



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO ENHIDROCIENCIAS**

**EVALUACIÓN DE TRES SISTEMAS  
DE PRODUCCIÓN DE FRESA  
(*Fragaria vesca L.*).**

**BEATRIZ ADRIANA PÉREZ BUENDIA**

**T E S I S**  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE :

**MAESTRA EN CIENCIAS**

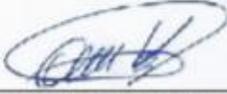
**MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO**

2020

La presente tesis titulada: "**Evaluación de tres Sistemas de producción de fresa (*Fragaria Vesca L.*)**", realizada por la alumna Beatriz Adriana Pérez Buendía, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

## MAESTRA EN CIENCIAS EN HIDROCIENCIAS

### CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)	 _____
	Dr. Juan Enrique Rubiños Panta
ASESOR (A)	 _____
	Dr. Roberto Ascencio Hernández
ASESOR (A)	 _____
	M.C. Enrique Martínez Villegas

Montecillo, Texcoco, Estado de México, junio de 2020

# EVALUACIÓN DE TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FRESA (*FRAGARIA* *VESCA L.*).

**Beatriz Adriana Pérez Buendía, M.C**  
Colegio de Postgraduados, 2020

## RESUMEN

Se realizó un experimento para evaluar tres sistemas de producción de fresa (*Fragaria vesca L.*) utilizando dos variedades Camino Real y CP Zamorana, con tres sistemas de riego, Aeroponía vertical, película nutritiva (NFT) y riego por goteo en sustrato tezontle, establecidos en invernadero. Se aplicó solución nutritiva Steiner al 50%, en un diseño experimental factorial 2 x3 (dos variedades y tres sistemas de riego), con un arreglo de bloque al azar, esto con el objetivo de evaluar en qué sistema se desarrollan mejor las plantas, se produce más y se tiene frutos de mayor calidad. Se evaluó número de hojas, número de flores y frutos, diámetro de corona (tallo) y peso de producción. En el fruto se evaluó, diámetro ecuatorial, grados Brix y daños físicos y mecánicos. Las evaluaciones se hicieron cada ocho días a partir de los 91 hasta los 169 días después de la siembra (DDS). Se realizaron 16 cortes de fruto en el sistema de riego por goteo, 8 cortes para NFT y solo 3 cortes para aeroponía vertical. En el sistema de riego por goteo se obtuvieron plantas con mayor número de hojas, mayor número de frutos y mayor diámetro de corona en comparación con los otros sistemas NFT y aeroponía. Se tuvo los mejores resultados en cuanto a producción y calidad de frutos en el sistema de riego por goteo, obteniendo frutos hasta de 30 gr con grados Brix entre 8 y 9, en comparación con el sistema NFT donde se obtuvieron frutos de 11 gr y 10 grados Brix en promedio y el sistema de aeroponía con frutos de 5 gr y con 12 grados Brix en promedio.

**Palabras clave:** aeroponía, película nutritiva, tezontle, rendimiento, hidroponía, riego por goteo.

# EVALUATION OF THREE STRAWBERRY PRODUCTION SYSTEMS

(*FRAGARIA VESCA L.*).

**Beatriz Adriana Pérez Buendía, M.C**

Colegio de Postgraduados, 2020

## ABSTRACT

An experiment was carried out to evaluate three strawberry production systems (*Fragaria vesca* L.) using two varieties Camino Real and CP Zamorana, with three irrigation systems, vertical aeroponics, nutrient film (NFT) and drip irrigation in tezontle substrate, established under glass. A 50% Steiner nutrient solution was applied, in a 2 x3 factorial experimental design (two varieties and three irrigation systems), with a random block arrangement, this with the objective of evaluating in which system the plants will be better analyzed. produce more and have high quality fruits. were evaluated number of leaves, number of flowers and fruits, crown (stem) diameter and production weight. In the fruit, equatorial diameter, Brix degrees and physical and mechanical damage were evaluated. Assessments were made every eight days from 91 to 169 days after planting (DDS). 16 fruit cuts were made in the drip irrigation system, 8 cuts for NFT and only 3 cuts for vertical aeroponics. In the drip irrigation system, plants with a greater number of leaves, a greater number of fruits and a greater crown diameter were obtained compared to the other NFT and aeroponia systems. The best results were obtained in terms of production and quality of fruits in the drip irrigation system, obtaining fruits up to 30 gr with Brix degrees between 8 and 9, compared to the NFT system where fruits of 11 gr and 10 Brix degrees were obtained on average and the aeroponics system with 5 gr fruits and with 12 degrees Brix on average.

**Key words:** aeroponics, nutritive film, tezontle, yield, hydroponics, drip irrigation.

## DEDICATORIA

*El presente trabajo de grado va dedicado a Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.*

*A mi mamá Catalina Buendia Cedillo y papá Marcelo Pérez Lazcano, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; cada logro se lo debo a ustedes, por siempre apoyarme y motivarme en cada meta y sueño.*

*A mis hermanos Marcelo Emilio y Julio Cesar Pérez Buendía, por estar siempre conmigo y ser un apoyo constante en este trayecto de mi vida.*

## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres y hermanos por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mí, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.*

*A mi consejo particular Dr. Enrique Rubiños, MC. Enrique Martínez y Dr. Roberto Asencio, por su apoyo incondicional para la realización de esta investigación, por sus consejos y aportaciones.*

*A la Dra. María de las Nieves por su apoyo incondicional y sus consejos.*

*También me gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que me brindaron muchas personas y colegas durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo. Mis amigos de maestría Diego, Ernesto, Yolanda, Lourdes y Rubén y a mis amigos de Harmon Hall por hacer más ameno todo el trayecto, además de sus buenos deseos.*

*A los trabajadores del invernadero la Sra. Beatriz, Sr. Rogelio, Sr. Porfirio.*

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTA FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	<b>xii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>2</b>
<b>OBJETIVOS PARTICULARES</b> .....	<b>3</b>
<b>III. HIPÓTESIS</b> .....	<b>3</b>
<b>Hipótesis general.</b> .....	<b>3</b>
<b>Hipótesis particulares</b> .....	<b>3</b>
<b>IV. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA</b> .....	<b>4</b>
<b>4.1 Generalidades del cultivo de la fresa.</b> .....	<b>4</b>
<b>4.1.1 Situación mundial.</b> .....	<b>4</b>
<b>4.1.2 Situación nacional.</b> .....	<b>5</b>
<b>4.1.3 Descripción Botánica y morfológica.</b> .....	<b>6</b>
<b>4.2 Requerimientos edafoclimáticos.</b> .....	<b>8</b>
<b>4.3 Variedades más utilizadas en México.</b> .....	<b>15</b>
<b>4.3.1 Requerimientos hídricos de la fresa</b> .....	<b>17</b>
<b>4.3.2 Uso eficiente de agua</b> .....	<b>18</b>
<b>4.4 Sistemas hidropónicos</b> .....	<b>19</b>
<b>4.4.1 Aeroponía</b> .....	<b>20</b>
<b>4.4.2 System Nutrient Film Technique (NFT)</b> .....	<b>21</b>
<b>4.4.3 Riego por goteo</b> .....	<b>22</b>
<b>4.5 Requerimiento nutricional</b> .....	<b>23</b>
<b>4.6 Cosecha</b> .....	<b>25</b>
<b>4.7 Calidad de fruto (Norma oficial Mexicana)</b> .....	<b>26</b>
<b>4.8 Rentabilidad de los sistemas productivos</b> .....	<b>29</b>
<b>V. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
<b>5.1 Sitio de investigación</b> .....	<b>30</b>

<b>5.2</b>	<b>Medición de variables climatológicas</b> .....	31
<b>5.3</b>	<b>Déficit de presión de vapor</b> .....	32
<b>5.4</b>	<b>Cálculo de Grados-Día (GDD).</b> .....	32
<b>5.5</b>	<b>Material Vegetal</b> .....	33
<b>5.6</b>	<b>Diseño experimental</b> .....	34
<b>5.7</b>	<b>Variables de estudio</b> .....	35
<b>5.8</b>	<b>Densidad de población</b> .....	35
1)	<b>Aeroponía</b> .....	35
2)	<b>NFT</b> .....	36
3)	<b>Riego por goteo en tezontle.</b> .....	37
<b>5.9</b>	<b>Solución nutritiva</b> .....	37
<b>5.10</b>	<b>Caracterización del sustrato.</b> .....	38
<b>5.11</b>	<b>Variables evaluadas</b> .....	40
a)	<b>Diámetro de corona</b> .....	40
b)	<b>Número de hojas</b> .....	41
c)	<b>Número de flores</b> .....	41
d)	<b>Número de frutos</b> .....	41
e)	<b>Rendimiento y calidad de fruto.</b> .....	41
f)	<b>Diámetro del fruto</b> .....	42
g)	<b>Sólidos solubles totales (° Brix)</b> .....	42
<b>5.12</b>	<b>Desarrollo del experimento:</b> .....	43
1)	<b>AEROPONÍA</b> .....	43
2)	<b>System Nutrient Film Technique (NFT)</b> .....	45
3)	<b>RG en Tezontle.</b> .....	47
<b>5.13</b>	<b>Prácticas culturales del cultivo en invernadero</b> .....	48
<b>5.14</b>	<b>Control de plagas y enfermedades</b> .....	49
<b>5.15</b>	<b>Cosecha</b> .....	49
<b>5.16</b>	<b>Control de los riegos</b> .....	50
1)	<b>Aeroponía</b> .....	50
2)	<b>NFT</b> .....	50
3)	<b>Riego por goteo</b> .....	50

5.17	Cálculo de Uso eficiente de agua .....	51
5.18	Rentabilidad en los sistemas de producción.....	51
<b>VI.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
6.1	Variables climatológicas .....	53
6.2	Déficit de presión de vapor (DPV) y su influencia en el desarrollo de la planta. .....	55
6.3	GDD (Grados día de desarrollo).....	57
6.4	Caracterización del sustrato.....	58
6.5	Desarrollo de la planta.....	59
6.6	Producción .....	67
6.7	Calidad de fruto.....	70
6.8	Volumen de agua consumida por cada sistema.....	71
6.9	Uso eficiente de agua .....	73
6.10	Rentabilidad .....	74
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>77</b>
<b>VIII.</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>84</b>

## LISTA FIGURAS

Figura 1.Principales exportadores mundiales de fresa (Datos de COMTRADE e ITC, 2017). .....	4
Figura 2 Sistema Aeropónico.....	21
Figura 3 Tabla de color de los estados de maduración de la fresa a través de los colores. ....	26
Figura 4 Data logger (Termómetro digital). ....	31
Figura 5 Material vegetal utilizado en el experimento. ....	34
Figura 6 Arreglo topológico en sistema Aeropónico.....	36
Figura 7 Arreglo topológico en sistema NFT. ....	36
Figura 8 Arreglo topológico en el sistema de Riego por goteo. ....	37
Figura 9 Estufa de secado. ....	39
Figura 10 Equipo de succión.....	40
Figura 11 Medición de Diámetro de corona. ....	40
Figura 12 Peso de frutos. ....	41
Figura 13 Medición de diámetro ecuatorial y longitudinal.....	42
Figura 14 Medidor de sólidos solubles totales.....	42
Figura 15 Diseño del sistema Aeropónico vertical. ....	44
Figura 16 Nebulizadores.....	44
Figura 17 Distribución de los tubos PVC de 4”.....	45
Figura 18 Conexión del tanque a la estructura.....	46
Figura 19 Estructura piramidal. ....	46

Figura 20 Conexión a cada uno de los tubos e inundador. ....	47
Figura 21 Distribución de líneas y contenedores.....	48
Figura 22 Distribución de tubines en cada contenedor. ....	48
Figura 23 Gráfica de temperaturas registradas dentro del invernadero. ....	54
Figura 24 Humedad relativa registradas dentro del invernadero.....	55
Figura 25 Grafica de Déficit de presión de vapor, dentro del invernadero.....	56
Figura 26 Suma térmica acumulada (GDD), entre la siembra y el inicio de periodos de cosecha. ....	58
Figura 27 Fig.1. Desarrollo de Diámetro de corona en plantas de los tres sistemas de producción de fresa variedad Camino Real. ....	61
Figura 28 Desarrollo de Diámetro de corona en plantas de los tres sistemas de producción de fresa variedad Zamorana. ....	61
Figura 29 Producción de hojas, para la variedad camino real. ....	63
Figura 30 Producción de hojas, para la variedad zamorana.....	63
Figura 31 Producción de Flores en tres sistemas de producción de fresa variedad Camino Real en invernadero. ....	65
Figura 32 Producción de Flores en tres sistemas de producción de fresa variedad Zamorana. ....	.....
Figura 33 Fructificación en los tres sistemas para la variedad Camino Real. ....	.....
Figura 34 Fructificación en los tres sistemas para la variedad Zamorana. ....	67
Figura 35 Gramos producidos en cada corte en las dos variedades para el sistema Riego por goteo.....	69
Figura 36 Gramos producidos en cada corte en las dos variedades para el sistema NFT. ....	69

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.Estados productores en México. ....	5
Cuadro 2 Características del Tezontle. ....	10
Cuadro 3 Tolerancia de daños permitidos. ....	29
Cuadro 4 Especificaciones de tamaño. ....	29
Cuadro 5.Composición de aniones y cationes en la solución nutritiva.....	37
Cuadro 6.Fuentes empleadas en la solución nutritiva.....	38
Cuadro 7 Caracterización física del tezontle. ....	59
Cuadro 8 Comparación de medias para la variable de Diámetro de corona. ....	60
Cuadro 9 Comparación de medias para la variable de Diámetro de corona. ....	62
Cuadro 10 Producción del cultivo de fresa por tratamiento y variedad en (g). ....	68
Cuadro 11 . Clasificación de frutos cosechados en los sistemas de riego por goteo y NFT, con forme a la NMX-FF-062-2002.....	71
Cuadro 12 Volumen de agua total utilizada por tratamiento. ....	72
Cuadro 13 Kilogramos producidos por m3 en el sistema de RG, para la variedad camino real y zamorana. ....	73
Cuadro 14 Kilogramos producidos por m3 en el sistema de NFT, para la variedad Camino real y Cp. Zamorana.....	74
Cuadro 15 costos de producción por sistema.....	75
Cuadro 16 Flujo de ingresos y egresos en el sistema riego por goteo. ....	76
Cuadro 17 Flujo de ingresos y egresos en el sistema NFT.....	76
Cuadro 18 Flujo de ingresos y egresos en el sistema de Aeropónia. ....	76

Cuadro 19 Resumen de la evaluación financiera en tres sistema de producción del cultivo de fresa. ....	77
Cuadro 20 Cálculos para Déficit de presión de vapor. ....	84
Cuadro 21 Clasificación de frutos conforme a la norma mexicana 0-62 , en el sistema riego por goteo. ....	91
Cuadro 22 Clasificación de frutos conforme a la norma mexicana 0-62 , en el sistema NFT. ....	92
Cuadro 23 Uso eficiente de agua en el sistema riego por goteo , para la variedad camino real.....	93
Cuadro 24 Uso eficiente de agua en el sistema riego por goteo, para la variedad Zamorana. ....	94
Cuadro 25 Uso eficiente de agua en el sistema NFT, para la variedad camino real.....	95
Cuadro 26 Uso eficiente de agua en el sistema NFT, para la variedad Zamorana. ....	97
Cuadro 27 Costos de los materiales utilizados para la construcción del sistema Aeroponico. ....	98
Cuadro 28 Costos de los materiales utilizados para la construcción del sistema NFT.....	99
Cuadro 29 Costos de los materiales utilizados para la construcción del sistema de Riego por goteo.....	100

## I. INTRODUCCIÓN

La agricultura protegida se ha convertido en la mejor opción para el desarrollo de cultivos a nivel mundial, debido a la eliminación de pérdidas económicas y productivas como resultado de las variaciones por el cambio climático y a las ventajas que representa el uso de invernaderos, tales como incremento en el rendimiento y calidad de las cosechas, control de los ciclos de crecimiento, aumento de la sanidad e inocuidad de los productos obtenidos, ampliación del acceso comercial y rentabilidad económica (Al- Adwan y Munaf, 2012).

De forma general, el impacto mundial de la implementación 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).

Éste, aunado que los sistemas 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 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 se utiliza una solución nutritiva que debe abastecer a la planta de agua, oxígeno y los nutrimentos esenciales en forma iónica con o sin el uso de un sustrato como sostén para la planta provocando un ambiente controlado y modificando el ambiente natural de la planta para su desarrollo (Lara,1999).

Existen diferentes sistemas hidropónicos, los cuales pueden clasificarse en dos grupos: a) técnicas de medio líquido, donde la solución se recircula, en las que se ubican a las técnicas de película nutritiva (NFT), hidroponía en flotación y aeroponía y b) técnicas con sustrato como cultivos en

arena, grava (rocas porosas de origen volcánico, como tezontle y perlita) y otros sustratos, donde la solución se suministra a cada planta por medio de sistemas de riego por goteo (Adams, 1991).

La fresa se cultiva, como la mayoría de las especies agrícolas, directamente en el suelo; implicando desventajas como reducción en la eficiencia en el uso de agua y nutrimentos. Esto puede conducir a exceso de iones ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) por fertilizaciones frecuentes lo que causa desbalance entre el crecimiento vegetativo y reproductivo y origina reducción del rendimiento y calidad de las fresas (Albregts et al., 1991)

Por todo ello se ha buscado implementar nuevos sistemas de producción intensivos, basados en la hidroponía (cultivos sin suelo) y el uso de cubiertas (invernaderos, micro túneles y mallas sombra). Sistemas que además permiten aumentar la producción por unidad de superficie, incrementar la calidad de los productos y obtener cosechas constantes durante todo el año (Roussos, 2009). La fresa puede producirse bajo este sistema, elevando su potencial productivo, lo cual permitiría satisfacer la demanda local e internacional, al producir en periodos fuera de estación.

Por ello, el objetivo de esta investigación fue “Evaluar el desarrollo y vigor de la planta en diferentes sistemas, así como su producción”, bajo la hipótesis, que el sistema de riego por goteo en tezontle tiene mejor producción en comparación con los otros sistemas.

## **II. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Comparar tres sistemas de producción de fresa sobre crecimiento, rendimiento, calidad pos cosecha, rentabilidad y eficiencia en el uso de agua.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Evaluar el desarrollo y vigor de la planta en cada sistema (NFT, aeroponía, sustrato con riego por goteo).
- Evaluar la producción en cada tratamiento.
- Evaluar la calidad del fruto conforme a la NMX-FF-062-1987.
- Evaluar la eficiencia en el uso del agua.
- Comparar la rentabilidad de cada uno de los sistemas evaluados.

## **III. HIPÓTESIS**

### **Hipótesis general.**

Al menos en uno de los sistemas evaluados para la producción de fresa (*Fragaria vesca L*) se tendrá mejor desarrollo, producción, calidad de fruto y mayor ahorro de agua.

### **Hipótesis particulares**

- Al menos en uno de los sistemas evaluados se obtendrá mejor desarrollo de planta.
- Al menos en uno de los sistemas se obtendrá mayor rendimiento.
- Al menos uno de los sistemas evaluados presenta mejor calidad en fruto de fresa.
- Al menos uno de los sistemas evaluados tendrá mayor eficiencia en el uso de agua.
- Al menos uno de los sistemas evaluados será más rentable.

## IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Generalidades del cultivo de la fresa.

#### 4.1.1 Situación mundial.

La producción de fresa ha ido en aumento en los últimos años. En el 2013 el principal productor de fresa fue China Continental con 2, 997,504 t, seguido de Estados Unidos de América (E.U.A.) con 1, 360,869 t, México con 489,198 t, Turquía con 372,498 t, España con 312,500 t, Egipto 254,921 t y República de Corea con 216,803 t (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013).

Los últimos datos en 2016, dan a conocer los principales países exportadores de dicho producto, siendo España el número uno con 344.2 mil toneladas, México se posiciona en segundo lugar con 253.7 mil toneladas, seguido por estados unidos, Polonia, China, Países bajos, Marruecos, Bélgica, Egipto y Alemania.



**Figura 1.** Principales exportadores mundiales de fresa (Datos de COMTRADE e ITC, 2017).

Respecto a las importaciones, los principales países importadores son Estados Unidos, Canadá y Alemania. Entre 2003 y 2012, las importaciones de Estados Unidos incrementaron a una tasa promedio anual de 16.3 por ciento.

De igual forma, Canadá aumentó sus importaciones a una tasa promedio anual de 8.8 por ciento, entre 2003 y 2012. Alemania, por su parte, ha registrado un incremento moderado en el volumen de importación de fresas, con una tasa promedio anual de 0.7 por ciento (FIRA, 2016).

#### 4.1.2 Situación nacional.

En cuanto a producción nacional, los principales estados productores de fresa en México, en orden de importancia, son: Michoacán, Baja California, Guanajuato, Jalisco, Baja California Sur y Estado de México. Michoacán produce más de 60 % del total de la producción nacional, y de 2005 a 2014 presentó un incremento de 27 % (SIAP, 2014).

**Cuadro 1. Estados productores en México.**

Estados	Producción (Ton)		Valor de la producción (Miles de pesos)	
	2013	2014	2013	2014
Michoacán	204,937	259,190	1,779,825	2,299,440
Baja California	123,586	145,769	1,946,568	2,714,030
Guanajuato	20,198	28,568	111,405	123,586
Jalisco	16,462	11,491	173,441	129,365
Baja California Sur	7,747	6,167	97,475	81,587

Actualmente en México de acuerdo con los datos proporcionados por el SIAP (2017), el 52.21% de la producción nacional se destina al mercado externo, por lo que la fresa es un producto exitoso

en el comercio internacional. México es el tercer proveedor de fresa fresca al mercado internacional, con 14.83% del valor de las exportaciones mundiales. En particular, las exportaciones mexicanas representaron 87.79% de las importaciones de Estados Unidos.

En el contexto productivo, de las 11,092 hectáreas sembradas en 2016, el 89.78% de la superficie se encuentra mecanizada, 65.63% cuenta con tecnología aplicada a la sanidad vegetal, mientras que 87.14% del territorio sembrado con este cultivo contó con asistencia técnica. Por otro lado, 56.96% de la producción es de temporal, mientras que, por modalidades de riego, del total 0.74% es por goteo, 3.54% de la producción es realizada en riego por aspersión, 2.98% es por modalidad de gravedad, 0.01% por bombeo y el resto por otro tipo de riego sin especificar.

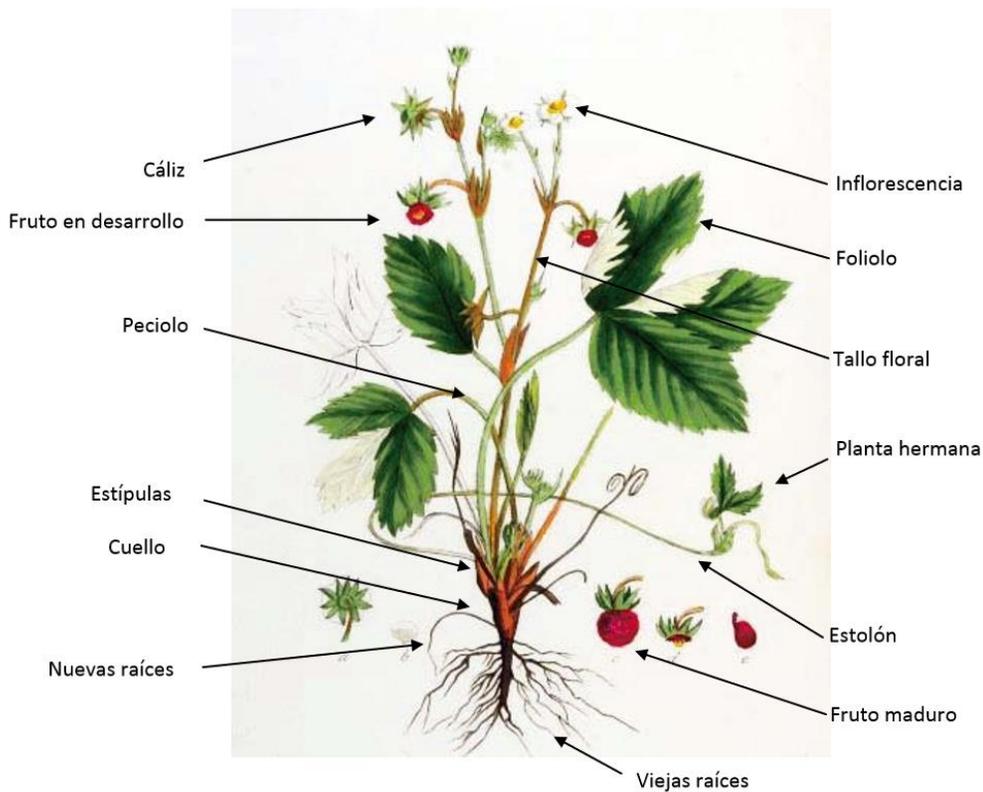
#### **4.1.3 Descripción Botánica y morfológica.**

La planta de fresa es de tipo herbáceo y perenne. Tiene un sistema radical que 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. El tallo central o corona está constituido por hojas, raíces, estolones y las inflorescencias que emergen. La corona se compone de un cilindro central rodeado por un anillo vascular. El cilindro está compuesto principalmente de la médula, con una fina capa de cambium que lo rodea. En la parte superior de cada hoja a lo largo de la corona hay una yema axilar, que puede producir los estolones, las cuales desarrollan o permanecen en estado latente, según las condiciones ambientales (Hancock, 1999).

Las hojas están dispuestas en espiral, cada sexta hoja está justo por encima de la primera. Las hojas son pinnadas y generalmente trifoliadas. Tienen la epidermis y las capas de mesófilo y empalizada

típica de las dicotiledóneas. Sólo tienen estomas en el envés. Las hojas de la mayoría de las especies viven sólo unos pocos meses y mueren después de la exposición a heladas fuertes en el otoño, algunas hojas de fragaria permanecen verdes durante todo el invierno si las temperaturas no bajan sustancialmente por debajo de cero.

Para producción comercial, las plantas se propagan por estolones, y generalmente se distribuyen a raíz desnuda. 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. Recientemente, se ha demostrado que las fresas tienen tres hábitos básicos de florecer: de día corto, de día largo, y de día neutral.



**Fig.1. Morfología de la planta de fresa. Imagen Krops et al. (1844).**

## 4.2 Requerimientos edafoclimáticos.

### 4.2.1.1 Suelo

El uso de sustratos en la agricultura es común en cultivos intensivos, especialmente en invernadero, teniendo como ventajas principales que permite el control y monitoreo sobre el riego y la fertilización, adelanto en la cosecha, incremento en calidad del fruto y reducción de riesgos por enfermedades y plagas (Ansorena, 1994). En México hay una amplia variedad de materiales que se emplean como sustratos (polvo de coco, tezontle, perlita, pumacita, tepezil, compost, turba, corteza de pino, cascarilla de arroz, humus de lombriz entre otros); sin embargo, se le ha dado poca importancia a su caracterización la cual desempeña un papel clave en el manejo agronómico del cultivo (Vargas, 2008).

El término “sustrato”, se refiere a todo material sólido diferente del suelo que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y que colocado en contenedor, de forma pura o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema radical; el sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición de la planta allí ubicada. Esto último, clasifica a los sustratos en químicamente inertes (perlita, lana de roca, roca volcánica, etc.) y químicamente activos (turbas, corteza de pino, etc.). En el caso de los materiales químicamente inertes, éstos actúan únicamente como soporte de la planta, mientras que en los restantes intervienen además en procesos de adsorción y fijación de nutrimentos.

En estos la caracterización física viene a ser fundamental y la caracterización química es menos relevante dado que los nutrimentos se suministran en la solución nutritiva (Boodt *et al.*, 1974).

Las propiedades que en mayor medida caracterizan a un buen sustrato, en cuanto a su aptitud para la germinación, el enraizamiento y el desarrollo de las plantas, son las siguientes (Raviv et al., 1984, Abad et al., 2004, López-Cuadrado y Masaguer, 2006):

#### Propiedades físicas

- ✓ Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible.
- ✓ Suficiente suministro de aire.
- ✓ Baja densidad aparente.
- ✓ Elevada porosidad total.
- ✓ Estructura estable que impida la contracción del sustrato.

Los principales parámetros que definen esas propiedades físicas son:

**Agua fácilmente disponible (AFD).** Se refiere a la cantidad de agua (% en vol.) que se libera al aplicar una tensión al sustrato de entre 10 y 50 cm de columna de agua. Valor óptimo: 20 a 30 %.

**Agua de reserva (AR).** En este caso se refiere a la cantidad de agua (% en vol.) que se libera al aplicar una tensión al sustrato de entre 50 y 100 cm de columna de agua. Valor óptimo: 4 a 10 %.

**Agua difícilmente disponible (ADD).** Se trata del agua (% en vol.) que queda retenida en el sustrato después de aplicar una tensión de 100 cm de columna de agua.

**Capacidad de aireación (CA).** Se refiere a la proporción del volumen del sustrato que contiene aire después que dicho sustrato ha sido llevado a saturación y dejado drenar (normalmente a 10 cm de columna de agua). El valor óptimo se produce cuando se dan valores entre 10 y 30 %.

**Espacio poroso total (EPT).** Es el volumen total del sustrato de cultivo que no está ocupado por partículas orgánicas o minerales. Es un dato que se determina a partir de las densidades real y aparente. Su valor óptimo se produce cuando alcanza niveles superiores a 85 % (De Boodt et al. 1974)

Todos estos parámetros se obtienen a partir de la curva de liberación de agua o curva característica de un sustrato desarrollada por De Boodt et al. (1974).

Uno de los sustratos con características en un punto medio respecto a los otros materiales es el Tezontle, mismas que se muestran en el Cuadro 2.

**Cuadro 2 Características del Tezontle.**

Da gcm <sup>-3</sup>	Porosidad total (%)	Agua fácilmente disponible (%)	Agua difícilmente disponible (%)	Agua de reserva (%)	Capacidad de aireación (%)	Reacción	C.I.C. (meq/100 g)
0.7-0.8	50-60	10-15	5-7	< 2	30-40	Alcalina	5

El tezontle se caracteriza por su alta porosidad y área superficial (Raviv et al., 2002 y Wallach, 1992). Existen varios tipos de tezontle que se diferencian entre sí por su densidad, color y contenido de Fe, Mn, Ca y Mg, estas diferencias se relacionan con el contenido de sílice presente en la roca y la temperatura de erupción, por lo que sus características físicas son determinadas principalmente por su composición mineralógica (Raviv et al., 2002).

#### **4.2.1.2 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.

La humedad relativa optima va de 60 a 75%; cuando existe una humedad relativa mayor permite la proliferación de enfermedades causadas por hongos, y de forma contraria cuando es deficiente, las plantas suelen sufrir daños fisiológicos que repercuten en la producción final (Ingeniería agrícola, 2008).

Por otra parte Honcock (1999) menciona que la temperatura y la humedad relativa afectan la viabilidad y la germinación de los granos de polen (Honcock, 1999). Se observó una gran reducción en el porcentaje de germinación de polen en los cultivares de fresa Marmolada, Tamella, Pegaus y Florence cuando estuvieron expuestas a 30 °C y humedad relativa de 75-85 % (Leech et al., 2002).

#### ***4.2.1.3 Temperatura.***

La temperatura y el fotoperiodo son factores ambientales que influyen la floración e interactúan en la regulación de los diferentes procesos fenológicos de la planta. La parte vegetativa de la fresa es altamente resistente a heladas, llegando a soportar temperaturas de hasta -20 °C, aunque los órganos florales quedan destruidos con valores a 0 °C. El rango de temperatura óptima para el cultivo de la fresa es 10° a 28° C. 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).

Las plantas entran en receso o latencia con temperaturas entre 0° y 7°C. En este período se produce una acumulación de reservas en forma de hidratos de carbono en la corona y las raíces principales.

En general ocurre desde fines de otoño e invierno, se caracteriza por el pequeño tamaño de las hojas, que toman un color rojizo-violáceo.

La diferenciación floral es inducida por la temperatura del ambiente, cuando las temperaturas son menores de 15 °C, en temperaturas mayores de 25°C la diferenciación floral es inhibida y por encima de los 32 °C ocurren abortos, aunque actualmente existen diferencias de comportamiento en relación a las condiciones climáticas (Hancock et al., 2010; Rodríguez, 2010; Palencia et al., 2013).

El número de horas de frío necesarias para lograr desarrollo y buenos rendimientos, es diferente para cada variedad. En general, los requerimientos van de 380 a 700 horas acumuladas de temperaturas entre 0 y 7°C, temprano en otoño.

#### ***4.2.1.4 Déficit de presión de vapor***

El Déficit de Presión de Vapor (DPV), que puede ser expresada tanto en kPa u otra medida de presión. Este valor se obtiene mediante la diferencia entre la presión a saturación de vapor y la presión real de vapor. El DPV permite relacionar la tensión actual a la que se hallan sometidas las partículas de agua en el aire (vapor) con respecto a las condiciones térmicas en donde este se saturaría, produciendo la condensación (punto de rocío donde alcanza la HR 100%)(Grange y Hand, 1987).

Puede utilizarse para prevención de enfermedades, determinar si hay riesgo de condensación (agua libre) y necesidades de riego y/o necesidad de aumentar la humedad en el ambiente, controlar la conductancia estomática permitiendo de esta forma controlar la fotosíntesis. También permite caracterizar y controlar microclimas, representando una herramienta útil para controlar desordenes

fisiológicos (Prenger y Ling, 2001). La compañía Argus (2009), ha promovido el uso del DPV para el control de enfermedades, mostrando rangos en donde se presenta diferencialmente la actividad patogénica en relación al DPV.

#### ***4.2.1.5 Fotoperiodo***

De acuerdo al fotoperiodo, la fresa puede clasificarse en: de día corto, de día largo y de día neutro. Las variedades de día corto solo florecen cuando hay menos de 12 a 13 horas de luz en el día, las de día largo cuando las horas de luz exceden las 12 horas, mientras que las variedades de día neutro florecen sin importar el número de horas expuestas a la luz. Con días largos y temperaturas moderadas (de 20° a 25 ° C de día y menos de 15° C de noche) las variedades de día corto pueden seguir floreciendo, por lo que la temperatura juega un papel importante en la floración (Larson, 2000). El fotoperiodo y el termo período determinan la inducción floral y por lo tanto la producción (Morgan, 2002).

#### ***4.2.1.6 Variedades de día corto***

Variedades de día corto responden más a la influencia de luz y en una menor parte a la temperatura. Por lo general, variedades de día corto florecen cuando los días tienen menos de 14 horas de luz dado que no hace demasiado calor. Estas variedades tienden a producir unas semanas antes que las variedades del día neutro, pero sin embargo cesan de producir mucha fruta desde mediados de junio hasta agosto.

Dentro de las variedades de día corto se encuentran: Benicia, Camarosa, Chandler, Mojave, Ventana y Camino real, estando ésta última dentro de las variedades más producidas en México.

#### ***4.2.1.7 Variedades de día neutro***

Como no dejan influirse por la luz, variedades de día neutro tienen la capacidad de florecer y producir fruta continuamente por una estación, empezando generalmente en mayo y en algunos casos hasta diciembre. Sin embargo, éstas también cesan de producir en temperaturas muy altas, como entre 32.2° y 35°C. En esta categoría se encuentran las siguientes variedades: Albión, Monterrey, San Andrés y Seascape.

#### ***4.2.1.8 Grados día de crecimiento***

La temperatura es clave en la definición del momento de siembra y por lo tanto sobre la duración de las diferentes fases fenológicas, las cuales afectan la productividad de los cultivos (Tewari y Singh, 1993) y es considerado el elemento que mayor importancia tiene sobre la tasa de crecimiento y desarrollo de las plantas (Machado et al., 2006; Ritchie y Ne Smith, 1991).

La temperatura incide sobre la tasa de producción y el área foliar que conforma el dosel vegetal, a través del cual los cultivos interceptan la radiación solar y realizan los procesos metabólicos tendientes a la acumulación de foto asimilados (García y López, 2002; García et al., 2000). El conocimiento de la duración exacta de las fases de desarrollo y su interacción con los factores ambientales, es esencial para alcanzar los máximos rendimientos en las plantas cultivadas, ya que determinan factores como la absorción de nutrientes y el llenado de frutos que inciden directamente sobre la productividad del cultivo (Prabhakar et al., 2007).

Los grados-día de desarrollo (GDD por Growing Degree Days), o las unidades térmicas (HU por Heat Units), son los índices más comúnmente utilizados para estimar el desarrollo de las plantas (Qadir et al., 2007). Estos índices han sido aplicados en numerosos sistemas de producción de

hortalizas para predecir la madurez fisiológica, la fecha de cosecha y el momento de siembras sucesivas (Perry et al., 1986; Clay et al., 2006; Qadir et al., 2007). Aunque la acumulación de GDD para las diferentes etapas de desarrollo es relativamente constante e independiente de la fecha de siembra, cada híbrido, variedad o cultivar de la especie, puede tener valores específicos para estos parámetros (Phadnawis y Saini, 1992; Qadir et al., 2006).

### **4.3 Variedades más utilizadas en México.**

En México se cultivan diferentes variedades, cada una con características específicas; como son los rendimientos, épocas de producción, resistencias a plagas y enfermedades, sabor, color, tamaño, por mencionar algunas. Las variedades se pueden expresar de manera diferente dependiendo de la región donde se establezcan. Cabe mencionar que las variedades utilizadas en México han sido desarrolladas por Universidad de California USA y Universidad de Florida USA. Entre las más utilizadas se encuentran: Festival, Camino Real, Albion y San Andres (Angulo, 2009).

#### **Camino Real**

Es una variedad muy productiva, tiene buen sabor y tolerancia a los patógenos comunes. Sin embargo, la fruta que se utiliza para el procesamiento y el mercado tiende a ser un poco más oscura que las otras variedades. Rendimiento alto.

#### **Albi3n**

La variedad Albi3n se conoce por lo general como la variedad que reemplaz3 a la variedad Diamante. La fruta tiene una forma c3nica, con el interior rojo brillante. El sabor de esta variedad

es delicioso y muchos consumidores afirman que es la mejor de todas las variedades. La planta de la variedad Albión se parece a la planta del Diamante, pero es un poco más abierta y recta. La Albión es resistente a las enfermedades del suelo tales como *Phytophthora* y *Verticillium*, pero se le conoce como susceptible al Hongo Polvoriento (Powdery Mildew). La variedad Albión tiende a producir muchas guías que tienen que ser removidas durante toda la temporada. La Albión tiene características de alto desarrollo y alto potencial de rendimiento. Puede continuar produciendo fruta de buen tamaño y buena calidad en el segundo año de producción. De esta manera se logra otro año de producción de la misma planta. El productor puede podar las plantas en el campo en agosto, diciembre o en enero.

### **San Andrés**

Tiene un patrón productivo muy similar a la variedad de Albion, empezando dos semanas antes. La planta de San Andrés es un poco más grande que la de Albion, y la fruta tiene un color rojo más claro. Quizás necesita menos enfriamiento que la variedad Albión. Tiene un rendimiento mejor que casi todas las otras variedades. Rendimiento muy alto.

### **CP. Zamorana y CP. Jaconá**

El colegio de postgraduados (COLPOS) con el apoyo financiero de la Fundación Produce Michoacán, A. C., obtuvo dos variedades de fresa, la “CP Zamorana” (CP 02-01) y la variedad “CP Jacona” (CP 02-04) con la finalidad de reducir costos de producción y sobre todo permitir un mejor aprovechamiento del mercado de exportación por parte de los productores locales mediante la disponibilidad de variedades mexicanas mejor adaptadas y de propiedad pública nacional. Estas variedades, han demostrado una alta capacidad productiva y una excelente calidad, una capacidad

de producción temprana que asegura mayor utilidad de manera periódica por lograr mejores precios en la exportación temprana (octubre-noviembre-diciembre). Con la implementación de estas variedades de fresa en el mercado nacional, finalmente, los productores mexicanos obtendrán variedades con mayor productividad y adaptación al subtrópico, resistentes a plagas y enfermedades, con buena calidad de fruto, variedades tempranas en las regiones específicas de la república mexicana.

#### **4.3.1 Requerimientos hídricos de la fresa**

El agua es un elemento primordial, ya que este cultivo es muy exigente en agua, por tal motivo es necesario un sistema de riego. Se considera un consumo de 400 a 600 mm (4000 – 6000 m<sup>3</sup> por hectárea) dependiendo de la ubicación de la plantación. Este elemento es el principal limitante para la productividad de los cultivos; de ahí que, un estrés hídrico constante limita el crecimiento vegetativo e inhibe funciones propias de las plantas, generando disminución del tamaño celular, mengua del desarrollo de la hoja, y reducción del área foliar, transpiración foliar y conductancia estomática (Celaya- Michel y Castellanos- Villegas, 2011; Gao, et al., 2007; Méndez, et al., 2007; Rada et al., 2005). Aunque, una a minoración controlada de la humedad en los cultivos puede mejorar el rendimiento y eficientizar el uso del agua (González, 2000).

En contraparte, un exceso de riego da lugar a enfermedades radicales y presencia de lixiviados (con una pérdida aproximada del 50 por ciento de los nutrientes) que saturan y contaminan suelos, fuentes de agua y mantos freáticos; por su alta concentración iónica. Lo que significa pérdidas económicas importantes por la baja calidad de los frutos y el gasto innecesario de agua,

principalmente en zonas con poca precipitación pluvial anual y recurso hídrico escaso (Bar- Yosef, 2008).

FOLQUER (1986), dice que la fresa es un cultivo muy exigente tanto en la cantidad de agua, bien repartida y suficiente a lo largo del cultivo, como en su calidad; presenta gran sensibilidad a la salinidad, no soporta concentraciones de 1 gramo de sales por litro de agua.

#### **4.3.2 Uso eficiente de agua**

El uso eficiente del agua en el campo es uno de los factores fundamentales para poder garantizar la producción alimentaria y el trabajo de las familias mexicanas vinculadas con el sector agrícola (Álvarez, 2011). La “eficiencia en el uso del agua (EUA)” o “productividad del agua (PA)” es la relación existente entre la biomasa presente en un cultivo por unidad de agua utilizada por éste en un determinado momento. Cuando se pretende enfocar el empleo del agua por un componente meramente productivo y económico, se recurre a sustituir la biomasa por el rendimiento en kg de producto por metro cúbico de agua utilizada (Fernández y Camacho, 2005).

El invernadero es un sistema de producción que puede incrementar la eficiencia en el uso del agua, creando un microclima para mejorar la fotosíntesis de la planta, reduciendo la evapotranspiración excesiva e incrementando los rendimientos. Las necesidades de agua de los cultivos bajo invernadero son menores que los cultivos a campo abierto. En regiones con alta radiación solar, un invernadero de plástico puede reducir el uso del agua en un cultivo en 30% (FAO, 1991). Sin embargo, en Almería, España, se reduce el uso del agua entre 40-50% debido a la disminución en la radiación solar y el viento (Fernández y Camacho, 2005). Por otro lado, Antón et al. (2003) mencionan que la evapotranspiración en invernadero se reduce un 70% respecto a la del aire libre.

Otra manera de incrementar la eficiencia es mediante la utilización de cultivos sin suelo cerrados donde se utilizan sustratos y permiten un control de riego, ahorro importante del agua (del 30% al 50%) menor adquisición de insumos y fertilizantes; al reutilizar la solución drenada después de haber pasado por un proceso de esterilización y reajuste de pH, conductividad eléctrica, macronutrientes (NPK) y micronutrientes, (Vélez Carvajal et al., 2014).

#### **4.4 Sistemas hidropónicos**

El cultivo sin suelo (también llamado sistema hidropónico) es una técnica de cultivo en el que las plantas completan su ciclo de producción sin utilizar el suelo, estos se pueden clasificar en cultivos en agua y cultivos en sustratos (Zhang et al., 2011). A los cuales se les aplica una solución nutritiva, con todos los elementos necesarios para que la planta crezca y se desarrolle normalmente (Resh, 2001).

Existen varias técnicas para un sistema de cultivo sin suelo (hidroponía). Los sistemas hidropónicos se basan en un medio líquido o en un sustrato sólido inerte. También dependen mucho del sistema de riego y sus recipientes en el que están suspendidas las raíces del cultivo.

En los cultivos hidropónicos se utilizan dos tipos de sistemas de riego: abiertos y cerrados. Desde un punto de vista técnico y económico, un sistema de riego abierto no tiene recirculación de la solución nutritiva y proporciona la ventaja de no tener que efectuar periódicamente costosos análisis químicos y evita además complicaciones técnicas relacionadas con la recirculación como las alteraciones en el pH, acumulación de sales o iones tóxicos, transmisión de enfermedades, etc. (Jensen, 1971).

Los sistemas hidropónicos clasificarse en dos grupos: a) Técnicas de medio líquido, donde la solución se recircula, en las que se ubican a las técnicas de película nutritiva (NFT), hidroponía en

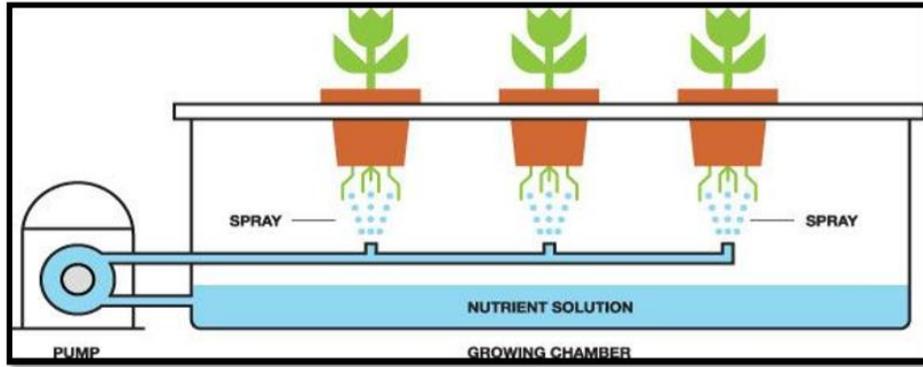
flotación y aeroponía; y b) técnicas con sustrato, como cultivos en arena, grava (rocas porosas de origen volcánico, como tezontle y perlita) y otros sustratos. Abad et al., (2004), indican que el sustrato es todo material sólido distinto del suelo (in situ), natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radical, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta y que este puede intervenir o no en la nutrición vegetal. Cruz et al., (2012), donde la solución se suministra a cada planta por medio de sistemas de riego por goteo (Adams, 1991).

#### **4.4.1 Aeroponía**

El término Aeroponía viene del griego “Aero” (Aire) y “Ponos” (Trabajo) siendo una rama de la hidroponía (trabajo en agua). El término significa “cultivar plantas sin tierra, al suministrar con el agua la cantidad mínima de alimento necesario para desarrollar cultivos sanos y altamente productivos en menores espacios” (Alpizar L., 2004).

La aeroponía es un método de producción agrícola de cultivos sin suelo derivado de la hidroponía que se desarrolla como una tecnología innovadora; donde las raíces libres toman como sustrato una solución acuosa que aporta los nutrientes necesarios para el crecimiento óptimo de la planta, con disminución en el uso del recurso hídrico convirtiéndose en una alternativa amigable con el medio ambiente.

Inicialmente en esta tecnología la germinación de la semilla se realiza mediante un sustrato y posteriormente se trasplanta a estructuras diseñadas de forma horizontal y/o vertical donde la raíz desnuda por medio de un sistema controlado y monitoreado de micro-nebulización, toma los nutrientes necesarios para su óptimo crecimiento y desarrollo Figura 2. (Stoner, R.J. and J.M. Clawson 1997-1998).



**Figura 2 Sistema Aeroónico.**

Fuente: QUALITY. Aeroponics Culture Machine [En línea]. (04/11/2017). [Disponible en web]

<https://goo.gl/x86z7Y>

La implementación de tecnologías innovadoras como la Aeroponía integra la automatización y la agricultura a través del control de variables como pH, luminosidad, temperatura y riego, factores importantes para el óptimo desarrollo de las plantas, mejorando así la calidad y el rendimiento de los cultivos.

#### **4.4.2 System Nutrient Film Technique (NFT)**

La técnica hidropónica de cultivo con flujo laminar de nutrientes, NFT (Nutrient Film Technique) se desarrolló para aumentar la productividad del sector de producción hidropónica. Consta de tubos de PVC de 4 pulgs. De diámetro y 6 m de largo, con tapa en sus extremos. A un extremo de cada tubo hay una perforación para el ingreso de una boquilla que inyecta la solución nutritiva recirculante, la cual proviene de un tanque de almacenamiento.

Es importante anotar que el tanque de almacenamiento de la solución debe mantener su contenido fresco y aislado de la luz directa, por lo que debe contar con tapa e idealmente estar bajo el nivel

del suelo o en una instalación cubierta. Además, se utiliza una bomba de acero inoxidable de 3 hp, para la succión de la solución nutritiva contenida en el tanque, por lo que tiene que haber toma eléctrica. La bomba extrae la solución nutritiva y la envía a tubos de 1 pulg. para su transporte e inyección mediante las boquillas en los tubos de PVC antes descritos. Los tubos tienen un ligero desnivel (1 % como máximo), que permite que la solución fluya del punto de inyección hacia el extremo contrario y se recolecte para retornar al tanque de almacenamiento.

DICTA (2002), y Córdova, (2005), agregan que el sistema consiste en re circular la solución por una serie de canales de Cloruro de Polivinilo (PVC) de un diámetro de 4 a 6 pulgadas, el agua junto con la solución nutritiva circula por medio de los tubos mediante una bomba, los tubos están apoyados sobre mesas o armazón, y tiene un ligera pendiente que facilita la circulación de la solución, la que posteriormente es recolectada y almacenada en un tanque, la cual es re circulada nuevamente.

#### **4.4.3 Riego por goteo**

El riego por goteo junto al riego por microaspersión se incluye dentro de los denominados Riegos Localizados o Microirrigación. Se caracteriza por la aplicación de agua al suelo o sustrato y nutrientes a través de emisores denominados goteros o cintas de riego, sobre o bajo la superficie de éste, sin mojar la totalidad de terreno (Rodrigo et al., 1992).

El suministro de agua es constante y uniforme gota a gota, que permite mantener el agua de la zona radical en condiciones de baja tensión.

El agua se conduce a presión por tuberías y luego por mangueras de riego que recorren las hileras del cultivo, el emisor, externo o incorporado a la manguera de riego es un “gotero” de caudal y

separación variable según el suelo y los cultivos aplican el agua en forma de gotas que se van infiltrando a medida que caen. Lecaros; J. (2011)

Se adapta a muchos cultivos, principalmente frutales y hortalizas, sin embargo, su adopción como sistema se ha concentrado en aquellas alternativas de cultivo con alta rentabilidad, asociado generalmente a la actividad agrícola de exportación. Entre estos se encuentran los parronales de uva de exportación, vides viníferas, paltos, frutillas y cultivos hortícolas, principalmente bajo invernadero (Chileriego, 2004).

Se ha convertido en uno de los sistemas de riego más utilizados que permiten la aplicación de la solución nutritiva con un determinado caudal (Ponce, 2001).

#### **4.5 Requerimiento nutricional**

Durante su desarrollo, implicando crecimiento y diferenciación, una planta extrae por medio de sus raíces los nutrimentos que se encuentran en el suelo, estos pasan de la raíz al tallo y posteriormente a las hojas, flores, y frutos, donde participan en la formación de otros compuestos necesarios en la dieta humana. Cuando la cantidad y la calidad de los nutrimentos en el suelo son suficientes, la planta estará sana, con follaje verde, y sobretodo tendrá alto rendimiento de frutos (Díaz, 2005).

Baixxauli, y Aguilar (2002) describen a la solución nutritiva como agua con oxígeno (O<sub>2</sub>) 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, zinc, manganeso, cobre, boro y molibdeno que se aportan generalmente a partir de un complejo comercial. Todos ellos disueltos en una forma iónica completamente dissociada.

El nitrógeno (N) es el nutrimento más importante sobre el rendimiento y calidad de la fresa. La fuente de N modifica el crecimiento, rendimiento, calidad de la fruta, y composición química de los tejidos de la planta. En hidroponía, normalmente, se utiliza  $\text{NO}_3$  para suministrar N (Morgan, 2002).

El fósforo (P) es importante en el cultivo de fresa, debido a que fortalece el sistema radical, previene achaparramiento de la planta y coadyuva a la obtención de un rendimiento óptimo. Por otro lado, los frutos requieren de altos niveles de potasio para tener buen tamaño, sabor, rendimiento y vida de anaquel. Cuando la fruta está en desarrollo en la planta, se recomienda una relación K/N de 1 a 4. En general, una conductividad eléctrica (CE) de 2.0 a 3.0  $\text{mS cm}^{-1}$  en invierno asegura un buen rendimiento y fruta de alta calidad (Morgan, 2002).

Las plantas de fresa con frecuencia muestran deficiencias de Ca. Los síntomas de deficiencia comienzan en hojas en donde se observan quemaduras en bordes y ápice. La deficiencia severa produce hojas amarillentas y abscisión (Morgan, 2002). Las plantas cultivadas en condiciones de baja temperatura son susceptibles a la deficiencia de hierro (Fe), que se traduce en clorosis de las hojas una vez que los niveles foliares caen por debajo de 30 mg L. La deficiencia de Fe provoca baja de rendimiento, menor número de frutos por planta y afectación en el cuajado de fruto.

Para llegar a la formulación correcta 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.

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 (Baixxauli y Aguilar, 2002).

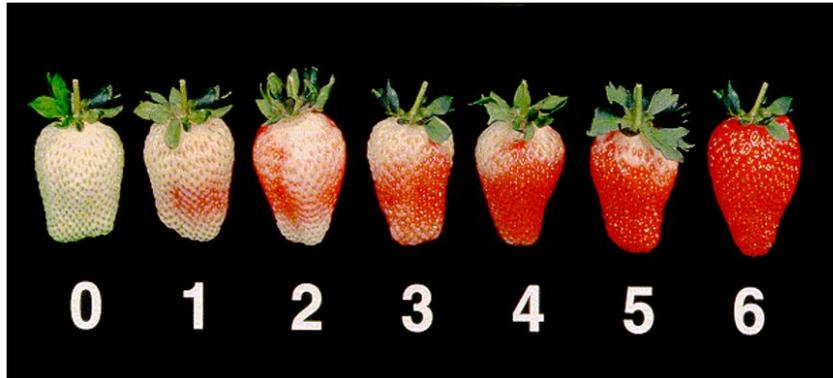
#### **4.6 Cosecha**

La fruta debe ser cosechada en forma escalonada y temprano en la mañana cuando las temperaturas son bajas para evitar deshidratación. Se debe eliminar la fruta sobre madura, dañada por hongos, insectos o deformada, enterrándola en lugares apartados de la plantación, pues los hongos crecen y esporulan produciendo gran cantidad de inoculó y contaminando la fruta sana.

La cosecha se realiza a mano, tomando la fruta por el pedúnculo que se corta de 0,5 a 1 cm desde el cáliz, doblando y tirando suavemente para quebrarlo. Se debe evitar el exceso de presión con los dedos. Para venta en fresco se debe dejar el cáliz adherido. El cosechador no debe juntar las frutas en las manos y tampoco presionarlas ya que se provocan lesiones que disminuyen la calidad y conservación.

PROEXANT (2010), asegura que se basan en el color de la superficie de la fresa. En Estados Unidos mínimo 1/2 ó 3/4 de la superficie en color rojo o rosa, dependiendo del grado de calidad.

De acuerdo con la Norma oficial mexicana NMX-FF-062-2002, las fresas se deben cosechar cuando presenten como máximo el 50 % de su superficie un color rojo tenue o rosa o en su caso, considerar los requisitos del mercado destino por ello se muestra una tabla de color de los estados de maduración en Figura 3.



**Figura 3** Tabla de color de los estados de maduración de la fresa a través de los colores.

#### **4.7 Calidad de fruto (Norma oficial Mexicana)**

Thompson (1997), dice que la palabra calidad proviene del latín *qualitas*, que significa atributo, propiedad o naturaleza básica de un objeto. Sin embargo, en la actualidad y en sentido abstracto su significado es grado de excelencia o superioridad.

Por otra parte, PROEXANT. (1993), la define como el grado de cumplimiento de un número de condiciones que determinan su aceptación por el consumidor.

Meneses (2002), manifiesta que la fruta fresca para exportación es la de mejor calidad. La selección se basa en el grado de maduración, tamaño, uniformidad y sanidad de las frutas. Estas no pueden ser lavadas ni contener ninguna suciedad o materia extraña. Se separa por tamaños de acuerdo al pedido de los compradores, ejemplo: extra grande, grande mediana y pequeña. Existen normas establecidas para cada tamaño. Así la extra grande es una fruta de un diámetro mayor de 40 mm; la grande de 35 a 40 mm, mediana de 30 a 35 mm y la pequeña de 25 a 30 mm de diámetro.

PROEXANT (2010), afirma que la fruta fresca para mercado nacional, es aquella que por pequeños defectos de formación o por tener más de 3/4 de maduración, no califica para exportación. Muchas veces por fallas en los sistemas de exportación, toda la fruta de primera calidad se queda en el mercado nacional. El mercado nacional no es muy exigente en cuanto a calidad por lo que, sobre todo en meses de poca cosecha, aún fruta muy pequeña se vende para consumo fresco.

En el caso de la fresa existe una Norma mexicana (NMX-FF-062-2002) la cual nos da a conocer los atributos que debe presentar el fruto para su clasificación, así como las tolerancias con respecto a la calidad y tamaño de las fresas que no cumplan con las especificaciones.

Donde marca que el producto objeto de esta Norma en sus diferentes grados de calidad debe cumplir con las especificaciones siguientes:

Requerimientos mínimos:

- a) Estar sanas y de aspecto fresco;
- b) Estar enteras y bien desarrolladas;
- c) Al menos con tres cuartas partes de la superficie mostrando un color rosa o rojo tenue;
- d) Estar limpias, exentas de materia extraña visible;
- e) Ser de forma, sabor y olor característicos de la variedad;
- f) Tener consistencia firme;
- g) Tener pedúnculo con una longitud máxima de 1,5 cm antes del envase;
- h) Estar prácticamente exentas de magulladuras;
- i) Exentas de daños por sol;
- j) Exentas de polvo, tierra o materia orgánica
- k) Exentas de daños causados por plagas;

l) Libres de descomposición, pudrición y moho causado por microorganismos; m) Estar exentas de daños por refrigeración y variaciones en la temperatura; y n) Estar exentas de humedad exterior anormal, salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica.

Extra (México 1): Las fresas de este grado deben ser de calidad superior y presentar la forma y desarrollo típicos o propios de la variedad. Deben ser uniformes en cuanto a la coloración y tamaño, deben cumplir con las especificaciones señaladas en requerimientos mínimos.

No deben tener defectos, salvo aquellos superficiales muy leves siempre y cuando no afecten: el aspecto general del producto, su calidad, conservación y presentación en el envase. Se permiten los defectos para esta categoría que se indican en el Cuadro 3.

Primera (México 2): Las fresas de esta categoría deben cumplir con las especificaciones señaladas en requerimientos mínimos y presentar la forma, desarrollo y coloración típicos o propios de la variedad.

Se permiten los siguientes defectos leves, siempre y cuando no afecten: el aspecto general del producto, su calidad, conservación y presentación en el envase. Se permiten los defectos para esta categoría que se indican en el Cuadro 3.

Segunda (México 3): Esta categoría comprende las fresas que no pueden clasificarse en las categorías superiores, pero que satisfacen las especificaciones mínimas detalladas en el inciso requerimientos mínimos.

**Cuadro 3 Tolerancia de daños permitidos.**

Especificaciones	Tolerancias (%)					
	Extra		Primera		Segunda	
	P.E.	P.A.	P.E.	P.A.	P.E.	P.A.
Defecto menor	8	10	10	12	10	12
Defecto mayor	5	7	5	7	5	7
Defecto crítico	0	2	2	4	3	5
Pudrición	0	2	0	2	0	2
Total de defectos permitidos	8	10	10	12	10	12

P.E. Punto de embarque. P.A. Punto de arribo.

En la clasificación de tamaño del fruto se determina con base a su diámetro ecuatorial de acuerdo a la Cuadro 4.

**Cuadro 4 Especificaciones de tamaño.**

Tamaño	Intervalo de diámetro ecuatorial (cm)		
		de	Mayor
A	3,2	a	3,1
B	2,6	a	2,6
C	2,0	a	1,9

**4.8 Rentabilidad de los sistemas productivos**

La rentabilidad es una variable clave en las decisiones de inversión. Nos permite comparar las ganancias actuales o esperadas de varias inversiones con los niveles de rentabilidad que necesitamos alcanzar (NEVADO Domingo, 2007, p.27).

La rentabilidad mide el grado al que la explotación agrícola genera utilidades del uso de sus tierras, mano de obra, administración y capital. Los índices financieros y los valores que miden la rentabilidad se calculan de los datos del balance general y del estado de ingresos y gastos.

Dentro de los indicadores de rentabilidad se encuentran:

- **Valor actual neto (VAN):** Es el más conocido y mejor aceptado por los evaluadores del proyecto, mide la rentabilidad deseada después de recuperar toda la inversión. Para la obtención del VAN se necesita contar con el valor de la inversión inicial, flujo de fondo neto y tasa de interés, es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial, si el VAN es positivo o igual a cero, el proyecto es factible y si es negativo no es viable (ABRIL Tanya, ALCIVAR Grace, 2007 p.15).
- **Tasa Interna de Retorno (TIR):** Sirve para evaluar alternativas de inversión consiste en encontrar un interés que permita recuperar la inversión inicial, así mismo indica que es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial (SAPAG Nassir, 2007, p.49). Por lo tanto, la tasa de retorno que se obtiene es equivalente a la máxima tasa de interés que podría pagarse para obtener el dinero necesario para financiar la inversión y tenerla totalmente pagada al final de la vida útil del proyecto.
- **Razón beneficio/costo (B/C):** este índice se define como la relación entre los beneficios y los costos o egresos de un proyecto. Su cálculo se basa en la relación entre el valor actual de las entradas de efectivo futuras y el valor actual del desembolso original.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Sitio de investigación

El estudio se realizó en un invernadero tipo Cenital del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo (COLPOS) ubicado en el lote (17E). Con las coordenadas N 19° 27' 59.5" y W 98° 55' 01.5", a una altitud de aproximada de 2163 msnm.

Las dimensiones de la nave donde se instaló el experimento fueron de 40 m de largo por 10 m de ancho y una altura cenital de 5.5 metros; con malla antiáfidos de 10 x 20 hilos por pulgada cuadrada

color blanco y con polietileno difuso de baja densidad. Se colocó una malla sombra con el 30% de sombreado para mitigar la radiación solar y reducir el calentamiento en el interior del invernadero. La superficie está cubierta con ground-cover color blanco para mitigar el crecimiento de maleza y para reflejar la radiación solar útil para la fotosíntesis de las plantas.

## 5.2 Medición de variables climatológicas

Durante la etapa experimental se registraron temperaturas dentro del invernadero mediante un Data logger (steren), del cual se obtuvieron mediciones de temperatura máxima, mínima y humedad relativa a nivel diario (Figura 4).



**Figura 4 Data logger (Termómetro digital).**

### 5.3 Déficit de presión de vapor

Dado que se tomaron las temperaturas máximas y mínimas con su respectiva humedad relativa, se utilizaron formulas basadas en el manual de la FAO 56 que fueran acorde con la información recolectada, las cuales fueron las siguientes:

#### Presión media de vapor de saturación (es)

Se hizo el cálculo con la ecuación (1) para determinar la presión de vapor a temperatura máxima y mínima por separado y posteriormente se aplicó la ecuación dos (2) para calcular la presión de vapor a saturación.

$$e^0 = 0,6108 * \exp \left[ \frac{17,27 * T}{T + 237,3} \right] \quad 1)$$

$$e_s = \frac{e^0(Tmax) + e^0(Tmin)}{2}$$

Presión real de vapor (ea) derivada de datos de humedad relativa:

$$e_a = \frac{e^0(T \min) \frac{HR \max}{100} + e^0(T \max) \frac{HR \min}{100}}{2}$$

### 5.4 Cálculo de Grados-Día (GDD).

Para el cálculo de los GDD acumulados se empleó el método de umbrales de temperatura (Perry et al., 1986) o el método de onda senoidal (Murray, 2008), el cual asume que las temperaturas de un día de 24 h siguen una curva senoidal. Este método es una modificación del método estándar para el cálculo de los GDD y ofrece mayor precisión para el cálculo, ya que utiliza la temperatura

diaria mínima y máxima, junto con la temperatura base e incorpora la temperatura techo o umbral superior en el cálculo. El número de GDD se calcula como el área bajo la curva dentro de los umbrales de temperatura superior e inferior (Murray, 2008).

Para el cálculo de los GDD se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{GDD} = \sum ((T_x + T_n)/2 - T_b) \quad \text{para } T_x < T_c \text{ y } T_n > T_b$$

$$\text{GDD} = \sum ((T_c + T_b)/2 - T_b) \quad \text{para } T_x > T_c \text{ y } T_n < T_b$$

Donde,  $T_x$  y  $T_n$  son las temperaturas diarias máximas y mínimas respectivamente,  $T_b$  es la temperatura base y  $T_c$  es la temperatura base techo o umbral superior del cultivo. En este caso, se trabajó con una temperatura base inferior de 15,5 °C y una temperatura base superior techo de 32 °C, sugeridas por Perry y Wehner (1996).

## 5.5 Material Vegetal

Se utilizaron plantas de fresa variedad Camino real y CP zamorana, las cuales estaban establecidas en macetas de 40\*40 con Tezontle, a cielo abierto. Se desahijaron dos días antes de la siembra (30 y 31 de octubre), para posteriormente colocarlas en cada tratamiento (siembra 1 de noviembre).

Dichas variedades tienen las siguientes características:

**Camino real:** Es originaria de California, resistente al ataque de ácaros, con muy buena productividad y excelente calidad de frutos, llega a producir 1814.37 gramos por planta en el ciclo de 18 meses que dura la planta en producción. Se pueden sembrar 206 plantas por cama de 31 m, es decir entre 30 y 35 cm entre plantas, al sexto mes comienza la producción, cosecha promedio de 1360.78 gramos por planta en el ciclo de 18 meses. Es tolerante al ataque de *Colletotrichum*

sp., *Verticillium* sp., y *Phytophthora* sp., susceptible al ataque de ácaros. Es una variedad de día corto (Angulo, 2009).

**Cp. Zamorana:** De fotoperiodo corto con bajo requerimiento de frío, precocidad y productividad alta, tolerancia a las enfermedades como *Fusarium oxysporum* y el complejo viral de la fresa, y calidad para mercado fresco e industria. Según los productores estas variedades no han podido sustituir a las extranjeras debido a que presentan un menor rendimiento en el sistema tradicional. Por lo que es necesario, la validación por parte de los productores en sistemas tecnificados (Rodríguez-Bautista et al., 2012).



**Figura 5 Material vegetal utilizado en el experimento.**

## **5.6 Diseño experimental**

Se hizo un diseño experimental factorial 2x3 (dos variedades y 3 tratamientos), con un arreglo de bloques al azar.

Se hizo una aleatorización para colocar en cada tubo o hilera una variedad, esto con la finalidad de disminuir el sesgo o error experimental, realizada en SAS

## 5.7 Variables de estudio

Desarrollo de la planta:

- Diámetro de corona
- Número de hojas
- Número de flores
- Número de frutos

Calidad de fruto:

- Peso de fruto
- Diámetro ecuatorial y longitudinal
- Daños físicos y mecánicos.
- Sólidos solubles totales (Grados Brix).

## 5.8 Densidad de población

En cada tratamiento se consideraron un total de 152 plantas, 38 plantas por repetición y 76 plantas por variedad, se distribuyeron de distinta manera de acuerdo a cada tratamiento. A continuación se explica el arreglo topológico realizado en cada uno de los tratamientos.

### 1) Aeroponía

Se colocaron 38 plantas en cada tubo, con una separación entre perforación de 15 cm y entre hileras de 20 cm.



**Figura 6 Arreglo topológico en sistema Aeropónico.**

## **2) NFT**

En cada uno de los ocho tubos, se colocaron 19 plantas con una separación entre perforación de 30 cm y entre cada tubo una separación de 50 cm.



**Figura 7 Arreglo topológico en sistema NFT.**

### 3) Riego por goteo en tezontle.

Se hicieron cuatro líneas cada una con 38 plantas (dos plantas por gotero), la separación entre hileras fue de 1 m y entre plantas de 30 cm.



**Figura 8 Arreglo topológico en el sistema de Riego por goteo.**

## 5.9 Solución nutritiva

Se empleó solución nutritiva bajo la formulación de Steiner (1984), a una concentración del 50 % con una conductividad eléctrica de  $1.0 \text{ dS m}^{-1}$  (Cuadro 5) . La solución nutritiva fue a partir de fertilizantes comerciales (Cuadro 6).

Cuadro 5.Composición de aniones y cationes en la solución nutritiva.

	Aniones ( $\text{meq L}^{-1}$ )			Cationes ( $\text{meq L}^{-1}$ )		
Conductividad eléctrica	$\text{NO}_3^-$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^-$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
CE= $1.0 \text{ dS m}^{-1}$	6	0.5	3.5	3.5	4.5	2

Cuadro 6.Fuentes empleadas en la solución nutritiva.

	<b>Cantidad en g L<sup>-1</sup></b>
<b>Fertilizante</b>	<b>CE= 1.0 dS m<sup>-1</sup></b>
<b>Nitrato Cálcico Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></b>	<b>0.531</b>
<b>Fosfato Mono potásico</b>	<b>0.068</b>
<b>Nitrato potásico KNO<sub>3</sub></b>	<b>0.151</b>
<b>Sulfato potásico K<sub>2</sub> SO<sub>4</sub></b>	<b>0.130</b>
<b>Sulfato Magnésico MgSO<sub>4</sub>·7 H<sub>2</sub>O</b>	<b>0.246</b>
<b>Micros de la A-Z</b>	<b>0.04</b>

### 5.10 Caracterización del sustrato.

Se realizó en el laboratorio de Física de suelos, del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, en donde se determinó la porosidad total (PT), la porosidad de aireación (PA), la porosidad de retención de humedad (PRH) y curva de liberación de agua.

Los tres parámetros de porosidad se determinaron mediante el procedimiento descrito por Landis et al. (1990). Se hidrató el sustrato por 24 horas y se utilizaron permeámetros, se llenaron con el sustrato y se tomó el peso del sustrato a máxima saturación. Ya obtenido el peso de todas las muestras se dejó drenar todos los permeámetros, se procedió a pesarlos para obtener el peso del sustrato drenado, después se colocaron en una estufa de secado a 110°C y fue evaluado hasta obtener un peso constante.



**Figura 9 Estufa de secado.**

Se determinó la curva de liberación de agua usando el método de batería de embudos (De Boodt et al., 1974). Para estimar la curva se tienen que obtener los datos de agua difícilmente disponible (ADD), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR), capacidad de aire (CA), espacio poroso total (EPT) y materia sólida (MS).

Se utilizó un equipo de succión el cual consiste de un embudo con placa de vidrio poroso conectado a una manguera. Se colocó una muestra representativa de sustrato previamente hidratado, sometido a una succión de 10 cm, por 12 horas para alcanzar el equilibrio; luego se procedió a extraer una muestra del embudo y se pesó en húmedo y en seco después de haberse sometido durante 78 horas a una temperatura de 110 °C en una estufa con circulación de aire. El mismo procedimiento se utilizó para someter al sustrato a 50 y 100 cm de succión.



**Figura 10 Equipo de succión.**

### **5.11 Variables evaluadas**

#### **a) Diámetro de corona**

Se midió cada semana con ayuda de un vernier digital (HER-411, STEREN) durante todo el desarrollo del cultivo, al momento de establecer el cultivo el diámetro fue de  $\pm 7$  cm, se realizaron mediciones a partir de los 91 DDS hasta los 169 DDS.



**Figura 11 Medición de Diámetro de corona.**

**b) Número de hojas**

El experimento se estableció a finales de otoño, la siembra fue el primero de noviembre (2018), con plantas de tamaño homogéneas compuestas por cuatro hojas. Se hizo una evaluación cada semana a partir de los 91 DDS.

**c) Número de flores**

Se hizo el conteo de flores, encontrándose a partir de los 99 DDS cuando se iniciaron las evaluaciones, y este de igual manera se efectuó hasta los 169 DDS.

**d) Número de frutos**

Se hizo el conteo de frutos cada semana en donde se encontraron a partir de 106 DDS y se efectuó hasta los 169 DDS.

**e) Rendimiento y calidad de fruto.**

Se realizaron 16 cortes en riego por goteo, del 28 de febrero- al 19 de abril , en cuanto a NFT fueron 8 cortes que iniciaron el 6 de marzo -19 de abril. Los cuales se pesaron con ayuda de una báscula digital (POCKETSCALE) con capacidad de 1000 g.



**Figura 12 Peso de frutos.**

#### f) Diámetro del fruto

El diámetro polar y diámetro ecuatorial (Figura 10) se obtuvieron con ayuda de un vernier digital (HER-411, STEREN). Luego se clasificaron atendiendo a los parámetros establecidos en la NMX-FF-062-2002.



**Figura 13 Medición de diámetro ecuatorial y longitudinal.**

#### g) Sólidos solubles totales (° Brix)

Los °Brix se determinaron con un refractómetro de mano (RHB-32 ,0-32% Brix ATC) aplicándole una gota del jugo de fresa molida a temperatura ambiente.



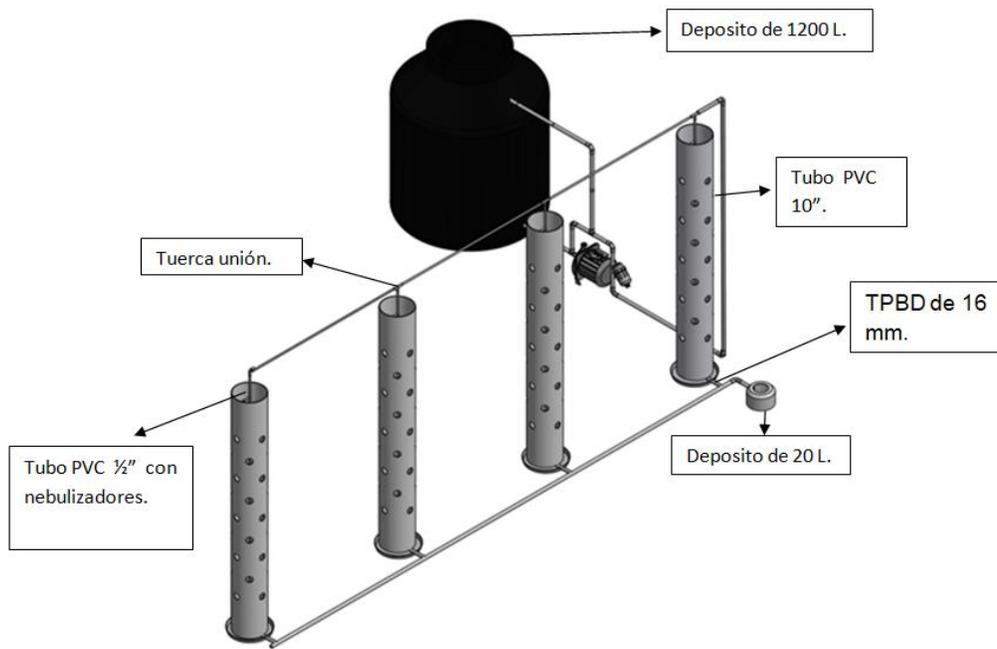
**Figura 14 Medidor de sólidos solubles totales.**

## 5.12 Desarrollo del experimento:

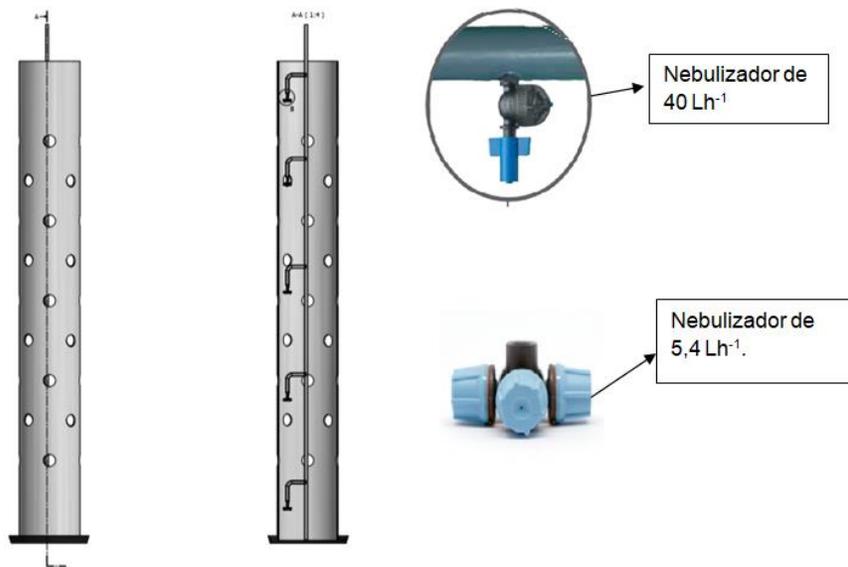
El ensayo constó de tres sistemas hidropónicos: 1) Aeroponía , 2) Nutrient Film Technique (NFT) y 3) Riego por goteo en macetas utilizando como sustrato Tezontle.

### 1) AEROPONÍA

Para el sistema de Aeroponía vertical, se instalaron cuatro tubos de PVC de 10" de diámetro con dos metros de altura, con una separación de 1.30 m entre cada tubo. En el centro de cada tubo se instaló un tubo PVC de ½" (Figura 15 ), donde se colocaron cinco nebulizadores el primero con un gasto de 40 Lh<sup>-1</sup> y los restantes cuatro con un gasto de 5,4 Lh<sup>-1</sup> estos funcionando a 3 Bars de presión (Figura 16). Entre cada nebulizador se dejó una separación de 40 cm. Para facilitar la limpieza de los nebulizadores (mantenimiento de las boquillas) en caso de taponamiento se le colocó una tuerca unión en la parte superior de cada tubo, para permitir su des ensamblaje. En la parte de debajo de cada unidad de tubo aeropónico vertical, se le colocaron iníciales con goma de 16 mm conectadas a TPBD de 16 mm de diámetro con 24 cm de largo, las cuales a su vez fueron conectadas a un tubo PVC de 1" con lo cual se drenaba el agua sobrante y se iba a un depósito (bote de 20 L). La solución nutritiva se preparó en un tanque de 1200 L.



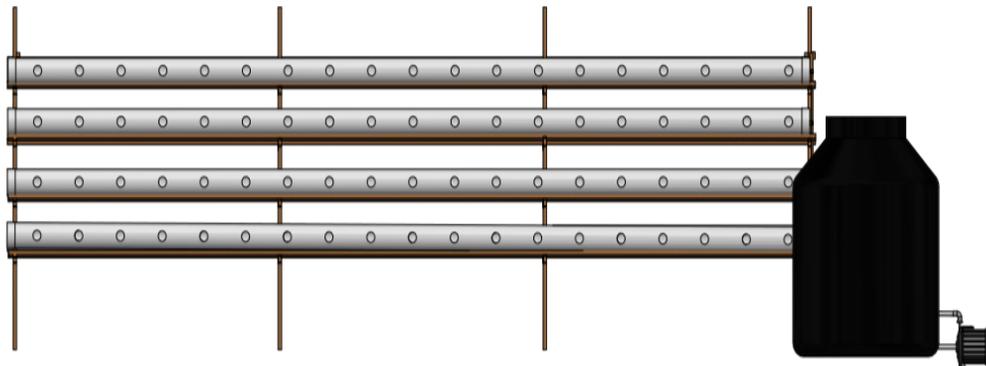
**Figura 15 Diseño del sistema Aeropónico vertical.**



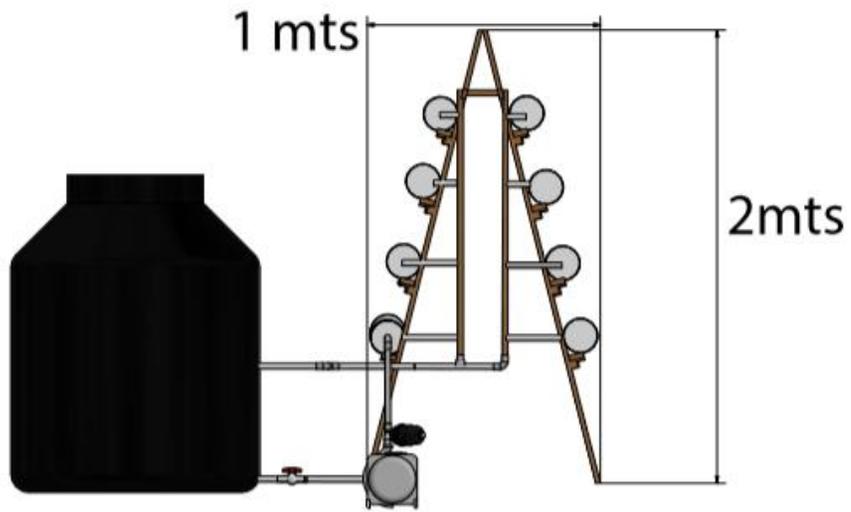
**Figura 16 Nebulizadores**

## 2) System Nutrient Film Technique (NFT)

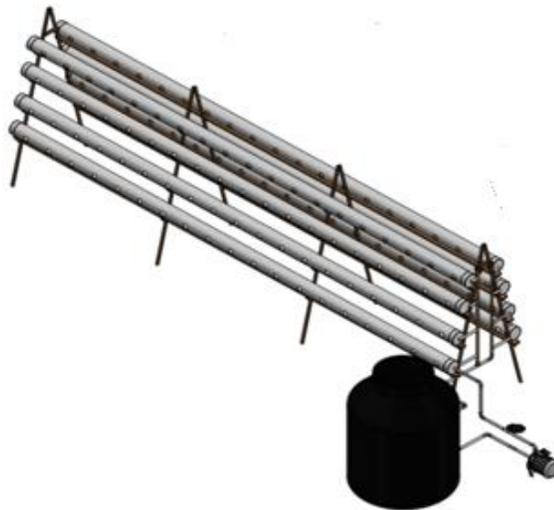
Para el establecimiento del sistema cerrado NFT se usaron ocho tubos de PVC (Graves y Hurd, 1983) sanitario de 4" de diámetro y 6 m de longitud, a los cuales se les hicieron perforaciones de 3.5 cm de diámetro, a cada 30 cm, (Figura 17). Para el abastecimiento y drenaje de todos los tubos, se utilizó PVC Hidráulico de una pulgada que fueron unidos por codos y Tes de la misma medida. El agua fue distribuida y regulada en cada uno de los tubos mediante inundadores con un gasto de 1.9 L/h, esto con la finalidad de que el agua fuera distribuida homogéneamente en cada uno de ellos y mantener una lámina de agua de 4 mm (Figura 20). La solución nutritiva se preparó en un tanque de 450 L y se requirió de una bomba para recircular la solución nutritiva. Las plantas se colocaron con esponja en cada una de las perforaciones del canal de PVC. Los canales del sistema NFT estuvieron sostenidos por bases de madera, en forma piramidal. (Figura 19) con una altura de 2 m y una separación en la base 1 m. Cada tubo tuvo una pendiente de 1%, para facilitar que la solución circulara (Figura 18).



**Figura 17 Distribución de los tubos PVC de 4".**



**Figura 18** Conexión del tanque a la estructura.



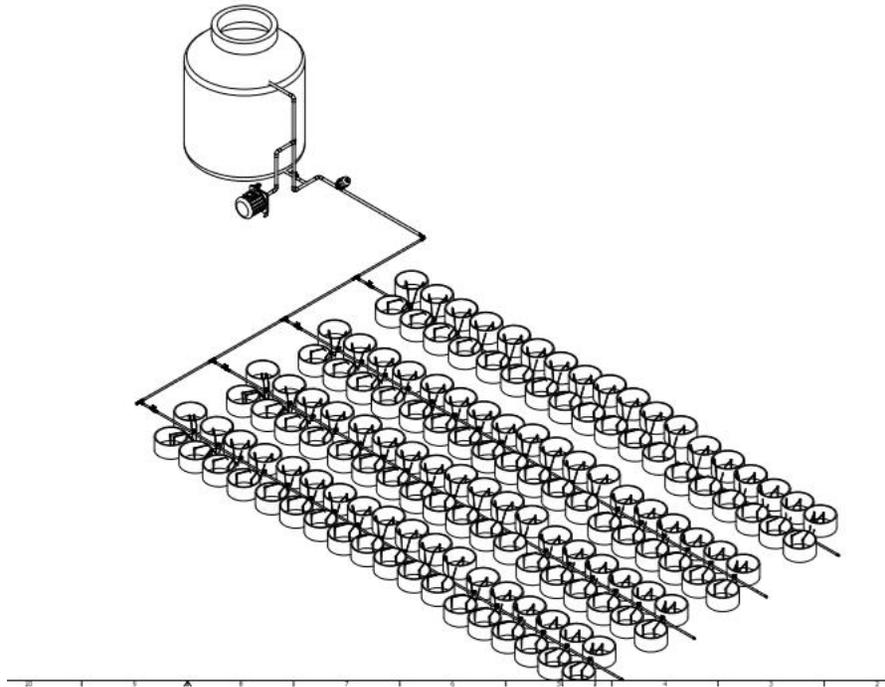
**Figura 19** Estructura piramidal.



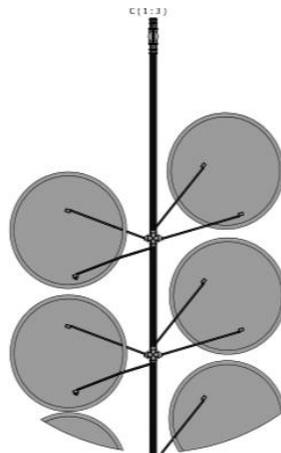
**Figura 20 Conexión a cada uno de los tubos e inundador.**

### **3) RG en Tezontle**

Para el establecimiento del sistema abierto con riego por goteo en tezontle se dispuso de 152 bolsas de plástico de 20 x 20 cm, las cuales sirvieron como recipientes y se llenaron con 4 kg de tezontle rojo previamente desinfectado, con partículas desde 0.5 hasta 1 cm. Se colocaron cuatro líneas, cada una con 38 macetas (Figura 21). Se montó un sistema de riego por goteo, con manguera de polietileno de baja densidad (TPBD) de 16 mm de diámetro, tubín y tubería de PVC hidráulico de 25 mm y llaves de paso del mismo diámetro en cada línea. Se usaron goteros con un gasto nominal de  $8 \text{ Lh}^{-1}$ , con distribuidores de cuatro salidas, dos para cada contenedor (Figura 22). Las plantas se trasplantaron en los recipientes y se les suministró solución nutritiva. La solución nutritiva se preparó en un tanque de 800 L y los riegos se programaron por medio de un programador Hunter, aplicándose cinco riegos al día de un minuto cada uno.



**Figura 21 Distribución de líneas y contenedores.**



**Figura 22 Distribución de tubines en cada contenedor.**

### **5.13 Prácticas culturales del cultivo en invernadero**

En el tratamiento de riego por goteo en Tezontle se hicieron lavados en las líneas cada quince días para evitar taponamiento de goteros, aplicando al agua ácido sulfúrico  $H_2SO_4$  1 N hasta bajar el pH a 4. Para NFT se renovaba solución nutritiva cada 20 días, mientras que en riego por goteo y Aeroponía esta se preparaba cuando se terminaba completamente.

A la solución nutritiva de los tratamientos se le monitoreaba el pH para que no sobrepasara de 5.0 y la conductividad eléctrica para que oscilara de 1.5 a 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.

#### **5.14 Control de plagas y enfermedades**

Durante el experimento se tuvieron que hacer aplicaciones de sulfato de cobre como fungicida para prevenir de enfermedades fúngicas, principalmente *Botrytis cinérea*. Además, se realizaron aplicaciones periódicas de jabón potásico, con la finalidad de eliminar la presencia de pulgón que se manifestó a los dos meses de establecido el cultivo.

A las dos semanas de establecido el cultivo, hubo manifestación de araña roja, las plantas afectadas fueron sacadas para evitar la diseminación de esta plaga y se remplazaron con plantas sanas.

#### **5.15 Cosecha**

Se muestrearon 8 plantas por tratamiento, se cosecharon los frutos para ser pesados, además se contabilizó el número de frutos por planta, su diámetro polar y ecuatorial, peso y su cantidad de sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix). Estas cosechas se hicieron a los 119 DDS tres veces por semana. Dado que solo en los sistemas NFT y RG, se obtuvo producción de frutos no se hizo un análisis

estadístico, debido a que los tres sistemas no pueden ser comparables. Solo se tomó en cuenta la clasificación de éstos bajo la Norma Mexicana NMX-FF-062-2002 FRUTA FRESCA. FRESA (FRAGARIA VESCA), en cuanto a tamaño y evaluación de daños.

A demás a los frutos que se recolectaron se le evaluó su vida de anaquel contabilizándolos días que duraron en buen estado y posteriormente fueron incorporados a la composta.

## **5.16 Control de los riegos**

### **1) Aeroponía**

En un principio se comenzó a regar 20 segundos cada 20 minutos, en donde solo se contaba con los nebulizadores de 5,4 l/h, los cuales no regaban de manera uniforme y se tuvo que adicionar otro nebulizador con un caudal de 40 l/h. Cuando se adicionó este nebulizador el riego fue excesivo y debido a ello los riegos se cambiaron a 20 segundos cada 2 horas, para no tener un exceso de humedad en las plantas.

### **2) NFT**

En este sistema la bomba era accionada cada hora 10 minutos, para que la solución nutritiva fuera recirculada y con ello mantener la oxigenación en las raíces dada por el movimiento del agua.

### **3) Riego por goteo**

Se aplicaron inicialmente cuatro riegos de un minuto al día y posteriormente a los 110 DDS se aumentó a 6 riegos de 1 minuto, con ayuda de un programador Hunter.

### 5.17 Cálculo de Uso eficiente de agua

Se enfocó el empleo de agua por un componente productivo, se recurrió a sustituir la biomasa por el rendimiento en kg de producto por metro cubico de agua utilizada.

Por ello para el cálculo de Productividad o uso eficiente de agua, se utilizó la siguiente fórmula, donde por cada sistema de riego y variedad se estimó la producción total y por planta, además de la cantidad de agua utilizada hasta la finalización del experimento.

$$Ef \text{ Agua} = \frac{\text{Producción (kg)}}{\text{Agua utilizada (m}^3\text{)}}$$

### 5.18 Rentabilidad en los sistemas de producción.

Se realizó un análisis financiero para determinar cuál sistema fue más rentable obteniendo Beneficio costo, VAN, TIR y la rentabilidad de cada sistema .Para los cálculos se emplearon las siguientes formulas:

- Beneficio costo (B/C)

$$B/C = VAI / VAC$$

En donde:

**B/C:** relación costo-beneficio.

**VAI:** valor actual de los ingresos totales netos o beneficios netos.

**VAC:** valor actual de los costos de inversión o costos totales.

Cuando VAI es mayor a VAC la relación B/C será mayor a 1 ( $B/C > 1$ ), lo que estaría indicando que el proyecto es socialmente rentable. Si VAC es igual a VAC, entonces B/C será igual a 1 ( $B/C=1$ ), los beneficios que estaría generando el proyecto será similar a los costos, por lo que sería intrascendente su implementación. Mientras que una relación B/C menor a 1 ( $B/C < 1$ ) implica que el VAC es mayor a VAI, el proyecto no es rentable y no es conveniente su ejecución.

- VAN (Valor actual neto)

El VAN se define como la suma de los beneficios netos futuros de un proyecto actualizado a un año común, considerando una tasa de descuento. Nos indica la diferencia entre el valor presente de los beneficios y el valor presente de los costos de un proyecto de inversión. La expresión para calcular el VAN es:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + i)^t}$$

Donde:

$$F_t = B_t - C_t$$

$F_t$  = Flujo neto al final del periodo t

$B_t$  = Beneficios o ingresos al final del periodo t

$C_t$  = Costos o gastos al final del periodo t

$I_0$  = Inversión inicial

r = tasa de descuento

n = número de periodos

- TIR (La tasa interna de retorno o rendimiento)

La Tasa interna de retorno, es la tasa máxima que soportaría un proyecto para ser rentable y corresponde a la tasa de descuento (i) que hace el VAN de un proyecto sea igual a cero. Si la tasa de descuento (i) es mayor a la TIR, el proyecto no debe ser realizado. Mientras que una tasa de descuento menor a la TIR indica una rentabilidad positiva de un proyecto y se recomienda su implementación.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FN_t}{(1 + TIR)^t} = -I_0 + \frac{FN_1}{(1 + TIR)} + \frac{FN_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{FN_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

- Rentabilidad

$$\text{Rentabilidad} = (\text{Ganancia} / \text{Inversión}) \times 100$$

## VI. RESULTADOS

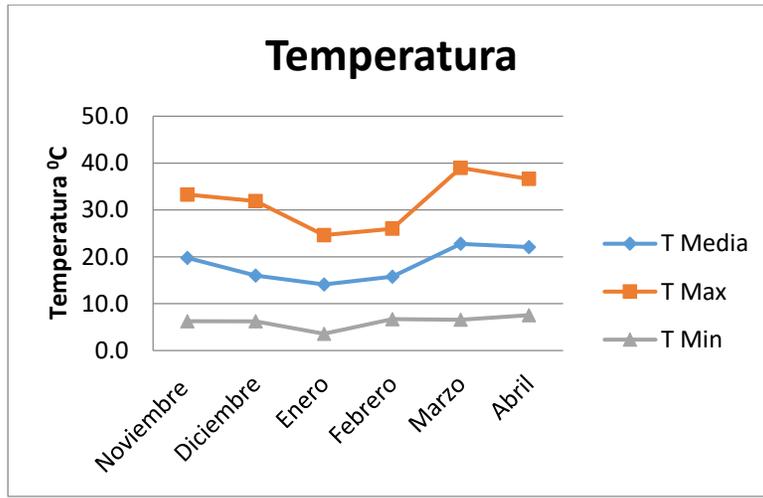
### 6.1 Variables climatológicas

La temperatura máxima que se registró durante el periodo del cultivo fue de 37 °C y la mínima de 2.5 °C. La siguiente gráfica nos da a conocer las temperaturas promedio mensual Máxima en un rango de 26° a 33° C , Mínima 6° a 8° C y la temperatura media de 14° a 23 ° C , siendo Enero y Febrero , los meses con temperaturas más bajas.

Maroto y López, (1988) mencionan que la temperatura óptima para el cultivo de la fresa debe estar en un rango 10° a 28° C, debido a que si esta es mayor a 28 °C pueden estresar las plantas y reducir la floración, o causar flacidez y baja calidad de los frutos.

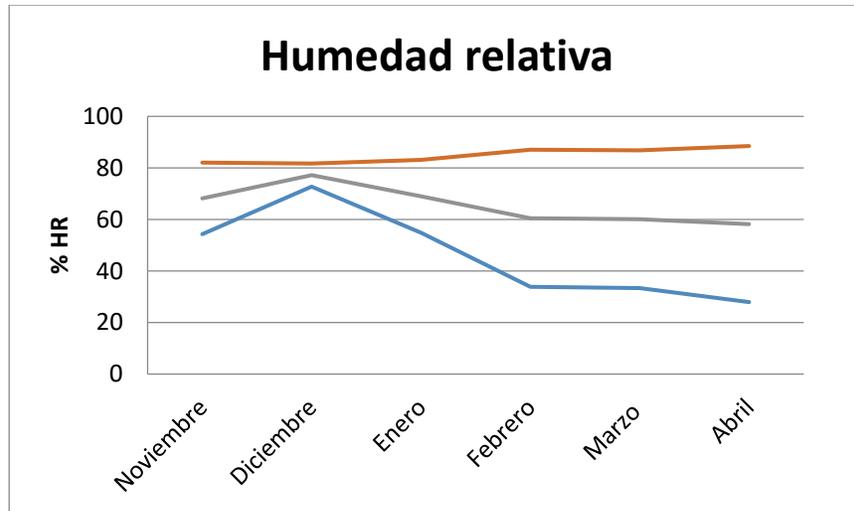
Por otra parte, ICAMEX (2006), indica que la fresa es un cultivo que se adapta muy bien a muchos tipos de climas. Es capaz de sobrevivir a temperaturas estivales de 55 °C, los valores óptimos para

una fructificación adecuada se sitúan en torno a los 15-20 ° C media anual, temperaturas por debajo de 12 ° C durante el cuajado dan lugar a frutos deformados por frío, en tanto que un tiempo muy caluroso puede originar una maduración y coloración del fruto muy rápida, lo cual le impide adquirir un tamaño adecuado para su comercialización.



**Figura 23 Gráfica de temperaturas registradas dentro del invernadero.**

En cuanto a la humedad relativa media esta fue menor en el mes de marzo y abril, debido a que estos fueron los meses con mayor temperatura y existe una relación inversamente proporcional entre la HR y la temperatura, lo cual indica que cuando la temperatura aumenta disminuye la HR y viceversa.



**Figura 24 Humedad relativa registradas dentro del invernadero.**

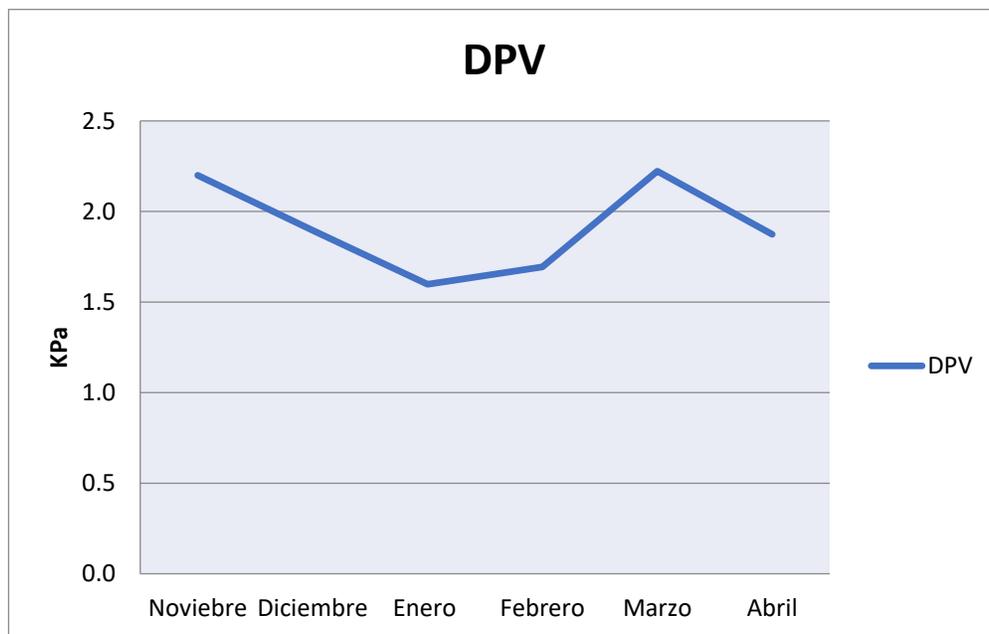
## **6.2 Déficit de presión de vapor (DPV) y su influencia en el desarrollo de la planta.**

El Déficit de Presión del Vapor (DPV) es una manera útil de medir el clima de un invernadero. El DPV puede utilizarse para evaluar la amenaza de enfermedades, el potencial de condensación y las necesidades de un cultivo bajo invernadero. Puede ser utilizado para identificar las condiciones de humedad en el aire óptimas para el crecimiento adecuado de la planta, mientras se toman en cuenta niveles diferentes de temperatura (Escamirosa *et al*, 2014).

El déficit de presión de vapor máximo en el invernadero fue inestable al inicio del ciclo, alcanzando valores máximos de hasta 2,2 kPa en Noviembre, descendió a valores de 1,6 kPa de Diciembre a Febrero y aumentó nuevamente en los meses de Marzo y Abril con 2,2 KPa (Figura 25). Hoffman, (1979) menciona que un incremento en DPV desde 1.0 a 1,8 kPa causa reducciones en el crecimiento de varios cultivos. Por otra parte Bakker, (1990) menciona que las plantas pueden crecer bien a un DPV entre 0.5 y 0.8 KPa.

Los valores de DPV en torno a 0,2 kPa pueden causar desórdenes fisiológicos relacionados con una restricción de la transpiración y el transporte de calcio en cultivos hortícolas (Bakker, 1984; Adams, 1991).

Entre otros factores influye en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, por ejemplo, el DPV interviene en la polinización. En el cultivo de tomate, valores inferiores a 0,2 kPa, el polen no es capaz de desprenderse de las anteras de las flores, y cuando éste es superior a 1 kPa, no logra adherirse al estigma de la flor (Van Koot y Van Ravestun (1963), citados por Grange y Hand, 1987).



**Figura 25 Grafica de Déficit de presión de vapor, dentro del invernadero.**

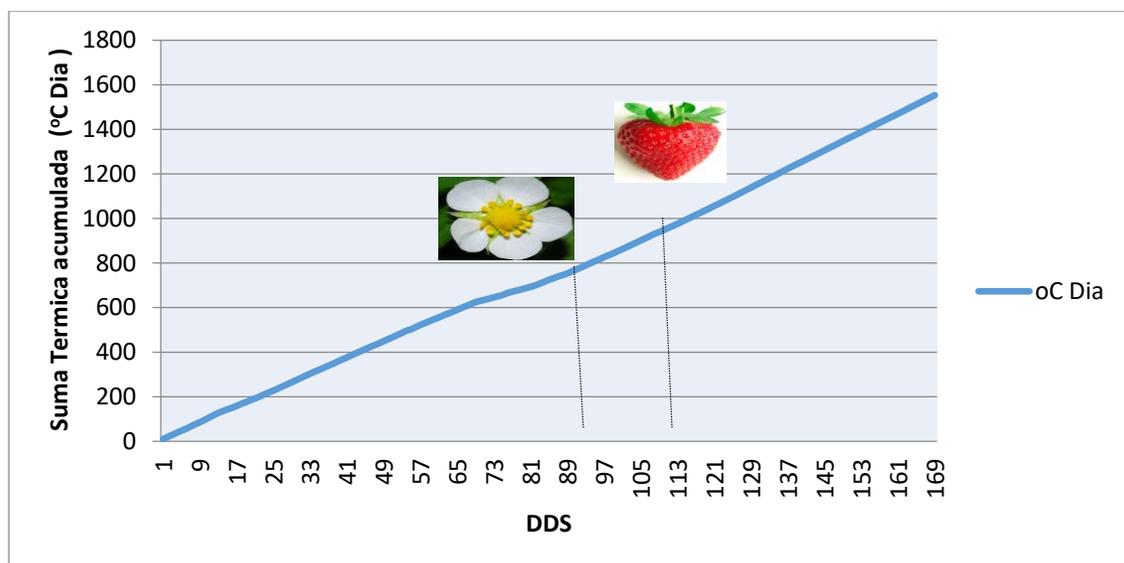
### 6.3 GDD (Grados día de desarrollo)

Una evaluación de los posibles impactos ambientales en el cultivo, causados por el cambio climático, debe tener en cuenta la interacción entre los factores bióticos y abióticos (ZHANG et al., 2017).

Con los años, el crecimiento de la fresa ha mostrado cambios en su fenología (COSTA et al., 2016), que implican principalmente el comienzo de la floración y la fructificación, por lo que estos procesos están directamente relacionados con el tiempo de trasplante de las plántulas y su suma térmica acumulada.

Acosta 2017, menciona que se obtuvo fructificación cuando la planta ha acumulado entre 800 y 900 GDD, por otra parte Le Mi`ere y col. (19989), informaron que las plantas de fresa requirieron una acumulación de 891 GDD desde el inicio del forzado en invernadero hasta la primera recolección, mientras que las plantas almacenadas en frío necesitaron 831 GDD. Døving y M°age (2001), determinaron 782 GDD hasta el inicio de la cosecha.

En este experimento se acumularon 948 GDD, a los 110 DDS cuando ha iniciado la primera cosecha, lo cual no está desfasado de los datos en las referencias anteriores Figura, 26.



**Figura 26 Suma térmica acumulada (GDD), entre la siembra y el inicio de periodos de cosecha.**

#### **6.4 Caracterización del sustrato.**

En el Cuadro 7 se muestran los valores obtenidos de la caracterización física de los sustratos, para la capacidad de aireación se encontró un porcentaje de 37.7, Abad y colaboradores (2004) mencionan que los niveles de capacidad de aireación debe de estar entre el 20 y el 30% del volumen del sustrato. Esto con la finalidad de no presentar riesgos por asfixia radical y posible muerte de la planta.

El agua fácilmente disponible (AFD) debe estar en un rango de 20 a 30 %, cuando es menor al 15%, los riegos deben ser con más frecuencia. En el caso del tezontle utilizado en el experimento este es menor (13%) debido a que los poros son grandes y por ello el agua se drena con mayor rapidez (Bunt, 1988).

Para agua de reserva (AR) los niveles óptimos del volumen del contenido de agua están entre 4 y 9 % Abad y colaboradores (2004), en el tezontle los valores son menores al 2 %, pero en análisis

hechos por Vargas, 2008 en tezontle proveniente del estado de Guanajuato los valores alcanzan el 4%.

El agua difícilmente de disponible (ADD), no debe de ser inferior al 10% porque habría un riesgo de déficit hídrico si no se riega a tiempo, en el sustrato utilizado el ADD fue de 7.2%.

**Cuadro 7 Caracterización física del tezontle.**

<b>Sustrato</b>	<b>Tezontle</b>
<b>Da (gcm<sup>-3</sup>)</b>	0.8
<b>Porosidad total (%)</b>	58.37
<b>Agua fácilmente disponible (%)</b>	13
<b>Agua difícilmente disponible</b>	7.2
<b>Agua de reserva</b>	4
<b>Capacidad de aireación</b>	37.7

## **6.5 Desarrollo de la planta.**

La productividad de un cultivo, en términos biológicos, comienza a definirse desde el inicio del ciclo de producción comercial, y es afectada por una multiplicidad de factores, algunos de ellos propios del genotipo, otros del ambiente, y otros de las condiciones de manejo (Poorter y Lambers, 1991; Anten y Poorter, 2009; Poorter et al., 2014; Körner, 2015). Estos factores ejercen sus efectos a través de cambios en la diferenciación y expansión de órganos, en la captación de recursos por parte de ellos, y también en la distribución (“partición”) de esos recursos entre los distintos órganos de la planta. Como resultado de estos efectos se producen modificaciones en la acumulación de biomasa entre las distintas partes de esta.

Dentro de las condiciones de manejo, se encuentran: Nutrición, pH, CE, manejo de plagas, enfermedades y riego.

a) Diámetro de corona

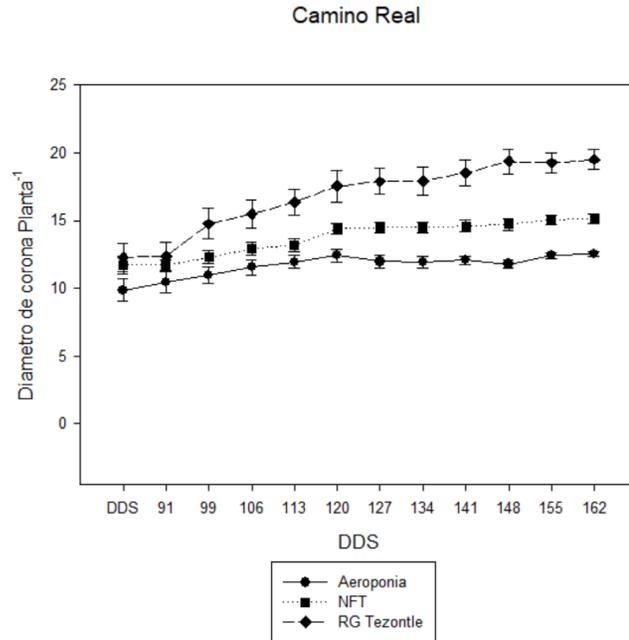
El diámetro de corona se midió cada semana, el Cuadro 1 muestra la comparación de medias por tratamiento de los 91 a 169 DDS. El análisis de varianza y la comparación de medias de la corona indican que existen diferencias significativas entre tratamientos, teniendo mejor desarrollo de corona el tratamiento de riego por goteo,

Siendo este menor al observado en RG, el sistema de Aeroponía tuvo una drástica caída a los 120 DDS atribuible a fallas en el sistema de riego donde las dos variedades tuvieron un comportamiento similar Figuras 27 y 28.

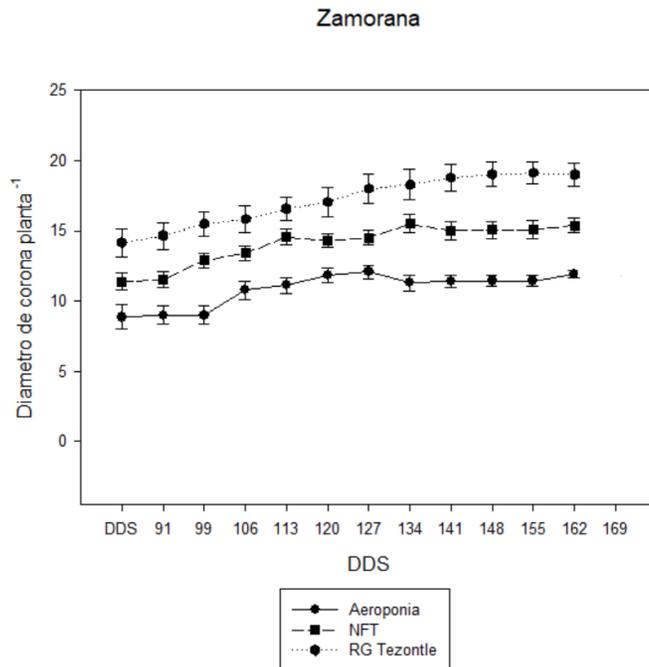
En este sistema de Aeroponía las esponjas que se les colocaron a las plantas para sostenerlas en el tubo, guardaron humedad y como menciona Merchán-Gaitán et al., (2014) la alta humedad trae consigo un aumento en la incidencia de enfermedades. En este caso fue moho gris causado por *Botrytis cinerea* Pers. La cual es una de las enfermedades más destructivas durante el desarrollo del cultivo y se da en condiciones de alta humedad (Mario Alejandro, 2013).

**Cuadro 8 Comparación de medias para la variable de Diámetro de corona.**

Tratamiento	DDS											
	91	99	106	113	120	127	134	141	148	155	162	169
RG	14.3 A	14.66 A	16.12 A	16.64 A	17.35 A	18.36 A	18.87 A	19.13 A	19.70 A	20.02 A	19.90 A	20.00 A
NFT	12.08 B	12.01 B	13.04 B	13.60 B	14.36 B	14.68 B	14.83 B	15.08 B	15.59 B	15.19 B	15.30 B	15.43 B
Aeroponia	10.18 C	10.34 C	11.44 C	11.85 C	12.33 C	12.66 C	12.16 C	12.04 C	12.15 C	12.08 C	12.18 C	12.19 C
Pr>f	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Media	12.2616	12.2760	13.3990	13.8299	14.4781	14.8280	15.3125	15.2620	16.2430	15.8689	15.9442	15.8822
R2	0.5510	0.5393	0.6981	0.8063	0.7267	0.7845	0.8189	0.7592	0.5803	0.8155	0.8011	0.8270



**Figura 27 Fig.1. Desarrollo de Diámetro de corona en plantas de los tres sistemas de producción de fresa variedad Camino Real.**



**Figura 28 Desarrollo de Diámetro de corona en plantas de los tres sistemas de producción de fresa variedad Zamorana.**

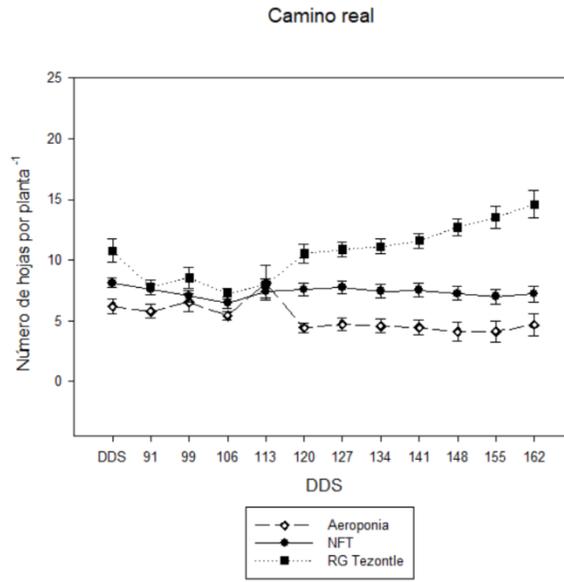
## b) Hojas

Con la variable número de hojas se determinó el crecimiento vegetal por semana se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,01$ ) entre los sistemas hidropónicos. Se realizó una prueba de medias de Tukey donde se observa que a medida que el tiempo transcurrió, aumentó el número de hojas, alcanzando un promedio de 13 hojas por planta<sup>-1</sup> a los 148 DDS, en plantas que crecieron en Riego por goteo, seguido por NFT con un promedio de siete hojas por planta<sup>-1</sup> y en el sistema Aeropónico las plantas solo conservaban de cuatro o cinco hojas por planta<sup>-1</sup> (Cuadro 9).

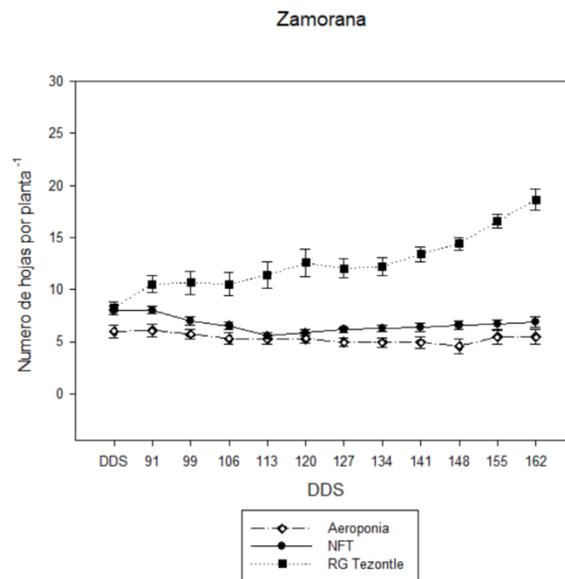
**Cuadro 9 Comparación de medias para la variable de Diámetro de corona.**

DDS													
Tratamiento	91	99	106	113	120	127	134	141	148	155	162	169	
RG	10 A	10 A	10 A	9 A	10 A	12 A	12 A	12 A	13 A	14 A	15 A	17 A	
NFT	8 B	8 B	7 B	7 B	7 B	7 B	7 B	7 B	7 B	7 B	7 B	7 B	
Aeroponia	6 C	6 C	6 C	5 C	4 C	5 C	5 C	4 C	4 C	4 C	4 C	4 C	
Pr>f	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	
Media	8	8	8	7	7	8	8	8	8	8	9	10	
R2	0.2680	0.2141	0.1941	0.2131	0.339771	0.4398	0.5067	0.555729	0.6763	0.7513	0.7444	0.7051	

En cuanto a variedades se encontró un comportamiento similar en producción de hojas, dado que a los 120 DDS se encuentra una drástica caída en cuanto el número de las mismas en los sistemas NFT y aeroponía, en cuanto a riego por goteo fueron incrementando conforme transcurría el tiempo de desarrollo (Figuras 29 y 30).



**Figura 29 Producción de hojas, para la variedad camino real.**



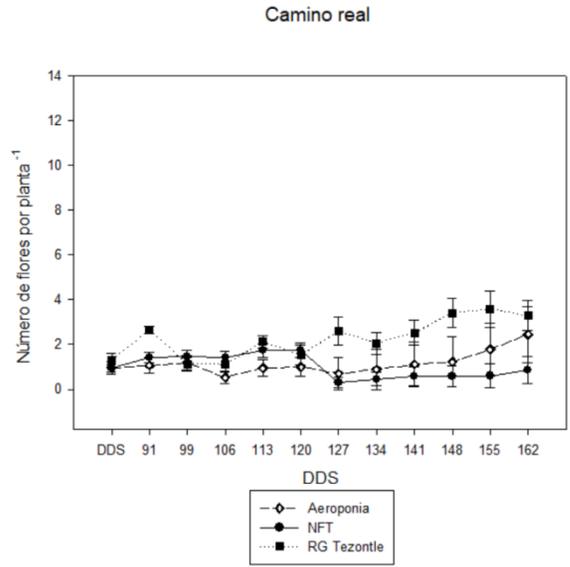
**Figura 30 Producción de hojas, para la variedad zamorana.**

### c) Flores

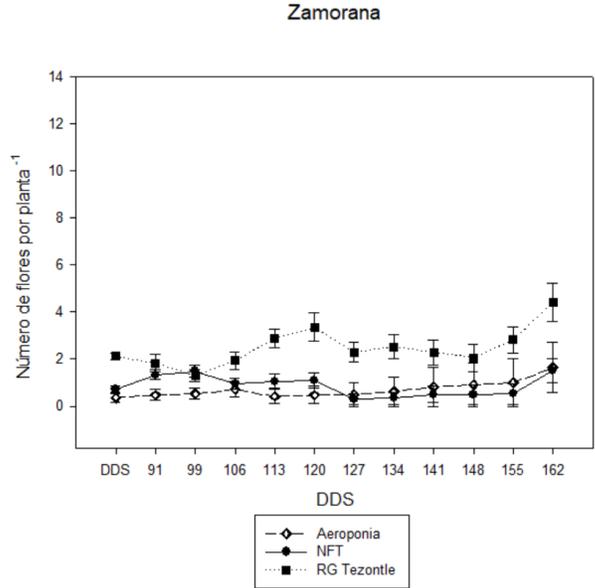
El valor más alto (ocho flores planta<sup>-1</sup>) desde los 127 DDS (floración y fructificación) se registró para RG, mientras que NFT y Aeroponía tuvieron valores promedio de una o dos flores por planta desde inicio de floración hasta la fructificación, Juárez-Rosete (2007) menciona que el fotoperiodo, la temperatura y otros factores como la nutrición mineral y el suministro de agua también puede influir en el proceso de floración.

Por otra parte, en el sistema aeropónico las flores presentaron pudrición por *Botrytis cinera*. Como menciona Nuñez Ríos (2013). La *Botrytis Cinera* comienza sobre flores senescentes y avanza como una pudrición suave que se dispersa y afecta el desarrollo de frutos adyacentes, provocando marchitez y muerte tanto en la flor como en el fruto inmaduro ya formado.

Las figuras 31 y 32 muestran que las variedades Camino real y CP zamorana, tuvieron un comportamiento similar, a los 127 DDS se tuvo un aumento en cantidad de flores por planta en el sistema de riego por goteo, en NFT y Aeroponía se mantenían constantes en la producción de las mismas.



**Figura 31 Producción de Flores en tres sistemas de producción de fresa variedad Camino Real en invernadero.**

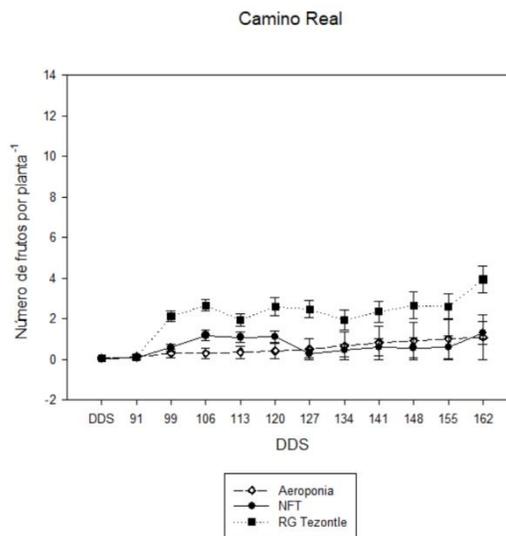


**Figura 32 Producción de Flores en tres sistemas de producción de fresa variedad Zamorana.**

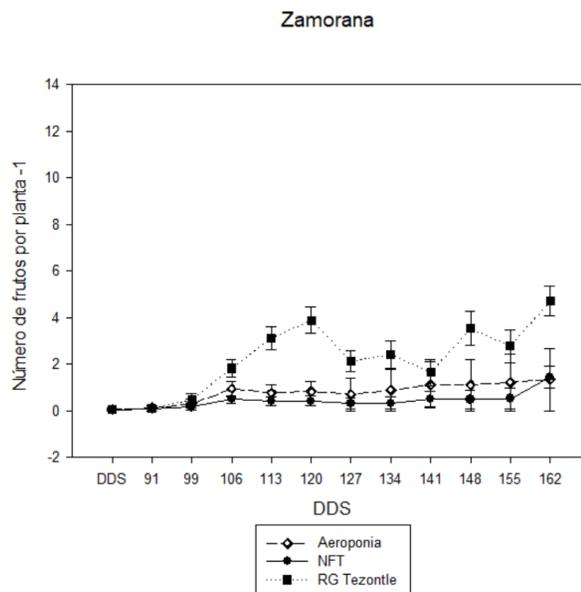
#### d) Frutos

Se encontró que en Aeroponía y NFT hubo frutos formados a los 106 DDS, mientras que en Riego por goteo no fue sino hasta los 113 DDS. En NFT fructificó un 60 % de las flores formadas, mientras que RG, tuvo la mayor producción de frutos (Figuras 33 y 34). Según Dry et al., (2001), mediante la regulación del riego se logra un balance entre el crecimiento vegetativo y reproductivo.

En diámetro de corona el sistema que obtuvo mejor desarrollo, fue riego por goteo, debido a que en el sistema Aeropónico vertical las esponjas que se colocaron a las plantas para sostenerlas en el tubo, guardaron humedad y como menciona (Merchán-Gaitán et al., 2014) la alta humedad trae consigo un aumento en la incidencia de enfermedades. En este caso fue moho gris causado por *Botrytis cinerea* Pers. La cual es una de las enfermedades más destructivas durante el desarrollo del cultivo y se da en condiciones de alta humedad (Mario Alejandro, 2013).



**Figura 33 Fructificación en los tres sistemas para la variedad Camino Real.**



**Figura 34 Fructificación en los tres sistemas para la variedad Zamorana.**

## 6.6 Producción

El total de rendimiento de las plantas evaluadas mostrado por las variedades en cada uno de los sistemas fueron: en riego por goteo; la variedad Camino real 3425.2 g y CP Zamorana 3058.1 g; En NFT la variedad camino real produjo 511.1g y CP Zamorana 314.5g figuras 35 y 36; En aeroponía solo se obtuvieron 40 g en la variedad camino real y 15 g en CP zamorana, siendo estos resultados el total de producción en las 16 plantas muestreadas por variedad en cada sistema. En la comparación de medias se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos, siendo mejor riego por goteo, (Cuadro10).

En cuanto el rendimiento por planta se encontró en un promedio de 250 g planta-1, para el tratamiento riego por goteo, siendo menor a los documentados por Palencia et al., (2016) y Martínez et al., (2017), que registraron 930.7 g planta-1 y 375.25 g planta-1 respectivamente en cultivo con fibra de coco; sin embargo fueron mayores a los registrados en suelos 187.30 g planta-1.

Por otra parte, fue menor a lo reportado por Menzel y Smith (2014) a cielo abierto durante 4 meses y medio de producción, alcanzando de 650 a 960 g planta-1 con la variedad Festival en Australia. A diferencia 51 de Karimi et al. (2013) que alcanzó un rendimiento de 281.8 g planta-1 comparando tres sistemas de producción mayor a lo registrado en esta investigación. Cabe destacar que los meses en que se realizó la cosecha solo fueron dos, es decir fue menor por qué no se cosecho todo lo que pudo dar la planta.

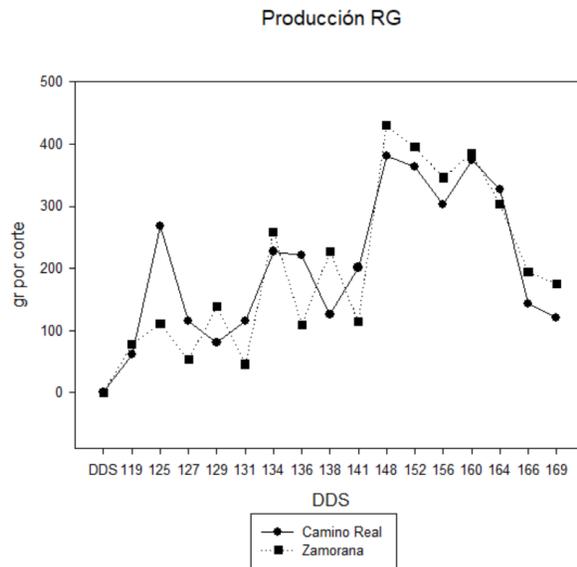
Para el sistema NFT se obtuvo un promedio de 13 g planta-1 a lo que Juárez-Rosete et al., (2007) obtuvo 21 g, planta-1 en sistema de técnica de película nutritiva (NFT).

**Cuadro 10 Producción del cultivo de fresa por tratamiento y variedad en (g).**

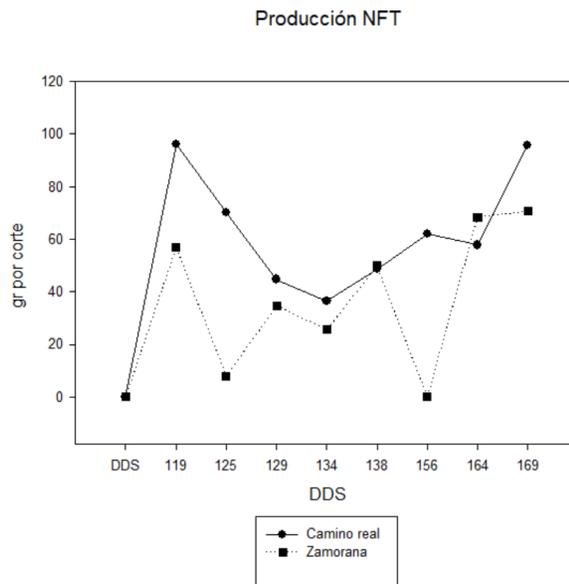
	Producción (g)
Sistema	*
ARV	27.5 a
NFT	412.8 a
RG	3241.7 b
Variedad x Tratamiento	Ns
Variedad	Ns
V1ca	1325.43 a
V2zm	1129.2 a
Pr > F	0.0035
Media	1227.317
R2	0.99

ns, \*, \*\*, no significativo y significativo a  $\alpha$  0.05 y 0.01, respectivamente.

ARV= Aeroponía vertical ; NFT = técnica de película nutritiva; RG = riego por goteo



**Figura 35 Gramos producidos en cada corte en las dos variedades para el sistema Riego por goteo.**



**Figura 36 Gramos producidos en cada corte en las dos variedades para el sistema NFT.**

## 6.7 Calidad de fruto

Se realizó una clasificación de frutos con base a la Norma NMX-FF-062-2002 El 91 % de los frutos producidos en riego por goteo, clasificaron en la categoría A y B es decir en México extra con un diámetro ecuatorial mayor a 0.32 cm y México 0.26 a 0.31 cm con grados Brix entre 8 y 9. En el sistema NFT, el 86 % se clasificaron en la categoría B y C, México 1 con 0.26 a 0.31 cm y México 2 con 0.20 cm, con grados Brix entre 8 y 9 (Cuadro 11). Los intervalos de sólidos solubles los frutos cosechados en este experimento se encontraron dentro del intervalo de las recomendaciones de calidad postcosecha 7 °Brix como mínimo y 12 °Brix como máximo (Roudeillac y Trajkovski ,2004).

Probablemente el alto contenido de grados Brix en el sistema Aeroponico se debe a que en esta sistema se estuvo más expuesto a estrés hídrico y como menciona Álvarez-Herrera et al. (2011) La aplicación de una mayor cantidad de agua disminuye la cantidad de °Brix, debido a que la concentración de los azúcares se ve diluida por el mayor contenido de agua que presentan los frutos, por otra parte Urrestarazu, (2004) menciona que la presencia de grados Brix depende de factores como la maduración, el cultivar, la nutrición de la planta y el estrés hídrico.

Los intervalos de los frutos cosechados en este experimento se encontraron dentro del intervalo de las recomendaciones de calidad postcosecha 7 como mínimo y 12 °Brix como máximo, se encuentran dentro del rango considerado adecuado para fresa, ya que valores superiores no afectarían el dulzor durante la maduración (Roudeillac y Trajkovski, 2004; Pérez y Sanz, 2008). Similares valores de SST fueron encontrados por Moccia et al. (2007).

**Cuadro 11 . Clasificación de frutos cosechados en los sistemas de riego por goteo y NFT, con forme a la NMX-FF-062-2002.**

Sistema	Variedad	Calidad de fruto NMX-FF-062-2002				Total	Grados Brix
		A	B	C	D		
Riego por goteo	Camino real	84 (37.6%)	112(50.22%)	27 (12.10%)		223	8.2
	Cp. Zamorana	90(43.90%)	104(50.73%)	11 (5.3%)		205	8.8
NFT	Camino real	1 (1.47%)	21 (30.88%)	35 (51.47%)	11 (16.17%)	68	8.6
	Cp. Zamorana	0	19 (50%)	16 (42.10%)	3 (7.89%)	38	8.3

### 6.8 Volumen de agua consumida por cada sistema.

En el Cuadro 12 se muestra el gasto del agua utilizada a lo largo del experimento. Como se muestra en ella, los sistemas de Riego por goteo y aeroponía fueron los que tuvieron un mayor gasto de agua en riego por goteo fue debido a que en este sistema no se recirculo el agua y por la capacidad de retención de agua que presenta el tezontle se regó en mayor cantidad.

En aeroponía debido a que al principio se tuvieron problemas en la instalación de los nebulizadores y, además, debido al exceso de temperaturas propiciaba una pérdida de solución por evaporación originando un mayor consumo de agua, al tener que ser más constantes los riegos.

Por otra parte, se observa que en el sistema NFT se utilizó menor cantidad de agua. 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. Zaragoza, 2013 tuvo un gasto de agua total en Aeroponía 11900 L, NFT 4900 L y Riego por goteo 5600 L. Solo fue mayor en este caso el consumo de agua en el sistema de riego por goteo con tezontle, debido a que el mencionado autor ha utilizado como sustrato peat moss un sustrato con mayor capacidad de retención de humedad.

**Cuadro 12 Volumen de agua total utilizada por tratamiento.**

<b>Sistema</b>	<b>Gasto de agua total (L)</b>
<b>Riego por goteo</b>	8025.75
<b>NFT</b>	3329.3
<b>Aeroponía</b>	8087.04

## 6.9 Uso eficiente de agua

Conforme a el agua consumida por planta y la producción que se obtuvo por cada uno en los dos sistemas NFT y riego por goteo, se aplicó la fórmula propuesta por Fernández y Camacho, (2005) con la cual se determinó los Kg/ m<sup>3</sup> producidos.

Para el sistema riego por goteo en promedio fueron 3.8 kg/m<sup>3</sup>, similar al reportado por Zaragoza, 2013 quien tuvo una eficiencia de 3.7 kg/m<sup>3</sup> al producir en sustrato Peat moss y en NFT fue mayor obteniendo 1.95 kg/m<sup>3</sup>, mientras en el presente trabajo este sistema solo se obtuvo una eficiencia de 0.21 kg/m<sup>3</sup>. De igual manera se determinó la eficiencia en cada sistema por variedad y repetición (Cuadros 13 y 14).

**Cuadro 13 Kilogramos producidos por m<sup>3</sup> en el sistema de RG, para la variedad camino real y zamorana.**

<b>Variedad</b>	<b>Repetición</b>	<b>gr/planta</b>	<b>kg/planta</b>	<b>m<sup>3</sup> consumidos</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
V1ca	R1	207.5	0.21	0.053	3.9
V1ca	R2	220.5	0.23	0.053	4.2
V2zm	R1	179	0.20	0.053	3.4
V2zm	R2	202.8	0.23	0.053	3.8

**Cuadro 14 Kilogramos producidos por m3 en el sistema de NFT, para la variedad Camino real y Cp. Zamorana.**

<b>Variedad</b>	<b>Repetición</b>	<b>gr/planta</b>	<b>kg/planta</b>	<b>m3 consumidos</b>	<b>Kg/m3</b>
V1ca	R1	13.7	0.014	0.06	0.23
V1ca	R2	16.7	0.019	0.06	0.28
V1ca	R3	15.2	0.016	0.06	0.25
V1ca	R4	18.3	0.020	0.06	0.29
V2zm	R1	9.9	0.011	0.06	0.16
V2zm	R2	10.6	0.011	0.06	0.15
V2zm	R3	9.1	0.010	0.06	0.16
V2zm	R4	9.6	0.010	0.06	0.16

### **6.10 Rentabilidad**

Tomando en cuenta que la producción de fresa tiene una duración de 3 a 4 meses (90 a 120 días) y un rendimiento de 1000 g/planta, se elaboró una estimación de producción en cada sistema dado que en el experimento solo se obtuvo cosecha de 50 días. En el punto 6.6 donde se aborda el tema de producción, nos podemos percatar que el sistema donde se obtuvo mayor cantidad fue riego por goteo, seguido por NFT y más bajo en producción Aeroponía, por ello en el sistema de riego por goteo se estimó que se obtuvieron los 1000 g/planta, en el sistema NFT la mitad del rendimiento y en el sistema aeropónico solo una tercera parte.

Conforme a lo anterior se tomaron en cuenta los costes totales (egresos) de producción y la obtención de ganancia tomando en cuenta un precio 30 pesos/kg (ingresos). Posteriormente se hizo una proyección a 5 años. En el Cuadro 15, se observan los costes de producción tomados en cuenta.

**Cuadro 15 costos de producción por sistema.**

CONCEPTO	COSTOS
<b>sistema Aeroponico</b>	
Mano de obra	800
Nutrición	1,700
construcción del sistema	8,063.89
Planta	1,166.00
Insumos	1,400
Luz y agua	800
<b>Total</b>	<b>13929.89</b>
<b>sistema NFT</b>	
Mano de obra	800
Nutrición	1,300
construcción del sistema	5,898.42
Planta	1,666.00
Insumos	1,400
Luz y agua	800
<b>total</b>	<b>11864.42</b>
<b>sistema Riego por goteo</b>	
Mano de obra	800
Nutrición	2,800
construcción del sistema	3,682.50
Planta	1,166.00
Insumos	1,400
Luz y agua	800
<b>Total</b>	<b>10648.5</b>

Con lo anterior se hizo un cálculo de ingresos y egresos (Cuadros 16,17y 18), para determinar VAN (utilizando una tasa de interés de descuento del 10%), TIR, beneficio costo y rentabilidad de cada uno de los sistemas, para ello Cuadro 19.

**Cuadro 16 Flujo de ingresos y egresos en el sistema riego por goteo.**

Concepto	Años						Total
	0	1	2	3	4	5	
Flujo de ingresos	\$ 5016	\$ 5472	\$ 5928	\$ 6384	\$ 6,840.00	\$ 29640	
Flujo de egresos	\$ 4200	\$ 4620	\$ 5040	\$ 5460	\$ 5880	\$ 25200	

**Cuadro 17 Flujo de ingresos y egresos en el sistema NFT.**

Concepto	Años						Total
	0	1	2	3	4	5	
Flujo de ingresos	\$ 3712	\$ 4050	\$ 4387	\$ 4724	\$ 5061	\$ 21934	
Flujo de egresos	\$ 3300	\$ 3630	\$ 3960	\$ 4290	\$ 4620	\$ 19800	

**Cuadro 18 Flujo de ingresos y egresos en el sistema de Aeroponía.**

Concepto	Años						Total
	0	1	2	3	4	5	
Flujo de ingresos	\$ 1749	\$ 1908	\$ 2067	\$ 2226	\$ 2385	\$ 10335	
Flujo de egresos	\$ 3700	\$ 4170	\$ 4640	\$ 5110	\$ 5580	\$ 23200	

El Cuadro 19 que se refiere al análisis económico, nos indica que el mejor sistema es el de Riego por goteo al tener un beneficio costo de 1.20 es decir que por cada peso que se invierta se obtendrá una ganancia 0.20 pesos. Seguido de este se encuentra el sistema NFT con 1.11 de igual manera en este caso se obtendrá una ganancia de 0.11 pesos. Si se presentase un BC menor a uno el sistema no sería rentable.

Siendo Aeroponía un sistema no viable debido a que su beneficio costo fue de 0.8 para el primero, por otra parte su VAN fue negativo y como menciona ABRIL Tanya (2007) si el VAN es positivo o igual a cero, el proyecto es factible y si es negativo no es viable.

En cuanto a rentabilidad también fue mayor en riego por goteo un 41% es decir que por cada peso invertido se obtiene un 0.41 más.

**Cuadro 19 Resumen de la evaluación financiera en tres sistema de producción del cultivo de fresa.**

Tratamiento	Rentabilidad	B/C	VAN	TIR
<b>Aeroponía</b>	8%	0.7	-\$ 4400.04	7%
<b>NFT</b>	24%	1.11	\$ 10251.70	11%
<b>Riego por goteo</b>	41%	1.20	\$ 13988.31	20%

**VII. CONCLUSIONES**

1. El cultivo de fresa tuvo un mayor desarrollo en el tratamiento de riego por goteo en sustrato tezontle, seguido por NFT, siendo menos eficiente el sistema Aeropónico. Cabe mencionar que para el tratamiento de Aeroponía, se tuvieron dificultades para la instalación lo que repercutió para el desarrollo de las plantas.

2. En cuanto a producción en el sistema de riego por goteo se obtuvo mayor producción, en NFT solo obtuvo el 15 % de producción en comparación al sistema ya mencionado.
3. De igual manera en el sistema de riego por goteo se obtuvieron frutos con mejor calidad situándose en la categoría A y B, es decir México extra.
4. El sistema riego por goteo en sustrato, fue el sistema que tuvo mayor eficiencia en el uso de agua al producir hasta 3 kg/ m<sup>3</sup>..El sistema NFT fue el sistema que menos agua consumió, pero a su vez el que tuvo menor producción en comparación con Riego por goteo.
5. El sistema más rentable fue Riego por goteo al obtener una VAN positiva y un Beneficio costo arriba de uno, los otros sistemas obtuvieron menor BC al ser más alto el coste de producción y obtener menor rendimiento.

## **VIII. LITERATURA CITADA**

Abad. B. M., P. Noguera M. y C. Carrión B. 2004. Los sustratos en el cultivo sin suelo. En: M. Urrestarazu G. Tratado de cultivo sin suelo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 113-158.

Albregts, E. E., C. M. Howard, and C. K. Chandier. 1991 Strawberry responses to K rate on a fine sand soll. Hortscience, Volumen: 138-. (Solo es una página de artículo)

Al-Adwan and Munaf S.N. Al- D. (2012). The Use of ZigBee Wireless Network for Monitoring and Controlling Greenhouse Climate, International Journal of Engineering and Advanced Technology, 2 (1),35- 39

Alpizar Antillón, L. (2004). Hidroponía: Cultivo sin tierra: Elementos básicos para desarrollar la técnica simple de cultivar plantas sin tierra en pequeños espacios. Tecnología de Costa Rica.

Angulo, R. (2009). Fresa (*Fragaria ananassa*). Bogota: Bayer CropScience S. A, Pg 23 - 25. Obtenido de: [https://www.cropscience.bayer.co/~media/Bayer%20CropScience/Peruvian/CountryColombia-Internet/Pdf/Cartilla-FRESA\\_baja.ashx](https://www.cropscience.bayer.co/~media/Bayer%20CropScience/Peruvian/CountryColombia-Internet/Pdf/Cartilla-FRESA_baja.ashx).

ARGUS. 2009. Understanding and using VPD, Argus application note. Canadá. 13p.

Álvarez-Herrera, J.G., W. Balaguera-López, J. Merchán, J. Veloza y J. López. 2011. Láminas de riego y calidad de agua en la solución de problemas de salinidad en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Rev. Colomb. Cienc. Hortic. 5, 57-68.

Baixxauli, S. C; Aguilar, O. J. 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. Edición Generalitat Valenciana. Valencia. España.

Bunt, A. C. 1988. Media and Mixes for Container-Grown Plants. 2da ed. Unwind Hyman Ltd, London. Pag.309.

Celaya-Michel, H., Castellanos - Villegas, A. (2011) Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas, Terra Latinoamericana, 29 (3), 343-356

Chileriego, 2004. (En línea) Disponible en: <http://www.chileriego.cl>, visitado el 01 de julio del 2019.

De Boodt, M., O. Verdonck e I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. Acta Hort. 37: 2054-2062.

Diaz P. A. 2005. Medios de cosecha para plantaciones de frutilla hidropónica. Universidad de Chile, 95p.

ESCAMIROSA TINOCO, C.; MARTÍNEZ GUTIÉRREZ, G.A.; GUZMÁN CRUZ, D. L.: «Efecto del déficit de presión de vapor en la producción de tomate de cáscara bajo invernadero» en Innovación, Tecnología y Educación, pp. 870-878, Ediciones Ilcsa, Tijuana, B.C., 2014. Disponible en <http://www.civitec.com.mx/documentos/civitec2014/Tomo%205.pdf>. Visitado el 01 de octubre de 2019.

FERNÁNDEZ, R.E. y CAMACHO, F. Eficiencia en el uso del agua. Revista Viveros. Universidad de Almería en España, 2005, pp. 86-89.

FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 2016. Panorama Agroalimentario: Berries, 2016. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200633/Panorama Agroalimentario Berries 2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200633/Panorama_Agroalimentario_Berries_2016.pdf)

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

García, A.D. and C. López. 2002. Temperatura base y tasa de extensión foliar del maíz. Revista Fitotecnia Mexicana 25(4): 381-386.

García, H., C. Galán, M.T. Gómez and E. Domínguez. 2000. A comparative study of different temperature accumulation methods for predicting the start of the Quercus pollen season in Córdoba (South West Spain). Grana 39: 194-199.

González Meza, A. y Hernández Leos, B. A. (2000) Estimación de las necesidades hídricas del Tomate. Terra Latinoamericana. 18 (1), 45-50

GRANGE, R. y HAND, D. 1987. A review of the effects of atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. Journal of Horticultural Science (Reino Unido) 62 (2): 125-134.

Hancock, J. F. 1999. Strawberries. CABI Publishing. Cambridge, U. K., 209p

Ingeniera agrícola. 2008. La frutilla, manejo básico del cultivo. [En línea] disponible en <http://www.ingenieriaagricola.cl> (12, abril, 2019).

ICAMEX, 2006. Guía técnica para el cultivo de fresa, SAGARPA, Mexico, 20 p

Larson, D. K. (2000). Comportamiento y manejo de la fresa: desarrollo de programas para máxima calidad y rendimiento en México. In J. Z. Castellanos,

F. Guerra, & O. Hart (Eds.), Memoria del simposio internacional de fresa. Zamora, Michoacan, Mexico.

Karimi, F., Arunkumar, B., Asif, M., Murthy, B. and Venkatesha, K. 2013. Effect of different soilless culture systems on growth, yield and quality of strawberry cv. STRAWBERRY FESTIVAL. International Journal of Agricultural Sciences. 9:366-372.

Leech, L., Simpson D. W. and Whitehouse A. B.. 2002. Effect of temperatura and relative humidity on pollen germination in four strawberry cultivars. ActaHorticulturae, 567:261-263

Lecaros; J. 2011. El riego por goteo. Seminario internacional de riego y fertirrigación. Chiclayo.

Machado, B., M.R. Prioli, A.B. Gatti and V.J. Mendes. 2006. Temperature effects on seed germination in races of common beans ( *Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Scientiarum Agronomy* 28(2): 155-164.

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.

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 18875068.(Consultado el 12/05/19).

Menzel, C. M., and L. Smith. 2014. The growth and productivity of ‘Festival’ strawberry plants growing in a subtropical environment. *New Zealand journal of crop and horticultural science*. 42(1): 60-75

Morgan, L. 2002 Producciónintensiva de fresa. *Productores de Hortalizas*. Los sistemas NFT y DFT de hidroponía representan una alternativa viable para pequeños empresarios en producción intensiva de fresa, Editorial Katie O’ Keeeffe-Swank editora Ana Reho, Ohio, EUA.59p.

Maroto B., J. V., y G. S. López, 1988. Producción de fresas y fresones Ediciones Mundi-prensa, Madrid España, 109p.

Murray, M.S. 2008. Using degree days to time treatments for insect pests. *Fact Sheet*. Utah State University Extension and Utah Plant Pest Diagnostic Laboratory, IPM 05-08. 5 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). Base de datos estadísticos (1990-2014). Retrieved from <http://www.fao.org/statistics/es/>

Prabhakar, B.N., A.S. Halepyati, B.K. Desai and B.T. Pujari. 2007. Growing degree days and photo thermal units accumulation of wheat ( *Triticum aestivum* L. and *T. durum* Desf.) genotypes as influenced by dates of sowing. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 20(3): 594-595.

Perry, K.B. and T.C. Wehner. 1996. A heat unit accumulation method for predicting cucumber harvest date. *HortTechnology* 6(1): 27-30

PRENGER, J. y LING, P. 2001. Greenhouse condensation control, understanding and using vapor pressure deficit (VPD). *Extension Factsheet*. The Ohio State University. Estados Unidos. 4p.

PROEXANT. (Promoción De Exportaciones Agrícolas No Tradicionales, Ec.). 2010. Cultivo de fresas. En línea. Consultado 21 de junio del 2019. Disponible en [www.proexant.com](http://www.proexant.com).

Raviv, M., Y. Chen, Z. Geler, S. Medina, E. Putievski y Inbar. 1984. Slurry produced by methanogenic fermentation of cow manure as a growth medium for some horticultural crops. *Acta Horticulturae* 150: 563-573.

Raviv M. R., Wallach A. Silber and A. Bar-Tal 2002. Substrates end their analysis. p 25-101. In: D. Savvas and H. Passam (eds). *Hydroponic production of vegetable and ornamental*. Embryo Publications. Athens Greece.

Resh, H.M. 1991. *Hydroponic food production*. 4th edition. Woodbridge Press Publishing Company. Santa Barbara, Ca, USA.

Ritchie, J.T. and D.S. Ne Smith. 1991. Temperature and crop development. *Agronomy Journal* 31: 5-29.

Rodrigo, J., et al: *Riego Localizado*. 1992, Ediciones Mundi-Prensa, España.

Rodríguez-Bautista, G.; Calderón, G.; Jaen, D. y Curiel, A. 2012. Capacidad de propagación y calidad de planta de variedades mexicanas y extranjeras de fresa. *México. Revista Chapingo. Serie Horticultura* 18(1):113-123.

Roussos, P. A. N\_K. Denaxa, and T Damvakaris. 2009. Strawberry fruit quality attributes after application of plant growth stimulating compounds. *Sci. Horttic.* 138-146.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2014). Estadísticas del sector agropecuario, 1990-2016. México: Author. Retrieved from [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp)

SIAP. 2017. Berries, frutillas, frutos rojos, bayas mexicanas... entre lo común y lo biológico. <http://infosiap.siap.gob.mx>. (9, abril, 2019).

Thompson, K. 1997. *Tecnología postcosecha de frutas y hortalizas*. Instituto de Recursos Naturales del Reino Unido y el Servicio Nacional de Aprendizaje. Colombia. SENA. 87 p

Urrestarazu, G.M. 2004. *Tratado de cultivos sin suelo*. Mundi-Prensa. 3ª ed. Madrid.

Vargas Tapia, P., Javier Z Castellanos-Ramos, P Sánchez- García, L Tijerina-Chávez, R M López-Romero y J L Ojodeagua-Arredondo 2008 Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco *Rev. Fitotec. Mex.*3 (4): 375 – 381

Vargas T., P., J. Z. Castellanos R., J. J. Muñoz R., P. Sánchez G., L. Tijerina C., R. M. López R., C. Martínez S., y J. L. Ojodeagua A. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. Agr. Téc. Méx. 34: 323-331.

Vélez Carvajal, N. A., Flórez Roncancio, V. J. y Flórez Rivera, A. F. (2014). Comportamiento de variables químicas en un sistema de cultivo sin suelo para clavel en la sabana de Bogotá, Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín,67(2), 7281-7290.

Wallach R. F. F. da Silva and Y. Chen. 1992. Hydraulic characteristics of tuff (scoria) used as a container medium. Journal of America Society Horticultural Science 117:415421.

## ANEXOS

**Cuadro 20 Cálculos para Déficit de presión de vapor.**

$e^o (T_{Máx})$	$e^o (T_{Mín})$	$e_s$	$e_a$	DPV
kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
5.5	1.0	3.2	0.8	2.4
5.7	1.0	3.3	0.9	2.5
5.9	0.9	3.4	0.9	2.5
5.9	1.0	3.4	1.0	2.4
5.5	0.9	3.2	0.9	2.3
3.4	1.0	2.2	0.8	1.4
5.7	1.1	3.4	0.9	2.5
5.4	1.2	3.3	1.0	2.3
4.5	0.9	2.7	0.7	2.0
5.7	1.1	3.4	0.9	2.5
5.7	1.2	3.4	1.0	2.5
5.8	1.2	3.5	1.0	2.5
5.4	1.1	3.3	1.0	2.3
3.5	0.9	2.2	0.7	1.5
3.5	0.9	2.2	0.7	1.5
2.9	0.9	1.9	0.6	1.3
5.0	0.8	2.9	0.8	2.1
5.4	0.8	3.1	0.7	2.4
4.8	0.8	2.8	0.6	2.2
5.2	0.8	3.0	0.7	2.3

4.4	0.8	2.6	0.6	1.9
5.7	0.7	3.2	0.7	2.5
5.7	1.0	3.4	0.9	2.5
5.4	0.8	3.1	0.9	2.2
4.2	0.9	2.6	0.7	1.9
5.0	1.0	3.0	0.8	2.2
4.6	1.0	2.8	0.7	2.1
5.6	1.0	3.3	0.8	2.4
5.6	1.0	3.3	0.8	2.4
5.9	1.0	3.4	0.9	2.5
5.1	1.0	3.0	0.9	2.1
5.9	1.0	3.4	0.9	2.6
5.9	0.9	3.4	0.8	2.6
5.6	1.0	3.3	0.9	2.4
3.4	1.0	2.2	0.8	1.4
6.1	0.9	3.5	0.8	2.6
4.9	0.9	2.9	0.8	2.1
5.5	0.8	3.2	0.7	2.4
4.7	1.1	2.9	1.0	1.9
4.6	1.0	2.8	1.2	1.7
5.7	0.8	3.2	0.7	2.5
4.4	1.1	2.8	1.2	1.5
4.5	1.0	2.8	1.1	1.6
4.9	0.9	2.9	1.0	1.9
5.1	0.9	3.0	0.8	2.2

4.8	0.9	2.9	1.2	1.6
4.2	0.9	2.6	0.9	1.7
4.6	0.9	2.7	0.7	2.0
5.1	1.0	3.0	0.9	2.2
5.0	1.0	3.0	1.3	1.7
5.0	0.9	3.0	1.7	1.3
5.3	1.0	3.1	1.6	1.6
4.8	0.9	2.8	1.1	1.7
5.4	1.0	3.2	1.6	1.6
2.9	0.8	1.9	0.7	1.1
5.1	1.0	3.1	1.0	2.0
4.6	1.0	2.8	0.8	2.0
4.3	0.9	2.6	1.0	1.6
4.9	0.9	2.9	1.5	1.4
4.6	0.8	2.7	0.9	1.8
4.4	0.8	2.6	0.7	1.9
6.2	0.7	3.5	0.9	2.6
5.9	0.8	3.3	0.7	2.6
4.5	0.7	2.6	0.7	1.9
5.7	0.8	3.2	0.8	2.5
5.8	0.8	3.3	1.0	2.4
4.9	0.8	2.9	0.8	2.0
6.3	0.7	3.5	1.1	2.4
5.6	0.7	3.2	0.7	2.5
2.9	0.7	1.8	0.5	1.3

2.4	0.7	1.6	0.6	1.0
2.6	0.7	1.7	0.5	1.1
2.7	0.7	1.7	0.7	1.0
2.4	0.8	1.6	0.6	0.9
2.7	0.8	1.8	0.6	1.1
5.3	0.8	3.0	0.7	2.3
2.5	0.8	1.6	0.8	0.9
2.7	0.7	1.7	0.9	0.8
2.4	0.8	1.6	0.6	1.0
2.7	0.8	1.8	0.8	1.0
2.6	0.7	1.7	0.7	1.0
3.2	0.7	2.0	0.6	1.4
4.9	0.8	2.8	0.7	2.1
4.6	0.8	2.7	0.8	1.9
4.4	0.9	2.6	1.1	1.5
2.9	0.9	1.9	0.9	1.0
4.1	0.8	2.5	1.3	1.2
2.7	0.9	1.8	0.7	1.1
3.1	0.9	2.0	0.9	1.1
4.9	0.9	2.9	0.7	2.2
4.8	0.9	2.8	0.8	2.0
4.2	0.9	2.6	0.8	1.8
4.9	1.1	3.0	1.5	1.5
4.4	1.0	2.7	1.6	1.1
4.9	0.9	2.9	1.3	1.7

4.1	1.0	2.5	0.9	1.7
4.9	1.1	3.0	1.5	1.5
4.2	0.9	2.6	0.8	1.7
4.6	0.9	2.8	0.7	2.0
4.0	1.0	2.5	1.4	1.2
5.2	0.9	3.1	1.1	1.9
5.2	1.1	3.1	0.9	2.2
4.3	1.0	2.7	0.9	1.7
4.6	1.1	2.8	0.8	2.0
5.2	1.0	3.1	1.3	1.8
4.9	1.1	3.0	1.0	1.9
5.0	1.0	3.0	0.9	2.1
5.3	1.1	3.2	1.1	2.1
2.9	1.1	2.0	0.7	1.2
3.9	1.0	2.5	1.1	1.4
4.5	1.0	2.8	1.0	1.8
3.2	1.1	2.2	0.8	1.4
4.8	1.0	2.9	1.3	1.6
5.7	1.0	3.3	1.0	2.3
5.2	1.2	3.2	1.5	1.6
4.7	1.0	2.9	1.7	1.1
4.9	1.1	3.0	1.7	1.3
4.6	1.2	2.9	0.8	2.0
4.4	1.2	2.8	1.1	1.7
4.3	1.1	2.7	1.1	1.6

5.1	1.2	3.1	1.4	1.7
4.9	1.0	3.0	1.2	1.8
5.1	1.2	3.1	1.1	2.0
4.8	1.1	3.0	1.0	2.0
4.9	1.1	3.0	1.3	1.8
4.9	1.2	3.0	1.1	1.9
6.0	1.2	3.6	1.1	2.5
7.2	1.1	4.2	1.0	3.1
5.7	1.1	3.4	1.0	2.4
7.2	1.2	4.2	1.1	3.1
5.5	1.1	3.3	0.9	2.4
5.3	1.2	3.3	1.1	2.2
4.4	1.2	2.8	0.8	2.0
4.8	1.1	3.0	0.9	2.0
5.8	1.3	3.5	1.0	2.5
4.9	1.3	3.1	1.0	2.1
5.4	1.2	3.3	1.1	2.2
6.3	1.1	3.7	1.1	2.6
4.4	1.2	2.8	1.0	1.8
5.2	1.1	3.1	0.9	2.2
4.5	1.2	2.9	1.0	1.9
5.8	1.1	3.5	1.0	2.5
4.4	1.2	2.8	0.9	1.9
5.4	1.2	3.3	0.9	2.4
6.4	1.1	3.7	1.0	2.7

4.9	1.2	3.0	1.2	1.8
5.8	1.1	3.5	0.9	2.6
5.1	1.2	3.2	0.9	2.3
5.4	1.2	3.3	1.0	2.3
5.7	1.2	3.4	1.0	2.4
4.9	1.1	3.0	1.0	2.0
5.5	1.1	3.3	0.9	2.4
5.1	1.1	3.1	1.3	1.8
5.8	1.2	3.5	1.0	2.5
5.3	1.1	3.2	0.9	2.3
5.3	1.1	3.2	0.9	2.3
4.9	1.2	3.0	0.9	2.1
4.9	1.1	3.0	2.0	1.0
5.2	1.1	3.1	1.9	1.2
4.9	1.1	3.0	1.3	1.8
4.9	1.1	3.0	1.0	2.0
5.2	1.1	3.2	1.4	1.8
5.7	1.2	3.5	1.9	1.5
4.9	1.3	3.1	1.2	1.8
5.3	1.2	3.3	1.1	2.2
4.7	1.1	2.9	1.3	1.6
4.8	1.3	3.1	1.7	1.4
4.9	1.1	3.0	1.2	1.8
4.7	1.2	2.9	0.9	2.0
4.9	1.1	3.0	0.9	2.1

**Cuadro 21 Clasificación de frutos conforme a la norma mexicana 0-62 , en el sistema riego por goteo.**

<b>CLASIFICACION</b>							
<b>DDS</b>	<b>VAR</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>TOTAL</b>	<b>Grados Brix</b>
119	<b>V1CA</b>		2	4		6	9
	<b>V2ZM</b>		1	2		3	12
125	<b>V1CA</b>		12	13		25	9
	<b>V2ZM</b>		8	1		9	9
127	<b>V1CA</b>	1	7			8	8
	<b>V2ZM</b>	1	2	1		4	8
129	<b>V1CA</b>	1	3	2		6	8
	<b>V2ZM</b>	3	7			10	9
131	<b>V1CA</b>	3	3	1		7	9
	<b>V2ZM</b>		4			4	9
134	<b>V1CA</b>	4	10	6		20	8
	<b>V2ZM</b>	7	9	3		19	8
136	<b>V1CA</b>	4	8	1		13	8
	<b>V2ZM</b>	2	5			7	8
138	<b>V1CA</b>	3	4			7	9
	<b>V2ZM</b>	5	8	4		17	11
141	<b>V1CA</b>	6	7			13	8
	<b>V2ZM</b>	2	7			9	9
148	<b>V1CA</b>	16	7			23	8

	<b>V2ZM</b>	12	13			25	9
152	<b>V1CA</b>	12	7			19	8
	<b>V2ZM</b>	12	11			23	8
156	<b>V1CA</b>	8	9			17	7
	<b>V2ZM</b>	13	5			18	8
160	<b>V1CA</b>	10	11			21	9
	<b>V2ZM</b>	12	9			21	8
164	<b>V1CA</b>	13	4			17	9
	<b>V2ZM</b>	11	8			19	8
166	<b>V1CA</b>	3	9			12	7
	<b>V2ZM</b>	6	4			10	9
169	<b>V1CA</b>		9			9	7
	<b>V2ZM</b>	4	3			7	8

**Cuadro 22 Clasificación de frutos conforme a la norma mexicana 0-62 , en el sistema NFT.**

<b>DDS</b>	<b>VARIEDAD</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>TOTAL</b>	<b>Grados brix</b>
<b>119</b>	V1CA			6	8	14	12
	V2ZM				3	3	9
<b>125</b>	V1CA	1	3	4	2	10	10
	V2ZM		5			5	10
<b>129</b>	V1CA		2	3	1	6	8
	V2ZM		2	3		5	8

<b>134</b>	V1CA		2	3		5	8
	V2ZM		2	1		3	8
<b>138</b>	V1CA		2	5		7	7
	V2ZM		2	4		6	8
<b>156</b>	V1CA		4	4		8	10
	V2ZM					0	8
<b>164</b>	V1CA		1	8		9	7
	V2ZM		4	4		8	8
<b>169</b>	V1CA		7	2		9	7
	V2ZM		4	4		8	8

**Cuadro 23** Uso eficiente de agua en el sistema riego por goteo , para la variedad camino real.

<b>Repetición</b>	<b>Planta</b>	<b>gr/planta</b>	<b>Kg/planta</b>	<b>m3 consumidos</b>	<b>Kg/m3</b>
<b>R1</b>	1	186	0.2	0.053	3.5
<b>R1</b>	2	217	0.2	0.053	4.1
<b>R1</b>	3	177	0.2	0.053	3.4
<b>R1</b>	4	220	0.2	0.053	4.2
<b>R1</b>	5	183	0.2	0.053	3.5
<b>R1</b>	6	218	0.2	0.053	4.1
<b>R1</b>	7	159	0.2	0.053	3.0
<b>R1</b>	8	300	0.3	0.053	5.7
<b>R2</b>	1	280	0.3	0.053	5.3

<b>R2</b>	2	225	0.2	0.053	4.3
<b>R2</b>	3	180	0.2	0.053	3.4
<b>R2</b>	4	188	0.2	0.053	3.6
<b>R2</b>	5	175	0.2	0.053	3.3
<b>R2</b>	6	196	0.2	0.053	3.7
<b>R2</b>	7	295	0.3	0.053	5.6
<b>R2</b>	8	225	0.2	0.053	4.3

**Cuadro 24** Uso eficiente de agua en el sistema riego por goteo, para la variedad Zamorana.

<b>Repetición</b>	<b>Planta</b>	<b>gr/planta</b>	<b>Kg/planta</b>	<b>m3 consumidos</b>	<b>Kg/m3</b>
<b>R1</b>	1	280.0	0.3	0.053	5.3
<b>R1</b>	2	157.0	0.2	0.053	3.0
<b>R1</b>	3	142.0	0.1	0.053	2.7
<b>R1</b>	4	154.0	0.2	0.053	2.9
<b>R1</b>	5	186.0	0.2	0.053	3.5
<b>R1</b>	6	188.0	0.2	0.053	3.6
<b>R1</b>	7	160.0	0.2	0.053	3.0
<b>R1</b>	8	165.0	0.2	0.053	3.1
<b>R2</b>	1	168.0	0.2	0.053	3.2
<b>R2</b>	2	155.3	0.2	0.053	2.9
<b>R2</b>	3	167.0	0.2	0.053	3.2

<b>R2</b>	4	165.0	0.2	0.053	3.1
<b>R2</b>	5	229.0	0.2	0.053	4.3
<b>R2</b>	6	184.0	0.2	0.053	3.5
<b>R2</b>	7	250.0	0.3	0.053	4.7
<b>R2</b>	8	304.0	0.3	0.053	5.8

**Cuadro 25** Uso eficiente de agua en el sistema NFT, para la variedad camino real.

<b>Repetición</b>	<b>Planta</b>	<b>gr/planta</b>	<b>Kg/planta</b>	<b>m3 consumidos</b>	<b>Kg/m3</b>
<b>R1</b>	1	14	0.01	0.06	0.2
<b>R1</b>	2	11	0.01	0.06	0.2
<b>R1</b>	3	13	0.01	0.06	0.2
<b>R1</b>	4	16	0.02	0.06	0.3
<b>R1</b>	5	15	0.02	0.06	0.2
<b>R1</b>	6	23	0.02	0.06	0.4
<b>R1</b>	7	9.5	0.01	0.06	0.2
<b>R1</b>	8	8	0.01	0.06	0.1
<b>R2</b>	1	19	0.02	0.06	0.3
<b>R2</b>	2	5.8	0.01	0.06	0.1
<b>R2</b>	3	18	0.02	0.06	0.3
<b>R2</b>	4	16	0.02	0.06	0.3
<b>R2</b>	5	27	0.03	0.06	0.4

<b>R2</b>	6	15	0.02	0.06	0.2
<b>R2</b>	7	22	0.02	0.06	0.4
<b>R2</b>	8	11	0.01	0.06	0.2
<b>R3</b>	1	8	0.01	0.06	0.1
<b>R3</b>	2	9.6	0.01	0.06	0.2
<b>R3</b>	3	18	0.02	0.06	0.3
<b>R3</b>	4	18	0.02	0.06	0.3
<b>R3</b>	5	14	0.01	0.06	0.2
<b>R3</b>	6	17	0.02	0.06	0.3
<b>R3</b>	7	21	0.02	0.06	0.3
<b>R3</b>	8	16	0.02	0.06	0.3
<b>R4</b>	1	20	0.02	0.06	0.3
<b>R4</b>	2	18	0.02	0.06	0.3
<b>R4</b>	3	25	0.03	0.06	0.4
<b>R4</b>	4	19	0.02	0.06	0.3
<b>R4</b>	5	17	0.02	0.06	0.3
<b>R4</b>	6	25	0.03	0.06	0.4
<b>R4</b>	7	13	0.01	0.06	0.2
<b>R4</b>	8	9	0.01	0.06	0.1

**Cuadro 26 Uso eficiente de agua en el sistema NFT, para la variedad Zamorana.**

<b>Repeticion</b>	<b>Planta</b>	<b>gr/planta</b>	<b>Kg/planta</b>	<b>m3 consumidos</b>	<b>Kg/m3</b>
<b>R1</b>	1	5	0.01	0.06	0.1
<b>R1</b>	2	7	0.01	0.06	0.1
<b>R1</b>	3	13	0.01	0.06	0.2
<b>R1</b>	4	10.5	0.01	0.06	0.2
<b>R1</b>	5	18	0.02	0.06	0.3
<b>R1</b>	6	8	0.01	0.06	0.1
<b>R1</b>	7	12	0.01	0.06	0.2
<b>R1</b>	8	6	0.01	0.06	0.1
<b>R2</b>	1	8	0.01	0.06	0.1
<b>R2</b>	2	6	0.01	0.06	0.1
<b>R2</b>	3	9	0.01	0.06	0.1
<b>R2</b>	4	14.5	0.01	0.06	0.2
<b>R2</b>	5	14	0.01	0.06	0.2
<b>R2</b>	6	7.5	0.01	0.06	0.1
<b>R2</b>	7	7	0.01	0.06	0.1
<b>R2</b>	8	19	0.02	0.06	0.3
<b>R3</b>	1	0	0.00	0.06	0.0
<b>R3</b>	2	9.81	0.01	0.06	0.2
<b>R3</b>	3	10.8	0.01	0.06	0.2
<b>R3</b>	4	16	0.02	0.06	0.3
<b>R3</b>	5	10	0.01	0.06	0.2

<b>R3</b>	6	8.8	0.01	0.06	0.1
<b>R3</b>	7	6.9	0.01	0.06	0.1
<b>R3</b>	8	10.4	0.01	0.06	0.2
<b>R4</b>	1	4	0.00	0.06	0.1
<b>R4</b>	2	6.8	0.01	0.06	0.1
<b>R4</b>	3	10	0.01	0.06	0.2
<b>R4</b>	4	6.7	0.01	0.06	0.1
<b>R4</b>	5	6	0.01	0.06	0.1
<b>R4</b>	6	11	0.01	0.06	0.2
<b>R4</b>	7	20	0.02	0.06	0.3
<b>R4</b>	8	12	0.01	0.06	0.2

**Cuadro 27 Costos de los materiales utilizados para la construcción del sistema Aeroponico.**

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo por pieza</b>	<b>Costo total</b>
Tubo pvc 10"	2	1980	1980
Tubo pvc 1/2 "	2	96	96
Iníciales 16 mm	4	3.85	15.4
Gomas	4	2.56	10.24
codo 1"	1	5.95	5.95
tee 1"	1	4.8	4.8
codos 1/2 "	20	3.85	77

tee 1/2"	29	4.5	130.5
Tapon 1/2"	3	3	9
filtro de anillos	1	400	400
Bomba	1	1,350	1350
Aspersores	4	21	84
Aspersores	16	12	192
Tinaco 1200 L	1	2,209	2209
Timer	1	1,500	1500
<b>Total</b>			<b>8,063.89</b>

**Cuadro 28 Costos de los materiales utilizados para la construcción del sistema NFT.**

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo por pieza</b>	<b>Costo total</b>
Codos	6	2.89	17.34
Tee	9	4	36
Tubo pvc de 1"	12m	13.38	160.56
Tubo pvc de 4"	48 m	180	1440
Burbujeador de 2 l/h	8	44	352
Rociador Ps ultra	8	69.76	558.08
Tapas para tubo 4"	16	90	1440
Inicial de 16 mm	16	3.85	61.6
Goma para inicial	16	2.56	40.96
codo INS 16 mm	6	2.88	17.28

Reducción 1" a 1/2"	8	2.5	20
Tuerca unión 1"	1	5	5
Tubo pvc de 1/2 "	1		0
Tuerca unión 1/2"	1	2.8	2.8
Tinaco de 450 L	1	980	980
Bomba 1/2 caballo	1	500	500
Válvula de toma presión	1	16.8	16.8
Timer de 20 tiempos	1	250	250
Madera			0
<b>Total</b>			<b>5,898.42</b>

**Cuadro 29 Costos de los materiales utilizados para la construcción del sistema de Riego por goteo.**

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo por pieza</b>	<b>Costo total</b>
Codos 1"	2	5.85	11.7
llaves 16mm	4	7.8	31.2
Codos 16mm	2	2.9	5.8
Tee 16mm	3	3.8	11.4
Bolsa	1	637	637
Tezontle	1	400	400
Tubin	1	700	700
Goteros	50	5.36	268

Estacas	100	2.035	203.5
Filtro	1	200	200
Tinaco	1	1200	1200
válvula de toma de presión	1	13.9	13.9
Total			3,682.5