.3.5 Características del invernadero	33
4.4 Prácticas Culturales del Cultivo en Invernadero.....	34
4.4.1 Control de plagas y enfermedades.....	34
4.4.2 Cosecha.....	35
4.4.3 Sólidos solubles (°Brix)	35
4.4.5 Tamaño del fruto	36
4.4.6 Muestreos.....	36
4.5 Determinación de los índices de crecimiento	36
4.5.1 Tasa de crecimiento relativo total.....	36
4.5.2 Tasa de crecimiento relativo de tallo	37
4.5.3 Tasa de crecimiento relativo hoja.....	37

4.5.4 Tasa de crecimiento relativo fruto.....	37
4.5.5 Tasa de crecimiento relativo flor.....	38
4.5.6 Tasa de asimilación neta.....	38
4.5.7 Razón de peso foliar.....	39
4.5.8 Razón de área foliar.....	39
4.5.9 Área foliar específica.....	40
4.5.10 Índice de eficiencia crecimiento del fruto.....	40
4.5.11 Coeficiente de partición de biomasa.....	41
4.6 Determinación de la eficiencia en el uso del agua (EUA).....	41
4.7. Análisis estadístico.....	41
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
5.1 Tasa de crecimiento relativo (TCR).....	42
5.1.1 Tasa de crecimiento relativo total (TCR total).....	42
5.1.2 Tasa de crecimiento relativo de la corona (TCR corona).....	44
5.1.3 Tasa de crecimiento relativo de la raíz (TCR raíz).....	45
5.1.4 Tasa de crecimiento relativo del fruto (TCR fruto).....	47
5.1.5 Tasa de crecimiento relativo de peciolo (TCR peciolo).....	48
5.1.6 Tasa de crecimiento relativo de flores (TCR flores).....	49
5.1.7 Tasa de crecimiento relativo de las hojas (TCR hojas).....	50
5.2 Tasa de asimilación neta (TAN).....	51
5.2.1 Tasa de asimilación neta en el cultivo de fresa bajo invernadero en diferentes sistemas de producción.....	51
5.3 Razón de área foliar (RAF).....	53
5.3.1 Razón de área foliar en el cultivo de fresa en diferentes sistemas de producción.....	53
5.4 Razón de peso foliar (RPF).....	54
5.4.1 Razón de peso foliar en el cultivo de fresa en diferentes sistemas de producción.....	54
5.5 Área foliar específica (AFE).....	55
5.5.1 Área foliar específica en el cultivo de fresa en diferentes sistemas de producción.....	56
5.6 Coeficiente de Partición de Biomasa.....	57
5.6.1 Coeficiente de partición de biomasa en el cultivo de fresa en diferentes sistemas de producción.....	57
5.7 Variables evaluadas en fruto.....	59

5.7.1 Numero de fruto	59
5.7.4 Peso de fruto.....	60
5.7.5 Grados Brix	61
5.8 Eficiencia en el uso del agua.....	62
5.8.1 Volumen de agua consumida por cada tratamiento	62
5.8.2 Eficiencia en el uso del agua	63
VI. CONCLUSIONES	64
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Clasificación taxonómica de la fresa (<i>Fragaria x ananassa</i>)	5
CUADRO 2. Cultivares de mayor producción de fresa en México	7
CUADRO 3. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo total y biomasa generada el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.	44
CUADRO 4. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo de la corona en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.	45
CUADRO 5. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo de la raíz en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.	46
CUADRO 6. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo del fruto en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.	47
CUADRO 7. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo de peciolo en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.	48
CUADRO 8. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo de flores en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.	50
CUADRO 9. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo de hojas en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.	51

CUADRO 10. Comparación de medias de tasa de asimilación neta y área foliar específica en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.....	53
CUADRO 11. Comparación de medias de la relación de área foliar en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.....	54
CUADRO 12. Comparación de medias de la razón de peso foliar en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.....	55
CUADRO 13. Comparación de medias del área foliar específica en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.....	57
CUADRO 14. Comparación de medias de partición de biomasa en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Distintos sistemas y medios para cultivo sin suelo.....	14
FIGURA 2. Sistema de recirculación continua y sus elementos: 1. Estanque colector;	16
FIGURA 3. Diagrama del sistema aeropónico	17
FIGURA 4. Ejemplo de la dispersión de la radiación difusa y la radiación directa en los cultivos	21
FIGURA 5. Tratamiento en sustrato (T1) del cultivo de fresa bajo invernadero	31
FIGURA 6. Tratamiento en acolchado (T2) del cultivo de fresa bajo invernadero.....	31
FIGURA 7. Cultivo de fresa sistema NFT (T3) en el cultivo de fresa bajo invernadero.....	32
FIGURA 8. Sistema aeropónico (T4) en el cultivo de fresa bajo invernadero.....	33
FIGURA 9. Construcción del invernadero tipo túnel en el campo experimental de CIQA.	34
FIGURA 10. Medición de sólidos soluble (°Brix) en el cultivo de fresa bajo invernadero.....	35
FIGURA 11. Medición del diámetro ecuatorial del fruto de fresa.....	36
FIGURA 12. Comparación de medias del número de frutos entre los tratamientos por cada muestreo realizado	59
FIGURA 13. Numero de frutos por planta en el cultivo de fresa bajo invernadero	60
FIGURA 14. Peso medio de peso de fruto por planta en el cultivo de fresa bajo invernadero	61

FIGURA 15. Medias del peso total de futo en el cultivo de fresa bajo invernadero.....	61
FIGURA16. Promedio de la cantidad de °Brix en fruto en el cultivo de fresa bajo invernadero....	62
FIGURA 17. Volumen de agua utilizada en los diferentes tratamientos	63
FIGURA 18. Eficiencia en el uso de agua	64

I. INTRODUCCIÓN

La incorporación de los invernaderos ha favorecido a los agricultores a producir más en menor espacio de suelo; este es un beneficio ambiental muy favorable ya que si se hubiera continuado practicando la agricultura convencional, como única forma de producción agrícola, sería necesario mayores áreas de cultivos y poder así producir suficiente alimento para la población creciente (Chailloux, 2003).

A través de la plasticultura, se han podido convertir tierras que en apariencia eran improductivas, en grandes y modernas explotaciones agrícolas, sobre todo en aquellas zonas áridas con climatología propicia (López, et al., 2004). El desarrollo e implantación de invernaderos consiguen modificar parcial o totalmente las condiciones climáticas, por lo cual aparecen como una de las tecnologías más promisorias para extender los calendarios de cosecha de los cultivos hortícolas (Lorenzo, 1998; Alarcon, 2000).

La producción de hortalizas bajo invernadero es una de las técnicas más modernas que se utiliza actualmente en la producción agrícola. La ventaja del sistema de invernadero sobre el método tradicional a cielo abierto, es que, bajo invernadero, se establece una barrera entre el medio ambiente externo y el cultivo, esta protección permite al agricultor controlar la temperatura, la cantidad de luz y aplicar efectivamente el control químico y biológico para proteger el cultivo.

De forma general, el impacto mundial de la introducción del cultivo protegido trae consigo un aumento positivo en la calidad de vida, en la seguridad alimentaria, en la economía de una región y en el progreso general de las naciones, aun cuando la dureza de las condiciones desfavorables enunciadas hacen imposible el desarrollo de la agricultura como modo de subsistencia (Castañeda, 2004).

Es el caso de Almería, México, Israel, o de muchas zonas áridas donde la mala calidad de suelos y la extrema escasez e irregularidad de lluvias, junto a los pocos recursos hídricos superficiales determinan el difícil aprovechamiento agrícola de muchas tierras. Es también el caso de los países fríos como Holanda donde la producción de alimentos es imposible en

condiciones de extremo invierno, o en países como Cuba, donde las condiciones del trópico imponen durante gran parte del año fuertes precipitaciones y temperaturas que sobrepasan el límite biológico permisible para la gran mayoría de los cultivos hortícolas (Matamala,1997). Por otra parte la introducción de cultivos sin suelo o cultivos hidropónicos son técnicas utilizadas para el óptimo desarrollo del cultivo en el que su sistema radical se desarrolla sin suelo, ya sea en agua o en un sustrato, con la particularidad que debe proporcionársele al sistema radical, agua, minerales y oxígeno suficientes para el óptimo desarrollo de la planta, para lo cual es utilizada una solución nutritiva que debe de abastecer a la planta de agua, oxígeno y los nutrimentos esenciales en forma iónica con o sin el uso de un sustrato que sirve como sostén para la planta provocando un ambiente controlado y modificando el ambiente natural de la planta para su desarrollo (Lara,1999).

En la región Sureste de Coahuila no se cultiva fresa en forma tradicional, ya que las condiciones ambientales y de suelo no son las más óptimas para este cultivo, sin embargo la agricultura protegida es una alternativa para poder incluir este cultivo dentro de los cultivos de frutillas que pueden tener buen potencial e interés para diversificación de cultivos de mayor valor económico. En base a lo anterior se desarrolló este trabajo, considerando varios sistemas de producción en agricultura protegida, para ver la posibilidad de introducción de este cultivo y que sistema ofrece mejor respuesta.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo general

Evaluar el desarrollo y potencial de producción del cultivo de la fresa (*Fragaria x ananassa*) utilizando diferentes técnicas de producción bajo agricultura protegida.

2.1.1 Objetivos específicos

- ❖ Evaluar el desarrollo del cultivo de fresa en los diferentes sistemas e identificar el sistema que mejor se adapte a las necesidades del cultivo.

- ❖ Determinar las necesidades hídricas del cultivo para cada sistema y evaluar la eficiencia en el uso del agua.

2.1 Hipótesis

Las técnicas hidropónicas utilizadas para la producción de fresa (*Fragaria x ananassa*) tendrán el mismo desarrollo y potencial de producción que bajo el sistema en suelo acolchado, bajo agricultura protegida.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3. 1 Origen de la fresa

Se le ha dado el nombre de fresa a varias especies de plantas rastreras del género *Fragaria*, vocablo que se relaciona con la fragancia que posee (*fraga*, en latín), cultivadas por su fruto comestible. Las variedades cultivadas comercialmente son por lo general híbridos, en especial *Fragaria x ananassa* que ha reemplazado casi universalmente por el tamaño de sus frutos, a la especie silvestre *Fragaria vesca* que fue la primera especie de fresa cultivada en el siglo XVII. La fresa pertenece a la familia rosaceae (cuadro 1) considerada como una fruta exótica de gran aroma, por lo que se convierte en un cultivo con grandes ofertas de mercado.

Estados Unidos es el país que más variedades ha producido en los últimos años, le siguen Francia, Canadá, Italia, y Japón. El 95% de la producción mundial se concentra en el hemisferio norte siendo la especie tipo berry más extensamente cultivada. Los grandes productores mundiales son: EE.UU, México, España y Polonia, y los principales compradores son: EE.UU, Canadá, China y Japón (Ingeniera Agrícola, 2008). De acuerdo a SIAP (2011) México tuvo una superficie cultivada de 7,005.4 hectáreas (ha) sembradas, en donde destacan los estados de Michoacán con 3,351 ha, el estado de Baja California con 1,820 ha y el estado de Guanajuato con 1,060 ha como los principales productores del país con un rendimiento promedio de 32.8 ton/ha por lo que se obtuvo una producción total de 228.899.59 toneladas.

Para producción comercial, las plantas se propagan por estolones, y generalmente se distribuyen a raíz desnuda. El cultivo sigue uno o dos modelos, plasticultura anual, o un sistema perenne de filas o montículos. Una pequeña cantidad de fresas se produce en invernaderos durante la estación baja (Menéndez-Valderrey, 2007). Las fresas con frecuencia se agrupan de acuerdo a su hábito de floración. Tradicionalmente, se dividen entre "las de junio" que son las que producen la fruta temprano en el verano, y "de todas las estaciones", que dan varias cosechas de fruta a través de la estación. Más recientemente, se ha demostrado que las fresas tienen tres hábitos básicos de florecer: de día corto, de día largo, y de día neutral. Hay diferentes variedades de fresa, Albión es una de las que se

utilizan en la producción comercial, cada uno con sus propias características, ventajas, y el tiempo de la cosecha, esta variedad es de las más cultivadas en México, esta es de día neutro, generalmente tiene un pico de producción en primavera ligeramente más baja y es menos propenso a una caída en la producción de verano. Tiene una forma más consistente cónica y tamaño de la fruta similar y sobre todo al principio de la temporada, tiene una tolerancia mucho mejor al clima que la variedad Diamante y su color es más oscuro, tanto internamente como externamente, y su sabor es más dulce constantemente (*Fuente: Comisión de Fresas de California, 2010*).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la fresa (*Fragaria x ananassa*)

Superreino:	Eukaryota
Reino:	Plantea
Subreino:	Embryobionta
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Rosidae
Orden:	Rosales
Familia:	Rosaceae
Subfamilia:	Rosoideae
Tribu:	Potentilleae
Subtribu:	Fragariinae
Género:	<i>Fragaria</i>
Especie:	<i>F. ananassa</i>

(Menéndez 2007)

3.2. Descripción botánica

La planta de fresa es de tipo herbáceo y perenne. El sistema radicular es fasciculado, se compone de raíces y raicillas. Las primeras presentan cambium vascular y suberoso, mientras que las segundas carecen de éste, son de color más claro y tienen un periodo de vida corto, de algunos días o semanas, en tanto que las raíces son perennes. Las raicillas

sufren un proceso de renovación fisiológico, aunque influenciado por factores ambientales, patógenos de suelo y otros factores que rompen el equilibrio. La profundidad del sistema radicular es muy variable, dependiendo del tipo de suelo y la presencia de patógenos en el mismo. En condiciones óptimas pueden alcanzar los 2-3 m, aunque lo normal es que no sobrepasen los 40 cm, encontrándose la mayor parte (90%) en los primeros 25 cm.

El tallo está constituido por un eje corto de forma cónica llamado “corona”, en el que se observan numerosas escamas foliares.

Las hojas aparecen en roseta y se insertan en la corona. Son largamente pecioladas y provistas de dos estípulas rojizas. Su limbo está dividido en tres folíolos pediculados, de bordes aserrados, tienen un gran número de estomas (300-400/mm²), por lo que pueden perder gran cantidad de agua por transpiración.

Las inflorescencias se pueden desarrollar a partir de una yema terminal de la corona, o de yemas axilares de las hojas. La ramificación de la inflorescencia puede ser basal o distal. En el primer caso aparecen varias flores de porte similar, mientras que en el segundo hay una flor terminal o primaria y otras secundarias de menor tamaño. La flor tiene 5-6 pétalos, de 20 a 35 estambres y varios cientos de pistilos sobre un receptáculo carnoso. Cada óvulo fecundado da lugar a un fruto de tipo aquenio. El desarrollo de los aquenios, distribuidos por la superficie del receptáculo carnoso, estimula el crecimiento y la coloración de éste, dando lugar al “fruto” de la fresa.

3.2.1 Cultivares

Las principales variedades cultivadas en México (Cuadro 2) son de día corto, es decir sus embriones florales se diferencian en otoño por lo que solo tienen una floración anual. Otras variedades, por el contrario, son de día largo y producen inflorescencia y frutos durante todo el verano. Sin embargo, estas variedades forman pocos estolones por lo que se propagan por esquejes, además de que tienen fecundación desuniforme durante los meses más cálidos, lo que causa un porcentaje alto de frutos mal formados y un tercer grupo de variedades mejoradas son insensibles al fotoperiodo y se le conoce como de día neutro; la

diferencia floral es inducida por la temperatura del ambiente, por esto es posible obtener producción continua durante todo el año (Bianchi, 1999).

Cuadro 2. Cultivares de mayor producción de fresa en México

Cultivar	Características
Aromas	Floración de día neutro, alta producción, fruto de color rojo y con formas cónicas y alargadas. El fruto tiene buena calidad en postcosecha. Se utiliza para el consumo en fresco e industria.
Camarosa	Floración de día corto, alta producción, vigor y calidad de fruta en postcosecha. Fruta de color rojo o rojo-oscuro de aspecto cónico alargado o cónico aplanado, aceptada para consumo de fresco e industria. Sensible a enfermedades como: <i>Verticilina daliae</i> , <i>Phytophthora cactorum</i> y <i>Sphaeroteca macularis</i> .
Oso grande	Floración de día corto, alto rendimiento de fruto, calidad inferior por sabor, color y brillo. No presenta resistencia a enfermedades del suelo y es altamente sensible a infecciones por <i>Xanthomonas fragarie</i> .
Chandler	Floración de día corto, alto rendimiento. Fruto de aspecto cónico alargado y ligeramente firme. Color rojo. No es sensible a enfermedades del suelo.
Seascape	Floración de día neutro. Fruto de aspecto cónico-alargado y de color rojo oscuro y de buen sabor. Sin firmeza. Muy sensible a enfermedades del suelo.
Diamante	Floración de día neutro. Alta calidad y buena producción. La fruta es de lata firmeza, color rojo claro y excelente sabor. Se cultiva para el mercado fresco. Altamente sensible a la pudrición de la raíz y corona causada por <i>Phytophthora cactorum</i> .

Fuente: Larson, 2000.

Un tercer grupo de variedades mejoradas son insensibles al fotoperíodo y se les conoce como de día neutro; la diferenciación floral es inducida por la temperatura del ambiente por esto es posible obtener producción continua durante todo el año (Bianchi, 1999).

Durner et al. (1984), al estudiar los efectos del fotoperíodo y la temperatura en la floración y formación de estolones de variedades de fresa de día corto, largo y neutro, llegaron a la conclusión que la clasificación de las variedades según las necesidades de fotoperíodo es inadecuada; estos autores encontraron interacciones entre la variedad, el fotoperíodo y la temperatura tanto para la floración como para la formación de estolones. Hay que señalar también que una temperatura inferior a los 12° C durante el cuajado de los frutos produce frutos deformes.

3.2.2 Propagación de la planta de fresa

Para producción comercial, las plantas se propagan por estolones, y generalmente se distribuyen a raíz desnuda. El cultivo sigue uno o dos modelos, plasticultura anual, o un sistema perenne de filas o montículos. Una pequeña cantidad de fresas se produce en invernaderos durante la estación baja (Menéndez-Valderrey., 2007). Las fresas con frecuencia se agrupan de acuerdo a su hábito de floración. Tradicionalmente, se dividen entre "las de junio" que son las que producen la fruta temprano en el verano, y "de todas las estaciones", que dan varias cosechas de fruta a través de la estación. Más recientemente, se ha demostrado que las fresas tienen tres hábitos básicos de florecer: de día corto, de día largo, y de día neutro. Hay diferentes variedades de fresa, Albion es una de las que se utilizan en la producción comercial, cada uno con sus propias características, ventajas, y el tiempo de la cosecha, esta variedad es de las más cultivadas en México, esta es de día neutro, generalmente tiene un pico de producción en primavera ligeramente más baja y es menos propenso a una caída en la producción de verano. Tiene una forma más consistente cónica y tamaño de la fruta similar y sobre todo al principio de la temporada, tiene una tolerancia mucho mejor clima que la variedad Diamante. Su color es

más oscuro, tanto internamente como externamente, y su sabor es más dulce constantemente (*Fuente: Comisión de Fresas de California 2011*).

3.3 Requerimientos ambientales

3.3.1 Fotoperiodo

El fotoperiodo, en relación con el termoperíodo (reacción de las plantas a la variación anual, diaria o periódica de la temperatura), determina la inducción de la floración, el comportamiento productivo y el área de distribución de las variedades (Bianchi, 1999).

Durnet et al., (1984), al estudiar los efectos del fotoperíodo y la temperatura en la floración y formación de estolones de variedades de fresa de día corto, largo y neutros, llegaron a la conclusión que la clasificación de las variedades según las necesidades de fotoperiodo es inadecuada; estos autores encontraron interacciones entre la variedad, el fotoperiodo y la temperatura tanto para la floración como la formación de estolones. Cabe señalar que temperaturas inferiores a 12°C durante el cuajado de los frutos produce frutos deformes.

3.3.2 Temperatura

La fresa es considerada como una especie que soporta temperaturas hasta de 2°C durante el reposo vegetativo, y para interrumpir el estado durmiente de las yemas se requiere temperaturas inferiores a 6°C. Las estructuras vegetativas son altamente resistentes a las heladas pero sus flores se dañan con temperaturas menores a los 0°C (Tesi, 1980; Bianchi, 1986). Por otro lado, con temperaturas superiores a los 40°C se induce la producción de frutos de mala calidad (Maroto et al., 1986), además de planchado de los frutos que es un síntoma de deshidratación (Folquer, 1986; Maroto et al., 1983). Sin embargo, existen variedades adaptadas a zonas cálidas y soportan temperaturas de hasta 55°C (Dirección General de Desarrollo Económico de Irapuato, 2003).

Durante la fase vegetativa, la temperatura óptima para el crecimiento es de 20°C durante el día y de 12°C durante la noche. Pero en la fase de floración y maduración se requiere 25 a 26°C durante el día. Temperaturas menores a 2°C y superiores a 34°C provocan desvitalización del polen, aborto floral y malformación de los frutos (Bianchi, 1986).

La mayoría de las variedades requieren horas frío para formar y obtener buena producción (Maroto, 1989).

3.4 Solución nutritiva

Baixxauli, y Aguilar (2002) describen a la solución nutritiva como agua con oxígeno (O₂) y todos los nutrientes esenciales para las plantas, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, elementos que la planta requiere en su nutrición en cantidades relativamente elevadas y que se encuentran a nivel de porcentaje en la planta. También deberá contener los microelementos esenciales, hierro, cinc, manganeso, cobre, boro y molibdeno que se aportan generalmente a partir de un complejo comercial. Todos ellos disueltos en una forma iónica completamente dissociada.

La concentración a la que se encuentran los distintos iones se puede expresar de distintas formas, siendo en los sistemas de cultivo sin suelo la de milimol/ l ó meq/l, la más común para el caso de los macroelementos y de ppm, para los microelementos.

Para llegar a la formulación de la solución nutritiva es importante tomar en cuenta factores como el potencial de Hidrogeno (pH), conductividad eléctrica (CE), que conllevan a una buena nutrición de la planta.

3.4.1 potencial de hidrogeno (pH)

El pH de una solución nutritiva marca el carácter ácido o básico, e influye sobre la solubilidad de los iones; en general, nuestras aguas tienen un pH básico, pudiéndose dar en dichas condiciones insolubilidades y precipitados, evitando la buena nutrición y provocando la obturación de los goteros en el sistema de riego.

La mayor parte de las plantas trabajan bien en soluciones nutritivas con pH's comprendidos entre 5 y 7, en los cultivos hidropónicos generalmente se trabaja con pH de 5.5 a 5.8, puesto que en dicho rango de pH se encuentran mejor disueltos los iones, especialmente el fósforo y los micro elementos.

El pH actúa manteniendo los iones solubles para la planta y por tanto, mejorando la nutrición. Valores extremos pueden provocar la precipitación de los iones. Con un pH superior a 7.5 puede verse afectada la absorción de fósforo, de hierro y de manganeso, la corrección del pH puede evitar los estados carenciales. El valor de pH a utilizar en la solución nutritiva debe permitir una buena asimilación de los nutrientes, evitando posibles fitotoxicidades y precipitados. Por encima de pH 7 la mitad del hierro se encuentra no disponible para la planta formando hidróxido de hierro precipitado, a no ser que el hierro se encuentre en forma de quelato. Por debajo de 6.5, el hierro se encuentra disuelto. El manganeso también ve reducida su solubilidad con niveles de pH altos.

Por encima de pH 6.5 la disponibilidad del fósforo y del calcio puede decrecer. En el rango de pH de 5.5 a 6.5 la totalidad de los nutrientes está en forma asimilable. Por encima de 6.5 se pueden producir precipitados y por debajo de 5 puede verse deteriorado el sistema radicular de la planta, y más en sistemas de cultivo sin suelo en los que se emplean sustratos con bajo poder tampón.

En el agua de riego el pH suele ser básico y para bajarlo generalmente hacemos uso de ácidos, como puede ser el ácido fosfórico, sulfúrico o el nítrico, encargados de neutralizar al ión bicarbonato; este actúa de elemento tampón, debiendo mantener en las soluciones nutritivas finales unos 0.5 milimol/litro para evitar caídas bruscas de pH (Baixxauli y Aguilar, 2002).

3.4.2 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica (CE) mide la concentración de sales disueltas en el agua y el valor se expresa en dS/cm, este valor multiplicado por un factor de corrección 0.7 o 0.9 en función de la calidad del agua, permitiendo conocer de forma aproximada la cantidad de sales disueltas en g/l. La CE expresa la capacidad para conducir la corriente eléctrica.

Tan importante es conocer la CE de un agua de riego o de una solución nutritiva, como la concentración de sus iones, puesto que los puede haber en niveles de concentración que pueden resultar fitotóxico.

En general, se puede decir que un agua es de buena calidad cuando su valor de CE es inferior a 0.75 mS/cm, permisible con valores de 0.75 a 2 mS/cm, dudosa con valores entre 2 y 3 mS/cm, e inadecuada cuando la CE es superior a 3 mS/cm. Por otra parte, los cultivos hortícolas son más o menos resistentes a la salinidad y así tenemos que: el tomate, el melón, la sandía, la berenjena son cultivos medianamente tolerantes a la salinidad; en el caso del cultivo de fresa este es un cultivo sensible a la alta concentración de sales (Baixxauli y Aguilar, 2002).

3.4.3 Requerimiento nutricional del cultivo

La fresa tiene una alta demanda de nitrógeno y potasio debido a que son los mayores componentes de la fruta. Dosis óptimas de nitrógeno y potasio son esenciales para el desarrollo del cultivo. Sin embargo, niveles excesivos de nitrógeno producen frutos blandos, retardan la maduración, disminuyen el rendimiento e incrementan la proliferación de enfermedades provocadas por hongos (Hancock, 1999).

El potasio se requiere en procesos fisiológicos tales como la activación de enzimas, el transporte de azúcares, funciones estomáticas, síntesis de proteínas y fotosíntesis (Maas, 1998); incrementa la producción floral y el rendimiento en fruta (Albregts et al., 1991). El calcio es importante para la firmeza de los frutos. La deficiencia de boro reduce la producción de polen viable, así como reduce la expansión del receptáculo. La deficiencia de zinc produce frutos pequeños y bajo rendimiento mientras que la deficiencia de hierro reduce el vigor de las hojas (Hancock, 1999).

3.5 Cultivos sin suelo

Cuando nos referimos a cultivos sin suelo se habla del término hidroponía que tiene sus raíces griegas y significa “trabajos en agua”.

Un sistema hidropónico es un sistema aislado del suelo utilizado para cultivar diversos, tipos de plantas cuyo crecimiento es posible gracias al suministro adecuado de los requerimientos nutricionales que necesita dicha planta a través del agua o una solución nutritiva (Infocir, 2005).

Algunos autores ubican el origen de los primeros cultivos hidropónicos en los jardines de Babilonia, en las chinampas o granjas en balsas de los aztecas en el territorio mexicano y, por último, en los jardines de los lagos de Kashmir (actual territorio Paquistaní). A mediados del 1600, el científico Robert Boyle realiza sus primeros experimentos del crecimiento de plantas en agua. Posteriormente, en 1690, el Inglés John Woodward efectuó similares experiencias en base a agua destilada con la mezcla de ciertas sustancias que, más adelante, se fijarían como vitales para el éxito de los cultivos. Finalmente, en 1920 el Dr. William Gericke inventa el término hidroponía y comienza a ser considerado el padre de la hidroponía moderna. En 1929 publicó un artículo titulado “Acuicultura, un medio de producción de cosechas” (Casahuerta, 2013).

La hidroponía es una técnica utilizada para el óptimo desarrollo del cultivo en el que su sistema radical se desarrolla sin suelo, ya sea en agua o en un sustrato, con la particularidad que debe proporcionársele al sistema radical, agua y minerales suficientes para el óptimo desarrollo de la planta (Figura 1), para lo cual es utilizada una solución nutritiva con los nutrimentos esenciales en su forma iónica con o sin el uso de un sustrato que sirva como sostén para la planta provocando un ambiente controlado y modificando el ambiente natural de la planta para su desarrollo (Lara,1999).

En estos sistemas el medio de crecimiento y/o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen, orgánico o inorgánico, inertes o no inertes es decir con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas. Podemos ir desde sustancias como perlita, vermiculita o lana de roca, materiales que son consideradas propiamente inertes y donde la nutrición de la planta es estrictamente externa, a medios orgánicos realizados con mezclas que incluyen turbas o materiales orgánicos como corteza de árboles picada, cáscara de arroz, etc. que interfieren en la nutrición mineral de las plantas (Sylvia Burés, 1997).

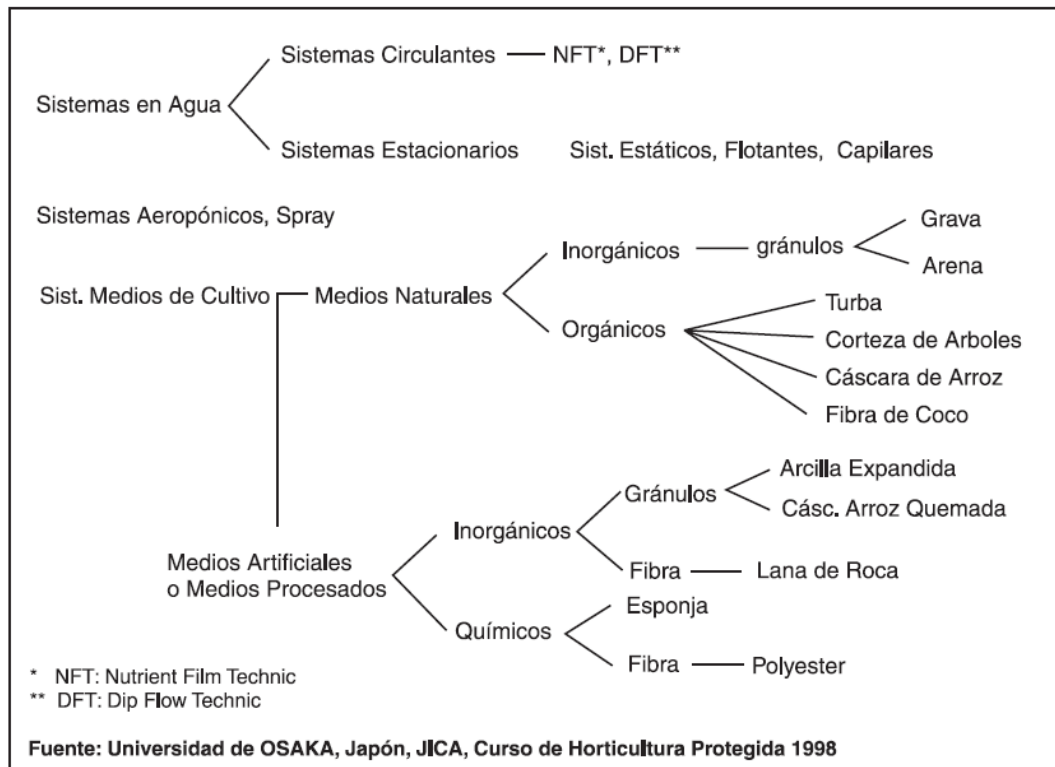


Figura 1. Distintos sistemas y medios para cultivo sin suelo.

Actualmente se ha usado la hidroponía en sus diferentes modalidades para la producción de fresa con el fin de elevar su potencial productivo en periodos fuera de su estación. Estos sistemas permiten producir fruta libre de patógenos además, optimiza la utilización de insumos y reduce el impacto ecológico y económico de la producción (Morgan, 2002). Por otro lado, un problema que pueden presentar los frutos de fresa producida en suelo (campo abierto) es la acumulación de insecticidas en sus tejidos. En cambio, su producción en invernaderos puede reducir considerablemente la aplicación de insecticidas ya que tiene mayor control de plagas y enfermedades si se mantienen cerrados los accesos del invernadero, y se apliquen medidas preventivas (Sánchez y Escalante, 1988).

3.5.1 Sistema hidropónico en sustrato

Un sustrato es todo material solido diferente del suelo que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico que puede ser utilizado de forma pura o mezclada, permitiendo el anclaje de las plantas a través de su sistema radicular, este sustrato puede o no intervenir en

la nutrición de la planta clasificándose en químicamente inertes (perlita, lana de roca, roca volcánica, etc.) y químicamente activos (peat moss, corteza de pinos, etc.). Los materiales inertes actúan únicamente como soporte de la planta; mientras que los activos, intervienen en los procesos de adsorción y fijación de los nutrientes (Abad et al, 2005).

Las propiedades físicas de un sustrato son de mayor relevancia que las propiedades químicas (CIC, pH, contenido de nutrientes, etc.), puesto que las segundas las podremos modificar mediante el manejo de la solución nutritiva. Un buen sustrato se le pide una elevada porosidad, gran capacidad de retención de agua fácilmente disponible, drenaje rápido, buena aireación, distribución del tamaño de partículas, baja densidad aparente y estabilidad, por lo cual es complicado encontrar un sustrato ideal para todo tipo de cultivo, el sustrato adecuado dependerá para cada caso en concreto y esto dependerá de diferentes factores como tipo de planta, condiciones climáticas y el tipo de manejo que se le dé al sustrato (Pastor, 2000).

3.5.1.1 Turba (*peat moss*)

Para el caso de la turba señala Castellanos (2004) que es un sustrato orgánico de origen natural, obtenido a partir de vegetales fosilizados, y que en la actualidad estos materiales llegan a México procedentes de Canadá y Estados Unidos.

Existen diferentes tipos de turbas y por su grado de descomposición podemos encontrar: la turba rubia y la negra (Baixauli y Aguilar, 2002).

La turba con mayor usos en la agricultura mexicana es la turba rubia (*Sphagnun spp.*), la cual posee una densidad aparente de 0.4 a 0.08 g/cm³, un espacio poroso de 95 a 97 por ciento, una capacidad de aireación de 15 a 40 por ciento, una capacidad de retención de agua de 55 a 82 por ciento y una capacidad de intercambio cationico de 100 a 400 meq/100g, este material al no presentar salinidad como otros sustratos, no requiere lavados, pero en forma natural presentan un pH muy ácido y debe ser neutralizado mediante la aplicación de carbonato de calcio, actividad que normalmente se realiza antes de su exportación a México (Castellanos, 2004).

De acuerdo a Martínez y colaboradores (2004) la turba es uno de los sustratos más comunes para el cultivo de fresa en invernadero por su capacidad buffer, y por favorecer la aireación de las raíces en el cultivo.

3.5.2 Sistema NFT (Nutrient Film Technique).

Este sistema se basa en mantener una delgada lámina de solución nutritiva que continuamente se encuentra en recirculación, humedeciendo las raíces de la planta aportando agua, aire y nutrientes (Figura 2). En este sistema se considera una pendiente de 1.5 a 2% para mantener una caída natural del agua evitando su acumulación, y el flujo de la solución nutritiva debe de ser entre 60 y 120 l/h (Jenner, 1980).

En general este sistema está catalogado como de elevado costo, requiere del suministro de un volumen de agua constante, y para ello se gasta energía en el proceso de bombeo. Las desventajas del sistema son el uso de energía y el costo y las necesidades de contemplar el efecto de la temperatura del aire en el sistema de distribución (Gilsanz, 2007).

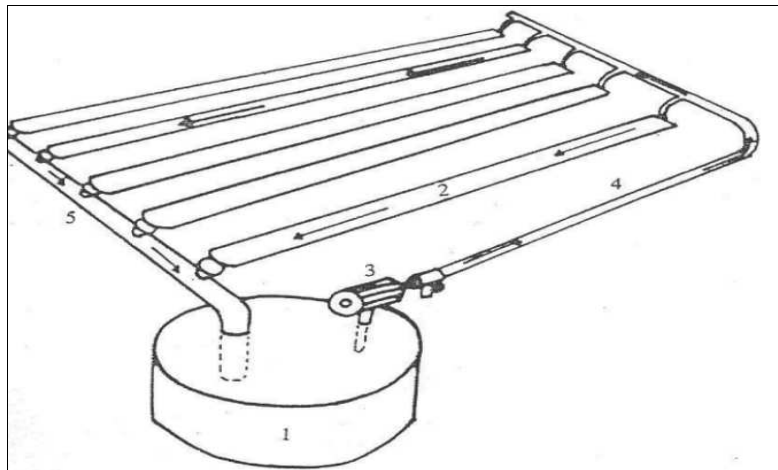


Figura 2. Sistema de recirculación continua y sus elementos: 1. Estanque colector; 2. canales de cultivo; 3. Bomba; 4. Red de distribución; 5. Tubería colectora.

3.5.4 sistema Aeropónico

La aeroponía es el sistema hidropónico más moderno, consiste en el crecimiento del cultivo sostenido de las perforaciones realizadas a láminas de poliestireno (Figura 3). Las raíces se encuentran suspendidas en el aire bajo las láminas en una cámara de aspersión, la cámara

se encuentra sellada por lo que las raíces están en oscuridad y saturadas de humedad. Un sistema de nebulización rocía periódicamente la solución nutritiva sobre las raíces manteniéndose una humedad relativa del 100% (Cabrera, 2003). Este sistema se ocupa principalmente para cultivos de hojas de poca altura.

La principal ventaja que ofrece este sistema es la aportación de aire a las raíces, uno de los factores limitantes con los que cuenta la hidroponía; además de que es casi nula la pérdida de agua por evaporación.

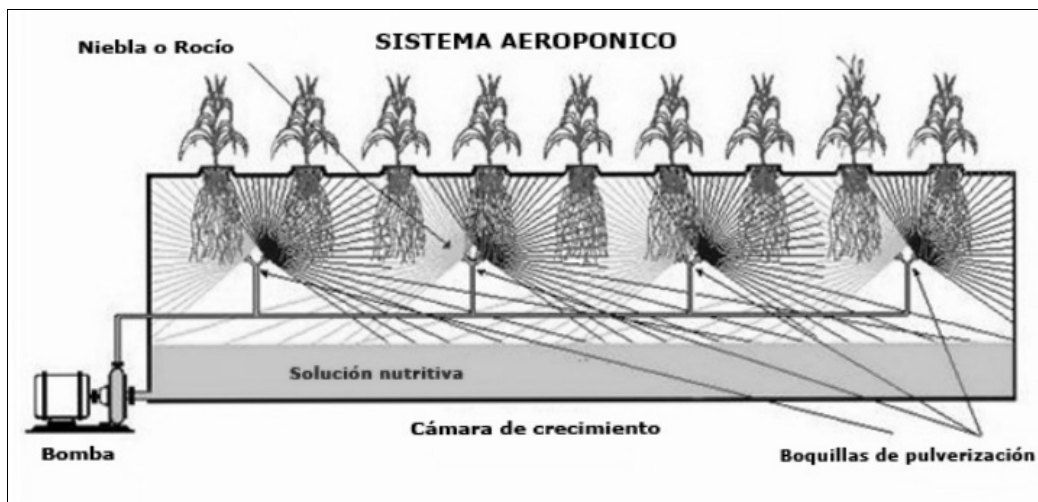


Figura 3. Diagrama del sistema aeropónico

3.6 Cultivos protegidos

Para el desarrollo de una agricultura moderna y competitiva, la protección de los cultivos se ha convertido en una necesidad. Los consumidores demandan productos de excelente calidad, en todo tiempo, sin daños por agentes climáticos, plagas ni enfermedades. A su vez, los agricultores requieren de alta producción (cultivos protegidos o semiprotegidos) para mantener las exigencias de los mercados, lo que implica el uso de una serie de tecnologías que se enmarcan dentro del concepto de agricultura protegida.

Existe una diversidad de definiciones sobre agricultura protegida. Sin embargo, podemos resumirlo en toda estructura cerrada, cubierta por materiales transparentes o

semitransparentes, que permite obtener condiciones artificiales de microclima para el cultivo de plantas y flores. Bajo este sistema agrícola especializado se lleva a cabo el control del medio edafoclimático alterando sus condiciones (suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad, entre otros) lo que permite modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos, con el propósito de alcanzar adecuado crecimiento vegetal, aumentar los rendimientos, mejorar la calidad de los productos y obtener excelentes cosechas (Bielinski, et al., 2010).

3.6.1 Factores que afectan la producción en invernadero

El objetivo del invernadero es proporcionar y mantener un ambiente de crecimiento que produzca los máximos rendimientos y calidad del cultivo. El desarrollo de los cultivos, en sus diferentes fases de crecimiento, está condicionado por cuatro factores ambientales o climáticos: luz, temperatura, humedad relativa y CO₂. Para que las plantas puedan realizar sus funciones es necesaria la conjunción de estos factores dentro de unos límites mínimos y máximos, fuera de los cuales las plantas cesan su metabolismo, pudiendo llegar a la muerte. Además el invernadero debe proporcionar protección contra el viento, lluvia, calor, frío, insectos plagas y enfermedades. Los elementos estructurales y de cubierta deben permitir la máxima transmisión luminosa al cultivo. La mayoría de los invernaderos permiten incorporar ventiladores y otros sistemas para el control climático según las necesidades de las plantas. Son los sistemas más costosos, especialmente si el ambiente es controlado por sistemas de ventiladores, pared húmeda y control computarizado (Bielinski, et al, 2010).

El plástico forma parte de un conjunto de elementos que ayudan a controlar las condiciones medioambientales dentro del invernadero, haciendo que el cultivo se desarrolle con precocidad y evitando factores externos que puedan afectar al cultivo (López, F. 2001).

3.6.1.1 Efecto de la radiación

La radiación solar produce dos tipos de procesos principales: los procesos energéticos (fotosíntesis); y los procesos morfogénicos en los cultivos (Urbano, 1999, Villalobos et al., 2002).

De la radiación global incidente sobre la superficie vegetal de los cultivos sólo una proporción es aprovechable para la realización de la fotosíntesis: PAR (radiación fotosintéticamente activa). La respuesta de las plantas es diferente en función de las diferentes longitudes de onda, esencialmente toda la luz visible es capaz de promover la fotosíntesis, pero las regiones de 400 a 500 y de 600 a 700 nm son las más eficaces. Así la clorofila pura, tiene una absorción muy débil entre 500 y 600 nm, los pigmentos accesorios complementan la absorción de la luz en esta región, suplementando a las clorofilas.

Es evidente que la energía solar es el factor ambiental que más influencia ejerce sobre el crecimiento de las plantas cultivadas en el interior de un invernadero, sirviendo este como estímulo para la regulación del desarrollo y la floración (López, F. 2001).

3.6.1.2 Radiación fotosintéticamente activa

La radiación fotosintéticamente activa (PAR), puede ser definida como la fracción del espectro comprendida entre 400 a 700 nm. Esta radiación puede subdividirse a su vez en las siguientes bandas: de 400 a 510 nm (fuerte absorción de luz por la clorofila, con alto efecto morfogenético), de 510 a 610 nm (débil absorción de luz por la clorofila, sin efectos morfogenéticos) y de 610 nm a 720 nm (fuerte absorción de luz por la clorofila, grandes efectos morfogenéticos y ontogenéticos). El balance de radiación a la hora de realizar estudios sobre la radiación sobre cubiertas vegetales se simplifica considerando que la radiación interceptada (PAR int) se puede estimar a partir de la incidente por medio de la expresión: $PAR\ int = e * PAR\ inc$.

Donde, “e” es la eficiencia de la interceptación. La eficiencia será 1 cuando la cubierta vegetal no permita transmitir nada de radiación al suelo y toda la radiación incidente es interceptada y 0 cuando no hay cubierta vegetal (Grossi, 2005).

Así, la eficiencia depende del grado de densidad de la cubierta vegetal de forma que la eficiencia, “e”, se puede expresar en función de la superficie foliar (hojas verdes/superficie de terreno ocupado).

Según aumenta el índice de área foliar aumenta la eficiencia de la interceptación de la radiación hasta llegar a un valor máximo. A partir de ese valor máximo, variable según el cultivo y el medio, no se incrementa la interceptación de la radiación, de forma que un aumento de la superficie foliar no será beneficioso para aumentar el rendimiento. Una adecuada elección del marco de plantación o de la densidad de siembra será fundamental para obtener una acertada producción por unidad de superficie.

Las plantas tienen unas necesidades de iluminación según su naturaleza y estado de desarrollo.

Cuando la luz no es suficiente para un desarrollo normal las plantas tienden al ahilamiento (tallos se hacen altos y delgados) y presentar clorosis y malformación de hojas. En el caso de cultivos de raíces y tubérculos tiende a producir una disminución del rendimiento y de la calidad; también influye en una disminución del aroma y dulzura de los frutos; de esta forma las fresas obtenidas en la vega de Aranjuez son más sabrosas y aromáticas que las que se pueden obtener en zonas con menor número de horas de sol. Por otro lado, una iluminación excesiva favorece el desarrollo de ramas. En cuanto a la germinación, es más rápida en la oscuridad que a la luz, excepto en algunas semillas de pequeño tamaño como las gramíneas para forraje (Urbano y Villalobos, 2002).

3.6.1.3 Radiación difusa

La radiación difusa es la que proviene de diversas direcciones al haber sido reflejados, los rayos solares por las nubes, la turbidez atmosférica, los accidentes topográficos o simplemente difundidos al atravesar un material transparente o traslúcido (plástico, por ejemplo, en un invernadero).

La suma de radiación directa y radiación difusa constituye la radiación solar total o global. La radiación solar directa sigue una trayectoria recta (con mínimas desviaciones al atravesar la atmósfera terrestre), es decir, sigue una dirección (proviendo del sol) mientras que la radiación solar difusa es “adireccional”, procediendo de toda la bóveda celeste (Figura 4).

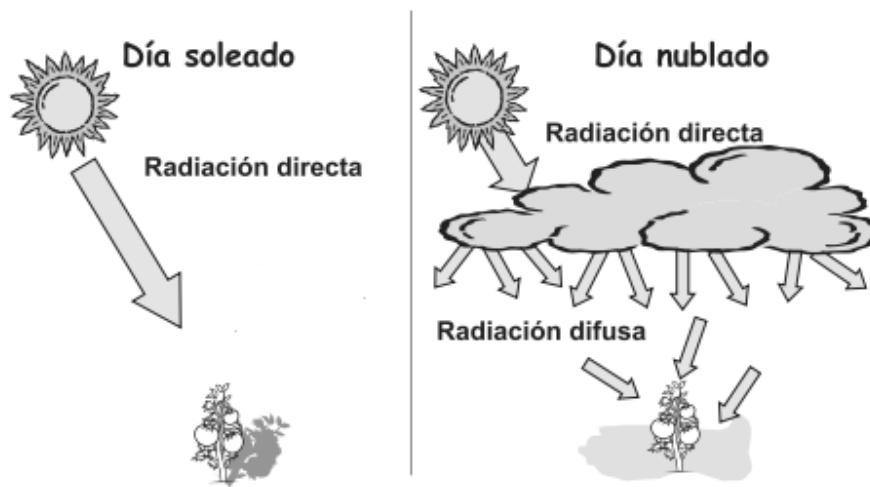


Figura 4. Ejemplo de la dispersión de la radiación difusa y la radiación directa en los cultivos

Dado lo anterior la radiación difusa (por su carácter adireccional) penetra mejor entre la vegetación que la radiación directa ya que esta es mayoritariamente recibida por las partes más altas de los cultivos, sombreando a las partes bajas que disponen de menos luz y, por tanto, queda limitada su capacidad productiva. Lo contrario sucede con la radiación difusa, al ser adireccional, penetra mejor entre el cultivo especialmente entre las hojas inferiores (Hernández, et al., 2001).

3.6.1.4 Temperatura

Este es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que es el que más influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas, afectando directamente las funciones de fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, transpiración, actividades enzimáticas, etc. Las reacciones biológicas de importancia no pueden desarrollarse si la temperatura del invernadero está por debajo de 0°C, o por encima de 50°C. El límite inferior corresponde al punto de congelación del agua y el superior a la desnaturalización de las proteínas. La temperatura óptima varía según las especies, pero casi siempre está comprendida entre 10° y 25°C. Las plantas pueden tolerar temperaturas más bajas durante períodos cortos de tiempo, pero debe evitarse el acercarse a este valor letal.

En cuanto a las bajas temperaturas, los cultivos tienen un valor umbral más elevado que el punto de congelación del agua, umbral que determina para cada especie la temperatura mínima por debajo de la cual las plantas cesan de crecer normalmente (ya sea cualitativa o cuantitativamente). No existe un acuerdo común entre los distintos autores sobre la manera de determinar el valor umbral entre las distintas plantas cultivadas, pero no es este un tema a tratar aquí. Como mera indicación las fresas tienen su umbral alrededor de 7°C y los tomates alrededor de 12°C (FAO, 2002).

La temperatura en el interior del invernadero, va a estar en función de la radiación solar, comprendida en una banda entre 200 y 4000 nm, la misión principal del invernadero será la de acumular calor durante las épocas invernales.

El calentamiento del invernadero se produce cuando el infrarrojo cercano, procedente de la radiación que pasa a través del material de cubierta, se transforma en calor. Esta radiación es absorbida por las plantas, los materiales de la estructura y el suelo.

3.6.1.5 Humedad relativa

La humedad es uno de los factores medioambientales que influyen en el cultivo bajo invernadero. En el interior del invernadero, el aire es saturado por evaporación del agua del suelo y por transpiración de las plantas.

Las plantas tienen que transpirar agua para transportar nutrientes, para refrigerarse y para regular su crecimiento.

La transpiración depende del déficit de presión de saturación entre las estomas y el aire. Cuando los déficits de saturación son demasiados altos o demasiados bajos influyen en la fisiología del cultivo y en su desarrollo. Si la humedad relativa es demasiado alta, el intercambio gaseoso queda limitado y se reduce la transpiración y por consiguiente la absorción de nutrientes, si es demasiado baja se cierran los estomas y se reduce la fotosíntesis.

La humedad alta puede dificultar la polinización puesto que el polen húmedo puede quedar pegado a los órganos masculinos. Esta humedad ambiental puede favorecer el desarrollo de enfermedades. Si la temperatura del cultivo disminuye por debajo de la temperatura del rocío del aire, se condensa el agua y se favorece el desarrollo de enfermedades por hongos. El efecto que durante la noche provoca la evapotranspiración tiene poca importancia debido a que la transpiración queda reducida por causa del cierre de los estomas y la evaporación del suelo es insignificante por que el déficit de presión de vapor es pequeña. La humedad relativa varía inversamente con la temperatura, para un contenido absoluto de vapor de agua constante en el aire. Conforme la temperatura decrece en el invernadero la humedad relativa aumenta y puede alcanzar valores próximos a la saturación (Huerta, 2008).

3.6.1.6 Concentraciones de bióxido de carbono

Cualquier incremento en la concentración atmosférica de CO₂ en el invernadero aumenta la velocidad de la fotosíntesis y la cantidad total de azúcar producida por el cultivo.

El CO₂ es esencial para que se produzca la fotosíntesis. Las plantas toman CO₂ del aire y agua de las raíces y luego utilizan energía luminosa para transformar estos componentes en azúcar (carbohidratos) y oxígeno. Si no existe un suministro de CO₂ adecuado y disponible para las plantas, el ritmo de fotosíntesis se reduce.

Una concentración óptima de CO₂ tendrá un efecto positivo en desarrollo y vigor de la planta en general y en tamaño de fruto en particular. El uso de CO₂ en el invernadero, dependiendo de la concentración, provoca una fuerte influencia generativa en las plantas, dando como resultado una floración prematura (las flores se abren más cerca de la punta de la planta de tomate), desarrollo de flores más fuerte y rendimiento de frutos más alto en cuanto a tamaño y peso de frutos. En consecuencia, como en el caso de cualquier otro fertilizante, los productores deberían pensar en el CO₂ como un nutriente de plantas esencial. El punto de entrada del CO₂ está formado por células especiales que se encuentran en el envés de las hojas. La apertura y el cierre de estas células dependen de la concentración de CO₂ en el exterior de las hojas, nivel de luminosidad, temperatura de la hoja y del ambiente, humedad relativa y estrés hídrico. Cuanto mayor sea la concentración de CO₂ en el exterior de las hojas, mayor será la toma de CO₂ por las plantas.

Algunos productores enriquecen el aire en el invernadero a 1,000 ppm tanto en días soleados como nublados. Otros tratan de controlar el costo de enriquecimiento con CO₂ utilizando dosis de 450 a 550 ppm en días nublados y 900 ppm en días soleados.

En localidades o épocas del año en las que el sol luce fuerte e intensamente, se recomienda que la concentración de CO₂ no supere 800 ppm con objeto de evitar la posibilidad de estresar a la planta, quemar las puntas y ennegrecer el fruto en el cultivo de pepino. Cuando la humedad en el invernadero es alta, también se recomienda reducir la concentración de CO₂ para evitar que los estomas se cierren, en cuyo caso se restringiría el transporte de agua y calcio a través de las plantas (Marlow, 2011).

3.7 Eficiencia en el uso de agua y de nutrimentos en el cultivo

La eficiencia de agua en un invernadero es considerablemente mayor que a campo abierto debido a la menor evapotranspiración (derivada de la menor radiación y viento a campo abierto), a los aumentos productivos (derivados de un mejor control climático) y al empleo generalizado de técnicas de riego eficientes, como el goteo o la recirculación en cultivos sin suelo (Castilla, 2007). Es la relación existente entre el rendimiento comercial (Y) o económico de un cultivo por unidad de agua o de nutrimentos utilizados por este (Fernández y Camacho, 2005). Una de las fortalezas de la producción en suelo en invernaderos es la elevada eficiencia del uso del agua y nutrimentos con respecto al cultivo a campo abierto. Urrestarazu (2000) y Castellanos et al (2004) señalan que cuando se compara el cultivo en suelo contra el establecido en sustrato, los índices favorecen al cultivo en suelo, sin embargo la salinidad y facilidad de manejo que brinda el cultivo sin suelo ha permitido su crecimiento en superficie en el mundo.

3.8 Descripción de los índices de crecimiento

El crecimiento es una aproximación holística, explicativa e integral, para comprender la forma y funciones de los vegetales (Hunt, et al., 2002; Hunt, 2003) en cualquier sistema biológico, el crecimiento es la consecuencia de la división celular (incremento en número) y de la elongación celular (aumento en tamaño). La humedad en los tejidos se excluye de

los estudios de crecimiento debido a que la masa seca es la que usualmente determina la importancia económica de un producto agrícola (Taiz y Zeiger, 2000; Werner y Leiber, 2005).

Existe, por tanto, el concepto de que el crecimiento puede definirse como un aumento en tamaño, sin embargo, esto no siempre es cierto, dado que puede darse el crecimiento sin que aumente el tamaño, pero si, el número de células; por otro lado, también puede haber crecimiento con aumento de tamaño pero disminución del peso seco (Salisbury y Ross, 2000).

El análisis de crecimiento de las plantas puede basarse directamente en la evolución cronológica de medidas tales como peso seco, longitud de tallos, número de hojas, número de ramas, etc. (Manrique, 1990). Con estas medidas es posible calcular la tasa de crecimiento relativo (TCR), la razón de peso foliar (RPF), la tasa de asimilación neta (TAN), y otras variables de importancia en la cuantificación del crecimiento (Ascencio y Fargas, 1973; Leopold, 1974; Hunt, 1990; Hunt et al., 2002). Mientras los primeros (peso seco, longitud, etc.), tienen que ver con el desarrollo absoluto de la planta, los segundos (tasas de crecimiento) explican su eficiencia en acumular materia seca en los diferentes órganos, como producto de sus procesos metabólicos (Geraud et al., 1995).

3.8.1 Tasa de crecimiento relativo (TCR).

La tasa de crecimiento relativo (TCR) se define como el incremento de biomasa por unidad de biomasa y tiempo, durante los primeros estadios de una planta, el crecimiento suele tener una dinámica exponencial y suele reflejar diferencias significativas entre especies (Villar et al., 2004). Representa la eficiencia de la planta como productora de nuevo material.

Molina y colaboradores (1993), describen que durante las primeras semanas la relación del peso de raíces (biomasa) es mayor y que al aumentar la producción de biomasa de la parte aérea, los valores de crecimiento de la raíz se estabilizan, y que conforme sigue aumentando el tiempo de la planta la relación de peso entre la parte aérea tiende a ser

menor que el sistema radicular, debido a la pérdida de hojas y fruto después de varios ciclos sucesivos de cosecha.

3.8.2 Tasa de asimilación neta (TAN).

La tasa de asimilación neta (TAN) es un índice de eficiencia productiva en relación con el área foliar total (Hunt, 1990). Mide en forma indirecta la fotosíntesis realizada por la planta en intervalos de tiempo, junto con la tasa unitaria, mide el aumento neto en el peso seco de la planta por área foliar unitaria. La eficiencia fotosintética de las plantas se expresa en términos de TAN, es la cantidad de materia seca producida por unidad de hoja y por unidad de tiempo.

3.8.3 Razón de área foliar (RAF)

La razón de área foliar (RAF) es un índice morfológico que mide el balance entre los gastado para la respiración de los distintos componentes de la planta y lo producido potencialmente para la fotosíntesis (Guevara, 2009). En cualquier instante de tiempo es la razón del material asimilado por unidad de material vegetal presente. También puede definirse como la relación que existe entre el área foliar y el peso seco total de la planta (Hunt, 1990).

3.8.4 Razón de peso foliar (RPF).

La razón de peso foliar (RPF) es el índice del follaje de la planta sobre una base de peso seco. Es una medida de la inversión productiva de la planta, porque esto se ocupa del gasto relativo en fotosintetizar potencialmente los órganos. La proporción entre el peso seco total de hoja y el peso seco total de la planta (Hunt, 1990).

3.8.5 Área foliar específica (AFE).

El área foliar específica (AFE) es una de las principales variables que afectan el crecimiento de las plantas, por favorecer cambios en la razón de área foliar y en la eficiencia fotosintética en el uso de Nitrógeno (Bultynck, 1999). En este sentido, el contenido de Nitrógeno en las plantas, disminuye durante el crecimiento; presentando una

alta correlación con la acumulación de materia seca, más que otros parámetros, y para cualquier estadio de crecimiento o edad de rebrote.

El AFE varía con la intensidad lumínica o época del año. Las especies más demandantes de luz, presentan una elevada área foliar específica, además, de elevadas concentraciones de Nitrógeno en hojas. Una elevada AFE incrementa la fragilidad de las hojas, al tiempo que se incrementa el riesgo de pérdidas prematuras de tejido, mientras que las hojas más densas y con menor AFE, tienen correlaciones altas con una mayor lignificación, menor tamaño celular, bajo contenido de humedad y baja concentración de Nitrógeno (Pérez et al, 2004).

El AFE en pocas palabras es el área medida de las hojas por unidad de peso de las hojas, siendo una medida indirecta del espesor de las hojas, con valores altos para hojas delgadas y valores bajos para hojas gruesas (Rodríguez, 2006).

3.8.6 Coeficiente de partición de biomasa (CBP)

El coeficiente de partición de biomasa (CPB) nos indica el porcentaje de peso que tiene cada componente en relación con el peso total de la planta y es de suma importancia para conocer cómo se distribuyen los fotosintatos en la planta.

En un estudio realizado por Vázquez en el 2005, sobre CPB, encontró resultados estadísticamente significativos, estos cambios provocaron variaciones en el rendimiento, encontrando que las plantas con mayor fruto fueron las plantas con un acolchado plástico blanco y plateado, encontrando que las plantas con menos fruto fueron las que estaban con el acolchado negro, esto debido a que las plantas con acolchado blanco plateado, tienen propiedades reflejantes de luz.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales para la instalación de los sistemas

- ❖ Dos estructuras de perfil angular de 1 metro de ancho por 20 metros de largo con una altura de 1 m.
- ❖ Ocho láminas de poliestireno con medidas de 1.20 x 2.40 m y 0.5 pulgadas de ancho.
- ❖ Poliducto de polietileno negro de 16 mm de diámetro.
- ❖ Rociadores Pal Mini Sprayer 360 con un gasto de 40 L/h con una presión de operación de 30 PSI.
- ❖ Tubos de PVC sanitario de 2 pulgadas para el sistema de recirculación.
- ❖ Cuatro contenedores de agua con capacidad para 700 L.
- ❖ Un temporizador (timer) Temp-24 Horas. marca Esteren.
- ❖ Cuatro motobombas residenciales con motor 0.25 Hp. Succión y descarga de 1 pulgada marca Evans, modelo 1HME025.
- ❖ Cinco filtros de 120 mesh.
- ❖ Dos paquetes de vasos de poliestireno con capacidad de 165 cc.
- ❖ Seis tubos de PVC sanitario de 4 pulgadas de diámetro.
- ❖ Polietileno coextruido blanco-negro.
- ❖ Cinta de polietileno de la marca Netafim Streamline con una distancia entre goteros de 0.3 metros, un gasto de agua de 1 L/h a una presión de operación de 8 PSI.
- ❖ Conectores de polietileno para poliducto de 16 mm.
- ❖ Bolsas de polietileno blanco/negro con capacidad de 5 L.
- ❖ Turba (peat moss) marca premier.
- ❖ Goteros con gasto de 8L/h y una presión de operación de 8 PSI.
- ❖ Piquetas y tubín de 3mm.
- ❖ Dos paquetes de vasos neveros color azul del número 5.

4.2 Equipos, fertilizantes y agroquímicos

- ❖ Un equipo LI-3100 de la marca Li-Cor Biosciences, para medición de área foliar.
- ❖ Un refractómetro de mano para medidas de azúcar y porcentaje de sólidos disueltos de 0 a 32 %, Marca ABBE.
- ❖ Una balanza electrónica digital marca: balanzas Ohaus Explorer Pro modelo ep413
- ❖ Un vernier digital Truper
- ❖ Una estufa de secado marca BLU-M modelo OV-510A-2.
- ❖ Tensiómetros de 30 y 60 cm Marca Irrometer
- ❖ Extractores de solución de 60 cm Marca Irrometer
- ❖ Potenciómetro marca Hanna modelo HI98130
- ❖ Programador de riego marca Rain Bird, modelo STP4PL
- ❖ Nitrato de amonio.
- ❖ Nitrato de calcio.
- ❖ Nitrato de potasio.
- ❖ Fosfato monopotásico.
- ❖ Un litro de fertilizante foliar Poliquel Multi.
- ❖ Ácido fosfórico.
- ❖ Ácido nítrico.
- ❖ Ácido sulfúrico.
- ❖ Un kilogramo de fungicida Tecto 60.
- ❖ Un litro de acaricida Biomec

4.3 Metodología

4.3.1 Sitio experimental

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el campo experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al Noreste de la ciudad de Saltillo. Coahuila; cuyas coordenadas geográficas son 25° 27' de latitud Norte, 101° 02' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich y a una altura de 1610 msnm.

4.3.2 Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Köeppen y modificada por García (1987) el clima de Saltillo corresponde a un seco estepario, con formula climática BSo K (x') (e').

Dónde:

BS: Seco (árido y semiárido) BSo: es el clima más seco de los BS.

K: Templado con verano cálido, siendo la temperatura media anual entre 12 y 18 °C, y la temperatura media del mes más caluroso de 18°C.

(x'): Régimen de lluvias intermedias entre verano e invierno.

(e'): Extremoso con oscilaciones entre 7 y 14 °C.

En general la temperatura y la precipitación pluvial media anual son de 18 °C y 360 mm respectivamente, los meses más lluviosos son principalmente Julio y Septiembre, concentrándose la mayor parte en el mes de Julio. La evaporación promedio mensual es de 178 mm, presentándose la mayor entre los meses de Mayo y Junio con 235 mm.

4.3.3 Sistemas evaluados

Para la fase experimental se instalaron tres sistemas hidropónicos y un sistema en suelo para ser evaluados los cuales constaron en lo siguiente:

Tratamiento 1. Sistema en sustrato hidropónico peat moss (T1). Consistió en el llenado de macetas de polietileno blanco/negro con peat moss (Figura 5). Le fueron conectados goteros y subdivisiones con piquetas para que cada planta recibiera 2 l/h. conectadas a un tanque con solución nutritiva con capacidad de 700 litros de solución nutritiva. El riego se estuvo controlando por tensiómetros resguardando no sobrepasara los 25 centibares.



Figura 5. Tratamiento en sustrato (T1) del cultivo de fresa bajo invernadero

Tratamiento 2. Acolchado plástico en suelo (T2). Para este tratamiento se levantó una cama de aproximadamente 1.20 m de ancho por 15 m de largo y 0.40 m de alto (Figura 6), en la cual se instalaron 4 cintas para un sistema de riego por goteo con un gasto de 1l/h con 0.30 m de distancia entre gotero, para posteriormente ser acolchado con polietileno blanco/negro. Las plantas fueron trasplantadas cada 0.30 m de distancia entre ellas. De igual forma el sistema de riego estuvo colocado a un tanque con solución nutritiva con capacidad de 700 litros. Los riegos fueron controlados por tensiómetros colocados a 0.20 y 0.40 m de profundidad.



Figura 6. Tratamiento en acolchado (T2) del cultivo de fresa bajo invernadero

Tratamiento 3. Nutrient Film Technique-NFT- (T3). Para este sistema se utilizaron tubos sanitarios color blanco de 4 pulgadas de diámetro, los cuales fueron perforados cada 0.30 m y fueron colocados sobre una estructura de metal (Figura 7), estos tubos fueron cubiertos por polietileno blanco/negro con el fin de evitar el sobrecalentamiento del material y evitar el paso de la luz a las raíces. Se colocó poliducto para el sistema de riego el cual fue conectado a un depósito con capacidad para 700 l de solución. Este sistema estuvo controlado a través de un timer con intervalos de 30 minutos y pausas de 15 minutos entre cada riego, de las 7 A.M a las 7 P.M, además la solución nutritiva fue recirculada a lo largo de todo el tratamiento.



Figura 7. Cultivo de fresa sistema NFT (T3) en el cultivo de fresa bajo invernadero

Tratamiento 4. Sistema Aeropónico (T4) en este sistema se utilizó láminas de poliestireno con dimensiones de 1.20 m x 2.40 m y 0.5 pulgadas de ancho las cuales fueron perforadas en tresbolillo con distancias entre perforaciones de 0.30 m.(Figura 8), para este sistema se colocó polietileno para la formación de un canal, por el cual recircular la solución nutritiva. El riego fue instalado a través de poliducto negro y con rociadores con gasto de 40 l/h conectados a un depósito con capacidad para 700 l de solución nutritiva. El riego estuvo controlado con un timer con intervalos de 30 minutos y pausa de 15 minutos entre cada riego el cual empezaba a las 7 A.M. y terminaba a las 7 P.M. la solución fue recirculada en todo el tratamiento.



Figura 8. Sistema aeropónico (T4) en el cultivo de fresa bajo invernadero

4.3.4 Material vegetal

Se utilizaron plantas de fresa (*Fragaria x ananassa*) variedad Albi3n de fotoperiodo neutro; las cuales se consiguieron en la Uni3n Agr3cola Regional de Productores de Fresa ubicada en la ciudad de Zamora, Michoac3n.

Posteriormente se plantaron en macetas previamente llenadas con turba para la adaptaci3n de las plantas, se estuvieron regando con soluci3n nutritiva durante este periodo.

4.3.5 Caracter3sticas del invernadero

Se construy3 un invernadero tipo t3nel (Figura 9), con dimensiones 20 metros de largo por 8 metros de ancho y una altura cenital de 5.5 metros; se cubri3 con malla anti3fidos de 10 x 20 hilos/pulg² color blanco y con polietileno difuso de baja densidad, para darle las caracter3sticas de un invernadero hibrido, posteriormente se coloc3 una malla sombra con el 30% de sombreo para mitigar la radiaci3n solar y reducir el calentamiento en el interior del invernadero. La superficie se cubri3 con grow-cover color blanco para mitigar el crecimiento de maleza y para reflejar la radiaci3n solar 3til para la fotos3ntesis de las plantas.



Figura 9. Construcción del invernadero tipo túnel en el campo experimental de CIQA.

4.4 Prácticas Culturales del Cultivo en Invernadero

Los sistemas fueron establecidos el 8 de Enero del 2013 a los cuales se les comenzó a aplicar control fitosanitario cada semana de fungicida Tecto con dosis de 2 g/l para la prevención de enfermedades fúngicas. Para el tratamiento T2 se le realizaron lavados con agua al suelo para disminuir las concentraciones de sales, esta medición se realizó con ayuda de extractores de solución y un potenciómetro para ver el contenido de sales y conocer el pH presente en el suelo.

A la solución nutritiva de los tratamientos se le monitoreaba el pH para que no sobrepasara de 5.0 la y conductividad eléctrica para que oscilara de 3 a 3.2 dS/cm.

Durante el experimento se realizaba un deshoje con la finalidad de eliminar las hojas viejas, mejorar la ventilación de la planta, además de eliminar las hojas indeseables, mejorando el aprovechamiento de la radiación PAR.

4.4.1 Control de plagas y enfermedades

Durante el experimento se tuvo que hacer aplicaciones semanales de fungicida para prevención de enfermedades fúngicas, principalmente para la prevención de *Botrytis cinérea*, además se realizaron aplicaciones periódicas de detergente en polvo con el fin de

eliminar la plaga de mosca blanca (*Bemisia tabaci*) que se manifestó los primeros días de establecido el cultivo.

Posteriormente a mediados del mes de Marzo comienza a manifestarse la plaga de araña roja (*Tetranychus urticae*) y se inicia con aplicaciones de abamectina para su control, con aplicaciones periódicas de dos veces por semana y con la eliminación manual plantas y hojas que estaban severamente afectadas

4.4.2 Cosecha

Se muestrearon 10 plantas por tratamiento, se cosecharon los frutos para ser pesados, además se contabilizaba el número de frutos por planta, su diámetro polar y ecuatorial y su cantidad de sólidos soluble (°Brix). Estas cosechas se hicieron a partir del día 29 de Abril dos veces por semana y para su análisis estadístico se tomaron 10 muestreos a partir de la fecha citada.

4.4.3 Sólidos solubles (°Brix)

Los °Brix se estimaron, por determinación directa con un refractómetro de mano (figura 10) para medidas de azúcar y porcentaje de sólidos disueltos de 0 a 32% (marca: ABBE), aplicándole una gota del jugo de fresa molida a temperatura ambiente.



Figura 10. Medición de sólidos soluble (°Brix) en el cultivo de fresa bajo invernadero

4.4.5 Tamaño del fruto

El peso se determinó utilizando una balanza electrónica digital. El diámetro polar y diámetro ecuatorial del fruto se midió con un vernier digital Truper (Figura 11).



Figura 11. Medición del diámetro ecuatorial del fruto de fresa

4.4.6 Muestreos

Los muestreos destructivos de planta iniciaron el día 29 de Abril con intervalos de 15 días, para la determinación de los índices de crecimiento, se hicieron 5 muestreos y se dividieron en peciolo, corona, flores, raíz, hojas y frutos para determinarles su peso seco, para esto cada parte fue secada en una marca BLU-M modelo OV-510A-2: además se determinó el área foliar con un equipo LI-3100.

4.5 Determinación de los índices de crecimiento

4.5.1 Tasa de crecimiento relativo total

La tasa de crecimiento relativo señala el crecimiento existente de un tiempo a otro, dicho de otra manera indica la acumulación de biomasa de la planta de un tiempo 1 a un tiempo 2 independientemente del área foliar que tenga.

Para conocer la tasa de crecimiento relativo total (biomasa acumulada) es necesario conocer el peso seco de cada componente de la planta, como tallos, hojas, flor, frutos, para después realizar los cálculos con la siguiente fórmula:

$$TCR_{total} = \frac{\ln(ps \text{ total } 2) - \ln(ps \text{ total } 1)}{\text{dias}}$$

DONDE:

TCR total= tasa de crecimiento relativo total.

$\ln(ps_{total2})$ = logaritmo natural de peso seco total tiempo 2 expresada en gramos (g)

$\ln(ps_{total1})$ = logaritmo natural de peso seco total tiempo 1 expresada en gramos (g)

4.5.2 Tasa de crecimiento relativo de tallo

Se refiere a la velocidad de acumulación de biomasa de tallo de un tiempo a otro, la fórmula para calcular dicha tasa de crecimiento es la siguiente:

$$TCR_{tallo} = \frac{\ln(pstallo2) - \ln(pstallo1)}{\text{dias.}}$$

TCR tallo= tasa de crecimiento relativo tallo.

$pstallo2$ = logaritmo natural de peso seco tallo tiempo 2 expresada en gramos (g)

$pstallo1$ =logaritmo natural de peso seco tallo tiempo 1 expresada en gramos (g)

4.5.3 Tasa de crecimiento relativo hoja.

La tasa de crecimiento relativo de la hoja nos indica que tanto acumula de biomasa de hoja de un determinado tiempo a otro y se expresa en la siguiente ecuación:

$$TCR_{hoja} = \frac{\ln(pshoja2) - \ln(pshoja1)}{\text{dias}}$$

En donde:

TCR hoja= tasa de crecimiento relativo de la hoja

$Pshoja2$ = logaritmo natural de peso seco de las hojas en el tiempo 2

$Pshoja1$ = logaritmo natural de peso seco de las hojas en el tiempo 1

4.5.4 Tasa de crecimiento relativo fruto

La tasa de crecimiento relativo de fruto (TCR fruto) nos indica que tanto acumula de biomasa el fruto de un período a otro de un tiempo 1 a un tiempo 2.

$$TCR_{fruto} = \frac{\ln(ps_{fruto2}) - \ln(ps_{fruto1})}{días}$$

En donde:

TCR fruto = tasa de crecimiento relativo de fruto

Psfruto2 = logaritmo natural de peso seco de fruto en el tiempo 2

Psfruto1 = logaritmo natural de peso seco de fruto en el tiempo 1

4.5.5 Tasa de crecimiento relativo flor

La tasa de crecimiento de flor se expresa en la siguiente ecuación e indica, a parte de la biomasa acumulada, el inicio a floración y posible precocidad en la floración:

$$TCR_{flor} = \frac{\ln(ps_{flor2}) - \ln(ps_{flor1})}{días}$$

En donde:

TCR flor= tasa de crecimiento relativo de flor

Psflor2= logaritmo natural de peso seco de flor en tiempo 2 expresada en gramos (g)

Psflor1= logaritmo natural de peso seco de flor del tiempo 1 expresada en gramos (g)

4.5.6 Tasa de asimilación neta

La tasa de asimilación neta (TAN) se refiere a la cantidad de peso seco total de la planta en relación al área foliar de la misma en un determinado tiempo, se puede expresar en gramos por metro cuadrado, por día. Conociendo la TAN podemos saber la cantidad de biomasa existente por día de cada planta por unidad de área foliar.

$$TAN = \frac{(ps_{total2} - ps_{total1})}{días} * \frac{\ln(af2) - \ln(af1)}{af2 - af1}$$

Dónde:

Ps total 2= peso seco del tiempo 2

Ps total 1= peso seco del tiempo 1

Días= son los días transcurridos entre cada muestreos

Lnaf2=logaritmo natural del tiempo 2

Lnaf1=logaritmo natural del tiempo 1

Af2=área foliar 2

Af1=área foliar 1

4.5.7 Razón de peso foliar

La razón de peso foliar (cuadro 4.7) nos indica que tanto corresponde al peso seco de la hoja, en relación con el peso seco total de la planta, dicho de otra manera explica, cuantos gramos de hoja existen por cada gramo de peso seco total de la planta.

La fórmula para calcular la razón de peso foliar es la siguiente:

$$RPF = \frac{\frac{pshoja\ 1}{pstotal\ 1} + \frac{pshoja2}{pstotal\ 2}}{2}$$

Dónde:

RPF= Razón de peso foliar

Pshoja1= Peso seco de las hojas en el tiempo 1 expresada en gramos (g)

Pshoja2= peso seco de las hojas en el tiempo 2 expresada en gramos (g)

Pstotal1 = peso seco total de la planta en el tiempo 1 expresada en gramos (g)

Pstotal2= peso seco total de la planta en el tiempo 2 expresada en gramos (g)

4.5.8 Razón de área foliar

Nos indica la superficie existente de la hoja en relación al peso seco total de la planta, si tenemos la razón de área foliar en cm^2g^{-1} esto explica que tanta superficie de hoja en cm^2 existen por cada gramo del peso de la planta.

La fórmula para obtener la razón de área foliar es la siguiente:

$$RAF = \frac{\frac{af1}{pst1} + \frac{af2}{pst2}}{2}$$

Dónde:

RAF= razón de área foliar

Af1= área foliar del tiempo 1 en cm^2

Af2= área foliar del tiempo 2 expresada en cm^2

Pst2= peso seco total tiempo 2

Pst1=peso seco total tiempo 1

4.5.9 Área foliar específica

Esta variable se puede interpretar como la relación de área foliar y el peso de la hoja, se expresa en m² (hoja) kg⁻¹(hoja) o cm² (hoja) g⁻¹(hoja).

La fórmula para determinar el Área foliar específica es la siguiente:

$$AFE = \frac{RAF}{RPF}$$

Dónde:

AFE= Área foliar específica

RAF= Razón de área foliar

RPF= Razón de foliar.

4.5.10 Índice de eficiencia crecimiento del fruto

El índice de eficiencia de crecimiento del fruto nos indica la cantidad de peso seco de fruto de la planta en relación al área foliar de la misma en un determinado tiempo, se puede expresar en gramos por metro cuadrado, por día.

La fórmula para obtener el índice de eficiencia de crecimiento de fruto (IECF) es la siguiente:

$$Iecf = \frac{psfruto2 - psfruto1}{(t2 - t1)} * \frac{\ln(af2) - \ln(af1)}{af2 - af1}$$

En donde:

IECF= Índice de eficiencia de crecimiento del fruto

Psfruto2= peso seco del fruto en el tiempo dos expresado en gramos (g)

Psfruto1= peso seco del fruto en el tiempo uno expresado en gramos (g)

t2= tiempo dos expresado en días después del trasplante (ddt)

t1= tiempo uno expresado en días después de trasplante (ddt)

af2= Área foliar del tiempo dos expresada en m²

af1= Área foliar del tiempo uno expresada en m²

4.5.11 Coeficiente de partición de biomasa

El coeficiente de partición de biomasa (CPB) nos indica el porcentaje de peso que tiene cada componente en relación con el peso total de la planta y es de suma importancia para conocer cómo se distribuyen los fotosintatos en la planta:

$$CPB = \frac{\text{pesoseco de componente}}{\text{pesoseco total}}$$

CPB = Coeficiente de partición de biomasa

Peso seco de componente correspondiente (tallo, hojas, flores, frutos etc.)

4.6 Determinación de la eficiencia en el uso del agua (EUA)

Para la determinación de esta variable se contabilizo en agua gastada a lo largo de la investigación para posteriormente determinar la relación del agua usada por los kilogramos obtenidos por la población de plantas del experimento.

Para ello se determinó usando una población de 100 plantas por tratamiento.

$$EUA = (\text{kg obtenidos de las 100 plantas}) / (\text{m}^3 \text{ utilizados de agua})$$

4.7. Análisis estadístico

Para realizar los análisis de varianza y la comparación de medias de las variables, se recabaron los datos de los análisis de crecimiento posteriormente se utilizó el modelo general lineal (GLM) en el SPS Statistic versión 11; utilizando cuatro tratamientos:

- 1.- sistema hidropónico en sustrato
- 2.- Sistema en acolchado plástico
- 3.- Sistema NFT
- 4.- Sistema en aeroponía

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de crecimiento de las plantas puede basarse directamente en la evolución cronológica de medidas tales como peso seco, longitud de tallos, número de hojas, número de ramas, etc. (Manrique, 1990). Con estas medidas es posible calcular la tasa de crecimiento relativo (TCR), la razón de peso foliar (RPF), la tasa de asimilación neta (TAN), y otras variables de importancia en la cuantificación del crecimiento (Ascencio y Fargas, 1973; Leopold, 1974; Hunt, 1990; Hunt et al., 2002). Mientras los primeros (peso seco, longitud, etc.), tienen que ver con el desarrollo absoluto de la planta, los segundos (tasas de crecimiento) explican su eficiencia en acumular materia seca en los diferentes órganos, como producto de sus procesos metabólicos (Geraud et al., 1995).

5.1 Tasa de crecimiento relativo (TCR)

La tasa de crecimiento relativo (TCR) se define como el incremento de biomasa por unidad de biomasa y tiempo de una planta, el crecimiento suele tener una dinámica exponencial y suele reflejar diferencias significativas entre especies (Villar et al., 2004). Representa la eficiencia de la planta como productora de nuevo material.

5.1.1 Tasa de crecimiento relativo total (TCR total)

De acuerdo a la definición anterior y analizando los análisis de varianza y comparación de medias (Cuadro 3), se encuentran diferencias significativas en los períodos de muestreos 2 y 5. Por otra parte en el primer muestreo ningún tratamiento muestra generación de biomasa, por lo que se deduce que la planta durante esta estancia no tuvo crecimiento; para el segundo muestreo se observa diferencias significativas entre los tratamientos siendo el tratamiento en aeroponía el que mayor generación de biomasa obtuvo, los tratamientos en acolchado y NFT, tuvieron la misma generación de biomasa, mientras que el tratamiento en sustrato fue el que menor materia seca generó debido al estrés que se presentó en el sustrato durante ese período. Ya para el tercer muestreo se observa que no existió significancia entre los tratamientos, pero además se muestra que los valores para los tratamientos en sustrato, suelo acolchado son muy parecidos, siendo este muestreo en donde marca la mejor etapa para el cultivo de fresa por los datos uniformes entre estos tratamientos, sin embargo en este período el tratamiento en aeroponía, aun cuando

estadísticamente es igual que los demás tratamientos, bajó drásticamente su biomasa y los valores son mucho más bajos que en los demás tratamientos, esto indica por un lado que no había homogeneidad entre las repeticiones por lo cual no se marcaron las diferencias entre los tratamientos, aun cuando si había mucha diferencia entre este tratamiento y los demás, y por otro lado indica que en el sistema aeropónico cualquier falla en el sistema daña rápidamente a las plantas causando una alta desuniformidad y muerte de plantas. En el cuarto muestreo se observa un descenso en la acumulación de biomasa. Este descenso se pudo haber originado por el aumento de las temperaturas dentro del invernadero o por la presencia de araña roja que atacó a la planta durante su desarrollo, afectando principalmente el envés de las hojas las cuales son las originadoras de los fotosintatos quienes son los responsables del desarrollo de la planta.

Además Molina y colaboradores (1993), describen que al transcurrir el tiempo la planta presenta una caída en su crecimiento, debido probablemente a la necesidad de la planta de reponer el área perdida después del gasto de fotoasimilados originado por la producción de frutos. En el último período de evaluación el descenso en la acumulación de biomasa continúa en el tratamiento acolchado, NFT y aeroponía, y hubo un repunte de crecimiento en las plantas en sustrato, esto fue ya cuando las plantas en sustrato se habían adaptado bien a este sistema, observándose un mejor desarrollo que en los demás tratamientos, tardó en adaptarse la planta al sustrato, pero después respondió muy bien a este sistema de producción. Las medias generales muestran que las mayores TCR se tuvieron en los tratamientos en sustrato y en suelo acolchado. Por otro lado se observó que los sistemas más sensibles y delicados de mantener fueron el NFT y aeroponía, ya que cualquier falla del sistema daña rápidamente a las plantas, además de que requiere más infraestructura y cuidado.

CUADRO 3. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo total y biomasa generada el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.

TCR total (mg · g día ⁻¹)						
Tratamientos	111- 129*	129-142*	142-157*	157-171*	171-188*	Medias
T1 sustrato	0 a	3 b	8 a	-13 a	15 a	3 a
T2Acolchado	0 a	12 ab	10 a	2 a	-11 ab	2 a
T3NFT	-7 a	13ab	10 a	-26 a	-4 ab	-3 a
T4Aeropónico	-30 a	44 a	1 a	2 a	-3b	-2 a
Biomasa generada de cada tratamiento						
Tratamientos	111- 129*	129-142*	142-157*	157-171*	171-188*	medias
T1 sustrato	7.094	7.172	7.724	7.571	7.959	7.504
T2Acolchado	7.824	9.578	11.174	12.264	11.582	10.484
T3NFT	7.090	7.351	8.7	7.753	6.066	7.392
T4Aeropónico	7.018	7.168	9.719	10.489	8.471	8.573

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes. *Días después del trasplante

5.1.2 Tasa de crecimiento relativo de la corona (TCR corona)

El análisis de varianza y la comparación de medias de la corona nos indican que existen diferencias significativas entre los tratamientos en el cuarto y quinto periodo de evaluación, no así en los demás muestreos realizados (Cuadro 4).

Durante el primero período solo el tratamiento en suelo acolchado muestra valores positivos por lo que hubo generación de biomasa, en el resto de los tratamientos se observan valores negativos esto probablemente por retraso en el desarrollo radicular mientras se adaptaban a los sistemas. En el segundo período las plantas en el sistema NFT y en aeroponía tuvieron una rápida respuesta en crecimiento de la corona, posiblemente por la disponibilidad inmediata de nutrientes a la raíz, mientras que en sustrato y suelo acolchado disminuyó con respecto al primer período, indicando esto una más lenta adaptación del sistema radical, o una baja homogeneidad en el cultivo. En el tercer muestreo se observa los valores de TCR más altos coincidiendo con la época de mayor desarrollo y por la mayor demanda de nutrientes, lo que permitió mayor desarrollo de la corona, siendo el tratamiento suelo acolchado (T2) el que obtuvo valores más altos de TCR en los otros tres tratamientos fue similar, pero considerablemente más bajas que en suelo acolchado, aunque estadísticamente no hubo significancia lo que indica también la baja homogeneidad en el cultivo. Durante el cuarto muestreo el daño ocasionado por la plaga de

araña roja a las hojas del cultivo provoco un descenso en la TCR provocando valores negativos por lo que la generación de biomasa se vio afectada en la corona principalmente en los tratamientos en sustrato, suelo acolchado y NFT provocando más desuniformidad en las plantas y afectando los muestreos, en aeroponía siguió desarrollándose bien.

Para el quinto muestreo se muestra que los tratamientos en sustrato y suelo acolchado volvieron a tener crecimiento, mientras que en NFT siguió disminuyendo y en aeroponía tuvo una drástica caída debido a fallas en el sistema de irrigación que causa daño principalmente en la corona y raicillas lo cual se tradujo a rápido daño de las plantas. Las medias generales muestran nuevamente que numéricamente las mayores TCR de la corona se obtuvieron en sustrato y en suelo acolchado y las menores en NFT y aeroponía, aun que estadísticamente no hubo significancia, atribuido a la baja homogeneidad en las plantas, debido al mismo daño provocado por los sistemas de producción.

CUADRO 4. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo de la corona en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.

TCR corona (mg · g día ⁻¹)						
Tratamientos	111- 129*	129-142*	142-157*	157-171*	171-188*	Medias
T1 sustrato	-1 a	-5 a	8 a	-44 b	36 a	1 a
T2Acolchado	7 a	-10 a	44 a	-37 b	4 b	2 a
T3NFT	-10 a	7 a	10 a	-4 ab	-7 b	-1 a
T4Aeropónico	-37 a	35 a	10 a	36 a	-51 c	-1 a

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes. *Días después del trasplante

5.1.3 Tasa de crecimiento relativo de la raíz (TCR raíz)

El análisis de varianza y la comparación de medias de la TCR de la raíz (Cuadro 5) nos muestra valores significativos entre tratamiento solo en el cuarto muestreo, mostrando en menor desarrollo el tratamiento T3.

Como se observa en el cuadro durante el primer muestro, aunque estadísticamente son iguales numéricamente el tratamiento en sustrato (T1) muestra valores positivos de desarrollo radicular, mientras que en los demás tratamientos fue negativo, es decir se perdió masa radical. De igual forma se comenta que durante el segundo período de evaluación la TCR de raíz aumentó para cada uno de los tratamientos, lo que indica ya una adaptación al sistema de cultivo, por lo que la planta comenzó a generar su biomasa para la formación de

hojas, flores y frutos. A pesar de que hay alta diferencia numérica entre los tratamientos no hay significancia estadística casi en ningún período lo que indica nuevamente la baja homogeneidad que había en las repeticiones

Para el cuarto período de evaluación se muestra valores significativos entre tratamientos, se observa poco desarrollo de biomasa principalmente para los tratamientos NFT (T3) y aeroponía (T4), debido probablemente al estrés ocasionado por los intervalos de nebulización para cada sistema y por las altas temperaturas que se presentaron en el interior del invernadero. Para el quinto muestreo se observan valores negativos de TCR que pueden indicar que los fotosintatos estaban siendo utilizados por la parte aérea de la planta en la formación de frutos y material vegetativo y no en crecimiento radical. Nuevamente las medias generales muestran mayores TCR de raíz en los tratamientos en sustrato y en suelo acolchado y menores en los sistemas NFT y aeroponía, aunque estadísticamente no significativos

CUADRO 5. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo de la raíz en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.

TCR raíz (mg · g día ⁻¹)						
Tratamientos	111- 129*	129-142*	142-157*	157-171*	171-188*	Medias
T1 sustrato	15 a	25 a	-5 a	9 ab	-11 a	7 a
T2Acolchado	-8 a	58 a	-25 a	52 a	-35 a	8 a
T3NFT	-8 a	10 a	22 a	-49 b	-4 a	-6 a
T4Aeropónico	-33 a	67 a	-23 a	-10 b	-8 a	-1 a

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes. *Días después del trasplante

Molina y colaboradores (1993), describen que durante las primeras semanas la relación del peso de raíces (biomasa) es mayor y que al aumentar la producción de biomasa de la parte aérea, los valores de crecimiento de la raíz se estabilizan, y que conforme sigue aumentando el tiempo de la planta la relación de peso entre la parte aérea tiende a ser menor que el sistema radicular, debido a la pérdida de hojas y fruto después de varios ciclos sucesivos de cosecha.

5.1.4 Tasa de crecimiento relativo del fruto (TCR fruto)

El análisis de varianza y comparación de medias de fruto (Cuadro 6) muestra diferencias significativas entre los tratamientos en el tercer y quinto muestreo. Aunque estadísticamente los valores son iguales para el primer muestreo refleja que el tratamiento en suelo acolchado obtuvo el valor más alto de TCR de fruto, dando a entender que este tratamiento presentaba mayor número de frutos o que sean de mayor tamaño, de igual forma indica que los tratamientos T1 y T4 fueron los menos productivos ocasionada probablemente por la plaga que estaba presente. De igual forma indica que en el segundo muestreo hay una recuperación importante en la producción de frutos para el tratamiento T3, siendo este con el valor más alto de TCR de fruto y siguiendo con valores negativos el tratamiento en sustrato; en el muestreo tres se observan valores significativos entre los tratamientos esto debido probablemente a la plaga presente por lo que al momento de hacer los muestreos la desuniformidad de planta ocasionó esta significancia, siendo el tratamiento en aeroponía el que tiene el valor más alto de TCR de fruto. En el cuarto muestreo no se observan diferencias significativas pero se puede deducir que no hubo formación de fruto durante este periodo probablemente porque se estaba en la producción de flores lo que ocasiono valores negativos para todos los tratamientos. De nueva forma para el quinto muestreo se observan significancias, siendo el tratamiento en sustrato y en NFT los que mayor cantidad de fotosintatos enviaron a la formación de frutos, y el tratamiento en suelo acolchado fue el que menos cantidad de fotosintatos mandó a fruto en este período. La media general no muestra tendencia, lo que se puede deducir es que la producción de fruto en los diferentes tratamientos no fue en el mismo tiempo y no fue constante.

CUADRO 6. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo del fruto en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.

TCR fruto ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$)						
Tratamientos	111- 129*	129-142*	142-157*	157-171*	171-188*	Medias
T1 sustrato	-17 a	-40 a	3 ab	-79 a	78 a	-11 a
T2Acolchado	37 a	8 a	-5 ab	-27 a	-39 c	-5 a
T3NFT	-3 a	36 a	-32 b	-98 a	48 ab	-10 a
T4Aeropónico	-22 a	-8 a	76 a	-29 a	-29 bc	-3 a

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes. *Días después del trasplante

5.1.5 Tasa de crecimiento relativo de peciolo (TCR peciolo)

El análisis de varianza y comparación de medias de la TCR de peciolo (Cuadro 7) muestra diferencias significativas entre los tratamientos solo en el quinto muestreo, además podemos destacar que a lo largo de los muestreos el tratamiento en suelo acolchado se mantuvo más constante en la generación de biomasa de peciolo, seguido del tratamiento en sustrato. El tratamiento NFT fue más irregular debido a la desuniformidad de plantas que tenía el sistema y el tratamiento en aeroponía muestra al principio del muestreo el valor más bajo de TCR debido a que fue el tratamiento que le costó mayor tiempo en adaptarse al sistema sin embargo muestra una mejora al transcurrir los muestreos, dicho lo anterior el tratamiento NFT fue el tratamiento que menor TCR tuvo a lo largo del experimento, muy probablemente causado por la poca oxigenación que tenía la solución nutritiva y por el mayor calentamiento del sistema donde estaba la raíz, ya que por la alta radiación y la poca área del tubo por donde pasaba la solución nutritiva, el agua se calentaba bastante. Si bien en el sistema aeropónico las plantas responden bastante bien y rápido, cualquier contratiempo en el sistema de riego afecta directamente al sistema radical y causa un grave daño a las plantas, incluso la muerte rápidamente. Los datos obtenidos durante el tercer muestreo muestra una uniformidad entre los tratamientos como su punto máximo en generación de biomasa. Durante el cuarto y quinto muestreo nos muestra un descenso en la generación de biomasa para la formación y crecimiento de peciolo por lo que la planta tiende a ser menos productiva además de que estaba en producción lo que pudo disminuir el crecimiento de peciolo para estas etapas. Nuevamente las medias generales, aunque no hay significancia estadística entre las medias, muestra mayores TCR de peciolo en el sistema en sustrato y en suelo acolchado, demostrando nuevamente lo delicado de los sistemas en NFT y aeroponía.

CUADRO 7. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo de peciolo en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.

TCR peciolo ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$)						
Tratamientos	111- 129*	129-142*	142-157*	157-171*	171-188*	Medias
T1 sustrato	1 a	3 a	22 a	-20 a	26 a	6 a
T2Acolchado	23 a	7 a	27 a	10 a	-9 a	12 a
T3NFT	-14 a	12 a	14 a	-16 a	-10 a	-3 a
T4Aeropónico	-28 a	28 a	16 a	6 a	-38b	-3 a

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes. *Días después del trasplante

5.1.6 Tasa de crecimiento relativo de flores (TCR flores)

Con relación a esta variable, el análisis estadístico y la comparación de medias muestra valores significativos (Cuadro 8) entre los tratamientos en los tres últimos períodos de muestreos, por otra parte podemos destacar que en el primer muestreo solo el tratamiento en sustrato obtuvo valores positivos generando biomasa en flores, esto se pudo haber debido a que el sustrato en el que estaban las plantas (peat moss) guarda gran cantidad de humedad lo que permitió mayor desarrollo de la raíz y de esta forma mayor generación de biomasa en la parte aérea lo que permitió un mayor control de los excesos de temperatura para sus sistemas. Posteriormente en el segundo muestreo el tratamiento en suelo acolchado obtiene la mayor tasa de crecimiento de flores, seguido por el tratamiento en sustrato. Los tratamientos NFT y aeroponía tienen valores negativos debido a que su desarrollo sigue siendo vegetativo y menor por lo que su desarrollo floral se ve limitado. En el tercer muestreo existe significancia entre los tratamientos debido a que el tratamiento en aeroponía alcanza su máxima generación de flores por lo que sobrepasa al resto de los tratamientos alcanzando su máximo valor, posteriormente se observa un descenso sugiriendo que solo tuvo un corto tiempo de floración y posteriormente entra a una estancia de latencia por lo que su desarrollo solo fue vegetativa. Lo mismo sucede con el tratamiento en NFT en el cuarto muestreo donde alcanza su valor máximo de TCR de flor y posteriormente desciende en el quinto muestreo. De acuerdo al cuadro se observa que el tratamiento en sustrato es el que desde el principio de los muestreos genera flores por lo que se muestra más competitivo en comparación de los demás tratamientos, seguido del tratamiento en suelo acolchado que muestra un comportamiento descendiente y al final muestra nula generación de flores. Los resultados sugieren alta homogeneidad en la floración entre los diferentes tratamientos y esto debido muy probablemente al tipo de sistema en el que se encuentra el cultivo de fresa.

CUADRO 8. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo de flores en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.

TCR flores (mg · g día ⁻¹)						
Tratamientos	111- 129*	129-142*	142-157*	157-171*	171-188*	Medias
T1 sustrato	2 a	3 a	62 ab	13 ab	38 a	24 a
T2Acolchado	-11 a	72 a	11 ab	1 ab	-82 b	-2 a
T3NFT	-28 a	-2 a	-15 b	75 a	-41 ab	-2 a
T4Aeropónico	-11 a	-32 a	101 a	-67 b	20 ab	-15 a

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes. *Días después del trasplante

5.1.7 Tasa de crecimiento relativo de las hojas (TCR hojas)

El análisis de varianza y comparación de medias de la TCR de hojas (Cuadro 9) muestra valores significativos en la mayor parte de los muestreos, solo el tercer muestreo no es significativo. Los resultados obtenidos del primer período de evaluación, muestra al tratamiento en sustrato como al más competitivo generando un alto contenido de biomasa, por el contrario el tratamiento en aeroponía no generó material vegetativo; si observamos la TCR de la raíz muestra que durante los primeros dos muestreos los fotosintatos se enfocaron al crecimiento radícula, por ende el comportamiento de baja producción de biomasa en hojas que se observa al momento de evaluar este componente. Ya en el segundo muestreo se muestra el desarrollo de material foliar para el tratamiento en aeroponía con mayor cantidad de TCR de hojas por lo que tuvo una respuesta positiva en el sistema aeropónico, como el sistema que indujo mayor generación de biomasa, seguido del tratamiento NFT y nulo desarrollo en hojas en el suelo acolchado. En el tercer muestreo, aunque no existen valores significativos muestra una mejora en producción de biomasa en hojas en todos los tratamientos siendo numéricamente mayor en suelo acolchado y el menor en aeroponía, pero con un repunte en el siguiente período para este tratamiento 4. En el último período de evaluación la TCR de hojas es positiva y más alta en los tratamientos en sustrato y suelo acolchado respectivamente, y negativos es decir sin crecimiento en los sistemas de NFT y aeroponía. Se deduce nuevamente baja homogeneidad en las plantas de los tratamientos, y mayor efectividad del sistema en sustrato y en suelo acolchado que en NFT y aeroponía, por lo anteriormente explicado de la problemática de estos sistemas.

CUADRO 9. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo de hojas en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.

TCR hojas ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$)						
Tratamientos	111- 129*	129-142*	142-157*	157-171*	171-188*	Medias
T1 sustrato	-6 ab	3 ab	15 a	-14 b	23 a	4 a
T2Acolchado	12 a	0 b	19 a	-6 b	11 ab	7 a
T3NFT	-7 ab	5ab	10 a	-8 b	-9 ab	-2 a
T4Aeropónico	-38 b	41 a	3 a	40 a	-53 c	-2a

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes. *Días después del trasplante

5.2 Tasa de asimilación neta (TAN)

La tasa de asimilación neta (TAN) es un índice de eficiencia productiva en relación con el área foliar total (Hunt, 1990), mide en forma indirecta la fotosíntesis realizada por la planta en intervalos de tiempo, junto con la tasa unitaria, mide el aumento neto en el peso seco de la planta por área foliar unitaria. La eficiencia fotosintética de las plantas se expresa en términos de TAN, es la cantidad de materia seca producida por unidad de hoja y por unidad de tiempo.

5.2.1 Tasa de asimilación neta en el cultivo de fresa bajo invernadero en diferentes sistemas de producción

El análisis estadístico y comparación de medias (Cuadro 10) muestra valores significativos solo en los dos primeros período de evaluación, aunque numéricamente en los demás períodos había diferencia entre los tratamientos. Durante el primero período de evaluación el tratamiento suelo acolchado es el de mayor TAN (producción de biomasa total por unidad de área foliar), por otra parte el resto de los tratamiento muestras una TAN negativa es decir nula generación de material vegetativo entre un tiempo y otro, posiblemente, porque las plantas en los demás sistemas de producción apenas estaba en proceso de adaptación al sistema. Durante el segundo período se observan diferencias significativas, el tratamiento en sistema en aeroponía presenta la mayor generación de biomasa las plantas de fresa en el tratamiento en aeroponía tuvo una TAN mas alta, seguida por las plantas del sistema en suelo y las de NFT respectivamente, la TAN en las plantas del tratamiento en sustrato aún fueron negativas, lo que muestra que las plantas todavía no estaban bien establecidas y por lo tanto sin producción de nueva biomasa. En el tercer período de

evaluación no se observan tampoco diferencias significativas entre los tratamientos, La TAN fue más alta nuevamente en el tratamiento en suelo acolchado, seguida por sustrato y NFT respectivamente, la menor TAN fue en aeroponía en este tercer muestreo se observa que en todos los tratamientos la TAN fue positiva, por lo que se deduce que en este período ya las plantas estaban bien establecidas en los diferentes sistemas evaluados. En el cuarto y quinto período de evaluación bajó la TAN en las plantas del suelo acolchado, infiriéndose un envejecimiento natural de las plantas, mientras que en las plantas del sustrato la TAN bajó en el cuarto período y volvió a subir en el quinto período, esto muestra una inconsistencia de crecimiento en sustrato, que puede ser debido a altas y bajas en riego y nutrición mientras no se tenga bien dominado el sistema y afecta en forma relativamente rápida a las plantas, cualquier desbalance se marca más en sustrato que en suelo. La TAN en NFT y aeroponía en el cuarto período fue igual que en el tercero y en el quinto período bajo considerablemente, mostrándose el decaimiento natural de la planta

En general la eficiencia de producción de biomasa por la planta fue mejor y más consistente en suelo acolchado, seguido por sustrato pero con mayor inconsistencia y las menos eficientes fueron en NFT y aeroponía, lo cual concuerda con los demás resultados analizados anteriormente, mostrando que mientras no se tenga control total sobre los sistemas de cultivos en sustrato, NFT y aeroponía, estos sistemas no sustituyen en eficiencia al sistema de suelo acolchado, ya que el suelo representa una mayor seguridad y colchón cuando hay problemas con la regular aportación de agua y nutrimentos, que afectan el buen desarrollo de las plantas. La mayor TAN se relacionó al rendimiento ya que en el tratamiento suelo acolchado que tuvo mayores TAN también tuvo mayor rendimiento de fruto (Figura 15).

CUADRO 10. Comparación de medias de tasa de asimilación neta y área foliar específica en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica

TAN(g. cm ² . día ⁻¹)					
Tratamientos	111- 129*	129-142*	142-157*	157-171*	171-188*
T1 sustrato	-0.022 ab	0.475 b	2.066 a	-3.518 a	3.693 a
T2Acolchado	3.594 a	2.533 b	2.017 a	0.625 a	-1.873 a
T3NFT	-1.877 ab	3.345 b	2.38 a	-6.532 a	-0.655 a
T4Aeropónico	-8.59 b	15.375 a	0.299 a	-0.663 a	-6.054 a
Área foliar					
Tratamientos	111- 129*	129-142*	142-157*	157-171*	171-188*
T1 sustrato	284.6375	287.436	325.784	305.9	362.881
T2Acolchado	354.372	433.283	529.218	546.126	562.158
T3NFT	275.821	286.122	317.348	296.305	252.275
T4Aeropónico	263.72	234.961	304.952	462.261	425.42

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes. *Días después del trasplante

5.3 Razón de área foliar (RAF)

La razón de área foliar (RAF) es un índice morfológico que mide el balance entre lo gastado para la respiración de los distintos componentes de la planta y lo producido potencialmente para la fotosíntesis (Guevara, 2009). En cualquier instante de tiempo es la razón del material asimilado por unidad de material vegetal presente. También puede definirse como la relación que existe entre el área foliar y el peso seco total de la planta (Hunt, 1990).

5.3.1 Razón de área foliar en el cultivo de fresa en diferentes sistemas de producción

El análisis estadístico y comparación de medias para RAF (Cuadro 11), muestra valores significativos entre los tratamientos en los primeros tres muestreos y en la media general. Las plantas en el tratamiento suelo acolchado mostró la mayor relación de área foliar, es decir mayor área foliar en relación al peso seco de biomasa total, esto se debió a los beneficios que proporciona el suelo y el acolchado como mejor soporte de las plantas, una mayor estabilidad en la disponibilidad de agua y nutrientes, así como uniformidad en la temperatura radicular, etc. Además de que fue el tratamiento que menor daño presento a la plaga de araña roja ya que las plantas estaban más vigorosas y estaban mejor cubiertas por el área foliar, mostrando además mejor uniformidad de las plantas por lo que durante los

muestreos presento un mejor comportamiento. Cabe mencionar que este comportamiento se presentó durante todos los muestreos siendo este tratamiento el que mayor constancia tuvo durante todo el experimento. En general los valores más bajos de RAF se tuvieron en los tratamientos NFT y aeroponía. La RAF se mantuvo constante durante todo el tiempo en los tratamientos en sustrato y suelo acolchado, pero en los tratamientos en NFT y aeroponía fue más bajo al inicio y aumentó después de la mitad del período de evaluación, lo que muestra nuevamente la mayor dificultad en el establecimiento de las plantas en estos sistemas de producción, principalmente por su demanda tecnológica y de estabilidad.

CUADRO 11. Comparación de medias de la relación de área foliar en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica.

RAF (cm ² · g)						
Tratamientos	111- 129*	129-142*	142-157*	157-171*	171-188*	Medias
T1 sustrato	41.6 ab	41.9 b	42.7 ab	39.8 a	44.8 a	42.2 b
T2Acolchado	44.9 a	45.7 a	47.4 a	44.3 a	49.0 a	46.2 a
T3NFT	38.9 ab	39.2abc	36.4bc	38.8 a	42.3 a	39.2bc
T4Aeropónico	35.9 b	32.9 c	32.9c	43.8 a	47.4 a	37.9c

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes. *Días después del trasplante

5.4 Razón de peso foliar (RPF)

La razón de peso foliar (RPF) es un índice del peso seco del follaje de la planta sobre una basa de peso seco total de la planta. Es una medida de la inversión productiva de la planta en el follaje, porque esto se ocupa del gasto relativo en fotosintetizar potencialmente los órganos. (Hunt, 1990).

5.4.1 Razón de peso foliar en el cultivo de fresa en diferentes sistemas de producción

En la razón de peso foliar (RPF) se muestran diferencias significativas entre los tratamientos en los muestreos 1, 2, 3, 5 y en la media general (Cuadro 12). Las plantas en el tratamiento suelo acolchado presentaron mayor peso foliar que en el resto de los tratamientos, por lo que fue el tratamiento que mejor se comportó durante el experimento, ya que generó mayor fotosíntesis para el desarrollo del resto de sus órganos, como se puede apreciar en los índices de crecimiento anteriores, se ve claramente la importancia que tiene

el aparato fotosintético en el desarrollo y productividad de las plantas, de ahí la importancia de generar un buen follaje que se traduzca en fotosintatos y en frutos principalmente. En el resto de los tratamientos la RPF fue muy similar, todos oscilaron entre el mismo valor. A lo largo del experimento se muestra que el tratamiento en suelo acolchado fue más constante y el que mayor producción de materia seca tuvo en relación a su área foliar. De igual forma se puede deducir que los tratamientos que menor materia seca produjeron fueron los tratamientos NFT y aeroponía, esto se pudo haber debido a los periodos de tiempo en que el sistema se mantenía sin nebulizar y/o sin recircula la solución nutritiva lo que le ocasionaba un estrés a la planta y le impedía un desarrollo óptimo de la parte aérea de la planta. Con relación al tratamiento en sustrato, fue el segundo mejor de los tratamientos, debido a que estaba en óptimas condiciones de humedad, factor que fue favorecido a las propiedades físicas del peat moss (espacio porosos, retención de humedad, etc...), además de que su comportamiento como segundo lugar después del tratamiento T2 estuvo directamente relacionado con la plaga que estuvo presente durante su desarrollo lo que impidió un crecimiento uniforme de las plantas ocasionando una gran variedad de tamaños de planta y por ende una desuniformidad al momento de hacer el muestreo y una posiblemente una pobre fotosíntesis para el crecimiento foliar debido al daño causado por araña roja más en este tratamiento.

CUADRO 12. Comparación de medias de la razón de peso foliar en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica

RPF (g · g)						
Tratamientos	111- 129*	129-142*	142-157*	157-171*	171-188*	Medias
T1 sustrato	0.314 b	0.299 b	0.308 b	0.320 a	0.341 b	0.317 b
T2Acolchado	0.421 a	0.382 a	0.373 a	0.374 a	0.423 a	0.394 a
T3NFT	0.309 b	0.293 b	0.280 b	0.328 a	0.355 b	0.313 b
T4Aeropónico	0.302 b	0.273 b	0.273 b	0.369 a	0.388 ab	0.317 b

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes. *Días después del trasplante

5.5 Área foliar específica (AFE)

El área foliar específica (AFE) es una de las principales variables que afectan el crecimiento de las plantas, por favorecer cambios en la razón del área foliar y en la eficiencia fotosintética en el uso de Nitrógeno (Bultynck, 1999). En este sentido, el

contenido de Nitrógeno en las plantas, disminuye durante el crecimiento; presentando una alta correlación con la acumulación de materia seca, más que otros parámetros, y para cualquier estadio de crecimiento o edad de rebrote.

5.5.1 Área foliar específica en el cultivo de fresa en diferentes sistemas de producción.

Con respecto al Área Foliar Específica (AFE) en el Cuadro (13) se pueden observar las medias de los tratamientos, mostrando que existe diferencia significativa entre ellos en los períodos 1, 2, 3 y 5 de evaluación. La menor AFE se presentó en las plantas del tratamiento en suelo acolchado, esto quiere decir que las hojas de las plantas en este tratamientos fueron más pequeñas pero más gruesas, siendo esto un indicativo de que las plantas estaban en condiciones de más estrés posiblemente hídrico principalmente, la mayor AFE en las hojas se tuvo en las plantas del tratamiento en sustrato, lo que concuerda principalmente con la mayor disponibilidad de agua para la planta, por lo tanto menor estrés hídrico. Generalmente se observan mayores AFE en las plantas sometidas a menor cantidad de radiación fotosintética, pero en este caso todas estaban en el mismo invernadero por lo cual recibían la misma cantidad de PAR. Las plantas del tratamiento en suelo acolchado tenían mayor RPF que las de sustrato, y esto es porque sus hojas eran más gruesas no porque tuvieran mayor área foliar lo que se comprueba con la AFE. Los rendimientos de frutos posiblemente fueron similares en las plantas del tratamiento en suelo acolchado y en sustrato (Figura 15) porque uno tenía mayor peso foliar y otro tenía mayor área foliar y ya se ha comprobado en muchos trabajos la importancia que tiene el aparato fotosintético en la producción de frutos y de biomasa (Contreras, 2011, Quezada et al., 2011).

CUADRO 13. Comparación de medias del área foliar específica en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica

AFE (cm ² . g)					
Tratamientos	111- 129*	129-142*	142-157*	157-171*	171-188*
T1 sustrato	132.1 a	139.8 a	138.0 a	124.2 a	131.0 a
T2Acolchado	106.8 c	120.1 c	126.7 b	118.4 a	116.4 b
T3NFT	126.5 ab	134.0b	130.6 ab	118.5 a	119.1b
T4Aeropónico	119.0 b	120.5c	121.6 b	118.9 a	123.3b

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes. *Días después del trasplante

5.6 Coeficiente de Partición de Biomasa

El coeficiente de partición de biomasa (CPB) nos indica el porcentaje de peso que tiene cada componente en relación con el peso total de la planta y es de suma importancia para conocer cómo se distribuyen los fotosintatos en la planta.

5.6.1 Coeficiente de partición de biomasa en el cultivo de fresa en diferentes sistemas de producción

En el Cuadro 14 se presentan las medias de coeficiente de partición de biomasa (CPB) en las plantas establecidas en los diferentes sistemas, donde se muestra valores significativos entre los tratamientos en los periodos y para algunos de los componentes, se observa que la distribución de fotosintatos es diferente en función del sistema de producción. A lo largo de todos los muestreos en general en el tratamiento en suelo acolchado (T2) se enviaban más fotosintatos hacia hojas, frutos y corona y poco hacia raíz, en las plantas en sustrato se distribuía hacia raíz, hojas y frutos, mientras que en las plantas de NFT y Aeroponía se enviaba mucho hacia raíz y menos hacia hojas y frutos y muy poco hacia corona. En las plantas del suelo acolchado pudiera ser que no se pudo recuperar toda la raíz por estar en suelo y es difícil explorar mucho suelo sobre todo porque se pueden dañar las plantas adyacentes por eso se observa menos proporción de raíz. Lo que si es que se vio una distribución más equilibrada de los fotosintatos y buena proporción hacia las hojas.

Por otra parte, se ve claramente que en los tratamientos NFT y aeroponía muchos fotoasimilados eran enviados hacia raíz, en detrimento de envío hacia hojas y esto no es muy bueno, ya que se requiere buen aparato fotosintético para tener mayor producción. En sustrato la distribución es equilibrada, aunque con mayor tendencia hacia envío a raíz.

CUADRO 14. Comparación de medias de partición de biomasa en el cultivo de fresa bajo invernaderos en diferentes sistemas de producción hidropónica

111- 129 *						
Tratamientos	CPB corona	CPB raíz	CPB fruto	CPB peciolas	CPB flores	CPB hojas
T1 sustrato	0.084 ab	0.244 b	0.242 a	0.097 a	0.006 b	0.327 b
T2 Acolchado	0.11 a	0.177 b	0.162 ab	0.103 a	0.020 a	0.429 a
T3NFT	0.072b	0.362 a	0.131 b	0.110 a	0.018 ab	0.308 b
T4Aeropónico	0.071b	0.423 a	0.080 b	0.092 a	0.012 ab	0.323 b
129-142 *						
T1 sustrato	0.083 ab	0.327 ab	0.180 ab	0.100 a	0.008 a	0.302 b
T2 Acolchado	0.096 a	0.115 c	0.246 a	0.116 a	0.013 a	0.413 a
T3NFT	0.071 ab	0.357 b	0.147 b	0.100 a	0.014 a	0.310 c
T4Aeropónico	0.062 b	0.405 a	0.137 b	0.098 a	0.017 a	0.280 c
142-157 *						
T1 sustrato	0.079 a	0.413 b	0.106 b	0.100 ab	0.006b	0.295 ab
T2 Acolchado	0.073 a	0.209 c	0.232 a	0.109 a	0.027 a	0.351 a
T3NFT	0.063 a	0.347 b	0.199 a	0.098 ab	0.017 ab	0.277 ab
T4Aeropónico	0.056 a	0.542 a	0.051 b	0.078 b	0.007 b	0.266 b
157-171 *						
T1 sustrato	0.073 b	0.352 a	0.122 a	0.123 ab	0.008 b	0.322 ab
T2 Acolchado	0.125 a	0.129 b	0.185 a	0.141 a	0.026 a	0.395 a
T3NFT	0.065 b	0.414 a	0.117 a	0.112 ab	0.010 b	0.283 b
T4Aeropónico	0.066 b	0.386 a	0.144 a	0.097 b	0.028 a	0.279 b
171-188 *						
T1 sustrato	0.048 c	0.460 a	0.046 ab	0.110 b	0.019 ab	0.318 b
T2 Acolchado	0.075 abc	0.255 b	0.133 a	0.158 a	0.026 ab	0.353 b
T3NFT	0.088 ab	0.321 b	0.061 ab	0.125 b	0.031 a	0.374 b
T4Aeropónico	0.101 a	0.315 b	0.023 b	0.103 b	0.000 c	0.458 a

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes. *Días después del trasplante

En un estudio realizado por Vázquez en el 2005, sobre CPB, encontró resultados estadísticamente significativos, estos cambios provocaron variaciones en el rendimiento, encontrando que las plantas con mayor fruto fueron las plantas con un acolchado plástico blanco y plateado, encontrando que las plantas con menos fruto fueron las que estaban con él acolchado negro, esto debido a que las plantas con acolchado blanco plateado, tienen propiedades reflejantes de luz.

5.7 Variables evaluadas en fruto

5.7.1 Numero de fruto

De acuerdo a los resultados del análisis estadístico y comparación de medias (Figura 12) se muestra que el tratamiento suelo acolchado (T2) fue el tratamiento con mayor productividad, teniendo un descenso en su producción de acuerdo al tiempo y debido a factores como la plaga de araña roja que estuvo durante el estadio del desarrollo o por excesos de temperatura o debido a que estaba fuera de estación, además como se observa en la figura el tratamiento con menor productividad fue el tratamiento T4 seguido por el tratamiento T 3 probablemente ocasionado por el estrés causado por los intervalos que tenía entre cada riego.

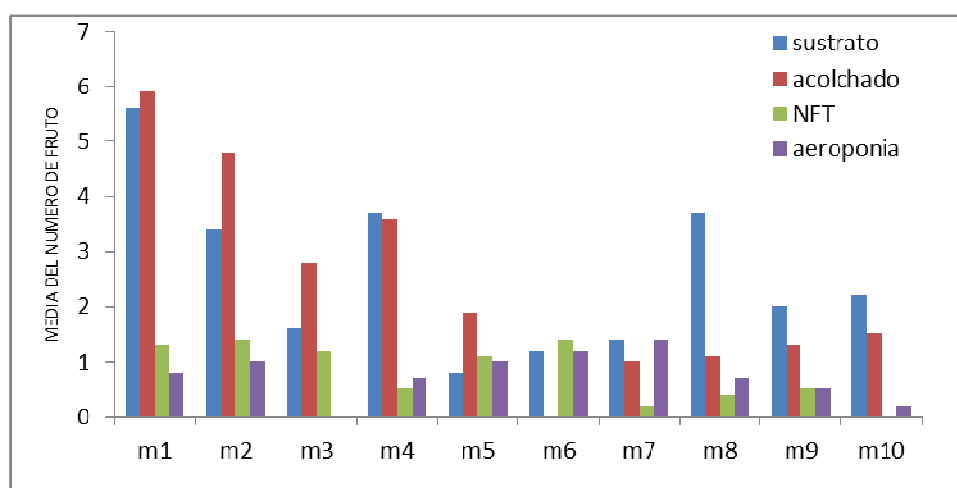


Figura 12. Comparación de medias del número de frutos entre los tratamientos por cada muestreo realizado

Con lo que respecta con el número total de frutos entre cada tratamiento (Figura 13) de igual forma se observa la gran diferencia entre tratamiento resaltando el T2 de lo cual podemos decir que el acolchado plástico fue una mejor técnica utilizada para la producción del cultivo de fresa bajo invernadero, seguido por el cultivo en sustrato, el cual puede ser bueno después de haberse establecido bien ya que fue en incremento.

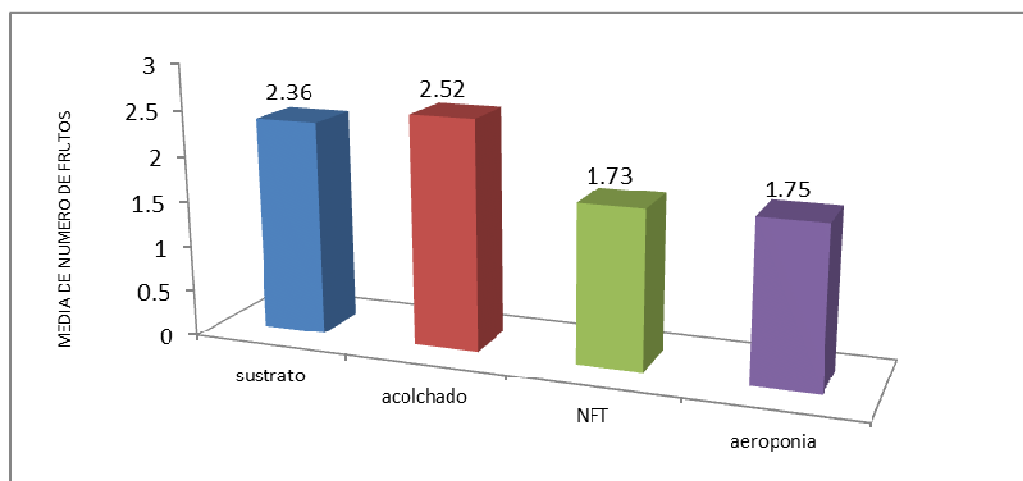


Figura 13. Numero de frutos por planta en el cultivo de fresa bajo invernadero

5.7.4 Peso de fruto

De acuerdo al análisis estadístico y comparación de medias (Figura 14) se puede observar que el tratamiento T2 al principio sus frutos eran de mayor tamaño y por consiguiente de mayor peso, además de que producía mayor número de frutos y a lo largo del ciclo del cultivo sufre un deterioro en los frutos ya que baja su producción, de la misma manera el tratamiento T3 alcanza su máxima producción en el muestreo 6 obteniendo mayor peso en fruto que el resto de los tratamiento.

Según Wang y Camp (2000) menciona que temperaturas elevadas durante épocas de cosecha reduce el tamaño y producción de frutos a lo cual se puede atribuir el comportamiento de altibajos en la producción de fruto.

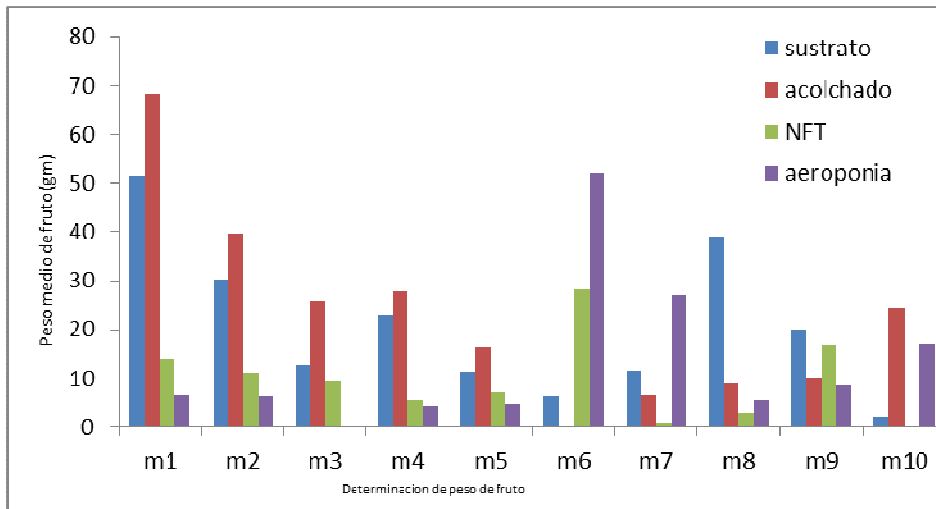


Figura 14. Peso medio de peso de fruto por planta en el cultivo de fresa bajo invernadero

Además al comparar el peso promedio entre tratamiento (Figura 15) se puede observar que el tratamiento T1 y T2 son iguales por lo que se deduce que ambos tratamientos produjeron frutos de mayor tamaño, o que produjo mayor número de frutos.

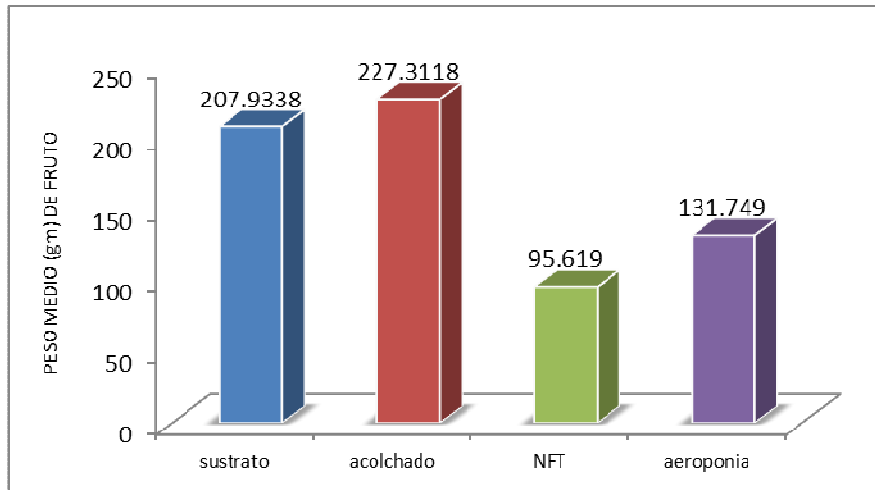


Figura 15. Medias del peso total de futo en el cultivo de fresa bajo invernadero.

5.7.5 Grados Brix

Con relación a los grados brix no se observan valores significativos entra cada uno de los tratamientos. Pero numéricamente los frutos del tratamiento en suelo acolchado tuvieron

ligeramente menos contenido de azúcar que en los demás tratamientos (Figura 16). Se puede suponer que las plantas en el suelo acolchado tenían menor absorción de sales que en las plantas hidropónicas y esto se reflejó en un menor contenido de azúcar en el fruto.

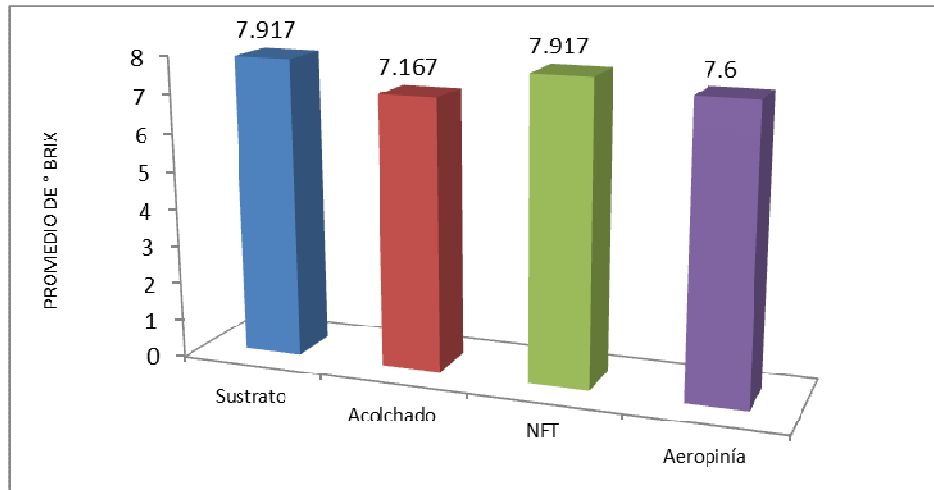


Figura 16. Promedio de la cantidad de °Brix en fruto en el cultivo de fresa bajo invernadero

5.8 Eficiencia en el uso del agua

5.8.1 Volumen de agua consumida por cada tratamiento

En la Figura 17 se muestra el gasto del agua utilizada a lo largo del experimento, como se muestra en ella se observa que el tratamiento T2 fue el que tuvo un mayor gasto de agua esto debido a que al principio del tratamiento se tuvo que lavar el suelo por exceso de sales, además es que mayor cantidad de agua necesita para humedecer el perfil del suelo.

El segundo lugar se encuentra el tratamiento T4 debido a que al principio se tuvieron problemas con su instalación en la recirculación y además, debido a la nebulización de la solución y al exceso de temperaturas propiciaba una pérdida de solución por evaporación originando un mayor consumo de agua.

Por otra parte se observa que el tratamiento T1 y T3 son lo que menor cantidad de agua utilizó en su sistema. En el tratamiento T1 se puede deducir que este ahorro de agua es debido al sustrato peat moss que se utilizó, ya que una de sus principales cualidades es su

retención de humedad; y del tratamiento T3 podemos decir que debido a que es un sistema cerrado y que el movimiento de agua es poco lo hace un sistema muy eficiente en el ahorro del agua por lo cual fue el sistema que menor cantidad de agua consumió.

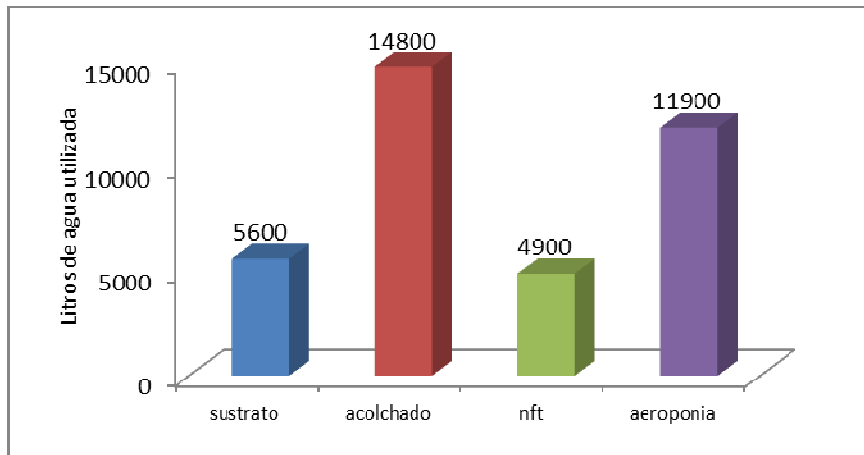


Figura 17. Volumen de agua utilizada en los diferentes tratamientos

5.8.2 Eficiencia en el uso del agua

Es la eficiencia que se obtiene de la cantidad de agua utilizada por el rendimiento total del cultivo. En la Figura 18 podemos observar que los tratamientos estadísticamente son iguales pero se observa una notable eficiencia en el tratamiento T1 en sustrato con 3.71 kg m^{-3} lo cual indica un mejor aprovechamiento de la solución nutritiva suministrada. El resto de los tratamientos, en general, son iguales por lo que tuvieron la misma eficiencia en el uso del agua.

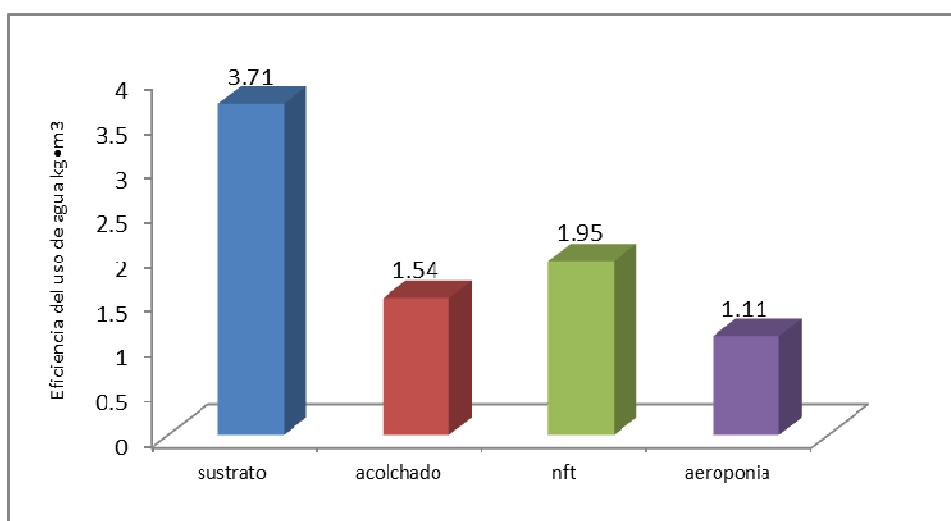


Figura 18. Eficiencia en el uso de agua

VI. CONCLUSIONES

1. El cultivo de fresa obtuvo un mayor desempeño en el tratamiento de acolchado plástico, seguido del tratamiento en sustrato, como lo indican los diferentes análisis de crecimientos que se llevaron a cabo. Cabe mencionar que para el tratamiento de aeroponía se tuvieron dificultades para su instalación lo que repercutió en el desarrollo de mismo, aun así se logró evaluar el sistema siendo este el de menor rendimiento obtenido.
2. De igual forma se rechaza la hipótesis ya que el tratamiento en acolchado plástico fue el sistema al que mejor se adaptó el cultivo de fresa, seguido por el sistema en sustrato, logrando obtener mejores rendimientos.
3. El sistema en sustrato fue el tratamiento con mayor eficiencia en el uso de agua y por ende, el sistema que menor cantidad de agua utilizó, maximizando el consumo de fertilizantes.
4. El sistema en acolchado plástico fue el que mayor cantidad de agua utilizó, esto debido a los problemas de salinidad que se presentan en la región.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad, B. M; Noguera, M. P. y Carrión, B.C. 2005. Sustrato para el cultivo sin suelo y Fertirrigación. En Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Coordinador: Carlos Cadahia L. pp. 299-354. Ediciones Mundi- Prensa. España.
- Abad, M.; Noguera, P. Fertirrigación. 2002. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ediciones Mundi- Prensa. España.
- Adams, P. (1991). Hydroponic systems for winter vegetables. Acta Hort. 287: 181-188.
- Alarcón, A. 2000. Cultivos de alto rendimiento. Almería: España. 256p. Rodríguez, A; Milagros Chang la Rosa Y Marilú Hoyos Rojas. 2013. En:http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin1_5/boletin2.htm#publi
- Albregts, E.E; Howard, C.M; Chandler, C. K. 1991. Strawberries responses to K rate on a fine sand soil. Hortscience 26: 135-138.
- Ascencio, J. y J.F. Fargas. (1973). Análisis del crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Turrialba-4 cultivado en solución nutritiva. Turrialba 23 (4): 420-428.

- ASERCA. "FRESA, LA PRODUCCIÓN EN MÉXICO Y LA GENERACIÓN DE DIVISAS. Claridades Agropecuarias. No. 55. Marzo de 1998.p.3
- Baixxauli, S. C; Aguilar, O. J. 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. Edición Generalitat Valenciana. Valencia. España.
- Bianchi, P. G. 1999. Guía completa del cultivo de fresa. Segunda edición. Editorial De Vecchi. España. 94 p.
- Bianchi, P. G. (1986). Guía completa de cultivo de fresa. Primera edición. Editorial De Vecchi. España. 57 p.
- Bielinski M. S; Obregón-Olivas H. A; Salamé-Donoso T. 2010. Producción de hortalizas en ambientes protegidos: estructuras para la agricultura protegida. Departamento de Horticultural Science, Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida, Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas. Universidad de la Florida. Florida. EEUU.
- Burés S, (1997); Características de los sustratos. Sustratos. En: Sustratos pp. 49-154.EdicionesAgrotécnicas S.L. Madrid.
- California Strawberry Commission. (2011). Varieties and Season Information. <http://www.calstrawberry.com/commission/varieties.asp>, consulta el 17 de Noviembre del 2013.
- Casanova, A. 2004 Invernaderos: La experiencia cubana. Revista anual del Proyecto XIX.2 del Sub Programa de Agroplasticultura del CYTED, Año III, No.1.
- Castañeda R. 2004. Ingeniería de invernaderos. Programa de postgrado en ingeniería de invernaderos en México. Centro Universitario "Cerro de las Campanas" s/n Santiago de Querétaro. En: <http://ingenieria\especialidad\admission.html>

- Castellanos, J. Z. (Editor). (2004). Manual de producción hortícola. 2ª edición. Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura. México.
- Castilla, P, N. 2007. Invernaderos de plástico: tecnología y manejo. Editorial. Mundi-Prensa. Segunda edición. Madrid, España. Pag. 296.
- CIAB.2008. “FRESA. FREGARIASPP. L”. Diagrama 32. p.1 Ingeniería Agrícola <http://www.ingenieriaagricola.cl>
- Chailloux M. 2003. Nutrición, fertilización y fertirriego de los cultivos hortícolas en condiciones tropicales. II Curso Internacional de Cultivo Protegido en condiciones tropicales. Liliana. La Habana.
- Contreras, A. C. (2011). Evaluación en invernadero de películas nano estructuradas y su efecto sobre las condiciones micro ambientales, desarrollo y producción de pepino (*cucumis sativus* L). Tesis Maestría. Centro de Investigación en Química Aplicada.
- Curso de Horticultura Protegida. (1998) Universidad de OSAKA, Japón, JICA
- Dirección General de Desarrollo Económico de Irapuato. 2003. Panorama de la fresa en el entorno mundial, nacional y local. 47 p.
- Durner, E. F; Barden, J. A; Himelrick, D. G. and Poling, E. B. (1984). Photoperiod and temperatura effects on flower and runner development in day-neutral, junebearing, and everbearing strawberries. J. Amer. Soc. hort. Sci. 109: 396-400.
- FAO. 2002. El cultivo protegido en clima Mediterráneo. Estudio FAO producción y protección vegetal.
- Fernández, R. J. F. y F. Camacho. 2006. Eficiencia en el uso de agua. Revista Extra. España.

Ficha técnica para el cultivo de la fresa. 2010
http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/Ficha%20T%C3%A9cnica%20para%20el%20Cultivo%20de%20la%20Fresa_0.pdf(Consultada el 6/06/13)

Folquer, F. 1986. La frutilla o fresa de la planta y su producción comercial. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires. Argentina.

Geraud, F., D. Chirinos, M. Marín y D. Chirinos. (1995). Desarrollo de la planta de tomate, *Lycopersicon esculentum* Miller, cv. Río Grande en la zona del río Limón del estado Zulia, Venezuela. II. Índice de crecimiento relativo, razón de peso foliar y gamma. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 12: 15–23

Gilsanz, C. J; 2007. Hidroponía. Edición: Unidad de Comunicación y Transparencia de Tecnología. Montevideo. Uruguay.

Grossi, G, H. 2005. Distribución espacial de la radiación fotosintéticamente activa en argentina. GER Solar. Departamento de Ciencias Básicas. Universidad Nacional de Luján. Luján, Argentina.

Guevara, E; Guenni, O. (2009). Potencial de crecimiento en cuatro líneas de leucaena leucocephala (LAM) durante el establecimiento. Gominas, Vol. 37: 216-220.

Hancock, J. F. 1999. Strawberries. CABI Publishings. Michigan. USDA.

Hernández, J., Escobar, I., Castilla, N. 2001. La radiación solar en invernaderos mediterráneos. Edición: Caja Rural de Granada, Gabinete Técnico, c/Circulación, 2.18006. Granada, España.

- Huertas, L. 2008. Prevenir enfermedades y plagas. El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. Revista Industria Hortícola. Tecnología de producción. Tomo 205.
- Hunt, R. (2003). Growth analysis, individual plants. 579-588. En: Thomas, B., D.J. Murphy and B.G. Murray (Eds). Encyclopaedia of applied plant sciences. Academic Press, London. 1618 p.
- Hunt, R., D.R. Causton, B. Shipley and A.P. Askew. (2002). A modern tool for classical plant growth analysis. Ann. Bot. 90: 485-488
- Hunt, R. (1990). Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners. Unwin Hyman, Boston. 112 p.
- Jenner, G. 1980. Hydroponics -reality or fantasy? Scientia Hort. 31: 19-26.
- Jovicich, E; Cantliff, J; Stoffella, J. and Haman, Z. 2007. Bell pepper fruit yield and quality as influenced by solar radiation based irrigation and container media in a passively ventilated greenhouse. Hort Science 42(3):642-652
- Larson, D. K. 2000. Comportamiento y manejo de la fresa: desarrollo de programas para máxima calidad y rendimiento en México. In: Memoria del Simposio Internacional de fresa. J. Z. Castellanos y F. Guerra O Hart. (Editors). Zamora, Michoacán, México.
- Leopold, C. (1974). Plant growth analysis and development. McGraw-Hill Book Company, New York. 466 p
- López, F. 2001. Las ventajas de la utilización del plástico en los invernaderos. Dossier Expo –Agro. Almería. España.

- López Gálvez José Y Salinas José Antonio. 2004. Efectos ambientales del sistema de cultivo forzado. En: ENCUENTRO MEDIOAMBIENTAL ALMERIENSE: EN BUSCA DE SOLUCIONES.
- Lorenzo, P.1998. Los determinantes microclimáticos de la horticultura intensiva en el sur mediterráneo. En: Tecnología de invernaderos II. España: FIAPA.-p25-49.
- Luiz, J. 1999. Fisiología de los cultivos protegidos. Brasil: Editora ufsm. 142p.
- Maas, J. L. 1998. Compendium of strawberries diseases.2ªed. American Phytopathological Society. St. Paul, MN, USDA.
- Marlow, D. 2011. Aporte de CO₂ en un invernadero. Artículo de Hortalizas. Pag. Web. <http://www.hortalizas.com/articulo/26133/aporte-de-co2-en-un-invernadero>
Consultada 6/10/13
- Maroto, J. V. 1989. Cultivo de fresas y fresones. Agro guías Mundi-Prensa. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España.
- Maroto, J. V; Pascual, B; Alargada, J. y López, G. 1986. Mejora de la precocidad del cultivo de fresón (*Fragaria x ananassa* Duch. Cv Pájaro) mediante aplicaciones invernales de ácido giberelico. ITEA 63: 36-38.
- Maroto, J. V; Pascual, B; Alargada, J. y López, G. 1983. Influencia de dos tipos de cobertura plástica en cultivo semiforzado de fresón (*Fragaria x ananassa* Duch). Comunicaciones al I Congreso Nacional de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. 177-185 p.
- Martínez, T. J; León, G. H. 2004. Producción de fresa en invernadero. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura, Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, Coah. México.

- Matamala García J. J. 1997. LA ALMERÍA HERIDA I: BAJO EL MAR DE PLÁSTICOS. Foco Sur (16): 42-45.
- Menéndez-Valderrey, J. L. “agronomía ecuatorial L.”. Asturnatura.com (En Línea). Núm. 154. Pag. Web [Http://www.asturnatura.com/especie/fragaria-vesca.html](http://www.asturnatura.com/especie/fragaria-vesca.html). ISSN 1887-5068.(Consultado el 20/10/13).
- Murcia, R. 2000. Manejo de la nutrición en suelo. En: Cultivos de alto rendimiento. Almería: España. 289p.
- Oviedo F. 2004. Los invernaderos y el medio ambiente. En: ENCUENTRO MEDIOAMBIENTAL ALMERIENSE: EN BUSCA DE SOLUCIONES. <http://casahuerta.com.ar/pdf/5.pdf>
- Pérez, J. V; García, M. E; Enríquez, Q. F; Quero, C.A; Hernández, G. A. (2004). Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto “mulato” (Brachiaria híbrido, cv). Tec. Pec.:447-458.
- Quezada, M. R.; Cedeño, R. B.; Rodríguez, C. I.; Munguía, L. J.; Flores, V. J.; Arellano, G. M.; Martínez, A. y Castillo, J. D. (2011). Evaluación de cubiertas plásticas con características especiales para uso en invernadero. *Revista Plasticulture* No. 130: 34-55.
- Rodríguez, W. y Leihmer, D. (2006). Análisis de crecimiento vegetal. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Vol. 7. Editorial de la UCR. Costa Rica: 13-17.
- Rodríguez, A. (2005). INFOCIR. Boletín quincenal de inteligencia agroindustrial. Num.2. Vol.1. Universidad Nacional Agraria, La Molina, Perú. Pág. Web. <http://www.focir.gob.mx/documentos/boletin/infocirjul1.pdf> (Consultada 20/06/13).

- Salisbury F.B., Ross C.W. (2000). "Fisiología de las Plantas". Tomo 3. Desarrollo de las Plantas y Fisiología Ambiental. Ed. Thomson-Paraninfo,
- Taiz, L. and E. Zeiger.(2000). Physiologie der pflanzen. pp. 445-485. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. 773 p
- Tesi, R. (1980). Cotureprotette. Edagricole.Bologna.
- Urresterazu, G. V. 2006. Manual de cultivo sin suelo. Editorial Mundi-Prensa. España pp. 301-357.
- Urbano, P. (1999).- Tratado de Fitotecnia General. Mundi-Prensa. Madrid. España.
- Urbano; Villalobos. 2002. Efecto de la radiación sobre las plantas. Pag. Web. <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-3/EFECTO-DE-LA-RADIACION-SOBRE-LAS-PLANTAS.pdf>
Consultada 26/08/13.
- Villalobos, F. Et Al. (2002).- Fitotecnia. Bases y Tecnologías de la Producción Agrícola. Mundi-Prensa. Madrid. España.
- Villar, R; T. Marañón; J. L. Quero; P. Panadero; F. Arenas ; M Lambers. (2004). Variation in growth rate of 20 *Aegilops species* (Poaceae) in the field: The importance of net assimilation rate or specific leaf area depends on the time scale. Plant and soil 000: 1-17.
- Wang, S. Y. and H. S. Lin. 2000. Temperaturas after Bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. J. Hortic. Sci: 85: 183 – 199.

Werner, R. y D. Leihner. (2005). Análisis del crecimiento vegetal. pp. 4-20. Villalobos R.E. (ed.). Volumen siete. Editorial Universidad de Costa Rica, Turrialba. 41 p