



---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**

---

CULTIVO DE CHILE PIMIENTO (*Capsicum annum* L.) CULTIVAR California  
Wonder 300, EN DOS SISTEMAS HIDROPÓNICOS Y TRES DENSIDADES DE  
SIEMBRA.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**B I Ó L O G A**

**P R E S E N T A**

**HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ ALEXANDRA**

**Director de tesis: Gumercindo H. de la Cruz Guzmán**

**Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla Estado de México,**

**Junio de 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIAS

A mi preciosa hija; que a pesar de todas las dificultades que pasamos me enseñó el verdadero valor de la vida, ella es la inspiración más importante por la cual me comprometo a seguir adelante y porque mi pequeña ha sido la única que ha logrado despertar en mí el amor más puro y sincero que pueda existir.

A mis padres y hermanos; cada uno es un personaje con cualidades especiales; mi madre es fuerza y entereza; mi padre es juicio y progreso y mis hermanos son empeño y logros. A su lado yo he comprendido el concepto de lo que se llama familia, amor, unión, tolerancia, felicidad, dolor, en fin, la lista es interminable... Gracias a su apoyo incondicional cumplo un objetivo más.

A mi tía por ser parte de mi vida desde muy pequeña agradezco su apoyo y comprensión. A la memoria de mi abuelita por ser una mujer valiente durante toda su vida, llevaré su recuerdo conmigo.

A mi pareja por una nueva experiencia de vida en la cual el éxito o el fracaso estarán determinados por nuestras ambiciones, nosotros seremos protagonistas en esta nueva historia en donde seremos combatientes día con día.

A mis profesores por una nueva visión de la carrera, los recordare con gran respeto y admiración por sus grandes conocimientos. Realmente fue un verdadero honor trabajar a su lado.

A mis amigos por acompañarme a lo largo de estos años en una carrera que con los más mínimos detalles me enseñó una infinidad de conocimientos acerca de los procesos de la vida y porque a su lado me mostraron lugares, animales y plantas extraordinarios.

A todos aquellos que confiaron y a los que me subestimaron, después de largo tiempo cumplo uno de los sueños más importantes de mi vida. Dedicado a todos ustedes; porque hoy tan sólo es el comienzo del cumplimiento de una larga lista de promesas hechas a mí misma.

## Contenido

I.ABREVIACIONES.....	i
1.0 RESUMEN.....	1
2.0 INTRODUCCIÓN.....	3
3.0 LITERATURA CONSULTADA .....	4
3.1 Horticultura .....	4
3.2 Película de Nutrientes (NFT) .....	6
3.3 Sustratos.....	8
3.3.1 Sustratos inertes.....	9
3.3.2 Propiedades físicas de los sustratos.....	9
3.4 Nutrición vegetal.....	11
3.4.1 Elementos minerales .....	11
3.4.2 Elementos minerales esenciales .....	12
3.4.3 Macronutrientes.....	13
3.4.4 Micronutrientes .....	16
3.5 Cultivos hidropónicos.....	20
3.6 Soluciones nutritivas, Presión osmótica y pH .....	20
3.7 Preparación de la solución nutritiva y cálculo de la conductividad eléctrica ....	22
3.8 DESCRIPCIÓN DEL PIMIENTO (Capsicum annum L.).....	28
3.9 EXIGENCIAS AGROAMBIENTALES DEL PIMIENTO. ....	31
3.9.1 Temperatura.....	31
3.9.2 Humedad Relativa.....	32
3.9.3 Intensidad lumínica .....	32
3.10 Densidad de siembra y rendimiento agronómico .....	33
4.0 OBJETIVOS.....	35
4.1 General.....	35

4.2 Particulares.....	36
5.0 MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
5.1 Material biológico.....	36
5.2 Diseño experimental .....	37
5.3 Unidad experimental .....	38
5.4 Medición de variables morfológicas y fisiológicas.....	38
5.4.1 Semanalmente.....	39
5.4.2 Durante la fase vegetativa .....	39
5.4.3 Durante la floración .....	40
5.4.4 Durante el llenado de fruto .....	40
5.5 Análisis estadístico.....	42
6. 0 RESULTADOS Y DISCUSION .....	42
6.1. Fenología del cultivo .....	42
6.2 Altura de la planta.....	46
6.3 Número De Hojas .....	48
6.4 Diámetro del tallo.....	50
6.5 Concentración de clorofila, durante la fase vegetativa y llenado de fruto. ....	52
6.6 Conductancia estomática, durante la fase vegetativa .....	54
6.7 Conductancia estomática, durante la fase floración .....	54
6.8 Conductancia estomática, durante el llenado de fruto .....	54
6.9 Contenido hídrico relativo en la fase de llenado de fruto .....	56
6.10 Volumen de frutos .....	57
6. 11 Área foliar .....	59
6. 12 Relación de Área Foliar (RAF) y Área Foliar Específica (AFE). ....	61
6. 13Índice de cosecha .....	63
6. 14 Biomasa.....	64

7. 0 CONCLUSIONES .....	67
8. 0 SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES .....	68
9. 0 LITERATURA CITADA. ....	69
9.1 Citas de internet.....	72

## I. ABREVIACIONES.

*: Por	mL: Mililitros
ADP: Adenosina Difosfato	mm: Milímetros
ATP: Adenosina Trifosfato	Mn: Manganeseo
B: Boro	m <sup>2</sup> : Metros cuadrados
Ca: Calcio	meq: Miliequivalentes
CE: Conductancia Eléctrica	NFT: Nutrient Film Technique
CHR: Contenido Hídrico Relativo	N: Nitrógeno
CIRN: Centro de investigación de Recursos Naturales	nm: Nanómetros
cm: Centímetros	N1: Densidad 1, 10 plantas*m <sup>-2</sup>
cm <sup>2</sup> : Centímetros cuadrados	N2: Densidad 2, 15 plantas*m <sup>-2</sup>
cm <sup>3</sup> : Centímetros cúbicos	N3: Densidad 3, 25 plantas*m <sup>-2</sup>
cm/s <sup>-1</sup> : Centímetros por segundo	P: Fósforo
Cu: Cobre	Pf: Peso fresco
Ds: Después de la siembra	pH: Potencial de Hidrógeno
dds: Días después de la siembra	ppm: Partes por millón
DMS: Diferencia Menos Significativa	Ps: Peso seco
Fe: Hierro	Pt: Peso turgente
gr: Gramos	Pm <sup>-2</sup> : Plantas*metro cuadrado
K: Potasio	S1: Densidad 1, 10 plantas*m <sup>-2</sup>
Kg: Kilogramo	S2: Densidad 1, 15 plantas*m <sup>-2</sup>
L: Litros	S3: Densidad 1, 25 plantas*m <sup>-2</sup>
Mg: Magnesio	ton: Toneladas
m: Metros	ton*Ha <sup>-1</sup> : Toneladas*hectáreas
mmg <sup>-1</sup> : Miligramos por gramos	UMF: Unidad de Morfofisiología
	Zn: Zinc

## 1.0 RESUMEN

El cultivo en hidroponía aporta todos los nutrimentos que la planta requiere para su crecimiento y desarrollo, no obstante las densidades de siembra y los sistemas hidropónicos utilizados, pueden traer diferencias en el rendimiento, por esta razón, en el presente trabajo se evaluó el efecto de dos sistemas hidropónicos y tres densidades de siembra sobre el rendimiento de (*Capsicum annum* L.) cultivar California Wonder 300. Se germinaron las semillas de chile pimiento, cuando las plantas alcanzaron 10 cm de altura, se trasplantaron tanto en sustrato como en NFT con una densidad de siembra de 10, 15 y 25 plantas por metro cuadrado ( $\text{pm}^{-2}$ ).

La fertirrigación se realizó con solución nutritiva (Steiner, modificada por Sánchez de Castillo, 1984) diluida al 25% durante la primera semana después del trasplante, incrementando su concentración gradualmente hasta tener una solución universal concentrada (100%) a la cuarta semana después del trasplante. A partir de la siembra se determinó la fenología del cultivo, semanalmente se evaluó, altura de la planta, número de hojas y diámetro del tallo, la concentración de clorofila y la conductancia estomática se midieron tanto en la fase vegetativa como en la de llenado de frutos. El rendimiento biológico (peso seco de raíces, tallos y hojas) y el rendimiento agronómico (frutos) se evaluó al final de la fase fenológica del cultivo. El análisis de varianzas y pruebas de comparación de medias de LSD ( $p \leq 0.05$ ) se realizó con Statistical Analysis System® (SAS).

Se identificaron 3 fases fenológicas, vegetativa (hasta los 62 dds), floración (de los 62 a los 78 dds) y llenado de frutos (de los 79 a los 109 dds). Durante la fase vegetativa de las plantas cultivadas en sustrato, se registró la mayor altura y el mayor número de hojas, sin embargo; durante la fase de floración y llenado de frutos no hubo diferencias de estas variables ni entre densidades de siembra ni entre sistemas hidropónicos. El diámetro del tallo se mantuvo sin diferencias en



todas las fases fenológica de (*Capsicum annum* L.) cultivar California Wonder 300. Sólo durante el llenado de frutos la concentración de clorofila fue mayor en las plantas cultivadas en sustrato, mientras que la conductancia estomática fue mayor en NFT durante la fase vegetativa del cultivo. Entre sistemas hidropónicos, no se observaron diferencias con respecto al volumen de frutos, no obstante las plantas cultivadas en NFT con una densidad de siembra de 25 pm<sup>-2</sup> y las cultivadas en sustrato con una densidad de 10 pm<sup>-2</sup> registraron los frutos con mayor volumen.

**Palabras clave:** *Capsicum annum* L. cultivar California Wonder 300, densidades de siembra, fases fenológicas, sistemas hidropónicos, rendimiento.

## 2.0 INTRODUCCIÓN

En México, la agricultura es uno de los sectores económicos más importantes del país, es la actividad que satisface algunas de las necesidades más elementales del ser humano; sin embargo, la gran diversidad de climas, la heterogeneidad en la precipitación pluvial, los suelos infértiles y una baja relación beneficio/costo, hacen poco rentable esta actividad a cielo abierto.

Los sistemas hidropónicos representan una alternativa como un método producción de hortalizas con mayores rendimientos en menor cantidad de espacio, ya que el manejo de algunos parámetros como la nutrición de la planta, la temperatura, la humedad relativa y la prevención de enfermedades se pueden controlar más fácilmente en comparación con cultivos a cielo abierto. Esta opción incrementa la relación beneficio/costo en zonas donde la fertilidad del suelo se presenta como un recurso limitado (Urrestarazu *et al.*, 2005).

En México, la producción de hortalizas en el campo está ampliamente distribuida para consumo local en zonas no aptas para la agricultura y para exportación en los estados del bajío, particularmente Sinaloa. Los principales productores de hortalizas bajo invernadero se localizan en las zonas desérticas del norte y centro del país cultivándose principalmente pimiento, tomate y pepinos. Dentro de los estados de la república mexicana, Sinaloa es el principal productor seguido de Sonora, Guanajuato y algunas partes de Guerrero y Michoacán (Zuñiga-Estrada *et al.*, 2004; Urrestarazu *et al.*, 2005).

La creciente demanda del chile pimiento (*Capsicum annum* L.) en el mercado nacional e internacional se debe a su alto contenido de vitaminas A, C y por la presencia de carotenos con propiedades antioxidantes (Nuez *et al.*, 1996). En el 2007, la producción hortícola nacional, fue de 2, 249, 000 toneladas (ton) de las cuales 1, 733, 900 ton fueron de chile pimiento y 463,656 ton de este producto se exportaron a los Estados Unidos (FAO, 2007).

Los rendimientos promedio de chile pimiento a cielo abierto son de 14.8 toneladas por hectárea ( $\text{tonHa}^{-1}$ ), a diferencia de los cultivos en hidroponía bajo condiciones de invernadero en ciclos de producción continuos que tiene un rendimiento de  $80 \text{ tonHa}^{-1}$  con densidades de 9 y 10 plantas por metro cuadrado ( $\text{plantas} \cdot \text{m}^{-2}$ ), cultivadas en diversos sistemas hidropónicos (Maroto, 1989; James y van Iersel, 2001).

La utilización de los sistemas hidropónicos y la densidad de siembra, son importantes para optimizar el rendimiento a partir de coberturas vegetales óptimas asociadas a las condiciones, fisiológicas y morfológicas de las plantas. De acuerdo a las variaciones en las densidades de siembra se obtienen variaciones en la producción por unidad de área (Vega *et al.*, 2010). Por tal razón, el objetivo del presente estudio fue evaluar bajo invernadero, el rendimiento de chile pimiento (*Capsicum annum* L.) variedad California Wonder 300 en dos sistemas hidropónicos y tres densidades de siembra.

## **.0 LITERATURA CONSULTADA**

### **3.1 Horticultura**

El término horticultura deriva del latín *Hortus* que significa huerta, jardín, terreno acotado; esta práctica consiste en la domesticación de plantas hortícolas e inició en el antiguo continente, se reporta que en China se consumían coles, pepinos, melones, sandía y berenjena; en el continente Americano, dentro de los cultivos más antiguos se reconocen a la calabaza, el pimiento y la papa. Los antiguos Egipcios cultivaban plantas hortícolas como la cebolla, algunas cucurbitáceas (probablemente melones, pepinos y sandías) en bancadas, algunos condimentos como el hinojo, el comino la menta y los tubérculos. Sin embargo, la producción hortícola se expandió como una práctica habitual, con la llegada de los

Romanos que la cultivaron en sus quintas o mansiones de campo, no obstante, con la caída de su imperio declinaron rápidamente estas prácticas (Martínez, s. a.).

Los antecedentes prehispánicos de agricultura en Mesoamérica mencionan un territorio apto para desarrollar esta actividad debido a la gran cantidad de recursos naturales con los que se contaba. En el sur de México, el desarrollo de esta actividad surgió con la domesticación de maíz, el frijol, el chile y la calabaza, la combinación de estos cultivos fue tan exitosa que se logró alimentar a toda la región mesoamericana. Esta forma de cultivo se expandió rápidamente al valle de México con la adaptación de las chinampas logrando el asentamiento de civilizaciones como Tolteca, Náhuatl, Tenoxca y el Imperio Maya Clásico en el sureste, no obstante, con la llegada de los conquistadores se destruyó gran parte de estos sistemas tradicionales de cultivo introduciendo métodos que permitieron incrementar las zonas agrícolas y la aparición de otras actividades como la ganadería (Martínez, s. a.).

Con el inicio de la Edad Moderna condicionada por el urbanismo y el desarrollo tecnológico se obliga a retomar esta práctica principalmente por el aumento demográfico, el consumismo, la ampliación de los medios de transporte y comunicación, surgiendo nuevamente la horticultura como una de las actividades más importantes e indispensables para la supervivencia de los seres humanos (Maroto, 2008).

En general, las prácticas hortícolas se realizan con sistemas de producción intensiva a cielo abierto o bajo invernadero donde se modifican los factores físicos y se obtiene producción de calidad en épocas del año diferentes a la producción a cielo abierto (Maroto, 2008).

La hidroponía bajo invernadero, permite que las plantas se desarrollen en diferentes tipos de sustratos en lugar de suelo, en el caso del sistema NTF ó película de nutriente, las raíces obtienen las sales fertilizantes directamente de la solución acuosa (Abad *et al.*, 2004 citado por Urrestarazu, 2004).

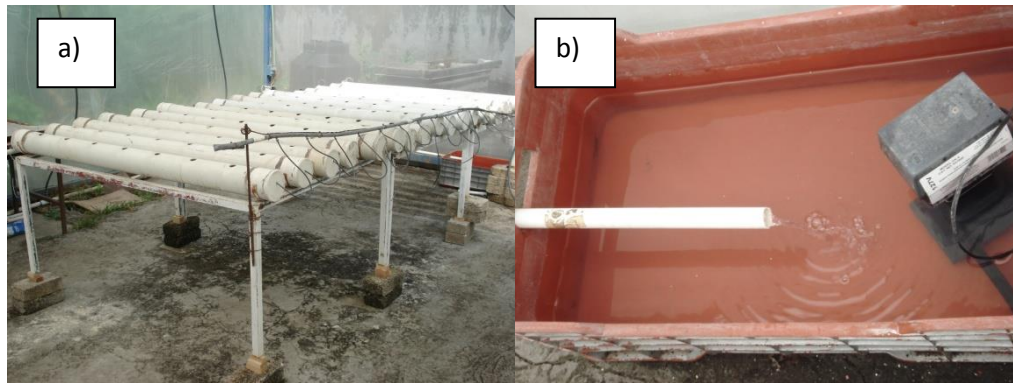
### **3.2 Película de Nutrientes (NFT)**

La técnica de película de nutrientes ó NFT (por sus siglas en inglés del término Nutrient Film Technique), fue desarrollada por Allen Cooper, en el Glasshouse Crops Research Institute, en Littlehampton, Inglaterra en 1965. Es un sistema de cultivo en agua en el cual las plantas crecen manteniendo el sistema radicular dentro de una lámina de plástico a través de la cual circula continuamente la solución de nutrientes, éste sistema está principalmente destinado a la producción de hortalizas de hoja y de fruto y se ha propagado en un gran número de regiones del mundo donde existen condiciones restrictivas del suelo y un mercado promisorio para suplir con hortalizas frescas de alta calidad y sanidad (Maroto, 2008).

Esta técnica se caracteriza por no utilizar ningún tipo de sustrato, por el contrario es un sistema estrictamente hidropónico en el cual se disuelven totalmente las sales en el agua, de tal forma que las estructuras contenedoras en forma de canal mantienen el sostén de la planta, estas deben de ser lisas para facilitar el desplazamiento de la solución, la aireación proviene de los orificios por donde el tallo de la planta emerge (Resh, 2001).

La pendiente longitudinal para la circulación de la solución es aproximadamente del 2%, pendientes superiores a los 4% dificultan la absorción del agua y nutrientes por las raíces del cultivo ya que la solución fluye a mayor velocidad. La solución nutritiva retorna a un estanque colector el cual debe ser de un material no corrosivo y con suficiente capacidad de almacenamiento. El sistema de tubería permanece conectado a una bomba sumergible, la cual es de operación más silenciosa y requiere menor cantidad de energía al impulsar permanentemente la solución nutritiva desde el estanque colector hasta la parte alta de los canales de cultivo (Figura, 1). La solución recircula a través de una fina lámina de líquido que permite la oxigenación de las raíces, dicha lámina no debe superar los 4 o 5 mm altura, esto se puede asegurar seleccionando un adecuado

tipo de canal como los de sección cóncava o circular (tubos de PVC o de tipo ondulado). Las características del sistema se relacionan con el número de plantas, especie a cultivar y requerimientos hídricos del mismo (Carrasco, 2004 citado por Urrestarazu, 2004).



Figura, 1. a) Canales de cultivo y tubería de distribución de solución nutritiva en el sistema NFT. b) Bomba sumergible del sistema NFT

El flujo de la laminilla debe de ser de 2 Litros (L) por minuto aproximadamente, permitiendo el adecuado aporte de oxígeno, agua y nutrientes procurando que las raíces no se encuentren sumergidas, no obstante, uno de los problemas más representativos de este sistema es que al crecer la planta incrementa la dimensión de las raíces originando un conglomerado que dificulta el paso de la solución nutritiva y su absorción. Las ventajas de este sistema es la alta calidad de los productos hortícolas en cortos periodos de tiempo, entre las desventajas, implica una mayor inversión, y una posible diseminación de patógenos a través de la solución nutritiva que pudiese afectar el rendimiento del cultivo (Carrasco, 2004, citado por Urrestarazu, 2004).

### 3.3 Sustratos

El término sustrato se aplica en horticultura a todo material sólido distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, en forma pura o mezclado, permite el anclaje del sistema radical y da soporte a la planta (Abad *et al.*, 2004 citado por Urrestarazu 2004).

Los sustratos deben de mantener un correcto drenaje y aireación para el cultivo a fin de evitar la asfixia radical, por lo que se regula el suministro de agua manteniendo una distribución de humedad uniforme durante toda la fase fenológica del cultivo. El pH óptimo de la solución nutritiva en el sustrato, varía de acuerdo al cultivo, en general debe de mantenerse entre 5.5 y 6.5.

El drenaje eficiente, reduce también la acumulación de sales evitando una reducción en el rendimiento debido a un incremento en la conductividad eléctrica (Abad *et al.*, 2004 citado por Urrestarazu 2004).

Los sustratos pueden o no intervenir en el proceso de la nutrición mineral de la planta; entre los diferentes criterios de clasificación, destacan las propiedades de los materiales.

- a) Químicamente inertes: arena granítica o silíceas, grava, tezontle, perlita y lana de roca.
- b) Químicamente activos: turbas rubias o negras, corteza de pino, y materiales lignocelulósicos (Cuadro,1).

Cuadro ,1. Clasificación de los sustratos según su composición.

Químicamente Inertes		Químicamente Activos	
Inorgánicos naturales	Inorgánicos sintéticos	Orgánicos naturales	Orgánicos sintéticos
Tezontle	Agrolita	Aserrín	Espuma de poliuretano
Tepojal	Perlita	Fibra de coco	Espuma de polietileno
Arena de río	Vermiculita	Cascarilla de arroz	

### 3.3.1 Sustratos inertes

Los sustratos inertes actúan únicamente como soporte de la planta, no intervienen en el proceso de absorción y fijación de los nutrientes, se considera como un verdadero cultivo hidropónico (Abad *et al.*, 2004 citado por Urrestarazu 2004).

El tezontle es un sustrato inerte, inorgánico de origen volcánico ampliamente utilizada para la producción de hortalizas y flores en cultivos sin suelo, sus gránulos poseen proporciones variables de porosidad ocluida, la cual se define como el volumen de poros cerrados que no tienen conexión con los poros externos y son los espacios que no pueden ser ocupados por agua y por lo tanto no intervienen en la relación agua-aire del sustrato. El beneficio de este tipo de porosidad es que disminuye la densidad aparente del tezontle y facilita su manejo (Vargas-Tapia *et al.*, 2008).

### 3.3.2 Propiedades físicas de los sustratos

Las propiedades físicas de los sustratos se refieren a la distribución volumétrica del material sólido, el agua, así como su variación en función del



potencial matricial; los métodos de determinación de las relaciones aire-agua difieren entre los sustratos agrícolas en donde generalmente se mide un amplio intervalo de succiones 0 a -1.5 Megapascales (MPa), por el contrario, las plantas cultivadas en contenedores no se pueden someter a tensiones hídricas elevadas, debido al volumen limitado del sustrato en el que crecen y se desarrollan (Salas *et al.*, 2004).

El espacio poroso total, es el volumen total del sustrato no ocupado por partículas orgánicas o minerales, el valor óptimo es mayor al 85%. El total de los poros existentes en un sustrato se dividen en:

- a) Poros capilares ( $< 30 \mu\text{m}$ ) que son los que retienen el agua.
- b) Poros no capilares o macroporos ( $> 30 \mu\text{m}$ ) que son los que se vacían después de que el sustrato se ha drenado, permitiendo la aireación. No obstante, los poros no drenan completamente y una fina película de agua es retenida alrededor de las partículas del sustrato, esta película disminuye su grosor a medida que el medio se seca.

Una alta porosidad no indica por sí misma una buena textura y/o estructura del sustrato, sino que es necesario conocer la relación entre la fracción de la porosidad que proporciona el agua y aquella que proporciona la aireación que se define como la proporción del volumen del sustrato de cultivo que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y dejado drenar usualmente a 10 cm de tensión de columna de agua, el valor óptimo está entre 20-30 % (Salas *et al.*, 2004).

En relación con los sustratos, lo más importante es la capacidad de retención total del agua. Un sustrato puede tener una baja capacidad de retención de agua fácilmente disponible porque:

- a) Los poros son grandes y gran parte del agua se pierde por gravedad
- b) Los poros son muy pequeños y la planta es incapaz de extraer un aporte importante del agua antes de marchitarse
- c) Una combinación de las situaciones anteriores.

El tezontle es un sustrato que reúne la mayoría de las características antes mencionadas, razón por la cual se utilizó para la realización de este trabajo.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), se define como la suma de los cationes que pueden ser absorbidos por unidad de peso o de volumen del sustrato, dichos cationes quedan retenidos frente al efecto lixivante del agua y están disponibles para las plantas. El valor óptimo se encuentra estrechamente relacionado con la frecuencia de fertirrigación, si es intermitente se utilizan materiales con una CIC superior a los 20 miliequivalentes por gramo ( $\text{meq}100 \text{ g}^{-1}$ ), si el riego es constante, la capacidad de absorción de los cationes no representa ninguna desventaja y se recomiendan materiales inertes con muy baja o nula CIC (Salas *et al.*, 2004).

### **3.4 Nutrición vegetal**

#### **3.4.1 Elementos minerales**

De los 91 elementos naturales que se conocen, solamente 60 de ellos han sido encontrados en diversas plantas, no obstante, muchos de estos no se consideran esenciales para su crecimiento (Salisbury y Ross, 1992).

Las plantas pueden presentar síntomas de deficiencia por el aporte de elementos esenciales, mismos que dependen de:

- a) Las funciones que realiza el elemento en el crecimiento y desarrollo de la planta.
- b) La movilidad del elemento, es decir; si se transfiere o no con facilidad de las hojas antiguas a las juveniles.

Los daños de la planta dependen de la fase de crecimiento, de la especie, del cultivar y del tiempo de deficiencia o exceso del elemento nutritivo entre otros, esto determina la severidad del problema (Salisbury y Ross, 1992).

### **3.4.2 Elementos minerales esenciales**

Las experiencias con soluciones nutritivas hicieron ver la necesidad de establecer algunos criterios para considerar a un elemento como esencial. Estos criterios fueron establecidos por Arnon y Stout (1939) y se presentan a continuación:

- a) Un elemento no puede considerarse como esencial a menos que su deficiencia haga imposible a la planta completar las etapas vegetativas o reproductivas de su ciclo.
- b) La deficiencia ha de ser específica del elemento en cuestión, y sólo puede ser corregida mediante el suministro de aquel.
- c) El elemento ha de estar directamente implicado en el metabolismo de la planta, con independencia de sus posibles efectos en la corrección de condiciones desfavorables, químicas o microbiológicas, del medio externo.

Algunos investigadores consideran que el segundo criterio no es totalmente correcto. Por ejemplo, se requiere molibdeno para la fijación del nitrógeno, pero en algunas especies, el molibdeno puede ser sustituido por vanadio (V), otro caso es el del cloro, este puede ser sustituido, en parte, por bromo (Br), otro ejemplo, es el

sodio (Na) que no está considerado como un elemento esencial, pero está demostrado en la práctica, que su presencia incrementa el rendimiento de numerosos cultivos, además de ser esencial para algunas plantas halófitas como *Atriplex* y *Amaranthus* (Sandoval, *et al.*, 2010).

Solamente 17 elementos están considerados como esenciales para las plantas, aquellos cuya acumulación en materia seca es mayor a 0.1% se llaman macronutrientes, mientras que los que se acumulan en los tejidos en una proporción menor al 0.01%, se llaman micronutrientes. El papel de los elementos esenciales radica en la formación, acumulación y descomposición de diversos metabolitos, participando en el aporte y transformación de la energía mediante reacciones bioquímicas (Salisbury y Ross, 1992).

### **3.4.3 Macronutrientes**

Los elementos que se consideran como macronutrientes son: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre, Magnesio y Calcio, debido a los requerimientos nutricionales de las plantas (Salisbury y Ross, 1992).

El Nitrógeno es un elemento utilizado en el metabolismo de las plantas, algunos de sus componentes sufren oxidación ó reducción, dentro de las moléculas biológicamente importantes para las plantas se incluyen las proteínas, ácidos nucleicos, purinas, piridiminas y coenzimas.(Barker *et al.*, 2007)

La deficiencia del Nitrógeno en las plantas restringe el crecimiento de órganos vegetativos, en el caso del follaje las hojas se tornan de un color verde claro o incluso amarillo, la pérdida del color verde es notoria a lo largo de toda la hoja y si la deficiencia se desarrolla durante el ciclo de crecimiento, el nitrógeno puede movilizarse desde las hojas bajas hacia las hojas jóvenes superiores causando que las hojas jóvenes se tornen de un color pálido, en el caso de las

deficiencias severas las hojas se tornan de un color café. El 85% del Nitrógeno forma parte de las proteínas, los ácidos nucleicos contienen alrededor del 5% de este elemento (Barker *et al.*, 2007).

El Fósforo es utilizado en su forma de ortofosfato, las plantas lo absorben como un anión monovalente fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) ó ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) dependiendo del pH del medio de crecimiento; no obstante, bajo ciertas condiciones algunas plantas absorben fosfatos orgánicos solubles, entre los que incluyen ácidos nucleicos. Otra porción absorbida de Fósforo es del tipo inorgánico y rápidamente se combina con moléculas orgánicas que son absorbidas por la raíz que posteriormente se transportan dentro de la planta (Barker *et al.*, 2007)

La propiedad más importante del Fósforo es cuando se transforma en adenosina difosfato y adenosina trifosfato (ADP y ATP); la energía se genera por la transferencia de moléculas de fosfatos o conocido como fosforilación. Además, el Fósforo es parte estructural de los componentes de los fosfolípidos parte esencial de la membrana celular así como de ácidos nucleicos y algunas coenzimas (Barker *et al.*, 2007).

Las deficiencias de Fósforo se observan en las hojas que poseen un color verde oscuro, posteriormente se tornan de un color rojo o púrpura. Las plantas y los frutos generalmente son de talla pequeña producen frutos pequeños, esto se debe a que el Fósforo es un elemento móvil en la planta, se transloca a las hojas jóvenes, cuando en las hojas viejas se presenta clorosis ó necrosis. En altas concentraciones, el fósforo puede ser tóxico e inducir la deficiencia de micronutrientes como el Zn y Cu (Barker *et al.*, 2007).

El Potasio al igual que el nitrógeno y el fósforo, se redistribuye con facilidad de los órganos maduros a los juveniles, la función del Potasio es la síntesis de polipéptidos en los ribosomas; su importancia radica en ser un excelente activador enzimático en la fotosíntesis y en la respiración (Barker *et al.*, 2007).

La deficiencia de Potasio retarda el crecimiento de las plantas, disminuyendo la longitud de entrenudos, en las hojas bajas se presentan los primeros síntomas. En muchas especies de monocotiledóneas las hojas más bajas muestran líneas pequeñas cloróticas o necróticas a lo largo de sus márgenes (Barker *et al.*, 2007).

La deficiencia de Potasio tiene efecto sobre la síntesis de azúcares, almidones, lípidos además de la formación de la cutícula de la hoja, los cloroplastos y mitocondrias se colapsan, ya que este elemento es importante para la transferencia de energía en estos organelos celulares (Barker *et al.*, 2007).

El Azufre, es utilizado para el crecimiento de las raíces, atraviesa la membrana citoplasmática de la raíz, posteriormente llega a los vasos del xilema y es transportado por la corriente transpiratoria a las partes superiores de la planta (Barker *et al.*, 2007).

La deficiencia de Azufre es muy compleja; los síntomas son muy específicos y afectan a la planta en su totalidad. En general se manifiestan como plantas de talla pequeña, follaje con clorosis, los bordes de las hojas se despliegan a las áreas intercostales, desarrollando una característica importante, las venas de las hojas permanecen verdes. La clorosis raramente se torna en necrosis (Barker *et al.*, 2007).

La segunda característica conforme avanza la deficiencia, es que las hojas se tornan de un color rojizo o incluso morado, esta se debe al enriquecimiento de antocianinas 4 ó 7 días después de la aparición de la clorosis y las hojas presentan deformaciones (Barker *et al.*, 2007).

Durante la floración se presenta un fenómeno llamado “floración blanca” este color se torna así por una sobrecarga de carbohidratos en las células de los pétalos que causan desordenes en el metabolismo de las proteínas, este proceso finaliza en la formación de leuco-antocianinas (Barker *et al.*, 2007).

El Magnesio, tiene la propiedad de poder moverse a lo largo de la pared celular; algunas de sus funciones son como cofactor enzimático en el proceso de

fosforilación, es un estabilizador estructural de varios nucleótidos y está asociado con la molécula de la clorofila implicada con la fotosíntesis (Barker *et al.*, 2007).

La deficiencia de Magnesio puede inhibir el incremento de la biomasa total de la planta, específicamente de la raíz; esta inhibición está asociada con la etapa de crecimiento, estado nutricional y las condiciones ambientales. Su carencia, también afecta el rendimiento y calidad de los frutos (Barker *et al.*, 2007).

Entre los primeros síntomas de deficiencia, se tiene la acumulación de almidón en las hojas inferiores, vinculado con la reducción de crecimiento de la planta y el decremento de la traslocación de carbohidratos hacia las hojas, se manifiesta con clorosis. En casos extremos se presenta una clorosis intervenal como resultado de la disociación de la clorofila (Barker *et al.*, 2007).

El Calcio, cumple funciones estructurales en la membrana y las paredes de las células debido a que forma parte de la lámina media, es activador enzimático para la regulación de la transpiración al formar un complejo proteico llamado calmodulina que contribuye al cierre de estomas cuando se sintetiza ácido abscísico en plantas sometidas a estrés hídrico (De la Cruz, 2002).

Los síntomas de deficiencia son más pronunciados en los tejidos jóvenes, que se tornan de un color amarillo verdoso, mientras que, las hojas de la parte inferior son de un color verde oscuro. Conforme avanza la deficiencia los tejidos de la membrana y la pared celular colapsan; el exceso de calcio en los frutos puede provocar algunas manchas generalmente doradas (Barker *et al.*, 2007).

#### **3.4.4 Micronutrientes**

Los elementos que se consideran como micronutrientes son: Hierro, Cloro, Manganeso, Boro, Zinc, Cobre, Molibdeno y Níquel, debido a que los

requerimientos nutricionales para las plantas son en menor proporción comparado con los macronutrientes (Salisbury y Ross, 1992).

El Hierro, forma parte de los citocromos que es uno de los componentes principales de algunas enzimas como las catalasas que transforman el peróxido de hidrogeno en agua y oxígeno y las peroxidases que transforman el peróxido de hidrogeno en agua (Barker *et al.*, 2007).

Las catalasas tienen un papel importante en la respiración, protegen de los efectos de los radicales libres producidos durante la fotosíntesis. Las peroxidases catalizan la polimerización de fenoles para formar lignina, este proceso se reduce considerablemente en las raíces de las plantas (Barker *et al.*, 2007).

Las deficiencias de Hierro se manifiesta como hojas cloróticas, frecuentemente las venas permanecen verdes con un placa amarilla, provoca cambios en la ultraestructura de los cloroplastos con la ausencia de tilacoides provocando una deficiencia total para cumplir su función (Barker *et al.*, 2007).

En el follaje, las hojas jóvenes se ven más afectadas que las hojas maduras, los casos de toxicidad muestran follaje con puntos rojizos ó cafés que gradualmente se extiende a todo el follaje cuando acontece esto probablemente las hojas mueran en poco tiempo, en casos extremos de toxicidad las hojas se pueden tornar de un color blanco (Barker *et al.*, 2007).

El Cloro, se asocia con lo optimización de la actividad enzimática de la asparagina sintetasa, ATPasa. En la fotosíntesis el cloro es indispensable para la activación del oxígeno y una enzima asociada con la funcionalidad del fotosistema II, su concentración es indispensable para la Osmorregulación. El Cloro permite el crecimiento y elongación de células de la planta (Barker *et al.*, 2007).

Los síntomas de deficiencia de Cloro se manifiestan principalmente en las hojas que se tornan marchitas especialmente en los márgenes; las deficiencias severas muestran hojas onduladas, marchitas o con necrosis. Las hojas más viejas muestran los primeros síntomas, conforme la enfermedad progresa afecta al



follaje entero. Cabe resaltar que los síntomas de toxicidad por Cloro generalmente se manifiestan en la ausencia de sodio (Barker *et al.*, 2007).

El Manganeso, cumple diversas funciones bioquímicas, activador enzimático primordialmente de deshidrogenasas, transferasas, hidroxilasas, descarboxilasas que están asociadas con la respiración, síntesis de aminoácidos y lignina. El manganeso es un elemento reportado como no móvil dentro de la planta, por lo tanto, los síntomas de deficiencia solo se observan en las hojas jóvenes (Barker *et al.*, 2007).

La deficiencia de Manganeso prevalece en suelos calcáreos y en un pH que va de 7.3 a 8.5. Las características de deficiencias restringen el crecimiento de las plantas, presentan clorosis en las hojas jóvenes, en contraste, las venas permanecen de un color verde oscuro. En casos severos se presentan manchas necróticas (Barker *et al.*, 2007).

El Boro, contribuye a la elongación de las raíces, metabolismo de proteínas, aminoácidos, nitratos, almidón, azúcares, formación de flores y producción de semillas (Barker *et al.*, 2007).

La deficiencia de Boro puede causar la reducción del rendimiento de la cosecha y dañar la calidad del producto, en casos más severos se presentan ambas condiciones; puede también inhibir la división celular y elongación de las raíces, reduce la actividad de la fosforilación que permite la degradación de fosfato pentosa, si esto no ocurriera, las altas concentraciones de azúcares y almidón se acumularían en las hojas. Los primeros signos se manifiestan en las hojas jóvenes con clorosis e incluso, necrosis (Barker *et al.*, 2007).

La acumulación de Boro no es uniforme, en el caso de las plantas monocotiledóneas se acumula en las puntas de las hojas y en caso de las dicotiledóneas se acumulan en los márgenes (Barker *et al.*, 2007).

El Zinc, es uno de los elementos que se puede mover a largo de la planta por el xilema, este elemento es un componente estructural de enzimas y cumple tres funciones principales, catalítica, coactiva y estructural (Barker *et al.*, 2007).

La deficiencia de Zinc se presenta en las hojas con clorosis en la vena principal, las venas secundarias se tornan de un color amarillo, el desarrollo de las hojas se inhibe y los entrenudos son más cortos, las partes apicales mueren (Barker *et al.*, 2007).

El Cobre, en las plantas activa diversos procesos enzimáticos, como los de la enzima ascorbato oxidasa, plastocianina y superperóxido dismutasa, además impide la fijación del dióxido de carbono (Barker *et al.*, 2007).

Los síntomas de deficiencias por Cobre aparecen de acuerdo a la especie y al estado de la deficiencia. En general, los puntos terminales de crecimiento de las plantas muestran los primeros síntomas como resultado de la inmovilidad del Cobre en la planta, se presentan rosetas, puntos necróticos, hojas torcidas; algunas otras especies presentan escases de turgencia y decoloración en ciertos tejidos. Los síntomas de toxicidad por Cobre se presentan en el crecimiento de la raíz, hojas con una clorosis marcada y un desarrollo pobre de tallos acompañado de un follaje con una coloración verde oscuro (Barker *et al.*, 2007).

El Níquel, en las plantas tiene un efecto fitosanitario ante los patógenos, se asocia con la fijación del nitrógeno, reduce la actividad de la urea (Barker *et al.*, 2007).

Las deficiencias del Níquel, resultan en el decremento de la actividad de la ureasa y subsecuentemente en toxicidad por urea seguido finalmente de necrosis aguda (Barker *et al.*, 2007).

### **3.5 Cultivos hidropónicos**

En México y otros países de América Latina, este término se utiliza para indicar la nutrición de la planta mediante una solución nutritiva, junto con el uso de sustratos orgánicos o inertes (o una mezcla de ambos) para el anclaje de las raíces y de tutores para mantener él o los tallos erguidos y los frutos sin contacto con el suelo o sustrato. Literalmente, el cultivo hidropónico implicaría que las raíces crecen en la solución nutritiva aireada, sin ningún sustrato sólido, sin embargo; esta acepción de los cultivos hidropónicos, por lo general, se conoce como cultivos en solución. En su concepción más amplia, los cultivos hidropónicos engloban a todo sistema en el que a las plantas se les hace crecer y desarrollarse en sustrato sólido diferente al suelo o en solución. El suministro de agua y de la totalidad o parte de los minerales se hace agregando solución nutritiva que contienen los elementos químicos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Sandoval *et al.*, 2010).

### **3.6 Soluciones nutritivas, Presión osmótica y pH**

Una solución nutritiva es una mezcla homogénea de uno o más fertilizantes en el agua de riego con una concentración, pH y balance iónico definidos. De acuerdo con Steiner (1984) y De Rijck y Schrevens (1998), la composición química de una solución nutritiva está determinada por:

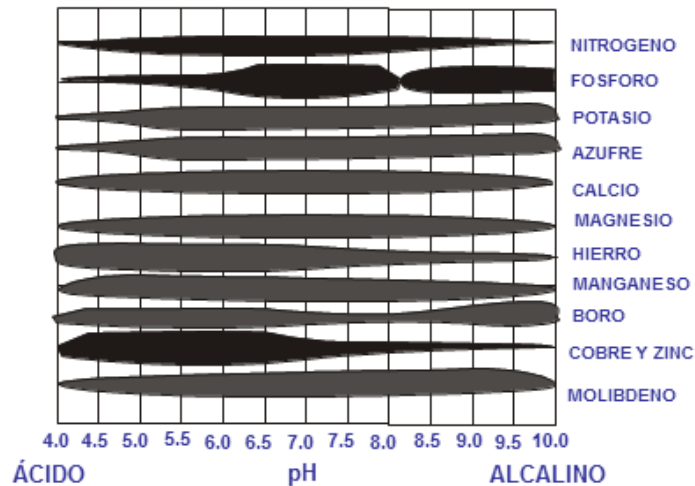
- a) Una relación catiónica mutua,
- b) Una relación aniónica mutua
- c) La concentración iónica total y
- d) El pH

Preciado (2001), menciona que entre las características que influyen de manera determinante en la respuesta de las plantas a la solución nutritiva, la más importantes son la presión osmótica expresada por la concentración total de iones.

Un aumento en la presión osmótica debido al incremento de iones en la solución nutritiva, provoca que la planta realice un esfuerzo mayor para absorber agua y elementos disponibles y por consiguiente, un mayor desgaste de energía metabólica. Según Steiner (1984), cuando en la solución nutritiva se presentan diferencias en la presión osmótica del orden de 0.2 atmósferas, se provocan discrepancias considerables en el rendimiento de los cultivos. Menciona también que en una verdadera solución nutritiva se tienen todos los iones en forma libre y activa y que el pH es importante para determinar la disponibilidad de los mismos, así por ejemplo; a un pH alto, no es posible tener un contenido alto de iones Ca y  $\text{PO}_4$ , debido a la posible precipitación de ambos en forma de compuestos poco solubles como  $\text{CaHPO}_4^-$ .

El pH es importante para favorecer la presencia de la forma química del  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , que es la forma en que el fósforo es más fácilmente absorbido por las plantas (Marschner, 1995). A un pH de 5:0, el 100% del P está en esta forma, al aumentar el pH, dicha forma pasa a  $\text{HPO}_4^{2-}$ . El intervalo de pH en el que el ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  predomina sobre el  $\text{HPO}_4^{2-}$  es entre 5 y 6, precisamente en este intervalo se tiene la mejor difusión del  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  en el espacio libre aparente radical y aumenta su absorción por las plantas desarrolladas en hidroponía.

Steiner (1968), generalmente usa valores de pH entre 6.0 y 6.5 y considera que en este intervalo el equilibrio de disociación de los fosfatos y de los carbonatos da la mayor capacidad amortiguadora con respecto al pH, en concreto, el pH apropiado para una solución nutritiva en hidroponía debe estar entre 5.5 y 6.5, ya que en este intervalo, la mayoría de los elementos están disponibles para la planta (Figura, 2).



Figura, 2. Disponibilidad de los nutrimentos en función del pH. Modificado de Salisbury y Ross, 1992

### 3.7 Preparación de la solución nutritiva y cálculo de la conductividad eléctrica

Una de las soluciones nutritivas más utilizadas en el mundo es la diseñada por Steiner (1966), es también conocida como “solución universal”. A una conductividad eléctrica de 2 deciSiemens por metro ( $\text{dSm}^{-1}$ ), contiene 9, 4 y 7 miliequivalentes por litro ( $\text{meqL}^{-1}$ ) de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^{+}$ , respectivamente. Las concentraciones de aniones son: 12, 1 y 7  $\text{meqL}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  respectivamente. Si la conductividad aumenta o disminuye, los  $\text{meqL}^{-1}$  de aniones y cationes, también lo hacen de manera proporcional (Cuadro, 2).

Cuadro, 2. Concentración en meqL<sup>-1</sup> de aniones y cationes que contiene la solución Steiner de acuerdo a la conductividad eléctrica.

Conductividad eléctrica (ds/m)	(meq/L <sup>-1</sup> )					
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
0.5	3	0.25	1.8	2.3	1	1.8
1	6	0.5	0.5	4.5	2	3.5
1.5	9	0.75	5.3	6.8	3	5.3
2	12	1	7	9	4	7
2.5	15	1.25	8.8	11.3	5	8.8
3	18	1.5	10.5	14	6	10.5g

Las soluciones nutritivas se preparan a partir de fertilizantes comerciales, los más utilizados por su disponibilidad y solubilidad, se observan en cuadro 3.

Cuadro, 3. Fertilizantes comerciales más utilizados para preparar solución nutritiva Steiner.

FERTILIZANTE	FÓRMULA QUÍMICA	PESO MOLECULAR	PESO EQUIVALENTE	SOLUBILIDAD g L <sup>-1</sup>
Nitrato de calcio	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	236.08	118	1200
Nitrato de potasio	KNO <sub>3</sub>	101.1	101	330
Sulfato de potasio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	174.27	87	< 150
Sulfato de magnesio	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	342.31	171	700
Ácido fosfórico	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	98	23	
Ácido sulfúrico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98	49	

Con los fertilizantes comerciales se hace el balance de aniones y cationes iniciando siempre con el de menor requerimiento, como se muestra en el cuadro 4.

Cuadro, 4. Balanceo de aniones y cationes utilizando los fertilizantes comerciales.

Fertilizante	Steiner meqL <sup>-1</sup>	Aniones			Cationes		
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>
		12	1	7	7	9	4
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	9	9				9	
KNO <sub>3</sub>	3	3			3		
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4			4	4		
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	4			4			4
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1		1				

Una vez realizado el balance de aniones y cationes con los fertilizantes comerciales, se obtienen los mgL<sup>-1</sup> o gL<sup>-1</sup> de cada uno para preparar la solución Steiner, esta cantidad servirá como base para preparar cualquier volumen de solución nutritiva (Cuadro, 5).

Cuadro, 5. Cantidad en gramos por litros de cada fertilizante para preparar la solución nutritiva.

Fertilizante	Peso molecular	Peso equivalente	meq g/L Solución Steiner	mg L <sup>-1</sup>	g L <sup>-1</sup>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	236	118	9	1062	1.062
KNO <sub>3</sub>	101	101	3	303	0.303
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	174	87	4	348	0.348
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	246	123	4	492	0.492
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (85% δ=1.7gmL <sup>-1</sup> )	98	32.6	1	32.6 22.56	0.0326 0.02256 mL

Siempre se debe hacer un análisis del contenido de aniones y cationes en el agua que se utilizará para preparar la solución nutritiva, para restar los meqL<sup>-1</sup> contenidos en el agua a los meqL<sup>-1</sup> de aniones y cationes que la solución Steiner propone a una conductividad dada, dependiendo del cultivo a trabajar.

En una solución Steiner, cuya conductividad eléctrica sea de 2 dSm<sup>-1</sup>, la suma de aniones es de 20 meqL<sup>-1</sup>, la suma de cationes también es de 20 meqL<sup>-1</sup> (cuadro, 6). Si obtenemos para cada anión y cada catión el número de milimoles por litro (mmol\*L) con la ecuación:

$$mmol * L = \frac{meq * L}{la\ Mayor\ valencia\ del\ elemento}$$

Obtendremos la suma de 30 mmol\*L considerando tanto aniones como cationes (Cuadro, 6).

Cuadro, 6. Miliequivalentes y milimoles por litro de aniones y cationes que contiene la solución Steiner a una conductividad de 2dSm<sup>-1</sup>.

	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Suma aniones	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Suma cationes	Total
meq*L	12	1	7	20	7	9	4	20	40
mmol*L	12	1	3.5	16.5	7	4.5	2	13.5	30

Con este valor se calcula la presión osmótica, el potencial osmótico y la conductividad eléctrica de la solución.

Presión osmótica (PO) = mmol\*L (0.024 atmósferas)



$$PO = 30 \text{ (0.024 atm)}$$

$$PO = 0.72 \text{ atm}$$

$$\text{Potencial osmótico } (\Psi_o) = PO \text{ (-0.1 Mpa)}$$

$$\Psi_o = 0.72 \text{ (-0.1Mpa)} = -0.072 \text{ Mpa}$$

Conductividad eléctrica (CE)

$$\text{Conductividad eléctrica (CE)} = \frac{\text{Potencial Osmótico (MPa)}}{-0.036}$$

$$C. E. = \frac{-0.072}{-0.036} = 2.0 \text{ dSm}^{-1}$$

De la misma forma se calcula la conductividad eléctrica en las soluciones de mayor o menor concentración, siempre que exista un balance entre aniones y cationes (Sandoval *et al.*, 2010).

Para los micronutrientes se prepara una solución madre (1000 veces más concentrada), dado las pequeñas cantidades de cada elemento que se requieren. Los resultados de los cálculos aparecen en el cuadro 7.

Cuadro, 7, cantidades de reactivos que se deben de pesar para preparar la solución madre de microelementos, con base a las recomendaciones de Arnon (1938) y Steiner (1984).

NOMBRE DEL REACTIVO	FÓRMULA	PESO MOLECULAR	PESO MOLECULAR DEL ELEMENTO	PARTES POR MILLÓN ( $\text{mgL}^{-1}$ )	CANTIDAD DEL REACTIVO ( $\text{mgL}^{-1}$ )
Ácido bórico	$\text{H}_3\text{BO}_3$	61.811	(B) 10.811	0.5	2.8
sulfato de manganeso	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	168.938	(Mn) 54.938	0.7	2.2
Sulfato de Zinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	287.39	(Zn) 65.390	0.09	0.4
Sulfato de cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	249.546	(Cu) 63.546	0.02	0.08
Molibdato de sodio	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	241.918	(Mo) 95.940	0.04	0.1
*Fe-quelato(7% Fe)	Fe-EDTA**	345.847	(Fe) 55.847	3	42.85

\*Existen otros compuestos como el Fe-EDDHA, Fe-DPTA y otros pueden sustituir al Fe-EDTA.

Para evitar precipitación de los fertilizantes utilizados en la preparación de la solución nutritiva, se recomiendan las siguientes acciones: a) agregar en el contenedor, la mitad de agua del volumen total a preparar, b) ajustar en pH con ácido sulfúrico entre 5.5 y 6.5, c) agregar y disolver los macronutrientes, d) agregar agua hasta  $\frac{3}{4}$  partes del volumen final y ajustar nuevamente el pH en caso de ser necesario e) agregar el volumen correspondiente para cada micronutriente y aforar al volumen final.

### **3.8 DESCRIPCIÓN DEL PIMIENTO (*Capsicum annum* L.)**

El pimiento es originario de América del sur, de la zona de Bolivia y Perú, este cultivo se extiende en casi todas las zonas templadas y cálidas del mundo. En México se conoce la importancia de este género desde épocas prehispánicas tomando gran importancia en los aspectos alimenticios, ya que pertenecía a los elementos básicos como el maíz, frijol, calabaza y cacao (Salas *et al.*, 2004).

Actualmente el cultivo de pimiento se encuentra presente en zonas cálidas y templadas del mundo, en América los principales productores son México y Estados Unidos.

En México, la superficie sembrada de pimientos frescos en el año 2002 según la FAO fue de 1733900 ton; producción destinada principalmente al mercado de exportación a Estados Unidos (FAO, 2002).

El pimiento pertenece a la familia de las Solanáceas y su nombre botánico es (*Capsicum annum* L.) y engloba a casi todas las especies cultivadas, la planta de pimiento es herbácea y anual, aunque puede rebrotar y volver a producir en su segundo año si se le practica una poda de rejuvenecimiento antes de que finalice su desarrollo vegetativo (Nuez *et al.*, 1996).

El sistema radical del pimiento es voluminoso y profundo, está formado por una raíz principal pivotante, aunque en terrenos apelmazados o en suelos de textura pesada tienen escaso desarrollo. Dispone asimismo, de numerosas raíces adventicias que en un plano horizontal llegan a alcanzar 0.5 a 1 cm de longitud que a diferencia de los cultivos en invernadero y con riego por goteo éstas suelen crecer en los primeros 30 ó 40 cm. de profundidad (Salas *et al.*, 2004).

La altura de la planta en invernadero es variable, dependiendo de la variedad y la fecha de trasplante, en general oscila entre 1 y 2 m; la forma de crecimiento consiste de un tallo de crecimiento limitado, que ramifica en tres o cuatro ramas o

tallos secundarios entre los 10 y 40 cm de altura, formando la estructura conocida con el nombre de “cruz” del pimiento. Estas ramas se vuelven a bifurcar en forma dicotómica apareciendo los tallos terciarios y así sucesivamente hasta el final de su ciclo. Los tallos son herbáceos y ligeramente lignificados (Salas *et al.*, 2004).

Sus hojas son simples, de borde entero en la base del limbo y de tacto liso. Está formada por un peciolo que une a la hoja con el tallo, y el limbo que es plano, delgado y de forma lanceolada ó aovada (órgano laminar con forma de huevo). Están insertadas en el tallo de forma alterna (Salas *et al.*, 2004).

Las flores suelen aparecer solitarias en cada nudo del tallo, concretamente en la axila de la hoja. Las flores del pimiento son hermafroditas y alógamas. Son más o menos pequeñas dependiendo de las variedades y sus pétalos son blancos (Figura, 3). Para que se produzca la floración, es necesario que la planta tenga un grado de madurez, que se consigue cuando presenta alrededor de 10 hojas (Salas *et al.*, 2004).



Figura, 3. Flores de la planta de pimiento (*Capsicum annum* L.).

El fruto del pimiento se define botánicamente como una baya, constituida por un grueso pericarpio y un tejido placentario al que se unen las semillas, con una estructura de superficie tersa, hueca y voluminosa, llena y con forma de cápsula, aunque, el tamaño y otras características están en función de la variedad. (Figura, 4).



Figura, 4. Frutos de planta de pimiento (*Capsicum annum* L.).

La fructificación del pimiento cultivado en invernadero, desde que se fecunda la flor hasta el momento de ser recolectado en estado inmaduro (verde), tarda de 15 a 20 días, según variedades y temperaturas y desde la plantación hasta el momento de la recolección suelen pasar de 2.5 a 3 meses. Inicialmente, los frutos son de color verde, virando a color rojo y posteriormente a amarillo en la madurez, aunque también existen variedades de frutos naranjas o morados (Urreztarazu, 2004).

Las semillas del pimiento son redondeadas suelen tener de 3 a 5 mm de longitud, se insertan sobre una placenta cónica de disposición central de color

amarillo pálido. La facultad germinativa suele ser de tres a cuatro años (Urreztarazu, 2004).

### **3.9 EXIGENCIAS AGROAMBIENTALES DEL PIMIENTO.**

#### **3.9.1 Temperatura.**

El pimiento es un cultivo exigente en temperatura, para un desarrollo óptimo requiere de un promedio mensual entre los 18 y 22° C. A temperaturas inferiores, el desarrollo vegetativo evoluciona lentamente o incluso se paraliza. Por otro lado, conforme aumenta la temperatura la planta puede vegetar en exceso lo que disminuye la producción. Este cultivo es capaz de resistir altas temperaturas siempre que la humedad del ambiente también lo sea, sin embargo, puede llegar a afectar la producción aumentando la proporción de frutos pequeños, con coloración deficiente y podredumbre apical de estos (Salas *et al.*, 2004).

En las plantaciones tempranas, un exceso de temperatura implica un incremento del crecimiento de las plantas promoviendo una dificultad para el cuajado de los frutos. La fructificación con temperaturas muy altas o muy bajas, o en circunstancias de baja fertilidad del polen, se suelen producir frutos partenocárpicos o esbozos de frutos, que en las variedades de fruto grueso dan lugar a pimientos de menor tamaño y con formas irregulares (Salas *et al.*, 2004).

### **3.9. 2 Humedad Relativa**

El desarrollo normal de las plantas de pimiento, no requiere de una humedad relativa demasiado alta, estableciéndose el óptimo entre el 60 y 70 %, lo que obliga a disponer de una buena ventilación en el invernadero. Los valores elevados de humedad, acompañados de una vegetación exuberante favorecen los ataques de Botrytis, Sclerotinia y otras enfermedades criptogámicas, además de dificultar la fecundación de las flores. La humedad baja promueve frutos deformes y pequeños, que junto con temperaturas elevadas originan la caída de flores e incluso frutos recién cuajados (Salas *et al.*, 2004).

### **3.9.3 Intensidad lumínica**

Las plantas del pimiento expuestas a luminosidad baja como consecuencia, de un excesivo sombreado del cultivo o de presencia de días nublados durante todo su ciclo son extremadamente sensibles en el periodo de floración, produciéndose una caída prematura de flores, los entrenudos de los tallos del pimiento se alargan demasiado quedando muy débiles como para soportar una producción óptima; la disminución del número de flores va acompañada de una característica debilidad lo que afecta la calidad y producción de la cosecha. Además, si los frutos reciben un mínimo de radiación no tomarán el color adecuado a su estado de madurez y por el contrario, un exceso de luminosidad provocará que los frutos presenten el efecto llamado “golpe de sol” que se refiere a depresiones en los frutos o manchas blanquecinas en los mismo (Salas *et al.*, 2004).

Los incrementos en la radiación solar mejoran considerablemente la calidad, al aumentar el tamaño y peso de los frutos.

Para su comercialización el pimiento se siembra en semilleros ó almácigos de poliestireno, donde la planta se desarrolla durante 30-35 días aproximadamente en los meses más cálidos y hasta 45-60 días en los periodos de frío. Después de este tiempo, se realiza el trasplante al área de cultivo definida (Salas *et al.*, 2004).

Las semillas se siembran en los semilleros a unos 3 cm de profundidad, se recubre con algún sustrato y se satura con la solución nutritiva. Las semillas, si se someten a temperaturas óptimas entre 20-25°C facilita la germinación la cual ocurre aproximadamente a los 5-10 días a partir de la siembra. En general, el consumo hídrico oscila entre 1 L m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> cuando la planta es pequeña hasta 4.5 m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> cuando está en la etapa de floración o llenado de fruto (Salas *et al.*, 2004).

### **3.10 Densidad de siembra y rendimiento agronómico**

La densidad de siembra y disposición de las plantas puede optimizar la intercepción de la radiación solar, permitiendo incrementar la fotosíntesis, de tal manera que la distribución de fotoasimilados se dirija al principal producto de comercialización que son los frutos.

Cruz-Carrillo *et al.*, (2003), evaluaron el efecto de tres densidades de plantación en el desarrollo vegetativo y producción de diferentes híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) con crecimiento indeterminado bajo condiciones de invernadero en Xoxocotlán, Oaxaca, México, con distintas densidades de siembra (5.3, 4 y 2.6 plantas por m<sup>-2</sup>), se observó un mayor rendimiento agronómico de 17.52 y 17.37 Kg\*m<sup>-2</sup> para las densidades con 5.3 y 4 pm<sup>-2</sup> respectivamente.

Ayvar *et al.*, (2004), evaluaron el comportamiento agronómico de la calabaza pipiana (*Cucúrbita argyrosperma* Huber) en el rendimiento de semilla, en Cocula,



Guerrero, México. Estudiaron siete distancias entre matas (30, 60, 90, 120, 150, 180 y 210 cm), en combinación con dos niveles de poda (con y sin poda); Los tratamientos estudiados mostraron diferencias significativas en cuanto al tamaño de la planta, el número de frutos y al peso de semilla. Las distancias (30 y 90 cm entre matas) produjeron la mayor cantidad de frutos.

Cruz-Huerta *et al.*, (2005), realizaron un estudio en Texcoco, Estado de México, sobre la acumulación de biomasa así como su relación con indicadores de eficacia biológica en pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) cultivados en condiciones de invernadero comparando dos densidades de población (8 y 14 plantas\*m<sup>-2</sup>), las dos densidades produjeron un mayor índice de área foliar que se correlacionó directamente con una mayor cantidad de biomasa y frutos por m<sup>-2</sup>.

Ramos-Gourcy *et al.*, (2006), realizaron una investigación en el área agrícola de la Posta Zootécnica de la Universidad Autónoma de Aguascalientes en donde se evaluaron tres materiales genéticos de chile pimiento (*Capsicum annum* L.), de los cuáles, dos eran híbridos (San Juan y Caballero) y una tercera variedad tradicional de los agricultores de la región. Las variedades anteriores se dividieron en dos parcelas, se utilizaron 4 niveles de la solución hidropónica Steiner (25, 50, 75 y 100% de concentración); el genotipo san Juan alcanzó en promedio, mayor producción de frutos por planta, seguido del híbrido Caballero y del criollo; considerando la interacción concentración/genotipos: éste último, con la concentración de 100% de la solución hidropónica presentó mayor producción de frutos por planta, seguido del híbrido san Juan.

Valle, (2010), realizó un análisis de crecimiento, acumulación de biomasa y extracción nutrimental de pimiento morrón en un invernadero de cristal del Posgrado en Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo, en Texcoco, Estado de México. Realizó la evaluación de dos estratos de producción del cultivo pimiento morrón en cuatro soluciones nutritivas (25, 75, 125 y 175 %) bajo condiciones de invernadero. Las plantas en la solución nutritiva a 75 %, presentaron mejores características en: tasa absoluta de crecimiento (2.6859

g\*día), tasa relativa de crecimiento (0.0369 g\*día), tasa de asimilación neta (0.3729 g\*m<sup>-2</sup>\*dia<sup>-1</sup>) y razón de área foliar (92.1959 cm<sup>-2</sup>\*g<sup>-1</sup>) e índice de cosecha (0.65).

Zúñiga-Estrada *et al.*, (2004), determinaron la producción de chile pimiento (*Capsicum annum* L.) bajo condiciones de invernadero en Tizayuca, Estado de Hidalgo, México, utilizando los métodos de subirrigación y riego superficial comparando 3 densidades de siembra (12, 16 y 24 plantas\*m<sup>-2</sup>), obteniendo un rendimiento de 34.5 Kg\*m<sup>-2</sup> para subirrigación y 37.8 Kg\*m<sup>-2</sup> para irrigación superficial, observando que en este último se logró cosechar la mayor cantidad de frutos y de mayor calidad.

Por los antecedentes arriba descritos, podemos considerar a la densidad de siembra como un factor que afecta el rendimiento biológico y agronómico de chile pimiento (*Capsicum annum* L.), por otro lado no se encontraron antecedentes de cultivos de pimiento cultivados en diferentes sistemas hidropónicos, lo cual justifica la realización de esta investigación.

## **4.0 OBJETIVOS**

### **4.1 General**

Evaluar el rendimiento biológico y agronómico de chile pimiento (*Capsicum annum* L.) cultivar California Wonder 300 con tres densidades de siembra en los sistemas hidropónicos de NFT y cultivo en sustrato.

## **4.2 Particulares**

Determinar las etapas fenológicas de chile pimiento (*Capsicum annum* L.) cultivar California Wonder 300, para conocer los cambios morfológicos que ocurren en un ciclo de producción.

Evaluar las respuestas morfológicas y fisiológicas de (*Capsicum annum* L.) cultivar California Wonder 300, en dos sistemas hidropónicos y tres densidades de siembra.

Comparar el rendimiento biológico y agronómico de (*Capsicum annum* L.) cultivar California Wonder 300, por unidad de área de los sistemas hidropónicos de NFT y sustrato.

## **5.0 MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se llevó a cabo en el invernadero de la Unidad de Morfología y Función de la FES-Iztacala, UNAM. Ubicada en Avenida de los Barrios número 1, los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México. En el periodo que comprendió del 3 de septiembre de 2009 al 9 de julio del 2010

### **5.1 Material biológico**

Las semillas de chile pimiento (*Capsicum annum* L.), fueron adquiridas en la casa comercial Cosechando Natural, estas se germinaron en charolas de poliestireno de 200 cavidades con una mezcla de agrolita: vermiculita 1:1 como sustrato, se colocaron a una temperatura de 20-25°C y se humedecieron con agua

hasta una semana después de la germinación, posteriormente fueron regadas con solución nutritiva Steiner, modificada por Sánchez del Castillo, (1983) diluida al 25%, 50%, 75% y 100%. Finalmente se trasplantaron a los sistemas con sustrato y NFT.

## **5.2 Diseño experimental**

El diseño experimental consistió en factores 2 X 3 totalmente al azar, con un número de repeticiones que fue de 5 a 10 dependiendo del parámetro medido.

Tanto en sustrato como en NFT, las plantas se trasplantaron cuando alcanzaron una altura aproximada de 10 cm, se establecieron tres densidades de siembra, 10, 15 y 25 plantas\*m<sup>-2</sup> (Cuadro, 8).

La nomenclatura manejada es la siguiente:

N1: sistema NFT 10 plantas\*m<sup>-2</sup>.

N2: sistema NFT 15 plantas\*m<sup>-2</sup>.

N3: sistema NFT 25 plantas\*m<sup>-2</sup>.

S1: sistema sustrato 10 plantas\*m<sup>-2</sup>.

S2: sistema sustrato 15 plantas\*m<sup>-2</sup>.

S3: sistema sustrato 25 plantas\*m<sup>-2</sup>.

Cuadro, 8. Muestra el diseño experimental de factores 2X3 totalmente al azar.

TRATAMIENTOS		REPETICIONES									
SISTEMA	DENSIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	D1										
NFT (Nutrient Film Technique)	Menor densidad										
	D2										
	Densidad media										
	D3										
	Mayor densidad										
	D1										
SUSTRATO (Tezontle)	Menor densidad										
	D2										
	Densidad media										
	D3										
	Mayor densidad										

### 5.3 Unidad experimental

Cada unidad experimental consistió en una planta de pimiento, en las diferentes etapas fenológicas, de la cual se utilizaron diversas partes de las plantas (hojas, raíz, tallos, frutos).

Los métodos de medición no fueron destructivos a lo largo del estudio sino hasta la fase final del mismo cuando se registró el rendimiento biológico y agronómico del cultivo.

### 5.4 Medición de variables morfológicas y fisiológicas

Las variables morfológicas y fisiológicas se evaluaron de acuerdo a la fenología del cultivo.

### **5.4.1 Semanalmente**

a) Fenología del cultivar:

- Plántula, a partir de la germinación a la aparición de hojas verdaderas.
- Vegetativa, aparición de las hojas verdaderas a la aparición e inicio de la apertura de botones florales.
- Floración, apertura de botones de florales a la fecundación.
- Llenado de fruto, a partir de la fecundación a la cosecha del fruto.

Las etapas de crecimiento de las plantas de pimiento Morrón se determinaron cuando al menos el 50% de las plantas se encontraban en esa fase.

b) Altura, medida con un flexómetro con precisión de 0.1 cm, desde la superficie del sustrato hasta el ápice meristemático.

c) Número de hojas por conteo directo

d) Diámetro de tallo, medido en la parte media de cada planta con vernier con una precisión de 0.01 cm.

### **5.4.2 Durante la fase vegetativa**

a) Concentración de clorofila total, clorofila a y clorofila b, tomada en la semana número 21 después de la siembra. Se maceró 1 g de hoja en 5 mL de acetona al 80 %, se centrifugó a 3500 rpm por 5 minutos, se recuperó el sobrenadante, a la pastilla nuevamente se le agregó 5 mL de acetona al 80 % y se centrifugó a 3500 rpm, finalmente se recuperó el sobrenadante y se juntaron ambos sobrenadantes, se aforó a 10 mL con acetona al 80%, se realizaron lecturas a 645 y 663 nm con un espectrómetro marca Shimadzu

UV-1201. Los cálculos se realizaron considerando la ecuación propuesta por Arnon, (1949).

$$\text{Clorofila a} = 12.7A_{663} - 2.69A_{645}$$

$$\text{Clorofila b} = 22.9A_{645} - 4.68A_{663}$$

$$\text{Clorofila total} = \text{clorofila a} + \text{clorofila b}$$

- b) Conductancia estomática, en hojas maduras, se realizó en la semana 21 y 23 después de la siembra, con porómetro de difusión marca LI-Cor modelo, LI-1600.

#### **5.4.3 Durante la floración**

- a) Conductancia estomática, en hojas maduras, se realizó en la semana 33 después de la siembra.

#### **5.4.4 Durante el llenado de fruto**

- a) Concentración de clorofila total, clorofila a y clorofila b, en la semana número 31 después de la siembra, de acuerdo a la técnica y ecuación arriba descritas.
- b) Conductancia estomática, como arriba se describió.
- c) Contenido Hídrico Relativo (CHR), en la semana 32 después de la siembra, en hojas maduras de 5 plantas de cada tratamiento, se obtuvo el peso fresco (Pf) de 10 discos foliares de 5 mm de diámetro que se

colocaron en agua destilada durante 4 horas al cabo de las cuales se pesaron nuevamente constituyendo el denominado peso turgente (Pt). Luego, se secaron en un horno durante 24 horas a 70°C obteniendo el peso seco (Ps). El CHR se calculó con la ecuación:

$$CHR = \frac{Pf - Ps}{Pt - Ps} \times 100$$

- d) Área foliar total, se evaluó la semana 31 después de la siembra, se tomó el contorno de todas las hojas de 5 plantas de cada tratamiento y se midió con un integrador de área foliar LI-3000 A.
- e) Volumen de frutos (rendimiento agronómico), se realizó de la semana 33 a la semana 42 después de la siembra por medio del desplazamiento de agua en una probeta graduada de 1000 mililitros.
- f) Peso fresco de raíces, tallos, hojas y frutos, se registraron al final de las evaluaciones anteriores (método destructivo), es decir; en la semana 44 después de la siembra se utilizó una balanza con precisión de 0.1 gramos.
- g) Peso seco de raíces, tallos, hojas y frutos, se registraron al final de las evaluaciones anteriores (método destructivo), es decir; en la semana 44 después de la siembra, las muestras se secaron a 70°C hasta peso constante y se pesaron utilizando una balanza con precisión de 0.1 gramos.



## **5.5 Análisis estadístico**

Los datos obtenidos fueron procesados mediante el paquete estadístico Statistical Analysis System ® (SAS) para la comparación de medias y pruebas de LSD ( $\alpha \leq 0.05$ ).

El análisis para las variables de respuesta, se realizó de la siguiente manera:

- a) comparación de los sistemas hidropónicos
- b) comparación de las 3 densidades de siembra
- c) tendencia favorable de las combinaciones sistemas y densidades de siembra

Además de lo anterior, la discusión se realizó separando 3 fases:

- a) Vegetativa, de la semana 5 a la semana 9.
- b) Floración, de la semana 11 a la semana 13.
- c) Fructificación y llenado de fruto, desde la semana 15 a la semana 17.

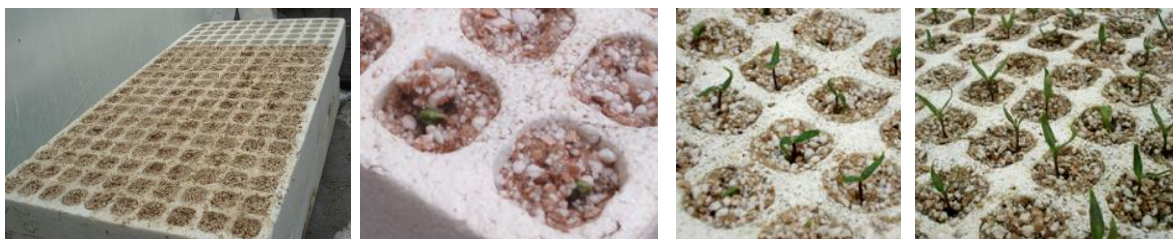
## **6. 0 RESULTADOS Y DISCUSION**

### **6.1. Fenología del cultivo**

La comparación de los datos obtenidos en este estudio se realizó con los obtenidos del manual del Centro de Investigaciones de Recursos Naturales (CIRN), en el cual se estudiaron 3 variedades de chile pimiento; estas sólo difirieron en el número de semanas en las que inicio la fase de producción del fruto.

La literatura menciona que el chile pimiento (*Capsicum annum* L.) posee un ciclo vegetativo de duración de 100 a 160 días y bajo condiciones de rendimiento de alta tecnología logra obtener una duración de 140 a 160 días asociado con dos ó más ciclos de producción.

En este estudio la siembra en almacigo se estableció el 4 de septiembre de 2009, 13 días después las semillas de pimiento (*Capsicum annum* L.) germinaron, a partir de este día inicio la fase vegetativa y tuvo una duración de 62 días (Figura 5 y Figura 6), en el registro del CIRN la plantación, germinación y la fase vegetativa de las plantas de pimiento morrón duró 56 días.



Figura, 5. Almacigos mostrando la germinación de las semillas de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.), cultivar California Wonder 300.



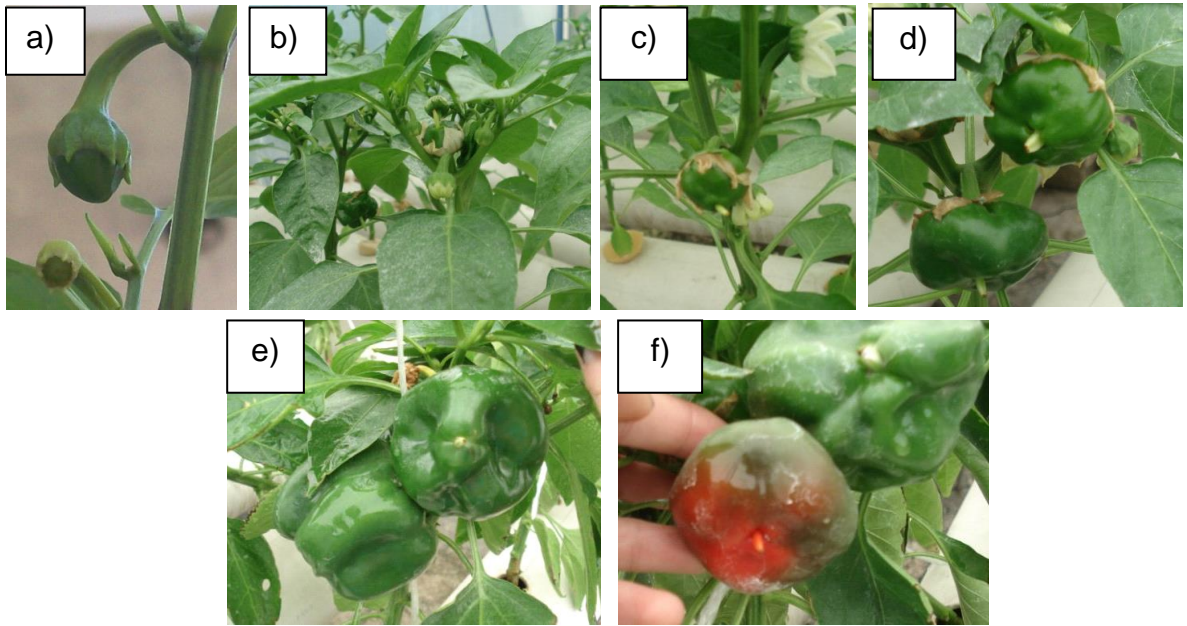
Figura, 6. Fase vegetativa de las plantas de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.), cultivar California Wonder 300.

La fase de floración se inició a los 63 días después de la siembra (dds) pero fue hasta los 78 dds cuando al menos el 50% de las plantas se encontraron en plena floración (Figura, 7); al realizar una comparación con el manual de CIRN, se observó que la floración inició a los 59dds no obstante fue a los 84 dds cuando más de 50% de las plantas se encontraban en plena floración.



Figura, 7. Fase de floración de las plantas de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.), cultivar California Wonder 300.

La fase de llenado de fruto se inició a partir del día 79 dds, durando esta fase hasta los 109 dds. Durante este lapso las plantas alcanzaron su mayor etapa de producción, a partir de este momento (109 dds) la producción comenzó a decaer considerablemente (Figura, 8); al hacer la comparación con los parámetros CIRN, se observó que la fase de llenado de fruto comenzó a partir de los 85 dds, manteniéndose hasta los 105 dds. En este intervalo de tiempo, se registró la mayor producción, después decayó notablemente.



Figura, 8. Fase de llenado de fruto de las plantas de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.), cultivar California Wonder 300, a) posterior a la fecundación, b), c), d) y e) crecimiento y desarrollo de los frutos de pimiento morrón, f) maduración de los frutos.



Figura, 9. Cosecha de los frutos de las plantas de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.), cultivar California Wonder 300.

Nuestros resultados mostraron tan sólo algunos días de diferencia (menos de una semana) comparados con los del CIRN, lo que indica que las plantas de la misma especie tienen similitudes en cuanto a su ciclo de crecimiento, lo que las hace diferentes es el cultivar al que pertenecen.

## **6.2 Altura de la planta**

El análisis estadístico indicó que en la fase vegetativa y floración hubo diferencias ( $\alpha = 0.05$ ) entre los sistemas hidropónicos utilizados, registrándose la mayor altura en los pimientos cultivados en sustrato.

Durante la fase vegetativa no hubo un efecto de la densidad de siembra sobre la altura de las plantas, excepto en la semana 5 donde S1 y S2 registraron la mayor altura. (Cuadro, 9)

En la combinación sistema-densidad durante la fase vegetativa S1 registró tendencia de mayor altura, mientras que durante la fase de floración fue S2 quien registro dicha tendencia. (Cuadro, 9)

Durante la fase de llenado de fruto, no se mostraron diferencias ( $\alpha = 0.05$ ) entre sistemas hidropónicos ni entre densidades de siembra en cuanto a la combinación sistema-densidad se mostró una tendencia de mayor altura en S2. (Cuadro, 9)

La tendencia de mayor altura en S2 (Cuadro, 9), pudo deberse a una mayor disponibilidad de espacio y menor competencia de la solución nutritiva por parte de las raíces.

Cuadro, 9, Altura de las plantas de (*Capsicum annum* L.) cultivar California Wonder 300, de acuerdo al estado fenológico evaluado bajo dos sistemas hidropónicos con tres densidades de siembra. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD,  $\alpha = 0.05$ ); cada dato es el promedio de 10 repeticiones.

ETAPA/TRATAMIENTO	Vegetativa			Floración		Llenado de fruto	
SEMANAS	5	7	9	11	13	15	17
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
SISTEMAS							
SUSTRATO	7.6 a	10.7 a	24.9 a	27.6 a	28.9 a	31 a	32.5 a
NFT	4.3 b	7.2 b	19 b	22.6 b	24.2 b	28.5 a	30.2 a
DMS	0.7	1.1	2.6	2.8	2.9	2.9	2.8
DENSIDADES							
1	6.4 a	9.8 a	23 a	25.7 a	27.6 a	30.8 a	32 a
2	6.1 ab	9.4 a	22.5 a	25.7 a	26.7 a	29.6 a	31.4 a
3	5.5 b	7.7 b	23.9 a	23.9 a	25.3 a	28.9 a	30.6 a
DMS	0.8	1.3	3.2	3.4	3.6	3.5	3.4
COMBINACIÓN							
S1	8.2 a	11.3 a	25.5 ab	28.5 ab	30.3 ab	32.6 a	35.1 a
S2	7.9 ab	12.0 a	28.1 a	30.74 a	31.7 a	33.9 a	33.8 a
S3	6.9 b	8.8 b	21.1 bc	23.55 c	24.7 c	26.5 bc	28.7 b
N1	4.7 c	8.2 bc	20.5 c	22.9 c	24.9 c	29.1abc	30.3 ab
N2	4.2 c	6.9 bc	17.0 c	20.7 c	21.8 c	25.2 c	27.8 b
N3	4.1 c	6.5 c	19.6 c	24.3 bc	25.9 bc	31.3 ab	32.5 ab
DMS	1.2	1.9	4.6	4.9	5.1	5	4.8
CV	22.5	23.8	23.4	21.8	21.4	18.9	17.3

Las plantas cultivadas en sustrato registraron mayor altura que las cultivadas en NFT. Zúñiga-Estrada *et al.*, (2004), encontraron que la altura de las plantas se incrementa con la densidad de siembra y el tipo de riego, no ocurrió lo mismo en

esta investigación ya que la densidad de siembra no favoreció una mayor altura de las plantas.

### **6.3 Número De Hojas**

En la fase vegetativa, sólo en la semana 7 y 9 hubo diferencias ( $\alpha = 0.05$ ) entre sistemas hidropónicos, registrándose el mayor número de hojas en los pimientos cultivados en sustrato. Con respecto a la densidad de siembra, en la semana 5 y 7, las densidades de siembra 1 y 2, registraron mayor número de hojas ( $\alpha = 0.05$ ) que la densidad 3. Se mostró una tendencia favorable en cuanto al número de hojas en tratamiento S2, sólo en la semana 9 esta tendencia fue favorable tanto para S1 como para S2 (Cuadro, 10).

En la fase de floración, no se registraron diferencias del número de hojas no entre sistemas hidropónicos ni entre densidades de siembra, observándose una tendencia de mayor número de hojas en S1 (Cuadro, 10).

En la fase de llenado de fruto, no se observaron diferencias ( $\alpha = 0.05$ ) entre sistemas hidropónicos. Con respecto a la densidad de siembra, en la semana 15 la densidad 1 registró el mayor número de hojas ( $\alpha = 0.05$ ) mientras que en la densidad 3 los valores de esta variable de respuesta fueron los menores (Cuadro, 10).

El número de hojas de los pimientos en cada tratamiento, no cambió con respecto a la altura de las plantas, sino con el tipo de sistemas hidropónicos y densidades de siembra.

Cuadro, 10. Número de hojas de (*Capsicum annum* L.) cultivar California Wonder 300, de acuerdo al estado fenológico evaluado bajo dos sistemas hidropónicos con tres densidades de siembra. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD,  $\alpha \leq 0.05$ ); cada dato es el promedio de 10 repeticiones.

SEMANA/TRATAMIENTO	Vegetativa			Floración		Llenado de fruto	
SEMANAS	5	7	9	11	13	15	17
	conteo directo						
SISTEMAS							
SUSTRATO	7.9 a	12a	23.7 a	28.6 a	29.3 a	34.5 a	37.7 a
NFT	7.4 a	10.60 b	21 b	27.7 a	26.8 a	32.5 a	37.2 a
DMS	0.8	1.2	2.3	3.6	3.6	3.8	5.2
DENSIDADES							
1	8.3 a	11.4 a	24.2 a	28.4 a	29.6 a	35.7 a	40 a
2	8.1 a	11.7 a	23.5 a	28.3 a	28.9 a	34.2 ab	37.4 a
3	6.6 b	10.8 a	19.3 b	27.8 a	25.8 a	30.5 b	35 a
DMS	1	1.5	2.8	4.5	4.4	4.7	6.4
COMBINACIÓN							
S1	8.9 a	12.1 ab	27.2 a	32.9 a	34.0 a	40.9 a	47.9 a
S2	9.0 a	13.1 a	26.6 a	30.3 ab	31.3 ab	37.2 ab	38.7 bc
S3	6.0 c	10.9 b	17.5 b	22.7 c	22.7 c	25.4 c	26.6 d
N1	7.8 ab	10.7 b	21.3 b	24.0 bc	25.2 bc	30.5 bc	32.2 cd
N2	7.3 bc	10.4 b	20.5 b	26.3 bc	26.5 bc	31.3bc	36.1bc
N3	7.2 bc	10.7 b	21.2 b	32.9 a	28.9abc	35.7ab	43.5 ab
DMS	1.4	2.1	4	6.3	6.2	6.7	9
CV	20.6	21	20.2	25.2	24.9	22.3	26.9

El número de hojas tiene relación con el rendimiento del cultivo; Valle, (2010), menciona que las plantas con mayor número de hojas interceptan mayor cantidad de luz, mientras que Cruz-Huerta *et al*, (2005), encontraron una relación directa entre la densidad de siembra y el número de hojas lo cual alude a una



mayor cantidad de luz absorbida para el metabolismo fotosintético y la satisfacción de la demanda de fotoasimilados de flores y frutos. En este estudio durante la etapa vegetativa y de floración se encontró que S2 tuvo la mayor cantidad de hojas.

#### **6.4 Diámetro del tallo**

Entre sistemas hidropónicos, no se registraron diferencias ( $\alpha= 0.05$ ) en diámetro del tallo tanto en la fase vegetativa como en la de floración y llenado de frutos (Cuadro, 11).

Con respecto a las densidades de siembra, en la fase vegetativa y fase de floración el diámetro del tallo fue mayor en la densidad 1 y 2, mientras que en la densidad 3 se registraron los menores valores. La combinación sistema-densidad indicó tendencia de mayores diámetros del tallo en S1 y S2 (Cuadro, 11).

En la fase de llenando de fruto, no hubo diferencias del diámetro del tallo ( $\alpha = 0.05$ ) entre densidades de siembra, sin embargo, la combinación sistema-densidad se observó una tendencia de mayores valores de esta variable de respuesta en N3 (Cuadro, 11).

Cuadro, 11. Diámetro de tallo de (*Capsicum annum* L.) cultivar California Wonder 300, de acuerdo al estado fenológico evaluado bajo dos sistemas hidropónicos con tres densidades de siembra. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD,  $\alpha \leq 0.05$ ); cada dato es el promedio de 10 repeticiones.

ETAPA/TRATAMIENTO	Vegetativa			Floración		Llenado de fruto	
SEMANAS	5	7	9	11	13	15	17
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
SISTEMAS							
SUSTRATO	0.5 a	0.6 a	0.7 a	0.7 a	0.7 a	0.8 a	0.9 a
NFT	0.5 a	0.6 a	0.6 a	0.6 a	0.7 a	0.8 a	0.9 a
<i>DMS</i>	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.1	0.1
DENSIDADES							
1	0.5 a	0.6 a	0.7 a	0.79 a	0.9 a	0.9 a	0.9 a
2	0.5 a	0.6 a	0.7 a	0.80 a	0.8 a	0.9 a	0.9 a
3	0.4 b	0.5 a	0.6 a	0.70 b	0.8 a	0.9 a	0.9 a
<i>DMS</i>	0.05	0.07	0.07	0.07	0.1	0.1	0.1
COMBINACIÓN							
S1	0.5 a	0.7 ab	0.7a	0.7 a	0.8 a	1a	1 ab
S2	0.5 a	0.7 a	0.7 a	0.7 a	0.8 a	0.8 abc	0.9 ab
S3	0.4 c	0.4 d	0.5 c	0.5 c	0.6 c	0.6 c	0.7 c
N1	0.4 b	0.6 bc	0.6 b	0.6 b	0.7 b	0.7 bc	0.8 bc
N2	0.5 ab	0.6 c	0.6 ab	0.6 ab	0.7 ab	0.8 abc	0.9 bc
N3	0.5 ab	0.6abc	0.7ab	0.7 ab	0.7 ab	0.9 ab	1.1 a
<i>DMS</i>	0.04	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
CV	15.7	17.3	17	17	15.3	24.7	25.2

En la revisión de literatura, no se encontraron trabajos relacionados directamente con el diámetro del tallo respecto a la densidad de siembra y sistemas hidropónicos.

Retomando la altura de las plantas y el número de hojas los mayores valores de estas variables considerando a los sistemas hidropónicos, se observaron en

S2. Mientras que para el diámetro del tallo durante el llenado del fruto, N3 fue significativamente mayor ( $\alpha = 0.05$ ) respecto a los demás tratamientos.

### **6.5 Concentración de clorofila, durante la fase vegetativa y llenado de fruto.**

La concentración de clorofila evaluada en la semana 21dds (fase vegetativa), osciló entre (4.0 y 5.2 mg\*g), sin mostrar diferencias ( $\alpha = 0.05$ ) entre sistemas hidropónicos, ni entre densidades de siembra, tampoco en la combinación de ambas (Cuadro, 12).

Los resultados de la concentración de clorofila en la fase de llenado de fruto evaluada en la semana 32 dds, oscilaron entre 7.7 a 8.7 mg\*g; indicando diferencias ( $\alpha = 0.05$ ) entre sistemas hidropónicos, la mayor concentración de clorofila se registró en las plantas cultivadas en sustrato.

Entre las densidades de siembra no se mostraron diferencias ( $\alpha = 0.05$ ), pero si una tendencia de mayor concentración de clorofila total en S3, (9.3 mg\*g) comparado con las plantas cultivadas en el resto de las densidades de siembra y sistemas hidropónicos que registraron valores similares (Cuadro, 12).

Cuadro, 12. Concentración de clorofila total de (*Capsicum annum* L.) cultivar California Wonder 300, de acuerdo al estado fenológico evaluado bajo dos sistemas hidropónicos con tres densidades de siembra. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD,  $\alpha \leq 0.05$ ); cada dato es el promedio de 3 repeticiones.

ETAPA/TRATAMIENTO	Vegetativa	Llenando de fruto
SEMANAS	21	32
	mg*g	mg*g
SISTEMAS SUSTRATO	4.7 a	8.9 a
NFT	4.6 a	8.0 b
DMS	1.3	0.4
DENSIDADES		
1	5.1 a	8.4 a
2	4.6 a	8.5 a
3	4.3 a	8.5 a
DMS	1.6	0.5
COMBINACIÓN		
S1	5.2 a	8.7 ab
S2	5.0 a	8.7 ab
S3	4.0 a	9.3 a
N1	5.1 a	8.1 bc
N2	4.2 a	8.3 bc
N3	4.5 a	7.7 c
DMS	2.2	0.7
CV	27.3	4.9

Valle, (2010), indica que las plantas de chile pimiento exigen bastante luminosidad durante todo su ciclo de vida, especialmente en la etapa de floración, al respecto Cruz-Huerta *et al.*, (2005), mencionan que la tasa de captación de energía es mayor en las densidades de siembra altas y estas, a su vez, se relacionan con un alto índice de área foliar.

Al revisar las combinaciones sistema-densidad, en N3 se observó una tendencia de menor concentración de clorofila (8.7 mg\*g); mientras que S3 mostró la mayor concentración de clorofila (9.3 mg\*g).

## **6.6 Conductancia estomática, durante la fase vegetativa**

Se encontraron diferencias entre sistemas hidropónicos ( $\alpha = 0.05$ ) evaluada en la semana 21 dds, las plantas cultivadas en NFT registraron los mayores valores de conductancia estomática. S2 mostró tendencia de mayores valores para esta variable de respuesta (Cuadro, 13).

Esto puede ser resultado de las características propias del riego en cada sistema hidropónico; el sustrato pudo presentar diversas condiciones indicadoras de estrés que afectaron la apertura y cierre de estomas modificando la conductancia estomática.

## **6.7 Conductancia estomática, durante la fase floración**

Durante la fase de floración 33 dds, no se observaron diferencias ( $\alpha = 0.05$ ) de conductancia estomática ni entre sistemas hidropónicos ni entre densidades de siembra, no obstante, S1 mostró una tendencia favorable en la combinación sistema-densidad. Lo anterior sugiere que ni los sistemas hidropónicos ni las densidades de siembra modifican la conductancia estomática (Cuadro, 13).

## **6.8 Conductancia estomática, durante el llenado de fruto**

Durante la fase de llenado de fruto en la semana 38 dds, no se registraron diferencias ( $\alpha = 0.05$ ) de conductancia estomática entre sistemas hidropónicos ni entre densidades de siembra, sin embargo, se observó una tendencia de mayores valores en la combinación de sistema-densidad, N3 registró el mayor valor ( $1467.8 \text{ cms}^{-1}$ ) con respecto a los demás tratamientos (Cuadro, 13)

Este tratamiento registró la mayor apertura estomática que pudiese estar relacionada con una mayor fijación de CO<sub>2</sub> y por ende, de mayor producción de biomasa misma que se corroboró con un mayor número y peso de frutos.

Cuadro, 13. Conductancia estomática de (*Capsicum annum L.*) cultivar California Wonder 300, de acuerdo al estado fenológico evaluado bajo dos sistemas hidropónicos con tres densidades de siembra. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD,  $\alpha \leq 0.05$ ); cada dato es el promedio de 5 repeticiones.

SEMANA/TRATAMIENTO	Vegetativa	Floración	Llenado de fruto
SEMANAS	21 cms <sup>-1</sup>	33 cms <sup>-1</sup>	38 cms <sup>-1</sup>
SISTEMAS			
SUSTRATO	28.7 b	46 a	803.2 a
NFT	53.9 a	86.1 a	1090.6 a
DMS	22.2	44.1	340
DENSIDADES			
1	43.9 a	67.8 a	750.2 a
2	45.6 a	62.9 a	1026.0 a
3	34.3 a	67.6 a	1064.6 a
DMS	27.2	54	416.4
COMBINACIÓN			
S1	45.1 ab	22.5 ab	912.5 abc
S2	24.7 b	19.5 b	835.8 bc
S3	16.2 b	14.1 b	661.4 bc
N1	42.7 ab	16.2 b	587.8 c
N2	66.5 a	28.2 ab	1216.2 ab
N3	52.4 ab	35.4 a	1467.8 a
DMS	38.4	76.3	589
CV	71.3	88.5	47.6

## 6.9 Contenido hídrico relativo en la fase de llenado de fruto

Los valores del Contenido Hídrico Relativo no presentaron diferencias ( $\alpha = 0.05$ ) entre sistemas hidropónicos ni en entre densidades de siembra (Cuadro, 14). Lo cual indica que las plantas cultivadas en hidroponía mantienen niveles similares de hidratación y que esta variable no contribuyó sobre las diferencias que pudiesen observarse sobre el número de frutos producidos por planta.

Cuadro, 14. Contenido Hídrico Relativo de (*Capsicum annum* L.) cultivar California Wonder 300, de acuerdo al estado fenológico evaluado bajo dos sistemas hidropónicos con tres densidades de siembra. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD,  $\alpha \leq 0.05$ ); cada dato es el promedio de 5 repeticiones.

SEMANA/TRATAMIENTO	Llenado de fruto
	contenido relativo de agua
SISTEMAS	
SUSTRATO	
NFT	39.5 a
	39.3 a
DMS	7.8
DENSIDADES	
1	37.1 a
2	36.3 a
3	44.9 a
DMS	9.55
COMBINACIÓN	

S1	36.9 ab
S2	33.0 b
S3	48.6 a
N1	37.3 ab
N2	39.5 ab
N3	41.1 ab
<i>DMS</i>	13.5
CV	26.2

---

Al no existir un antecedente directo de las plantas de pimiento morrón cultivadas en hidroponía con respecto al contenido hídrico relativo en sus diferentes etapas fenológicas, no se puede realizar una comparación de los resultados obtenidos en este estudio, no obstante; podemos mencionar que dadas las condiciones de crecimiento del cultivo se esperarían valores altos (superiores al 80%), de esta variable de respuesta. No obstante, los bajos porcentajes del contenido hídrico relativo, pueden atribuirse a la ausencia del sistema de nebulización que mantenía los porcentajes de humedad óptimos para las plantas dentro del invernadero ó sugiere también que el agua fluye rápidamente hacia la atmósfera.

### **6.10 Volumen de frutos**

No hubo diferencias ( $\alpha = 0.05$ ) entre sistemas hidropónicos, pero sí entre densidades de siembra, la densidad 3 fue significativamente mayor ( $\alpha = 0.05$ ) con respecto a las otras dos densidades. En cuanto a la combinación sistema-densidad el tratamiento S1 y N3 mostraron una tendencia hacia el mayor volumen de frutos (Cuadro, 15).



Cuadro ,15. Volumen de los frutos de (*Capsicum annum* L.) cultivar California Wonder 300, de acuerdo al estado fenológico evaluado bajo dos sistemas hidropónicos con tres densidades de siembra. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD,  $\alpha \leq 0.05$ ); cada dato es el promedio de 5 repeticiones.

SEMANA/TRATAMIENTO	Llenado de fruto cm <sup>3</sup>
SISTEMAS	
SUSTRATO	316 a
NFT	368.9 a
<i>DMS</i>	70.9
DENSIDADES	
1	310.0 b
2	293.5 b
3	418.0 a
<i>DMS</i>	86.8
COMBINACIÓN	
S1	464 b
S2	272.0 c
S3	212.0 cd
N1	117.5 d
N2	315.0 c
N3	624.0 a
<i>DMS</i>	123.1
CV	27.8

Retomando, N3 presentó un mayor diámetro de tallo lo cual es consistente dado que las plantas con esta condición pudieron sostener un mayor número de frutos o de mayor dimensión en segundo lugar, el tratamiento S1 fue el que registró frutos de mayor volumen en las plantas cultivadas en sustrato (Cuadro, 15).

Zúñiga-Estrada *et al.*, (2004), mencionan que el rendimiento de los frutos de las plantas de pimiento morrón, es modificado por el efecto de la densidad de siembra y las características propias de los sistema de riego. Por otro lado, Cruz-Huerta *et al.*, (2005), indican que el rendimiento de los frutos por planta disminuye linealmente con el incremento de siembra con un rendimiento por unidad de superficie e índice de área foliar directamente proporcional al aumento de la densidad de población. En el presente estudio se observó que N3 registró tanto la mayor cantidad de frutos como el mayor volumen de los mismos, concordando con los autores ya mencionados.

Cabe mencionar también que las características propias del sistema NFT resultaron más favorables al cultivo de las plantas de pimiento morrón debido a que las plantas crecieron con el sistema radicular en contacto directo con la solución nutritiva, esto facilitó la absorción de nutrientes a diferencia de las plantas cultivadas en sustrato en donde las condiciones de crecimiento a distintas densidades de siembra resultaron un tanto más desfavorables en cuanto a un nivel alto de rendimiento agronómico, esto posiblemente debido a la compactación del sustrato, lixiviación de nutrientes y/o salinidad acumulada que interfirieron con la captación de nutrientes.

### **6. 11 Área foliar**

No se registraron diferencias ( $\alpha = 0.05$ ) entre sistemas hidropónicos ni entre densidades de siembra. En cuanto a la combinación sistema-densidad hubo una tendencia de mayor área foliar en las plantas cultivadas en N3 (Cuadro, 16), lo cual sugiere una mayor eficiencia fotosintética, misma que se corroboró con el mayor volumen de los frutos en este tratamiento.

Cuadro, 16. Área foliar de (*Capsicum annum* L.) cultivar California Wonder 300, de acuerdo al estado fenológico evaluado bajo dos sistemas hidropónicos con tres densidades de siembra. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD, $\alpha \leq 0.05$ ); cada dato es el promedio de 5 repeticiones.

SEMANA/TRATAMIENTO	Llenado de fruto cm <sup>2</sup>
<b>SISTEMAS</b>	
SUSTRATO	1996.2 a
NFT	2089.6 a
<i>DMS</i>	578.4
<b>DENSIDADES</b>	
1	1999.9 a
2	1871.3 a
3	2257.6 a
<i>DMS</i>	708.4
<b>COMBINACIÓN</b>	
S1	2655.5 ab
S2	1707.2 bc
S3	1626.0 c
N1	1344.3 c
N2	2035.5 abc
N3	2889.2 a
<i>DMS</i>	1001.9
CV	37.5

Valle, (2010) indica que el área foliar de las plantas se relaciona con la eficiencia fotosintética de las mismas; un mayor número de hojas que implicaría una mayor área foliar, representa una mayor cobertura de captación de luz que se traduce en un incremento de materia seca en diversas etapas del ciclo de vida de las plantas de pimiento. Cruz-Huerta *et al.*, (2005), mencionan que la mayor tasa

fotosintética la registraron en densidades de siembra altas, relacionándose con el índice de área foliar y esto a su vez con la cantidad de energía interceptada.

En esta investigación, el tratamiento N3 tuvo la mayor área foliar; no obstante, no lo podemos relacionar directamente con el autor antes mencionado ya que en este estudio no se midió la eficiencia fotosintética, sin embargo, podemos sugerir que al tener la mayor área foliar, las plantas cultivadas con esta densidad de siembra y en este sistema hidropónico, tuvieron una mayor eficiencia fotosintética, misma que se tradujo con un mayor número de frutos en este tratamiento.

#### **6. 12 Relación de Área Foliar (RAF) y Área Foliar Específica (AFE).**

El análisis indicó que no hubo diferencias ( $\alpha = 0.05$ ) en la RAF ni en el AFE de las plantas de pimiento morrón como consecuencia de las densidades de siembra o sistemas hidropónicos utilizados. Sin embargo, la combinación sistema-densidad se observó una tendencia donde N1 registró una mayor AFE comparada con los demás tratamientos (Cuadro, 17).

Cuadro, 17. Área foliar específica de (*Capsicum annum* L.) cultivar California Wonder 300, de acuerdo al estado fenológico evaluado bajo dos sistemas hidropónicos con tres densidades de siembra. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD,  $\alpha \leq 0.05$ ); cada dato es el promedio de 5 repeticiones.

TRATAMIENTO	Final de la evaluación
	cm <sup>2</sup>
SISTEMAS	
SUSTRATO	281.6 a
NFT	196.7 a
<i>DMS</i>	186.1
DENSIDADES	
1	337.5 a
2	159.3 a
3	190.2 a
<i>DMS</i>	228
COMBINACIÓN	
S1	229.4 b
S2	139.7 b
S3	221.0 b
N1	562.7 a
N2	179.0 b
N3	159.4 b
<i>DMS</i>	323.2

Ibarra *et al.*, (2001), menciona que existe una tendencia a disminuir la relación del área foliar específica y esto se debe a que los fotoasimilados se transportan a las áreas de mayor demanda como es el caso de los frutos.

Mello, (2006), menciona que el área foliar específica disminuye significativamente a medida que aumenta la biomasa de hojas secas; por otro lado, Poorter, (1989), encontró que las especies con mayores valores de área foliar específica poseen mayores tasas de fotosíntesis. En el caso que nos ocupa, excepto en N1 coinciden estos datos con los autores ya mencionados.

## 6. 13 Índice de cosecha

El índice de cosecha no registró diferencias ( $\alpha = 0.05$ ) entre los sistemas hidropónicos ni entre las densidades de siembra. No obstante, N3 registró una tendencia hacia un mayor índice de cosecha (Cuadro ,18).

Cuadro, 18. Índice de cosecha de las plantas de (*Capsicum annum* L.) cultivar California Wonder 300, de acuerdo al estado fenológico evaluado bajo dos sistemas hidropónicos con tres densidades de siembra. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD,  $\alpha \leq 0.05$ ); cada dato es el promedio de 5 repeticiones.

TRATAMIENTO	Final de la evaluación
SISTEMAS	
SUSTRATO	23.6 a
NFT	21.8 a
DMS	4.2
DENSIDADES	
1	19.2 a
2	24.2 a
3	24.2 a
DMS	5.2
COMBINACIÓN	
S1	21.8 abc
S2	24.1 ab
S3	19.6 c
N1	16.0 c
N2	24.3ab
N3	28.9 a
DMS	7.4

Un mayor índice de cosecha se asocia con la variación del peso seco de los componentes de la planta y se refleja en el rendimiento.

Vogel *et al.*, (1963), mencionan que la reducción de la altura de las plantas se traduce en una baja producción biológica; por lo tanto, deberán de tener un índice de cosechas más alto. Por otro lado, Stoskopf & Reinbergs, (1966) verificaron que el rendimiento fue aumentado debido a la presencia de hojas verticales, propiciando así una mejor utilización de la luz, a fin de aumentar el área fotosintética aprovechable de la hoja.

Respecto a los datos mostrados en este estudio, la altura de las plantas estuvo diferenciada por el sistema y la densidad de siembra, por lo tanto, la altura no modificó el índice de cosecha de las plantas de pimiento morrón; dado que N3 tuvo la mayor área foliar esto podría relacionarse con lo mencionado por Stoskopf & Reinbergs (1966).

#### **6. 14 Biomasa**

Ni las hojas, ni los tallos presentaron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) en biomasa, tanto entre sistemas hidropónicos como entre densidades de siembra o en la combinación de los mismos. No obstante, en la raíz sólo hubo diferencias ( $\alpha = 0.05$ ) en cuanto a los sistemas hidropónicos, mostrando que las plantas cultivadas en sustrato, registraron mayor biomasa de raíz que las cultivadas en NFT (Cuadro, 19).

Cuadro, 19. Altura de las plantas de (*Capsicum annum* L.) cultivar California Wonder 300, de acuerdo al estado fenológico evaluado bajo dos sistemas hidropónicos con tres densidades de siembra. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD, ( $\alpha = 0.05$ )  $\leq 0.05$ ); cada dato es el promedio de 5 repeticiones.

ETAPA/TRATAMIENTO	Posterior a la cosecha			
	RAIZ	TALLO	HOJAS	TOTAL
				gramos
SISTEMAS				
SUSTRATO	8.3 a	11.6 a	8.7 a	34.4 a
NFT	5 b	10.4 a	7.1 a	40.2 a
<i>DMS</i>	2.7	2.9	2.1	7.8
DENSIDADES				
1	6.6 a	11.1 a	8.2 a	35.3 a
2	6.6 a	11.1 a	7.8 a	37.9 a
3	6.8 a	10.8 a	7.9 a	38.6 a
<i>DMS</i>	3.4	3.6	2.6	9.6
COMBINACIÓN				
S1	9.1 a	14.4 a	11.2 a	49.3 a
S2	8.2 ab	10.4 ab	7.6 ab	38.3 ab
S3	7.6 ab	10.1 ab	7.4 b	32.9 bc
N1	4.1 b	7.7 b	5.2 b	21.4 c
N2	5.1 ab	11.8 ab	7.9 ab	37.5 ab
N3	6.0 ab	11.6 ab	8.3 ab	44.2 ab
<i>DMS</i>	4.8	5.1	3.6	13.6
CV	55.3	35.5	35.3	30.2

Cruz-Huerta *et al.*, (2005), mencionan que la acumulación de biomasa\*m<sup>-2</sup> y el índice de área foliar son atribuibles a la densidad de población; en su estudio



encontraron que las altas densidades de siembra sobrepasaron de 2 a 3 veces al testigo en la producción de biomasa.

En la presente investigación, ni el sistema hidropónico ni la densidad de siembra tuvieron efecto sobre la biomasa seca de, tallos y hojas, así como la biomasa seca total de las plantas evaluadas. Sin embargo N1 tuvo la menor biomasa total (21.4 g); esto se puede explicar por la defoliación de las plantas en este tratamiento debido al ataque de un defoliador.

## 7. 0 CONCLUSIONES

La altura de las plantas en la fase de vegetativa y floración fue mayor en sustrato que en NFT. La densidad de siembra 2 en el sistema sustrato fue significativamente mayor.

Durante la fase vegetativa, el número de hojas fue mayor en las plantas cultivadas en sustrato que en las cultivadas en NFT, mientras que en la semana 5 y 7 de misma fase, las densidades 1 y 2 registraron el mayor número de hojas que la densidad 3.

La concentración de clorofila fue significativamente mayor en las plantas cultivadas en sustrato que en las cultivadas en NFT durante la fase de llenado de fruto.

La Conductancia Estomática durante la fase vegetativa fue mayor en las plantas cultivadas en NFT que en las cultivadas en sustrato.

Entre sistemas hidropónicos, no se observaron diferencias con respecto al volumen de frutos de pimiento morrón (*Capsicum annum* L), no obstante; la densidad de siembra 3 de NFT y la densidad 1 en sustrato registraron los frutos de mayor volumen.

## 8. 0 SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

A lo largo de esta investigación fue necesario aprendizaje y un arduo trabajo personal y en equipo, fue indispensable el apoyo incomparable de los profesores quienes fueron pieza clave para poder cumplir con los objetivos de este trabajo.

Durante este trabajo fue necesario conocer diversas fórmulas hidropónicas, no obstante, realizar los cálculos y preparación de la solución nutritiva utilizada en este trabajo fue un elemento importante para la realización de este trabajo.

Las evaluaciones necesarias fueron producto del ensayo y error de diversas técnicas que arrojaron una serie de datos que tuvieron que ser procesados y analizados para finalmente ser plasmados en este documento que contribuirá en sólo una pequeña parte de la investigación científica.

En lo personal sugiero para futuras investigaciones relacionadas con este tema en el sentido de mejorar las variables de este estudio es importante:

Estudiar más a fondo el efecto de diversos sistemas hidropónicos bajo diversas densidades de siembra en las plantas de pimiento morrón.

Estudiar el efecto de borde sobre diversas densidades de siembra así como su relación con las condiciones de invernadero (humedad relativa, temperatura etcétera).

Poner énfasis en los parámetros biológicos sobre todo en la morfología y fisiología relacionada con el comportamiento del rendimiento biológico en otras variedades de chiles.

En mi experiencia esta investigación me hizo comprender el riguroso trabajo que se requiere para poder comprender el campo de la fisiología vegetal relacionado con el trabajo de campo en cualquier tipo de cultivo hidropónico, espero que este escrito sea utilizado como un antecedente para futuras investigaciones.

## 9. 0 LITERATURA CITADA.

- Abad, B. M; Noguera, M & B. C. Carrión. (2004). Los sustratos en los cultivos sin suelo. Tratado de cultivo sin suelo. Citado por Urrestarazu. Editorial Iberoamericana. 914 pp.
- Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplast-polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology. (24): 1-15.
- Arnon & Stout P. R. (1939). The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. Plant Physiol. (14): 371-375.
- Ayvar, S. S; Mena, B. A; Cortés. M. D.; Durán. R. J. & M. Luna. (2004). Rendimiento de la calabaza pipiana en respuesta a la poda y densidad de población. Fitotecnia Mexicana. 27 (1): 69-72.
- Barker V. A. & J. D. Pilbeam.(2007). Handbook of Plant Nutrition.Editorial Taylor & Francis Group. 613 pp.
- Carrasco, S. G. (2004). Sistemas NFT: requerimientos y uso. Citado por Urrestarazu. Tratados de cultivo sin suelo. Editorial Iberoamericana. 914 pp.
- Manual de Requerimientos de clima y suelo (Chacras y Hortalizas). (1989) Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación 85. Santiago, Chile. 63 pp.
- Cruz C. J; Jiménez F.; Ruiz J; Diaz G; Sanchez P; Perales C & A. Arellanes. (2003). Evaluación de las densidades de siembra en tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) en invernadero. Agronomía Mesoamericana. 14(1): 85-88.
- Cruz-Huerta, N.; Ortiz-Cereceres, J.; Sánchez del Castillo F. & M. Mendoza-Castillo. (2005). Biomasa e Índices Fisiológicos en chile morrón cultivado en altas densidades. Fitotecnia Mexicana. 28 (3): 287-293.
- De la Cruz G. H. (2002). Efecto de la sequía sobre las variables hídricas, fotosintéticas y morfométricas en 3 especies de amaranto. Tesis Maestría. FES-Iztacala, UNAM. México, 108 pp.

- James, E. C. & M. W van Iersel. (2001). Fertilizer concentration affect growth and flowerin of subirrigated petunias and begonias. HortScience. 36(1): 40-44.
- Ibarra, J. L.; Fernadez, B. J. M. ; Munguía, L, J ; Rodriguez, H. A. ; Díaz, P. J C. ; Hernández, M. J. L. & L. J. Farías. (2001). Análisis del crecimiento en melón y pimiento con acolchado y microtúnel. Fitotecnia Mexicana. 001 (24): 39-48.
- Marschner H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. AcademicPress. San Diego, CA, EEUU. 889 pp.
- Maroto, B. J. V. (1989). Horticultura. Herbácea Especial. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 704 pp.
- Maroto, B. J. V. (2008). Elementos de horticultura general. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 481 pp.
- Mello, N.; Chavarria G.; Tomm G. O.; Muller A.; Ferro M. H.& B. M, Serafini.(2006). Índice de área foliar en canola cultivada sobre variaciones de espaciamento y densidades de siembra. Ciencia rural. 12 (41): 2084-2089.
- Nuez, V.; Gil, O. R. & G. J Costa. (1996). El cultivo de Pimientos, Chiles y Ajíes. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 pp.
- Preciado, R. P. (2001). Fetirrigación nitrogenada fosfórica y programa de riego en la producción de melón. Tesis del Colegio de Posgraduados Montecillo, México. 99 pp.
- Ramos-Gourcy, F. & A. de Luna-Jiménez. (2006). Evaluación de tres variedades de Chile (*Capsicum annum L*) en cuatro concentraciones de una solución hidropónica bajo condiciones de invernadero. Investigación y Ciencia. Universidad Autónoma de Aguascalientes (34): 6-11.
- Resh, H, M. (2001). Técnicas de cultivo con flujo laminar de nutrientes (NFT). Cultivos Hidropónicos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.558 pp.
- Rijck G y Eschrevens. (1998). Cation Speciation in Nutrient Solution as a Fuction of pH.Plant Nutr. (21): 861-870.

- Salas, S. M. & Urrestarazu G. M. (2004). Sistemas con sustratos y recirculación de la solución nutritiva. Tratados de cultivos sin suelo. 914 pp.
- Salas, S. M. & Urrestarazu G. M. (2004). Sustratos, fertirrigación clima y fitosanidad. Tratados de cultivos sin suelo. 914 pp.
- Sandoval, V. M., Prometeo S. G. y Alcántara G. G. (2010). Principios de la hidroponía y del fertirriego, en: Alcántara G. G. y Trejo T. L. (2010). Nutrición de cultivos. Mundiprensa, México. 373-478.
- Salisbury, F. B. & Ross W, C. (1992). Nutrición mineral. Fisiología vegetal. Editorial Iberoamericana. 1016 pp.
- Steiner, A, A. (1966). The Influence of the Chemical Composition of a Nutrient Solution on the Production of Tomato Plants. *Plant Soil*. (24): 434-466
- Steiner, A, A. (1968). Soilless culture en Proc 6<sup>th</sup> Colloq Int. Potash Inst Florence Italy 324-341.
- Steiner, A, A. (1984). The Universal Nutrient Solution en Proc 6<sup>th</sup> Int. Cong Soilless Cult. 633-649.
- Stoskopf, N. C. & Reinbergs E. (1966). Breeding for yield in spring cereals. *Plant Sci*. (46): 313-319.
- Poorter, H. (1989). Growth analysis: towards a synthesis of the classical and the functional approach. *Physiology Plant* (75): 237-244.
- Urrestarazu, M.; Muzuela, P. & A. Gómez. (2005). Inversión en Tecnología Hortícola en México. *Horticultura Internacional*. (48):26-35.
- Urrestarazu, G. M. (2004). Tratado de cultivo sin suelo. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 914 pp.
- Vargas-Tapia, P.; Castellanos-Ramos, J.; Zaragoza, J.; Muñoz-Ramos, J. J.; Sánchez-García, P.; Tijerina-Chavez, L.; López-Romero, R. M.; Martínez-Sánchez, C.; Ojo de agua-Arredondo, J. L. (2008). Efecto del tamaño de

partículas sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. Agricultura Técnica en México. 34 (3): 323-321.

Vega C, R. & F, H. Andrade. (2000). Densidades de plantas y espaciamento entre hileras. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Editorial Médica panamericana. 443 pp.

Vogel O, A, Allan, R, E, & Peterson C. J. (1963). Plant performance characteristics of semi-dwarf winter wheats producing most efficiently in eastern Washington. Agron. (55): 397-398.

Zúñiga-Estrada, L.; Martínez-Hernández, J.; Baca-Castillo, G. A.; Martínez-Garza, A.; Tirado-Torres, J. L. & J. Koashi-Shibata. (2004). Producción de chile pimiento en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas. Agrociencia. 38 (2): 207-218.

### **9.1 Citas de internet**

FAO.2002. <http://www.fao.org/docrep/009/a0490m/00.HTM>

FAO2007. <http://www.fao.org/economic/ess/ess/-publications/ess-yearbook/anuario-estadistico-de-la-fao-2007-2008/es/>

Martínez S. T. sin año. Historia de la agricultura en México. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/eco/003106/03106-03-A.pdf>