



**INSTITUTO POLITÉCNICO  
NACIONAL**

---

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN  
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
UNIDAD-OAXACA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y  
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES  
(PROTECCIÓN Y PRODUCCIÓN VEGETAL)**

**RESPUESTA DEL CHILE HUACLE (*Capsicum* spp.) A  
CUATRO SOLUCIONES NUTRITIVAS EN CULTIVO SIN  
SUELO Y BAJO INVERNADERO.**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS**

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

**MARIANA ESPINOSA RODRIGUEZ**

**DIRECTORES DE TESIS:**

**DR. GABINO ALBERTO MARTÍNEZ GUTIÉRREZ  
DR. RAFAEL PEREZ PACHECO**

**SANTA CRUZ XOXOCOTLÁN, OAXACA**

**JUNIO, 2011.**



# INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

## ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 30 del mes de mayo del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA)** para examinar la tesis de grado titulada: **“Respuesta del chile huacle (*Capsicum spp.*) a cuatro soluciones nutritivas en cultivo sin suelo y bajo invernadero”**

Presentada por el alumno:

**Espinosa**  
Apellido paterno

**Rodríguez**  
materno

**Mariana**  
nombre(s)

Con registro: 

A	0	9	0	2	4	8
---	---	---	---	---	---	---

aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISION REVISORA Directores de tesis:

\_\_\_\_\_  
Dr. Gabino Martínez Gutierrez

\_\_\_\_\_  
Dr. Rafael Pérez Pacheco

\_\_\_\_\_  
Dr. José Antonio Sánchez García

\_\_\_\_\_  
Dra. Martha Angélica Bautista Cruz

\_\_\_\_\_  
M. en C. Sabino Honorio Martínez Tomas

### EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Rodríguez Ramírez



CENTRO INTERDISCIPLINARIO  
DE INVESTIGACION PARA EL  
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
C.I.I.D.I.R.  
UNIDAD OAXACA  
I.P.N.



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA CESION DE DERECHOS*

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 30 del mes de mayo del año 2011, el (la) que suscribe **Espinosa Rodríguez Mariana** alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro **A090248**, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dres. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez y Rafael Pérez Pacheco y cede los derechos del trabajo titulado: **“Respuesta del chile huacle (*Capsicum spp.*) a cuatro soluciones nutritivas en cultivo sin suelo y bajo invernadero”**. y cede los derechos al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: [posgradoox@ipn.mx](mailto:posgradoox@ipn.mx) ó [mairalee@hotmail.com](mailto:mairalee@hotmail.com) Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

**Espinosa Rodríguez Mariana**



CENTRO INTERDISCIPLINARIO  
DE INVESTIGACION PARA EL  
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
C.I.I.D.I.R.  
UNIDAD OAXACA  
I.P.N.

## RESUMEN

Se evaluó la respuesta del chile huacle (*Capsicum* spp.) a las soluciones nutritivas propuestas por Escobar, Steiner, Urrestarazu y Berenger para pimiento y otras hortalizas, donde se varió la dosis de los macroelementos en la solución nutritiva, en cultivo sin suelo y bajo invernadero, en el rendimiento y calidad del fruto, el experimento se realizó en un invernadero del CIIDIR IPN unidad Oaxaca, el experimento se desarrollo como un diseño completamente al azar, con 5 repeticiones, la unidad experimental fue una planta por maceta separadas a 1.40 m entre hileras y 0.30 m entre plantas, se utilizó como contenedor bolsas negras calibre 700 y como sustrato arena. Los resultados mostraron que la solución nutritiva de Steiner a la concentración del 100% induce mejores resultados en las variables fisiológicas y de rendimiento del chile huacle respecto a las demás soluciones nutritivas, así como la solución nutritiva propuesta por Escobar indujo el mayor valor en peso fresco de frutos y sólidos solubles totales.

## **ABSTRACT**

We evaluated the response of chile huacle (*Capsicum* spp.) nutrient solutions proposed by Escobar, Steiner, and Berenger Urrestarazu for pepper and other vegetables, with different doses of the macronutrients in the nutrient solution in soilless culture and under greenhouse, yields and fruit quality, the experiment was conducted in a greenhouse unit CIIDIR IPN Oaxaca, the experiment was developed as a completely randomized design with 5 replications, the experimental unit was one pot 1.40 m apart between rows and 0.30 m between plants, was used as a container caliber 700 black bags and a sand substrate. The results showed that the Steiner nutrient solution concentration induces 100% better on physiological variables and performance of chile huacle respect to other nutrient solution and nutrient solution proposed by Escobar led the greatest value in fresh weight fruit and total soluble solids

## AGRADECIMIENTOS

A todos los mexicanos que con sus contribuciones permiten que más gente se prepare para sacar adelante a nuestro país.

Al Instituto Politécnico Nacional a través del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Oaxaca, por permitirme realizar mi maestría.

Al grupo de investigadores que integró mi comité tutorial y que hicieron posible la culminación de la presente.

A mis amigos Edgar y Omar, por su compañerismo y amistad y en especial a mi amiga Guillermina Arellano González (†) que donde quiera que este, descanse en paz y Dios la bendiga.

A todos aquellos que me contribuyeron de manera directa o indirectamente a la realización de la presente.

## DEDICATORIA

A **Dios** por darme la vida y poder disfrutarla con los seres que más amo.

A la razón de mi vida, **Ethan Elías** por ser mi motivación para realizarme como persona y como profesionalista

A **Juan Elías** por ser mi apoyo incondicional, por su paciencia, por ser mi amigo y mi pareja de vida.

A mi padre **Mariano Espinosa** (†) y a mi madre **Socorro Rodríguez** por enseñarme siempre con el ejemplo y a luchar por mis sueños.

A mis hermanos **Moisés, Cesar Joel y José** por ser parte de los seres que amo y a mi sobrinito **Said** por ser parte de mi motivación.

A mis abuelitos **Juan** y **Floriberta**, a **Josefina** por ser parte de mi familia, por su apoyo y comprensión.

## INDICE

	Página
I Introducción	11
II Revisión de Literatura	13
2.1 Caracterización del chile huacle ( <i>Capsicum spp</i> )	13
2.2 Importancia del chile huacle ( <i>Capsicum spp</i> )	14
2.2.1 Proceso productivo	14
2.3 Crecimiento y desarrollo de la planta de chile	15
2.3.1 Etapas de crecimiento de la planta de chile	15
2.3.2 Etapa de desarrollo de la plántula hasta la primera bifurcación	15
2.3.3 Etapa de rápido desarrollo de brotes y formación de flores	15
2.3.4 Etapa de lento crecimiento y desarrollo de frutos	15
2.4 Nutrición mineral	16
2.5 Elementos minerales y sus funciones	22
2.6 Importancia de los elementos minerales	23
2.7 Suministro de nutrimentos	23
2.8 Soluciones nutritivas	24
2.9 Cultivo sin suelo	25
2.9.1 Razón del uso de los cultivos sin suelo	26
2.9.2 Importancia de los cultivos sin suelo	27
2.9.3 Ventajas y desventajas del cultivo sin suelo	27
2.10 Cultivo en sustratos	28
2.10.1 Cultivo en arena	28
III Objetivos e Hipótesis	29
3.1 Objetivo general	29
3.1.1 Objetivos específicos	29
3.2 Hipótesis	29
IV Materiales y Métodos	30
4.1 Ubicación del área experimental	30
4.2 Factores de estudio	30
4.3 Establecimiento del experimento	33
4.3.1 Semillero	33

4.3.2	Transplante	33
4.4	Aplicación de tratamientos	34
V	Resultados y discusión	36
5.1	Efecto en las variables fisiológicas y de rendimiento	36
5.1.1	Altura	36
5.1.2	Diámetro	38
5.1.3	Número de brotes	39
5.1.4	Número de frutos	40
5.2	Efecto en las variables de crecimiento	43
5.2.1	Peso fresco de raíz	43
5.2.2	Peso seco de raíz	44
5.2.3	Peso fresco de hoja	45
5.2.4	Peso seco de hoja	47
5.2.5	Peso fresco de tallo	48
5.2.6	Peso seco de tallo	49
5.3	Efecto en las variables de calidad del fruto	50
5.3.1	Peso fresco de frutos	50
5.3.2	Sólidos solubles totales	52
5.3.3	Grosor de pericarpio	53
VI	Conclusiones	54
VII	Literatura Citada	55

## INDICE DE CUADROS

	Página	
Cuadro 1	Clasificación taxonómica del chile	13
Cuadro 2	Soluciones nutritivas a evaluar	30
Cuadro 3	Cantidad de fertilizantes para preparar 200 L de solución nutritiva durante el ciclo de cultivo de chile huacle.	31
Cuadro 4	Variables fisiológicas y de rendimiento del chile huacle bajo diferentes dosis de fertirrigación en cultivo sin suelo en invernadero	36
Cuadro 5	Respuesta de algunos parámetros fisiotécnicos del chile huacle a diferentes dosis de fertirrigación	42
Cuadro 6	Variables de calidad del chile huacle bajo diferentes dosis de fertirrigación en cultivo sin suelo e invernadero	50

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Efecto del potasio en el número de brotes en plantas de chile huacle	40
Figura 2 Efecto del potasio en el peso fresco de hoja en plantas de chile huacle	46
Figura 3 Efecto del potasio en el peso seco de hoja en plantas de chile huacle	47

## I. INTRODUCCION

México es considerado uno de los centros de origen del chile (*Capsicum spp.*) por lo cual se tiene una amplia variabilidad genética de *Capsicum annuum* L., con más de 40 tipos nativos, de estos, el serrano, jalapeño, ancho, pasilla, guajillo y de árbol son los que cubre mayor superficie sembrada en el país (CONAPROCH, 2009).

En el 2007, se sembraron alrededor de 150 mil ha de chile verde y 53 mil ha de chile seco; destacando por superficie sembrada y cosechada las entidades de Zacatecas Chihuahua, Sinaloa, San Luís Potosí y Veracruz (SIAP, 2009). En el mismo año, Oaxaca ocupó el 16° lugar nacional en superficie sembrada de chile con aproximadamente 2,000 ha (SIAP, 2009) dedicadas principalmente a los tipos jalapeño, de agua, taviche, soledad, costeño y huacle (Castro *et al.*, 2007). El chile huacle o chilhuacle forma parte indispensable en la elaboración del mole negro, una de las especialidades culinarias del estado de Oaxaca (Agroproduce, 2005).

El cultivo de esta especie en el estado de Oaxaca se ha restringido a pequeñas superficies a cielo abierto con una producción promedio de 600 kg a 1000 kg por hectárea, principalmente en la región de la Cañada, donde los productores hacen un uso moderado de agroquímicos y utilizan riego rodado o por gravedad, y se desconoce su manejo en un sistema protegido, así como sus requerimientos climáticos, nutricionales, etc. (Agroproduce, 2005).

Así mismo, el cultivo de chile huacle presenta serios y variados problemas en su proceso productivo; dentro de los que sobresalen la alta incidencia de enfermedades de naturaleza viral, ataques de plagas del fruto, carencia de genotipos puros, deficiencias nutricionales y manejo postcosecha. Además, el cultivo en campo sufre las consecuencias de la deficiencia de agua ya sea de lluvia o la suministrada por riego, esta última cada vez más escasa en la región de la cañada (Agroproduce, 2005).

Respecto a la nutrición del chile huacle (*Capsicum spp*) se desconocen formulas de fertirrigación o dosis de fertilización para suelo, de tal manera que esta es una problemática prioritaria del cultivo. La nutrición de los cultivos se basa en la cantidad y disponibilidad de los elementos presentes ya sea en el suelo o en la solución nutritiva para el óptimo desarrollo de una planta, en el caso de la fertirrigación es necesario cuidar el equilibrio nutricional el cual se logra aportando mediante soluciones nutritivas las cantidades “equilibradas” de aniones y cationes (Abad, 1994). El pimiento (*Capsicum annuum*) como ejemplo más cercano al chile huacle es muy demandante de nitrógeno, sobre todo en la etapa de crecimiento, el fósforo es importante por la formación y estimulación de raíces, en la floración y formación del fruto, el potasio mejora el amarre, formación y desarrollo del fruto, es importante para la precocidad, firmeza y color de la fruta y el magnesio indispensable en la fase de maduración (Balcaza, 2003). En pimiento se han propuesto diferentes soluciones nutritivas para rendimiento y calidad de fruto, para la presente investigación se ensayaron las soluciones nutritivas propuestas para pimiento y otros cultivos hortícolas de Escobar (1993), Steiner (1961), Berenger (2007) y Urrestarazu (2004), variando los niveles de nutrientes en la solución nutritiva, éstas soluciones son dentro las más recomendadas para el cultivo de pimiento y otros cultivos hortícolas en cultivo sin suelo.

La concentración, interacción y absorción de los diferentes elementos dentro de la solución nutritiva, hace que se tengan buenos rendimientos sin afectar la calidad del fruto. Altos niveles de potasio en la solución nutritiva pueden disminuir la absorción de calcio, provocando fuertes deficiencias del mismo afectando la calidad del fruto (Raleigh y Chucka, 1944). Estas disminuciones en el contenido de calcio del fruto a niveles altos de potasio y magnesio sugiere que ocurre un antagonismo de K:Ca y Mg:Ca, también se ha observado que altos niveles de nitrógeno en la forma de amonio producen 35 a 65% más pudrición apical, comparado con plantas crecidas con nitrato (Barke y Menary, 1971).

La investigación evalúa la respuesta del chile huacle a cuatro soluciones nutritivas, que se han utilizado en pimiento y en otros cultivos hortícolas, en cultivo sin suelo bajo invernadero.

## II REVISIÓN DE LITERATURA.

### 2.1 Caracterización del chile huacle

El chile huacle es una solanácea, anual, herbácea, de crecimiento determinado, su raíz es pivotante con numerosas raíces adventicias, y alcanza profundidades de 70 a 120 cm. La flor del chile es frágil y se presenta en cada nudo del tallo. El fruto es una baya constituida por un grueso pericarpio y un tejido placentario al que se le unen las semillas, con una superficie tersa, voluminosa y con forma de cápsula. Las semillas son aplanadas y lisas, ricas en aceite y conservan su poder germinativo durante tres o cuatro años (López, 2005).

La planta presenta un tallo principal, de crecimiento limitado, que ramifica en 3 o 4 ramas o tallos secundarios entre los 10 y 40 cm de altura, estas ramas se bifurcan de forma dicómica apareciendo los tallos terciarios y así sucesivamente hasta el final de su ciclo. Los tallos son herbáceos, semileñosos en la base y de escasa pubescencia. Las hojas son de forma lanceoladas y de escasa pubescencia, la corola de la flor de color amarillo claro, estigma inserto, el color del filamento amarillo, anteras de color azul pálido, fruto de forma acampanulado, con ápice de forma hundido y puntado (López, 2005).

De acuerdo al sistema de clasificación propuesto por Arthur Cronquist en 1981 (SIIT, 2009), la clasificación taxonómica del chile se describe en el cuadro 1:

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del chile

Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Subfamilia	Solanoideae
Tribu	Solaneae
Género	<i>Capsicum</i>
Especie	<i>Annuum</i>
Var. Botánica	<i>Annuum</i>

## **2.2 Importancia del chile huacle**

El chile desempeña una función importante en la alimentación ya que proporciona vitaminas y minerales; investigaciones médicas recientes comprueban su efectividad al utilizarlo como anestésico y como estimulante de la transpiración (Farias, 2009). El consumo de esta hortaliza puede ser en verde y/o en seco. El chile huacle es la especie más importante que se cultiva en la región de la Cañada, es un ingrediente indispensable en la elaboración del famoso mole negro oaxaqueño. Los frutos amarillos, rojos y negros se comercializan principalmente en seco. Forma parte importante en las fiestas de la región cañada, principalmente en días de fieles difuntos, fiestas decembrinas, bodas, fiestas religiosas, llega a tener un precio muy alto (López, 2005).

### **2.2.1 Proceso productivo**

El chile huacle se cultiva principalmente en las localidades de Cuicatlán, Santiago Nacaltepec, San Juan Bautista Atlatlahuaca, Valerio Trujado, Tecomavaca, entre las coordenadas 17° 29' 8.03" N - 96° 49' 7.7" O, entre 687-1085 msnm, en estas localidades se cultiva a cielo abierto en superficies que varían de 2,500 a 5,000 m<sup>2</sup> y ocasionalmente en terrenos de una hectárea, en terrenos con pendientes que varían de 1 a 10%, en tipos de suelos en los que se establece el cultivo son luvisoles, cambisoles y feozem (López, 2005). El proceso de producción incluye la preparación de almácigos en el suelo de forma tradicional, con semilla obtenida de chiles seleccionados en campo o en casa, el transplante se efectúa a los 45 días después, la fertilización se realiza con fertilizantes inorgánicos, a los 25 y 45 días después del transplante (ddt). Los riegos se proporcionan con una frecuencia de ocho días, aplicándose en forma general 17 riegos durante el ciclo del cultivo. Las principales plagas que dañan al chile huacle son: el picudo o barrenillo del chile, insectos vectores de virus (mosquita blanca, paratrioza, áfidos, acaro blanco, diabroticas y minadores), los cuales son controlados por medios químicos al detectar los primeros insectos. Las enfermedades que se manifiestan comúnmente son: de naturaleza viral, tizón foliar y marchitez del chile, las que ocasionalmente producen decrementos hasta del 50% de la producción, el uso de los fungicidas para el control de estos patógenos es incipiente. La cosecha inicia a los 90 ddt, es el primer corte, los siguientes cortes se dan cada ocho días, realizándose en

promedio cinco cortes; obteniendo la mejor calidad en el tercer y cuarto corte. La producción es de 1.2 toneladas de chile deshidratado por hectárea (López, 2005).

## **2.3 Crecimiento y desarrollo de la planta de chile**

### **2.3.1 Etapas de crecimiento de la planta de chile**

De acuerdo con Nuez *et al.* (1996) en el desarrollo de los órganos y tejidos de chile pueden distinguirse tres etapas: 1) etapa de desarrollo de la plántula hasta la primera ramificación, 2) etapa de rápido desarrollo de brotes y formación de flores, y 3) etapa de lento crecimiento y desarrollo de frutos.

### **2.3.2 Etapa de desarrollo de la plántula hasta la primera bifurcación**

Para su germinación la semilla de chile sólo necesita de agua, oxígeno y temperatura. De todas maneras, se puede observar cierta disparidad en la energía germinativa en un mismo lote de semillas, ello podría deberse a diferencias en la senescencia seminal. En el estado de plántula, las plantas deben tener entre 7 y 9 hojas y es conveniente que aún no se observe el primer botón floral (González, 2005).

### **2.3.3 Etapa de rápido desarrollo de brotes y formación de flores**

En ésta etapa en el chile, se produce una intensa división en todos los órganos de la planta, indicándose el desarrollo de los tejidos secundarios. El punto de partida es la ramificación del tallo, cuando la plántula ha alcanzado una altura entre 15 y 20 cm. Una vez realizado el trasplante pasan algunos días hasta que se retoma el crecimiento; luego la planta sigue formando hojas (hasta 8-12) y posteriormente se desencadena la floración (Nuez *et al.*, 1996).

### **2.3.4 Etapa de lento crecimiento y desarrollo de frutos**

Después de la fertilización se produce una intensa división celular en el epicarpio y endocarpio, poco después los procesos de división celular finalizan y no se producen nuevas células durante el desarrollo y maduración del fruto. Fundamentalmente ocurren procesos de crecimiento y división celular. Cuando el fruto alcanza la forma y tamaño definitivos la mayoría del crecimiento celular cesa (Nuez *et al.*, 1996).

Por otra parte Urrestarazu (2000) menciona seis etapas fenológicas de las plantas de pimiento en cultivo sin suelo, las cuales son: enraizamiento, desarrollo vegetativo,

floración-cuaje, engorde de frutos, engorde, maduración y recolección de frutos y maduración y recolección de frutos. Respecto al chile huacle las etapas fenológicas son parecidas a las reportadas por Urrestarazu, con sus respectivas características propias de cada especie.

#### **2.4 Nutrición mineral**

La nutrición mineral incluye el suministro, absorción y utilización de los nutrimentos esenciales para el crecimiento y producción de los cultivos, las plantas son los únicos organismos vivos que pueden sintetizar todas las sustancias que requieren, incluso aminoácidos, hormonas y vitaminas, si se les proporcionan los elementos minerales esenciales junto con bióxido de carbono y agua; el requerimiento nutricional de los cultivos está definido por la especie, y difiere entre variedades de una misma especie, de acuerdo a su nivel de producción, adaptación a las condiciones climáticas, propiedades físicas, químicas y fertilidad de los suelos, características del agua de riego, incidencia de organismos dañinos y manejo cultural. Tomando en cuenta lo anterior, para definir el requerimiento nutricional de los cultivos de una región se deben de realizar experimentos seleccionando las prácticas de producción representativas, donde se estudien simultáneamente los principales nutrimentos limitantes para los diferentes grupos de condiciones, manteniendo constantes los otros factores (Nuez *et al.*, 1996).

En la última década, la producción de cultivos en hidroponía ha sido una opción adicional para abastecer de alimentos a la población. Entre otros factores, la solución nutritiva es parte fundamental en la hidroponía; de la solución nutritiva depende la magnitud y calidad de la producción (Cadahía, 2005).

En otras especies de chile como el poblano, se sugiere fertilizar con 140 kg de nitrógeno por hectárea en dos aplicaciones y 60 de fosforo por hectárea. Antes del trasplante u ocho días después aplicar 70 kg de nitrógeno, lo que equivale a 210 kg de sulfato de amonio o bien 150 kg de urea. Los 60 kg de fosforo pueden aplicarse como superfosfato de calcio simple (300 kg). Los 70 kg de nitrógeno restantes se aplican al inicio de la floración; en ambos casos el fertilizante debe aplicarse en banda a 10 cm de profundidad y aun lado de las plantas, evitando el contacto directo con las raíces (Samperio, 2002). Así mismo Alonso *et al.*, 2002, recomiendan para chile jalapeño bajo buenas

condiciones de humedad y fertilización con nitrógeno (290 y 390 kg ha<sup>-1</sup>) y potasio (50 y 90 kg ha<sup>-1</sup>) se obtienen buenos rendimientos, favoreciendo el buen crecimiento, el número de hojas por planta, diámetro de tallo, número de flores por planta y el número de frutos de chile jalapeño por planta.

Fageria *et al.*, 1997, aluden que la falta de algunos minerales como es el caso del nitrógeno en las soluciones nutritivas empleadas en el cultivo, se asocia con la disminución en las variables de crecimiento hasta en un 70% y en las de producción en más del 95% (rendimiento). En plantas de chile de agua (*Capsicum annuum* L.) con “mosaico” o “chino” en el follaje se llevó a cabo un ensayo con la omisión de uno o más nutrimentos en la solución nutritiva sobre el desarrollo y rendimiento de plantas sanas y enfermas de virus, y encontraron que la altura de planta, la producción de frutos y la producción de biomasa seca total fueron significativamente inferiores en las plantas enfermas de virus que en las sanas, esto por la alteración en la concentración y distribución de los nutrimentos nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio (Velasco *et al.*, 1998).

Hassan *et al.*, 1995, estudiaron que para un buen crecimiento y rendimiento de chile (*Capsicum annuum* L.) es muy importante la fertilización potásica y el uso del acolchado, ya que son factores que contribuyen al incremento en la altura de planta, número de frutos y peso seco de planta.

Por su parte Alabi (2006), investigó el efecto de 5 niveles de fósforo y 5 niveles de excremento de aves de corral en el crecimiento y rendimiento del chile (*Capsicum annuum* L.) y mencionan que altos niveles de fósforo incrementan significativamente la altura de planta, número de hojas por planta, número de brotes y área foliar, además de adelantar la floración, la madurez y el rendimiento por planta.

Preciado *et al.*, 2008, realizaron un experimento para evaluar tres dosis de amonio y 3 de fosfato en el crecimiento de plántulas de chile jalapeño, y encontraron que el amonio afectó el peso seco de raíz, área foliar, altura de planta y diámetro de tallo, sin embargo, dichos indicadores de crecimiento no se vieron afectados por el fosfato.

Balcaza (2003), señaló en su ensayo sobre el cultivo de pimiento, que este tipo de *Capsicum* necesita diferentes tipos de nutrientes, según su estado fenológico, de los cuales este cultivo es muy demandante de nitrógeno, sobre todo en la etapa de crecimiento y disminuye en los periodos de floración y amarre de fruto ya que un exceso en el periodo reproductivo provoca un retraso en la maduración, al igual que el elemento anterior el fósforo es importante en las primeras etapas para estimular la formación de raíces y también es necesario en periodos de floración y formación del fruto y su máxima demanda ocurre cuando se acerca la floración y la maduración de las semillas, por otra parte el potasio se debe aportar en la etapa de desarrollo incrementándose hacia la floración y manteniéndose constante ya que es determinante de la precocidad, firmeza y el color de la fruta, por último, el pimiento es más exigente de magnesio cuando se encuentra en la fase de maduración.

Aldana (2005) estudio el efecto del fósforo y potasio en la calidad y crecimiento del chile tabasco (*Capsicum Frutescens*) en hidroponía y reporto que el incremento de las tasas de fósforo y potasio en la solución nutritiva afectan el crecimiento de la planta, su altura, peso, diámetro de tallo y área foliar, sin afectar la calidad del chile a excepción de la acidez titulable.

Por otro lado, Anza y Riga (2007) investigaron el efecto de la fertilización nitrogenada en la floración del pimiento, en donde aplicaron 3 diferentes concentraciones de nitrógeno, encontrando que al aumentar el nitrógeno no se observó ningún aumento en la biomasa total de la planta y la deficiencia de nitrógeno se reflejó en una reducción en el número de brotes, flores y el número de semillas.

Xu *et al.*, 2001, al evaluar 4 niveles de nitrógeno y amonio en 3 etapas fenológicas del cultivo en chile dulce en hidroponía, reportaron que el incremento de la concentración de nitrógeno en forma de nitrato incrementa el número de flores y frutos y produce los más altos rendimientos y en forma de amonio adelanta la maduración de los frutos. Por su parte Rubio *et al.*, 2010 en su investigación que consistió en evaluar 3 concentraciones de calcio y de potasio en chile dulce (*Capsicum annuum* L.) en hidroponía sobre el rendimiento y calidad de esta especie, encontraron que el incremento de calcio incrementa la madurez y número de frutos, mientras que los altos niveles de potasio redujo la madurez de los frutos y el número y peso de los mismos, sin

embargo, incrementó la acidez del fruto, así mismo los bajos niveles de calcio y potasio afectaron negativamente el contenido de materia seca.

Khan *et al.*, 2010 en su estudio del nitrógeno y fósforo en el rendimiento y crecimiento del *Capsicum* que consistió en 4 niveles de nitrógeno y 3 niveles de fósforo encontraron que la altura de planta, número de brotes y número de frutos por planta incrementa significativamente con el incremento de la dosis de nitrógeno y con el incremento de fósforo.

Gómez Hernández y Sánchez del Castillo (2003) en su trabajo que consistió en la disminuir las concentraciones de los nutrimentos de la solución nutritiva para la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cultivar Solarset en invernadero sin afectar el rendimiento y calidad del fruto encontraron que la disminución de la concentración del fósforo hasta en un 33% de la solución nutritiva base afectó el peso de frutos, mientras que la disminución del potasio en el mismo porcentaje disminuyó el número de frutos.

Halder *et al.*, 2003 realizaron una investigación donde evaluaron 4 diferentes dosis de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y zinc en el cultivo de chile variedad Baliyhuri y encontraron que el efecto del nitrógeno superior con respecto al del fósforo, potasio, azufre y zinc, sin embargo el incremento del nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y zinc, en general, aumentó el número de frutos por planta, el peso fresco y peso seco de los mismos, lo que se reflejó en el rendimiento por planta. Mientras tanto, Ghoname *et al.*, 2009, al estudiar el rendimiento y composición química del chile picante cv. Mansoura a causa de las diferentes formas de aplicación del nitrógeno (sulfato de amonio, urea, nitrato de calcio y nitrato de amonio) y bioestimuladores foliares (humate de potasio y citrato de potasio) en suelo arenoso, reportaron que el mayor crecimiento y rendimiento, mejora de las características del fruto y su valor nutricional se obtuvo con urea y humate de potasio.

En otra investigación, Berrios (2005), evaluó el efecto de dos promotores de crecimiento radicular aplicados juntos al sistema de fertirrigación sobre el comportamiento del sistema radicular de pimiento en condiciones hidropónicas, en el que concluyó que el fósforo juega un papel importante en el peso seco y fresco de raíz.

Otros investigadores (Houdusse *et al.*, 2001), al evaluar los efectos sobre el crecimiento y nutrición mineral de la planta de chile (*Capsicum annum* L.) y del trigo (*Triticum aestivum* L.) con diferentes formas del nitrógeno (nitrato, amonio, urea y nitrato/urea), obtuvieron resultados similares en las plantas que recibieron nitrato así como en las que recibieron nitrato/amonio, solamente en el chile el amonio causó una disminución en el crecimiento y peso fresco y seco de la planta, sin embargo la presencia de nitrato corrigió el efecto negativo de las plantas que recibieron amonio.

En otro trabajo en donde se estudiaron el efecto de niveles y los métodos de aplicación de potasio en el crecimiento y rendimiento de berenjena cv “White Balady”, los resultados mostraron que la aplicación de potasio incrementa la altura de planta, número de brotes por planta, número de hojas y peso fresco de hojas, así como también el rendimiento y calidad del fruto (Fawzy *et al.*, 2007). De manera similar Balliu *et al.*, 2007, evaluaron la influencia del nitrógeno, fósforo y potasio sobre la tasa de crecimiento de plántulas de pimiento y berenjena en invernadero y reportaron que la tasa de crecimiento está influenciada por la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva, debido que origina una expansión más rápida de la superficie foliar de la planta y una mayor productividad fisiológica, lo que refleja mayor peso fresco de hoja.

Por su parte, Pire y Colmenarez, (1994) estudiaron la extracción y eficiencia de recuperación de nitrógeno por plantas de pimentón var. Keystone Resistan Giant No. 3 sometidas a diferentes dosis y fraccionamientos del elemento, y encontraron que el peso seco de hoja y el rendimiento de frutos tendieron a aumentar con dosis altas de nitrógeno hasta cierta dosis, después de la cual el rendimiento tendió a disminuir. Así también Johnson y Decoteau (1996) al estudiar la influencia de las tasas de nitrógeno y potasio de la solución nutritiva de Hoagland en el crecimiento, rendimiento y pungencia del chile jalapeño en hidroponía demostraron que el número de frutos y peso de frutos aumenta linealmente con el incremento del potasio y por otro lado el aumento de la biomasa está relacionado con el aumento de las concentraciones de nitrógeno.

En otro trabajo en donde estudiaron las implicaciones ambientales en la utilización de nitrógeno en los cultivos de chile picante (*Capsicum frutescens* L.) encontraron que mayores dosis de nitrógeno aumentan la producción y materia seca, pero no aumentan el

rendimiento, por otra parte esta concentración es contaminante para el medio ambiente, recomendando la fertilización nitrogenada con abonos orgánicos que incrementan el rendimiento y no afectan la calidad del fruto (Zhu *et al.*, 2005). Relativamente Nicola y Basoccu (1994) al evaluar el efecto del nitrógeno y la relación NPK en el crecimiento y rendimiento en las plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), encontraron que al aumentar los niveles de nitrógeno aumenta el rendimiento de frutos y su peso, en contraste sí la concentración de NPK es baja esto provoca una disminución en la producción y rendimiento de tomate.

Así también Villa *et al.*, 2009 al investigar cultivares y nutrición de chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) variedad Calix, PB 99205 y Magno en invernadero de clima controlado como respuesta a 3 soluciones nutritivas que variaron en dos etapas fenológicas desde 12 hasta 21 meq L<sup>-1</sup> de aniones y cationes, resultó que la solución nutritiva de menor concentración produjo frutos de menor peso y largo, en cambio la de concentración media y alta mostraron los frutos más pesados y largos, aumentando con ello el rendimiento, estas dos últimas soluciones no fueron estadísticamente diferentes y la solución nutritiva intermedia promovió los frutos más anchos que las otras dos.

Mientras tanto, Martínez *et al.*, 2003 al investigar la influencia 4 dosis de nitrógeno y potasio en la calidad del chile “Jupiter” (*Capsicum annuum*) encontró que altas dosis de nitrógeno y bajas concentraciones de potasio incrementan la firmeza y los sólidos solubles totales en los frutos. Por otro lado, Fonseca *et al.*, 2005 al estudiar el efecto de seis niveles de potasio en el rendimiento y calidad de los frutos en pimiento (*Capsicum annuum* L.) cultivar Bouquet-50 durante dos ciclos en condiciones de campo encontró un efecto positivo de los niveles de potasio sobre el rendimiento, sin embargo la calidad de los frutos no sufrió afectaciones por las aplicaciones y fluctuaron en sus rangos normales, entre ellos los sólidos solubles totales.

Para el caso del chile huacle aun no existen estudios referentes a la dosis de fertilización adecuada, mientras tanto, los productores de la región de Cuicatlán realizan la fertilización edáfica aplicando 4 bultos del fertilizante 18-46-00, 4 bultos de 46-00-00 y 4 de 17-17-17 por hectárea, respectivamente (comunicación personal 12/04/09).

En la primera fertilización se aplica 17-17-17 junto con el superfosfato triple y en una segunda aplicación solo bases nitrogenadas. Las dosis empleadas para el nitrógeno llegan a ser hasta de 200 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que lo recomendado por INIFAP la dosis recomendada es de 150-60-00, sin embargo, sin potasio no se tiene una buena calidad de fruto.

## **2.5 Elementos minerales y sus funciones**

Las plantas tiene la habilidad de poder seleccionar la cantidad de los diversos iones que absorben, normalmente esta absorción no es directamente proporcional a la cantidad de nutrimentos que existe, las plantas son selectivas (Baixauli y Aguilar, 2000).

Un elemento para ser considerado esencial en el crecimiento de las plantas, debe cumplir tres criterios: 1) la planta no podrá completar su ciclo de vida normal en la ausencia del elemento, 2) la acción del elemento debe ser específica y ningún otro elemento puede sustituirlo completamente, 3) el elemento deberá estar directamente implicado en la nutrición de la planta, esto es, ser un constituyente de un metabolito o ser necesaria su presencia para la acción de una enzima esencial y no ser simplemente la causa de que otros elementos sean más fácilmente asimilables (Resh, 1992).

Solamente 17 elementos están considerados como esenciales para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Estos esta divididos en macronutrimentos, que son aquellos requeridos en grandes cantidades por las plantas, y en micronutrimentos, aquellos que son requeridos en menor cantidad. Los macronutrimentos incluyen al C, H, O, N, P, K, Ca, S y Mg; los micronutrimentos son el Fe, Cl, Mn, B, Zn, Cu, Mo y Ni (Urrestarazu, 2000).

Las variaciones en la cantidad de los nutrimentos esenciales requeridos para el crecimiento normal de una planta son grandes. Los requerimientos cuantitativos dependen del cultivo, el nivel de producción y el nutrimento en particular. Por ejemplo el N, P, K, Ca, Mg y S se requieren en decenas y cientos de kilogramos por hectárea por los cultivos vegetales y los micronutrimentos en gramos por hectárea (Miranda *et al*, 2003).

Tres elementos C, H y O se obtienen del aire o agua y componen aproximadamente el 95 % de la planta, mientras que los otros nutrimentos se encuentran en forma iónica en

la solución del suelo, con carga positiva (catión) o negativa (anión) y son normalmente absorbidos por medio de la raíces ya sea de la solución del suelo o por intercambio de contacto (Miranda *et al.*, 2003).

## **2.6 Importancia de los elementos minerales**

Los avances científicos en la nutrición vegetal y fertilización, han revolucionado la producción de cultivos. Con frecuencia los bajos rendimientos son debidos principalmente a la falta de nutrimentos (Cadahia, 2005).

El desarrollo económico de la sociedad moderna depende de los cultivos como materiales necesarios, directa o indirectamente, para el consumo humano. La cantidad adecuada de nutrimentos minerales que se suministre a los cultivos es el factor más importante en la obtención de alta productividad.

La nutrición mineral incluye el suministro, absorción y utilización de los nutrimentos esenciales para el crecimiento y producción de los cultivos. La decisión sobre la cantidad de nutrimentos para fertilizar un cultivo, se basa generalmente en tres parámetros: 1) demanda del cultivo del nutrimento; 2) la capacidad de suministro del suelo donde se va a establecer el cultivo; 3) la eficiencia del fertilizante que lo contiene y que se va a utilizar.

La demandan de cada cultivo está basada principalmente en la capacidad para absorber los nutrimentos necesarios para obtener los rendimientos máximos posibles, los cuales se contabilizan por la concentración en la materia seca de los productos cosechados, es decir frutos y follaje, en las hortalizas las exigencias de calidad (tamaño, color, textura, firmeza, sabor, etc.) son mayores, por lo que generalmente tienen una demanda intensiva de la mayoría de nutrimentos (Cadahía, 2005).

## **2.7 Suministro de nutrimentos**

El estado nutricional de las hortalizas está relacionado con el rendimiento y calidad de la cosecha y se ve afectado, por diversos factores como las propiedades físicas y químicas del suelo, la fertilización aplicada, la precipitación y el riego (Resh, 1992). Los fotoasimilados producidos en las hojas se combinan con los elementos minerales absorbidos por las raíces para producir los compuestos necesarios para el crecimiento de

la planta (Nuez, 1996). La escasez de elementos, o la proporción entre ellos influye desfavorablemente sobre el crecimiento y la formación de órganos, cosecha y calidad de la producción (Miranda *et al.*, 2003).

## 2.8 Soluciones Nutritivas

La nutrición juega un papel importante en el ciclo biológico de las plantas cultivadas bajo invernadero. Los aspectos más importantes de la solución nutritiva son: la relación mutua entre los aniones y entre los cationes, la concentración de nutrimentos expresada con la conductividad eléctrica (CE), el pH, la relación  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  y la temperatura. La relación mutua entre los aniones y entre los cationes debe corresponder a la que demandan las plantas, estas relaciones deben ser modificadas en cada etapa fenológica de la misma. La CE influye en la nutrición de las plantas, a CE mayores que  $6 \text{ dS m}^{-1}$  se induce diferente absorción entre los nutrimentos y, por lo tanto, desbalance entre éstos; pero una CE menor que  $2 \text{ dS m}^{-1}$ , es deficiente, sobre todo en los lugares o temporadas frías. El pH de la solución nutritiva determina la solubilidad de algunos nutrimentos, principalmente de P y  $\text{Ca}^{2+}$ , para evitar su precipitación, el pH debe ser mantenido entre 5.5 y 6.0. La relación  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  afecta la calidad y la producción de frutos. La temperatura de la solución nutritiva influye en la absorción de nutrimentos y en el contenido de oxígeno disuelto. Las propiedades deseadas en toda solución nutritiva son: Solubilidad, Pureza y Compatibilidad de sus elementos (Urrestarazu, 2000).

El requerimiento nutricional de los cultivos depende de la especie vegetal, adaptación a las condiciones climáticas, propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos o sustratos, características del agua de riego, incidencia de organismos dañinos y manejo cultural. Tomando en cuenta lo anterior, se deben desarrollar técnicas de cultivos para determinar las prácticas de producción más adecuadas, estudiando simultáneamente los principales nutrimentos para mejorar los niveles de producción de los cultivos (Berrios, 2004).

El chile huacle (*Capsicum spp.*) es de la misma especie que el pimiento, el cual es la especie de *Capsicum* con mayor superficie sembrada bajo invernadero a nivel mundial (Gamayo, 2006), por lo que las prácticas agronómicas aplicadas al pimiento pueden ser

un buen indicador para iniciar la investigación de prácticas adecuadas a desarrollar para implementar un adecuado sistema de producción de chile huacle.

El pimiento, necesita en promedio de 3 a 3.5 kg de N, 0.8 a 1 kg de P y 5 a 6 kg de K para producir una tonelada de fruto. La necesidad de fertilizantes es durante todo el ciclo de desarrollo de la planta (Namesny, 2000).

Para la nutrición de las plantas de pimiento en un cultivo sin suelo usando perlita como sustrato bajo un sistema de fertirriego, Escobar (1993) recomienda una solución nutritiva compuesta de los nutrientes siguientes: 13.5 ( $\text{NO}_3^-$ ), 1.5 ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), 2.7 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 5.5 ( $\text{K}^+$ ), 9 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y 3 ( $\text{Mg}^{2+}$ ) meq  $\text{L}^{-1}$ . Manteniendo un pH de la solución nutritiva entre 5.5 y 6 mediante el uso de ácido fosfórico y nítrico.

Por otra parte Urrestarazu (2004) recomienda una solución nutritiva para un cultivo de pimiento en cultivo sin suelo en lana de roca, compuesta por 16 ( $\text{NO}_3^-$ ), 1.75 ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), 2.5 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 1 ( $\text{NH}_4^-$ ), 8 ( $\text{K}^+$ ), 8 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y 2.5 ( $\text{Mg}^{2+}$ ) meq  $\text{L}^{-1}$ . Berenger (2007) propone la solución de 9.18 ( $\text{NO}_3^-$ ), 1.5 ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), 3.12 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 0.8 ( $\text{NH}_4^-$ ), 3.06 ( $\text{K}^+$ ), 6.64 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y 3.50 ( $\text{Mg}^{2+}$ ) meq  $\text{L}^{-1}$  para el cultivo de pimiento en cultivo sin suelo.

La solución de Steiner (1961) es la más utilizada en la mayoría de los cultivos, una de las razones es por considerarse equilibrada entre aniones y cationes, reflejándose en buenos rendimientos manteniendo la calidad del producto, está compuesta de 12 ( $\text{NO}_3^-$ ), 1 ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), 7 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 7 ( $\text{K}^+$ ), 9 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y 4 ( $\text{Mg}^{2+}$ ) meq  $\text{L}^{-1}$ .

## **2.9 Cultivo sin suelo**

Actualmente por cultivo sin suelo se entienden aquellas técnicas que emplean un medio radicular diferente del suelo natural. Otra característica común de las técnicas de cultivo sin suelo es que en ellas se emplea la fertirrigación, aplicando en forma continua una solución nutritiva, sea mediante goteo, inundación, flujo y reflujo o flujo continuo. El medio radicular está limitado y soportado por lo que generalmente se denomina contenedor que puede adoptar formas muy diversas según la técnica, bolsa de cultivo, canal, tabla, maceta, etc. La solución nutritiva debe de proporcionar a la rizosfera no solo los nutrientes y el agua necesarios para el desarrollo de las plantas, sino también el oxígeno que se requiere para la respiración radicular (Marfa, 2000).

Según Samperio (2002), esta tecnología consiste en colocar el sistema radicular en un medio nutriente líquido o vaporizado, o en un sustrato relativamente inerte (grava, arena, aserrín, gránulos o espuma de plástico) alimentado con una solución nutritiva que contenga, en una determinada concentración, los macronutrientes y los micronutrientes necesarios para la nutrición. Por tal razón, en función de las características del sustrato, los métodos de cultivo en hidroponía pueden clasificarse en dos grupos: cultivo en agua o solución nutritiva y cultivo en sustrato.

Es una ciencia que estudia los cultivos sin tierra, pero con un medio inerte como arena gruesa, turba, vermiculita o aserrín al que se agrega una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales requeridos por la planta para su crecimiento normal y desarrollo. Puesto que en muchos métodos hidropónico se emplean algún tipo de medio que contiene material orgánico como turba o aserrín, son a menudo llamados “cultivos sin suelo”, mientras que aquellos con la cultura del agua serían los verdaderamente “hidropónicos” (Miranda *et al.*, 2003).

Es considerada como un sistema de producción agrícola apto para la producción de hortalizas, plantas ornamentales y medicinales, almácigos, forrajes, producción de algas y semillas certificadas en lugares donde estos productos son caros y escasos, pudiendo ser posible la obtención de varias cosechas al año y de la misma especie (Medellín, 2004)

### **2.9.1 Razón del uso de los cultivos sin suelo**

Actualmente con el desarrollo de la tecnología, los cultivos sin suelo (CSS) juegan un importante papel porque en ellos descansa la economía de la agricultura tecnificada. Pero en la gran mayoría de los CSS del mundo se vierten los lixiviados al medio. Por tanto desde el punto de vista medioambiental la eficiencia de los mencionados CSS en lo que se refiere al uso del agua y de los fertilizantes debe ser mejorada ya que haciendo uso de estos con la recirculación de soluciones nutritivas permite dar una alternativa a estos problemas de afectación al medio ecológico. Las limitaciones de las técnicas de recirculación aumentan cuando la conductividad eléctrica y la alcalinidad del agua de riego aumentan (Marfa, 2000).

## **2.9.2 Importancia de los cultivos sin suelo**

La importancia principal de los cultivos sin suelo radica en que es altamente productivo, de elevada calidad del producto, excelente respuesta al cuidado del medio ambiente y la salud de los consumidores. Así mismo dentro de las ventajas que ofrecen los sistemas de cultivo sin suelo en comparación a los cultivos con suelo son la obtención de cultivos más homogéneos en el desarrollo de sus sistema radicular, menores problemas fitopatológicos relacionados con enfermedades producidas por los denominados hongos del suelo (damping off); el agua puede ser utilizada con mayor eficiencia, lo que representa un menor consumo de agua por kilogramo de producción obtenida; los nutrientes minerales pueden ser aplicados de forma más eficiente y como consecuencia se genera mayor cantidad, alta calidad y precocidad de las cosechas (Santos, 2004).

## **2.9.3 Ventajas y desventajas del cultivo sin suelo**

Según Resh (1992), las ventajas más importantes del cultivo hidropónico frente al sistema tradicional de utilizar el suelo y fertilizantes con macroelementos son una mayor eficiencia en la regularización de la nutrición, su posibilidad de empleo en regiones del mundo que carecen de tierras cultivables, una utilización más eficiente del agua y fertilizantes, mas fácil y bajo costo de desinfección del medio, así como una mayor densidad de plantación que nos conduce a un incremento de cosecha por unidad de superficie.

Otra ventaja de la hidroponia seria la humedad del sustrato que puede ser siempre uniforme y controlado, excelente drenaje, se pueden obtener varias cosechas por año, hay uniformidad en el cultivo, además se puede producir donde el suelo es una limitante para la agricultura normal (Romero, 2005).

Desde el punto de vista práctico, los cultivo sin suelo suelen clasificarse en cultivos hidropónicos (cultivo en agua mas nutrientes o sobre materiales inertes) y cultivos en sustrato (cultivo sobre materiales químicamente activos, con capacidad de intercambio catiónico). En adición, los cultivos sin suelo pueden funcionar como sistemas abiertos o como sistemas cerrados (Cadahía, 2005).

## **2.10 Cultivo en sustratos**

Generalmente en estos sistemas se utiliza como sustrato algún material sólido distinto del suelo, natural o de síntesis, mineral u orgánico que, colocado en un contenedor, en forma pura o mezclado, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto un papel de soporte para la planta. Los sustratos pueden ser de materiales químicamente inertes o activos, que pueden o no aportar nutrientes a las plantas (González, 2005).

En esta técnica, las semillas germinan, crecen y se desarrollan hasta su producción, en un medio inerte (agregado) que es regado con una solución nutritiva. En este método hay un sustrato, que puede ser de origen vegetal (turba, virutas menudas, aserrín, etc.) o de origen mineral o plástico (arena, grava, fibracel, etc.), dicho método es el más difundido (Samperio, 2002).

Las principales funciones de un sustrato dentro del sistema de cultivo sin suelo es el de proporcionar un medio ambiente “ideal” para el crecimiento de las raíces y constituir una base adecuada para el anclaje o soporte mecánico de las plantas (Baixauli y Aguilar, 2000).

### **2.10.1 Cultivo en arena**

La arena se utiliza en calidad de sustrato desde hace, más de un siglo y los primeros cultivos en este medio se informaron en 1860. Aunque en líneas generales este sistema ha tenido éxito limitado, producto de que el tamaño de la partícula impide la circulación de la solución con la rapidez requerida y el origen frecuentemente calcáreo de la arena provoca alteraciones en el pH de la solución; este material es ampliamente utilizado, especialmente en aquellas zonas desérticas y costeras donde abunda y su costo hace que sea el sustrato preferido, entre otros materiales. Con fines de hidroponía se utiliza también con resultados aceptables la arena de río, arena de sílice, de cuarzo, etc. Así mismo, todos los tipos de arena requieren de un cuidadoso tamizado, con el fin de evitar incluir partículas mayores de 2 mm y menores de 0.6 mm (Resh, 1992).

### **III OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

#### **3.1 Objetivo General**

Conocer el comportamiento fisiológico y productivo del chile huacle con cuatro soluciones nutritivas utilizadas en cultivos sin suelo bajo invernadero.

##### **3.1.1 Objetivos específicos**

1. Evaluar cuatro soluciones nutritivas y su efecto sobre algunas características morfológicas del chile huacle en cultivo sin suelo y bajo invernadero
2. Evaluar cuatro soluciones nutritivas y su efecto sobre algunas características productivas del fruto del chile huacle en cultivo sin suelo y bajo invernadero
3. Evaluar cuatro soluciones nutritivas y su efecto sobre algunas características de calidad del fruto del chile huacle en cultivo sin suelo y bajo invernadero

#### **3.2 Hipótesis**

**Ho:** Al menos una solución nutritiva utilizada, tienen un efecto favorable en la producción y calidad del chile huacle, como especie nativa.

**Ha:** Ninguna de las soluciones nutritivas afecta positivamente la producción y calidad de chile huacle, como especie nativa.

## IV MATERIALES Y METODOS

### 4.1 Ubicación del área experimental

El presente trabajo se realizó en el Municipio de Xoxocotlán, Oaxaca, en un invernadero del CIIDIR IPN el cual se encuentra ubicado en la Latitud Norte 17° 03'' y 96° 43' Latitud Oeste, a una Altitud de 1,550 m.

### 4.2 Factores de estudio

Genotipo. El genotipo evaluado fue chile huacle negro de la comunidad de Cuicatlán, dicho genotipo presento frutos de 5 a 7 cm de longitud. La semilla fue obtenida de un mismo terreno, de plantas vigorosas con entrenudos largos y pedúnculo fuerte.

Solución nutritiva. Se evaluaron cuatro tratamientos a diferentes concentraciones de macroelementos, como lo muestra el cuadro 2.

Cuadro 2. Soluciones nutritivas a evaluar (meq L<sup>-1</sup>).

Tratamiento	Solución nutritiva	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
D	Escobar (1993)	13.5	1.5	2.7	-	5.5	9	3
A	Steiner (1961)	12	1	7	-	7	9	4
C	Berenger (2007)	9.18	1.5	3.12	0.8	3.06	6.64	3.50
B	Urrestarazu (2004)	16	1.75	2.5	1	8	8	2.5

Como fuente de nutrimentos se emplearon los fertilizantes comerciales indicados en el cuadro 3.

Cuadro 3. Cantidad de fertilizantes para preparar 200 L de solución nutritiva durante el ciclo de cultivo de chile huacle.

<b>Fuente</b>	<b>Steiner (g)</b>	<b>Berenger (g)</b>	<b>Escobar (g)</b>	<b>Urrestarazu (g)</b>
<b>Nitrato de potasio</b>	106.76	27.49	67.93	126.98
<b>Nitrato de calcio</b>	141.12	85.43	141.12	117.52
<b>Fosfato monopotásico</b>	29.39	28.85	40.83	30.21
<b>Fosfato monoamónico</b>	–	5.52	–	10.12
<b>Acido nítrico</b>	51.06 ml	44.17 ml	43.65 ml	51.06 ml
<b>Acido sulfúrico</b>	–	6.00 ml	6.44 ml	–

Diseño experimental. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con cinco repeticiones, donde la unidad experimental consistió de una planta por maceta, separadas a 1.40 m entre hileras y a 0.30 m entre plantas. Se utilizó como contenedor bolsas de polietileno negro calibre 700 de 0.40 x 0.40 m y como sustrato arena.

VARIABLES EVALUADAS. Estas fueron medidas cada 15 días a partir del transplante.

- Altura de planta (cm). La altura de la planta se midió con una regla métrica desde la base hasta el ápice de la misma.
- Diámetro de tallo principal (mm). Con un vernier se midió el diámetro en la base de la planta.
- Número de hojas. Se realizó el conteo del número de hojas por planta.
- Peso en fresco de hojas (g). Una vez recolectados los frutos, las hojas de cada tallo principal se cortaron y se pesaron para obtener el peso fresco.
- Número de frutos por planta. Se contó el número total de frutos conforme los mismos iban madurando hasta el final del ciclo productivo
- Rendimiento por planta (kg planta<sup>-1</sup>). Se determinó pesando los frutos totales de cada planta evaluada.

- Distancia entre nudos (cm). Con una regla métrica se realizó una medición de la distancia entre los nudos productivos de cada tallo secundario, para obtener al final un promedio por planta.
- Peso seco de hojas (g). Una vez recolectados los frutos, las hojas de cada tallo principal se cortaron y se pusieron a secar en una estufa a 75 °C durante 48 horas. Posteriormente se sacaron y se realizó el registro del peso seco.
- Longitud de raíz (cm), al término del ciclo productivo se sacaron las plantas de las bolsas y con una cinta métrica se obtuvo la longitud máxima de las raíces.

En cuanto a las variables de calidad de fruto se tienen:

- Longitud de fruto (cm). Tomando en cuenta la norma NMX-FF-107/1-SCFI-2006, se colocó el fruto en una superficie horizontal plana y con una regla graduada en centímetros y milímetros se midió la longitud de la base al ápice del fruto sin considerar el pedúnculo.
- Ancho de los hombros del fruto (cm). Similar a las especificaciones planteadas para la longitud, se midió el diámetro en la parte de mayor amplitud del fruto.
- Peso fresco de fruto (g). Con una balanza granataria se pesaron los frutos por planta.
- Peso seco de fruto (g). Posterior al pesado en fresco, usando la metodología de Rojas *et al.* (2008), cada uno de los frutos se colocaron en bolsas de papel y se llevaron a la estufa de secado hasta obtener su peso en seco.
- Grosor del pericarpio (mm). Se tomó el promedio de dos medidas en dos lóculos en el centro del fruto fresco, tras cortar por un plano perpendicular al eje central del fruto.
- Firmeza ( $\text{kg cm}^{-2}$ ). Con un penetrómetro se midió el nivel de firmeza en frutos frescos.
- Sólidos solubles totales (°Brix), La cantidad de Sólidos Solubles Totales se realizó utilizando un refractómetro manual y consistió en colocar de una a dos gotas de jugo de fruto en el instrumento de medición para tomar la lectura.

Una vez obtenidos los datos, estos fueron ordenados y sometidos a un análisis de varianza para determinar la existencia de diferencias entre tratamientos y posteriormente

se realizó una comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) utilizando el programa SAS (Statistical Analysis System, 1999).

### **4.3 Establecimiento del Experimento**

#### **4.3.1 Semillero**

La producción de plántula de chile huacle se realizó en charolas de poliestireno expandido de 200 cavidades, conteniendo una mezcla de los sustratos peat most + perlita, en proporción 1:1 respectivamente. Se colocaron dos semillas por alveolo a 0.5 cm de profundidad en el sustrato humedecido para garantizar una planta al final de la etapa de semillero y se dio un riego a saturación. Se les aplicó riego con una solución de previcur en una concentración  $0.5 \text{ g L}^{-1}$  para prevenir enfermedades fungosas. Posteriormente las charolas se apilaron y fueron cubiertas con plástico de color negro para incrementar la temperatura y acelerar el proceso de germinación.

Las primeras plántulas comenzaron a emerger a los 7 días (21 de Junio 2009). Ese mismo día se les descubrió del plástico negro y fueron colocadas en el invernadero. Durante la primera semana después de la emergencia las plántulas fueron regadas diariamente con una regadera manual con agua únicamente.

Se realizó nuevamente otra aplicación previcur y confidor a la misma concentración para la prevención de ataques de hongos presentes en el suelo y de mosca blanca de los invernaderos respectivamente, además del ridomil para control de la araña roja (Nuez *et al.*, 1996) indicaron que es importante la aplicación de fungicidas, debido a que los hongos pueden causar “damping-off” preemergente o postemergente durante el cultivo.

#### **4.3.2 Transplante**

El trasplante se realizó cuando las plantas tenían en promedio 20 cm de altura aproximadamente cuando presentaron dos hojas verdaderas completamente formadas y extendidas. La siembra de las plantas, se realizó el 16 de Agosto 2009 en bolsas de polietileno y arena como sustrato.

#### 4.4 Aplicación de Tratamientos

Los tratamientos a evaluados consistieron de cuatro soluciones nutritivas utilizadas para el riego de hortalizas en cultivo sin suelo, tomando como testigo la solución nutritiva desarrollada por Steiner ya que muchos de los estudios realizados sobre la nutrición de hortalizas están basados en ésta solución al 100% y de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo se determina en disminuir o aumentar la concentración de los elementos minerales propuestos, previo análisis de agua y el cálculo correspondiente de las fuentes empleadas.

El suministro de las soluciones nutritivas a las plantas se realizó a través del sistema de riego localizado, con gotero tipo botón de  $4 \text{ L h}^{-1}$ , más microtubo y estaca deslizadora por cada bolsa. El sistema se alimentó por un tinaco de 200 litros por cada solución nutritiva (tratamiento) cuidando de que al mezclar los fertilizantes primeramente se acidificara el agua y enseguida se suministraran los nitratos y posteriormente los fosfatos y sulfatos y finalmente los micronutrientes, todo ello en constante movimiento para evitar precipitaciones.

La frecuencia de la fertirrigación estuvo en función a la fenología del cultivo y se inicio aplicando 3 riegos al momento del trasplante con una duración de 5 minutos cada uno, llegándose a aplicar 6 riegos de 3 minutos cada uno y dos riegos ubicados al mediodía de 5 minutos cada uno, en la etapa de cosecha distribuidos en el transcurso del día. Los tinacos se taparon con plástico negro para evitar la contaminación y cambios por agentes externos en las soluciones nutritivas. El pH se controló con ácido sulfúrico y nítrico para mantenerlo en un rango constante de 5.5 a 6.5.

A medida que las plantas están creciendo se les colocó una vara para su sostén y fueran guiadas ordenadamente y evitar problemas de exceso de humedad e inducir a enfermedades fungosas.

El control de plagas y enfermedades se hizo desde el semillero hasta el final del cultivo, aplicando 1 gramo de cal común en la base de la planta para evitar enfermedades. Se realizaron 3 aplicaciones preventivas contra tizón tardío (*phytophthora infestans*) y secadera de chile (*phytophthora capsici*) con ridomil gold en dosis de  $1 \text{ g L}^{-1}$ . Se realizó

3 aplicaciones de valeiton para cenicilla (*Oidium* spp) en la misma dosis. Se aplico 2 aplicaciones de confidor contra la mosca blanca y para la araña roja en dosis de 1 g L<sup>-1</sup>.

Para la cosecha del chile huacle se tomo en cuenta que tuvieran un color café claro y se realizaron 4 cortes, para esta tarea se utilizaron bolsas de papel etiquetando cada fruto cosechado para posteriormente tomar datos de las variables de estudio.

## V. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos para las variables respuesta del chile huacle a cuatro soluciones nutritivas en cultivo sin suelo e invernadero se muestran en el cuadro 4, en el que se observa que no existe significancia para las variables distancia entre nudos, longitud de raíz y rendimiento por planta. Pero se obtuvieron diferencias significativas respecto a las demás variables en los cuatro tratamientos de fertilización.

Cuadro 4. Variables fisiológicas y de rendimiento del chile huacle bajo diferentes dosis de fertirrigación en cultivo sin suelo en invernadero

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Distancia entre nudos (cm)	Número		Longitud de raíz (cm)	Rendimiento (g planta <sup>-1</sup> )
				Brotos	Frutos		
A	105.78 a	15.76 a	6.22 a	43.00 a	70.60 a	24.42 a	229.62 a
B	99.13 ab	13.15 ab	6.81 a	39.60 ab	71.60 a	19.30 a	202.14 a
C	97.1 ab	13.94 ab	6.12 a	29.00 c	64.40 a	20.38 a	165.50 a
D	85.81 b	11.95 b	5.00 a	32.60 bc	36.40 b	19.69 a	213.40 a
Coefficiente de variación	9.96	14.63	19.25	12.37	18.58	17.44	43.84

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $\alpha=0.05$ ).

### 5.1 Efecto en las variables fisiológicas y de rendimiento

#### 5.1.1 Altura

Con respecto a la altura de la planta, el tratamiento A indujo mayor crecimiento de esta variable comparado con el resto de los tratamientos, por otra parte el tratamiento que menor crecimiento indujo fue el D, debido a que las plantas solo crecieron en promedio 85.81 cm cuando fueron regadas con dicha solución y que contenía bajos niveles de Potasio, en el caso del tratamiento A, tiene altos contenidos de nitrógeno y potasio, éste comportamiento ha sido observado en investigaciones, donde han concluido que altas concentraciones de Nitrógeno y potasio promueven una mayor altura de planta como lo indica Fageria *et al.* (1997), quienes mencionaron que una menor concentración o la ausencia de nitrógeno en las soluciones nutritivas se asocia con la disminución en la altura de la planta en un 70%, lo que indica que los aportes de nitrógeno influyen directamente en el crecimiento de las plantas. En el mismo sentido, Alonso *et al.* (2002) en su estudio de producción de chile jalapeño con nutrición nitrogenada y potásica,

reportaron que la altura de planta está determinada por estos dos elementos y que cuando se realizaron aplicaciones de nitrógeno en el intervalo de 290 y 390 kg ha<sup>-1</sup> y aplicaciones de potasio en el intervalo de 50 y 90 kg ha<sup>-1</sup>, se favoreció significativamente la altura de planta. Por otro lado, Velasco *et al.* (1998), reportaron que el empleo de la solución nutritiva completa (incluía los elementos: nitrógeno, potasio, fósforo, calcio y magnesio) permitió mejor crecimiento en plantas de chile de agua tanto enfermas como sanas, con respecto a las que utilizaron soluciones con elementos faltantes, esto se debió principalmente a la ausencia de Nitrógeno y en menor proporción el fósforo, mencionando también que el calcio y el magnesio fueron los factores menos limitativos para el crecimiento y producción de las plantas.

El comportamiento del resultado del tratamiento A donde se tiene alta concentración de potasio, respecto a la variable altura coinciden con los reportados por Hassan *et al.* (1995), quienes al evaluar el crecimiento y rendimiento de chile (*Capsicum annuum* L.) encontraron que la altura de la planta incrementa (60.63 cm) con el incremento de las concentraciones de potasio (132 kg ha<sup>-1</sup>). Otro autor menciona que el incremento del fósforo hasta 100 kg ha<sup>-1</sup> aumenta la altura de la planta (Alabi, 2006), sin embargo en la investigación el tratamiento A, los niveles de fósforo se encontraron dentro del rango de los demás tratamientos por lo que se considera que no influyo en la altura de la planta.

Preciado *et al.*, 2008 al evaluar el efecto del amonio y fosfato en el crecimiento de plántulas de chile jalapeño mencionaron que la mayor altura de planta se obtuvo empleando 1.5 mmol L<sup>-1</sup> de amonio en la solución nutritiva, con respecto a la solución en que se emplearon 3 mmol L<sup>-1</sup> y que presentó menor crecimiento de la plantas, sin embargo los resultados del presente no coincide con estos resultados de los autores mencionados, las soluciones nutritivas C y B que tenían amonio no indujeron la mayor altura en planta, sin embargo estadísticamente no hubo diferencias significativas con el tratamiento A que indujo la mayor altura.

Otros investigadores mencionan que la altura de planta está muy relacionada principalmente con el suministro del nitrógeno, siendo que éste elemento en pimiento es muy demandante sobre todo en la etapa de crecimiento, el nitrógeno conduce a la utilización de los hidratos de carbono para formar el protoplasma y más células para aumentar el crecimiento de la planta (Alabi, 2006) y por otro lado el potasio necesario

para fijación simbiótica del nitrógeno en forma de nitrato, promueve una eficiente translocación de fotosintatos desde las hojas y por otro lado la fotosíntesis disminuye cuando los asimilados se acumulan en la hoja por lo que una rápida exportación de fotosintatos, unidos al potasio podría ser importante para mantener una alta tasa de fotosíntesis neta en las hojas necesarias para el crecimiento, finalmente el fósforo incrementa al contenido de nitrógeno (Alcantar *et al.*, 2008).

### 5.1.2 Diámetro

Respecto al diámetro del tallo de la planta, el tratamiento A fue superior en un 24.17% respecto al obtenido en el tratamiento D que fue el que mostró el menor diámetro de tallo, al igual que en otros parámetros fisiotécnicos, la planta de chile huacle tuvo un diámetro promedio de 15.76 mm con el tratamiento A, la cual presentó altos contenidos de nitrógeno en la solución nutritiva lo que posiblemente influyó en el diámetro de la planta, esto contrasta con lo reportado por Preciado *et al.* 2008, quienes indican que el incremento en el diámetro del tallo se debe principalmente a la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva en forma de amonio, lo cual no coincide con la respuesta mostrada por las plantas fertirrigadas con la solución C y D que fueron las únicas soluciones que contuvieron amonio en el presente trabajo, pero coinciden con los reportes de otros autores, que mencionan que en suelos con buena humedad y con aplicaciones de nitrógeno ( $390 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y aplicaciones de potasio de  $90 \text{ (kg ha}^{-1})$ , se favoreció significativamente el diámetro de tallo (8.1 mm) en plantas de chile jalapeño (Alonso *et al.*, 2002). La poca respuesta a la fertilización nitrogenada, también puede estar asociada al endemismo de la planta de chile huacle, la cual responde mejor a elementos orgánicos naturales presentes en el suelo que a los fertilizantes de síntesis.

Otra investigación reportó que el aumento de la concentración de fosforo y potasio en la solución de nutrientes influyen sobre el crecimiento de plantas de chile tabasco, con un aumento de la altura, peso y diámetro de tallo, así como el área foliar y el peso seco de las secciones de la planta sin incidir sobre otras variables de crecimiento (Aldana, 2005). Otros autores han concluido que el crecimiento del diámetro del tallo de la planta está controlado por los meristemas, estos son tejidos embrionarios poco diferenciados y en constante división celular, ellos producen constantemente nuevos tejidos, el meristemo encargado de controlar el diámetro es el meristemo secundario situado entre

el xilema y el floema que son sistemas conductores de nutrientes y agua, el mecanismo de transporte de los solutos en el xilema es principalmente por flujo de masas donde el nitrógeno pueden ser absorbidos en las paredes de las células en forma de nitratos, amidas y aminoácidos interviniendo en la multiplicación y diferenciación celular, siendo probablemente la razón para el crecimiento del diámetro, ya que a mayor contenido de nitrógeno, mayores niveles de clorofila traducido en mayor vigor de las plantas (Alcantar *et al.*, 2008).

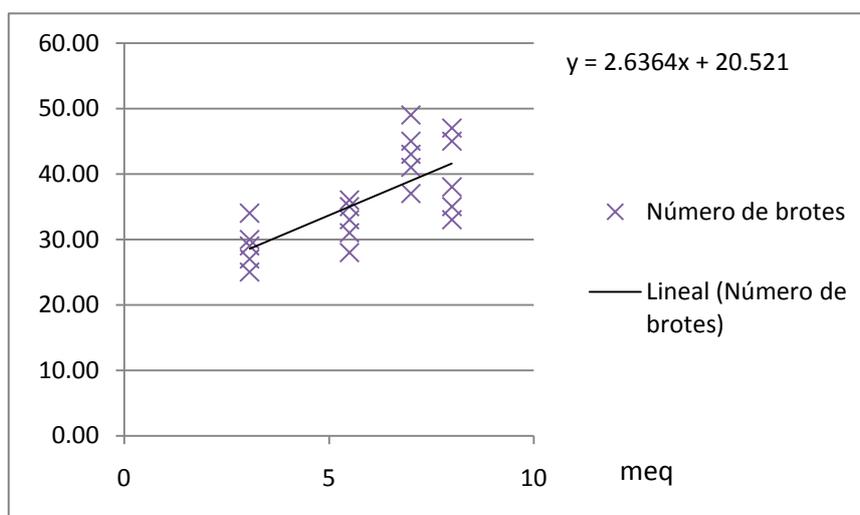
### **5.1.3 Número de brotes**

Con respecto al número de brotes, el tratamiento A indujo mayor crecimiento en esta variable, respecto a los demás tratamientos, encontrándose diferencia significativa ( $P \leq 0.5$ ) entre ellos, se destaca que las plantas de chile huacle en el tratamiento C expresaron en promedio 29 brotes, tratamiento que consistió en baja concentración de nitrógeno y la más baja concentración de potasio respecto de los demás tratamientos. Es sabido que existe una alta relación entre suministro de fósforo y nitrógeno y la formación de brotes, (Alabi, 2006), por lo que se puede afirmar que las plantas bien provistas de N tiene mayor número de brotes y de hojas, lo que además coincide con lo reportado por otros investigadores, que mencionaron en su estudio que la deficiencia de N reduce el número de brotes vegetativos y florales (Anza y Riga, 2007). Por otra parte Xu *et al.*, 2001, mencionó que al variar la forma del nitrógeno y su concentración durante la temporada de crecimiento de pimiento, floración y rendimiento de frutas, encontraron que el incremento de la concentración de nitrógeno de 3 mM a 9 mM en la época otoño-invierno aumentó el número de brotes y frutos, así mismo encontraron que una baja concentración de nitrógeno (3 mM) durante el llenado de frutos limitó el cuajado de los mismos.

Sin embargo en esta investigación de acuerdo con los resultados del análisis de correlación simple como se muestra en la figura 1, se obtuvo que el elemento con mayor coeficiente de correlación fue potasio, al tomar como variable dependiente el número de brotes, se observó que por cada unidad de potasio adicional, el número de brotes aumentó en 2.63 %. Esto es porque el potasio es un activador de enzimas esenciales en la fotosíntesis y respiración, activa enzimas necesarias para formar almidón y proteínas en el potencial osmótico y la presión de turgencia, se transporta en la planta por difusión

en la raíz y es un elemento de alta movilidad, dentro del floema es el catión más abundante y de mayor concentración, y es adsorbido en las paredes de las células e intercambiable por otros cationes, la ausencia de potasio induce cambios en el crecimiento de nódulos y brotes en la planta, el ciclo y reciclado de potasio aumenta con la tasa de aumento del crecimiento de los brotes, que está de acuerdo con la función del potasio para el equilibrio de cargas del nitrógeno en el xilema y órganos ácidos en el floema (Alcantar *et al.*, 2008).

Figura 1: Efecto del potasio en el número de brotes en plantas de chile huacle.



### 5.1.4 Número de frutos

En cuanto a la variable número de frutos el tratamiento B fue el que indujo mayor número de frutos (71.60) comparado con los demás, el tratamiento B contiene el más alto nivel de fósforo, nitrógeno y potasio respecto a los demás, coincidiendo con los resultados obtenidos por Balcaza (2003), quien señaló que para la floración y formación del fruto es importante el fósforo y su demanda crece cuando se acerca la floración y la maduración de las semillas, también mejora el número de frutos y el peso de los mismos. Por otra parte Alonso *et al* (2000), reportaron en chile jalapeño que el número de frutos aumentó como consecuencia del aumento en la dosis de aplicación de nitrógeno y de potasio, comportamiento que coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación debido a que el mayor número de frutos se obtuvo en la soluciones donde se aplicaron los mayores niveles de nitrógeno y de potasio.

Así mismo Rubio *et al.* (2010), determinaron que con el incremento de calcio de 1.5 a 8 mmolL<sup>-1</sup> aumentó el número de frutos por planta sin embargo un alto nivel de potasio (14 mmolL<sup>-1</sup>) disminuyó el número de frutos por plantas hasta en un 26%, por lo que el mayor rendimiento se obtuvo con 2.5 y 7 mmol L<sup>-1</sup>, esto por la interacción entre el calcio y potasio en el nivel de absorción y porque una deficiencia de potasio afecta la síntesis de proteínas en las células que se encuentran en procesos de división o elongación afectando el rendimiento del fruto comportamiento que no se observó en la presente investigación. En el mismo sentido, Khan *et al.*, (2010) en su estudio de la eficiencia del nitrógeno y fósforo en el crecimiento y rendimiento en los atributos de *Capsicum* mencionan que un incremento en la dosis de Nitrógeno (150 kg ha<sup>-1</sup>) y de fósforo (30 kg ha<sup>-1</sup>) en campo aumenta el número de frutos por planta (de 3.50 a 9.50).

Los resultados del presente trabajo también se comportaron de manera similar a los reportados por Gómez-Hernández y Sánchez-del Castillo (2003), quienes mencionaron que la disminución de la concentración de potasio en la solución nutritiva afecta el número de frutos consecuentemente el rendimiento en jitomate.

Por otro lado, Halder *et al.*, 2003 en su estudio de respuesta del chile al manejo integrado de los fertilizantes encontraron que el mayor número de frutos incrementa cuantiosamente con la aplicación de nitrógeno, aunque el incremento significativo también fue registrado con la aplicación de fósforo, potasio, azufre y zinc, sin embargo el estudio reveló que la aplicación de nitrógeno fue más pronunciada en comparación al fósforo, potasio, azufre y zinc llegando a obtener hasta 110 frutos por planta, valor que supera al número de frutos obtenidos en la presente investigación.

Otros investigadores que han estudiado el crecimiento y rendimiento del chile (*Capsicum annuum* L.) encontraron que el número de frutos aumenta con el incremento de la concentración de potasio (Hassan *et al.*, 1995). Otros efectos se han observado en relación con las formas del elemento y la forma de aplicación, ya que al combinar nitrato de amonio con humate de potasio (bioestimulador foliar) da como resultado el mayor número de frutos (121 frutos por planta) (Ghoname *et al.*, 2009). En el mismo sentido Alabi (2006) mencionó que el incremento del fósforo hasta 100 kg ha<sup>-1</sup> aumentó el número de frutos por planta (15.62 frutos) de chile (*Capsicum annuum* L.). Así también Alonso *et al.*, 2002, reportaron que el aumento en aplicación de nitrógeno y

potasio favorecieron significativamente el número de frutos de chile por planta obteniendo como máximo 9 frutos por planta.

Por tanto el número de frutos está muy relacionada con el suministro de nitrógeno, potasio y fósforo, destacando que la mayoría de los estudios el potasio fue el elemento que mayormente afecta el número de frutos, el fósforo es un elemento que da resistencia a los tejidos y participa en la formación de las membranas, es importante en la formación de frutos y su máxima demanda ocurre cuando se acerca la floración y maduración, el potasio mejora el amarre, formación y desarrollo de los frutos, incrementando su demanda hacia la floración y se mantiene constante ya que es determinante de la precocidad, firmeza y color de la fruta.

Cuadro 5. Respuesta de algunos parámetros fisiotécnicos del chile huacle a diferentes dosis de fertirrigación.

Tratamiento	Número de hojas	Peso (g)					
		Raíz		Hoja		Tallo	
		Fresco	Seco	Fresco	Seco	Fresco	Seco
A	341.6 a	51.44 a	41.15 a	133.30 a	68.86 a	187.11 a	102.92 a
B	257.6 a	35.34 b	26.50 b	113.86 b	62.62 a	140.16 a	77.09 a
D	290.4 a	29.50 bc	22.96 bc	82.96 c	43.09 b	67.48 b	37.11 b
C	243.4 a	21.06 c	16.47 c	66.66 c	35.33 b	60.80 b	33.44 b
Coefficiente de variación	33.53	15.70	15.96	9.15	8.99	25.49	25.49

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey;  $\alpha=0.05$ ).

Los resultados obtenidos para la respuesta del chile huacle a diferentes dosis de fertirrigación en cultivo sin suelo e invernadero se muestran en el cuadro 5. No existe significancia para la variable número de hojas. Pero se detectaron diferencias significativas respecto a las demás variables para los cuatro tratamientos de fertilización.

## 5.2 Efecto en las variables de crecimiento

### 5.2.1 Peso fresco de raíz

Respecto a ésta variable el tratamiento A indujo mayor peso fresco de raíz, comparado a los otros tratamientos, encontrándose diferencia significativa ( $P \leq 0.5$ ) entre los tratamientos, la planta de chile huacle peso únicamente 21.06 g cuando se fertirrigaron con la solución que contenía el tratamiento C la cual presentó bajos niveles de Nitrógeno y la más baja concentración de potasio, el tratamiento A contenía una alta concentración de nitrógeno y potasio, éste comportamiento ha sido observado en otra investigación y muestra que una alta concentración de nitrógeno y potasio promueven un mayor peso fresco de raíz, esto es la privación de potasio induce cambios en el crecimiento relativo de la raíz, en las tasas de absorción de carbono por unidad de masa y área de este órgano (Alcantar *et al.*, 2008).

Berrios 2005 menciona en su estudio sobre promotores de crecimiento radicular incorporados a un fertilizante NPK soluble sobre el crecimiento radicular en pimiento que el mayor peso fresco de raíz ( $45.1 \text{ g planta}^{-1}$ ) lo obtuvo con el tratamiento a base de fósforo aunado con auxinas sintéticas aplicadas en forma exógena aun cuando no tuvo diferencias significativas respecto al testigo ( $44.1 \text{ g planta}^{-1}$ ) que consiste en aporte de fósforo mediante la aplicación de ácido fosfórico. Otros autores mencionaron que la fertilización nitrogenada afecta a la floración del pimiento, pero que con el aumento del nitrógeno (de 9 a  $14 \text{ meq L}^{-1}$ ) no se indujo un aumento en la biomasa en las raíces de las plantas (Anza y Riga, 2007), lo que coincide con el comportamiento de los resultados obtenidos en la presente investigación.

Preciado *et al.*, 2008 en su estudio de amonio y fosfato en el crecimiento de plántulas de chile jalapeño mencionan que la mayor acumulación de biomasa se debe a la presencia de amonio en una dosis de  $1.5 \text{ mmol L}^{-1}$  en la solución nutritiva pero con  $3 \text{ mmol L}^{-1}$  se presentó un menor crecimiento de la plantas, con áreas necróticas en las hojas. También concluyen que una concentración de  $1 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  en la solución nutritiva es suficiente para la producción de plántulas de chile ya que a mayor dosis tiene un efecto negativo en la producción de biomasa.

En ésta variable, el nitrógeno aunado al fósforo son los responsables del peso fresco de la raíz, aunado al elemento potasio, el fósforo forma parte de los ácidos nucleicos y participa en la síntesis de proteínas, interviene en todos los procesos metabólicos de transferencia de energía, formación de membranas, dándoles resistencia a los tejidos, estimula la formación de raíces asociado al potasio.

### **5.2.2 Peso seco de raíz**

En lo que refiere a esta variable, se observó que el tratamiento A fue superior en el peso seco de raíz, comparado con los otros tratamientos, encontrándose diferencia significativa ( $P \leq 0.5$ ) entre ellos, teniendo que las plantas de chile huacle con la solución A superaron en un 59.7 % al peso seco de raíz de las plantas fertirrigadas con solución C, que fue la que obtuvo el valor más bajo de materia seca de raíz, posiblemente esto se debió a que la solución C consintió en bajos niveles de nitrógeno y la más baja concentración de potasio con respecto a las demás. Respecto al fósforo, la concentración estuvo dentro del rango de las demás soluciones utilizadas, en este sentido, Berrios 2005 reportó en pimiento que el mayor peso seco de raíz ( $3.01 \text{ g planta}^{-1}$ ) lo obtuvo con un tratamiento a base de fósforo y auxinas sintéticas aplicadas en forma foliar, en comparación al aporte de fósforo como ácido fosfórico ( $2.48 \text{ g planta}^{-1}$ ), y recalcó la importancia del fósforo en la formación de raíces, aunque esto es contrastante con los resultados del presente trabajo, pero se sabe que si se proporciona fósforo en exceso, el crecimiento de la raíz con frecuencia se incrementa en relación con el crecimiento de la parte aérea de la planta (Alcantar *et al.*, 2008).

Otros autores relacionaron el peso seco de raíz en plantas de chile jalapeño con la presencia de amonio en un nivel bajo ( $1.5 \text{ mmol L}^{-1}$ ) en la solución nutritiva con respecto a una concentración mayor ( $3 \text{ mmol L}^{-1}$ ) con la cual obtuvieron un raquítico crecimiento radical, ya que provocan una acidificación de la zona radicular lo que repercute en daños en los tejidos de la raíz en forma de quemadura (Preciado *et al.*, 2008), aunque estos resultados son contrastantes con los obtenidos en el presente trabajo ya que los tratamientos B y C incluyeron niveles bajos de amonio ( $1$  y  $0.8 \text{ meq L}^{-1}$ , respectivamente), pero eso no implicó que el peso seco de raíz fuera superior el obtenido en el tratamiento A. Otros trabajos mencionan que el peso seco de la raíz está ligado con los niveles de calcio y potasio en la solución nutritiva, esto es que una baja

concentración de calcio y una alta concentración de potasio disminuye el peso seco de raíz, pero al aumentar la concentración de calcio (de 1.5 a 4 mmol L<sup>-1</sup>), se incrementó el peso seco de raíz. Los efectos beneficios del calcio en el peso seco de raíz podría ser una consecuencia de la estrecha correlación positiva entre la estabilidad de la membrana y el mantenimiento de la integridad celular y el calcio contenido en los tejidos (Rubio *et al.*, 2010).

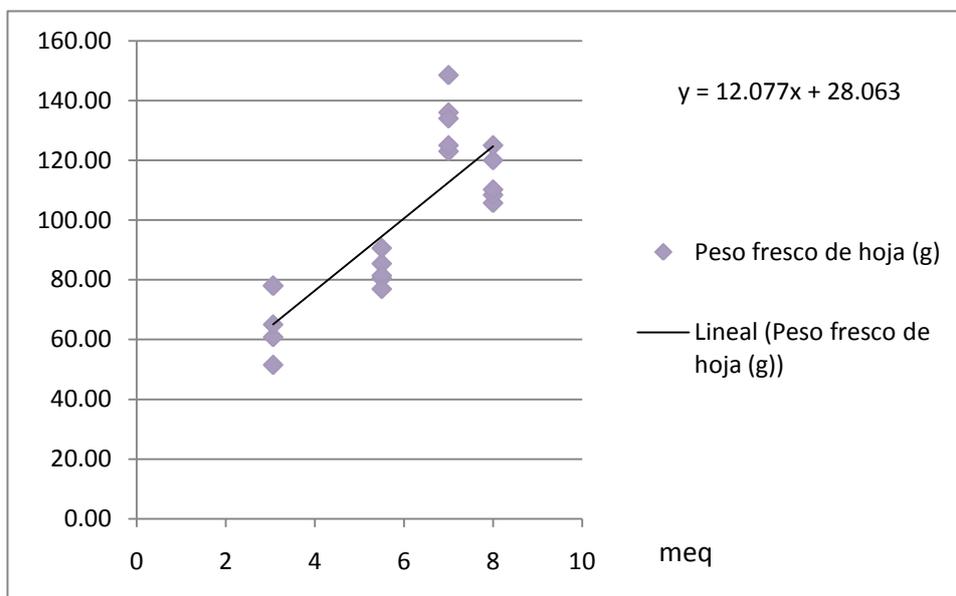
Por otro lado, Houdusse *et al.*, (2007), mencionaron que el peso seco de raíz se incrementa cuando las plantas son alimentadas con nitrógeno en forma de nitrato (2.72 g planta<sup>-1</sup>) en comparación con las que son alimentadas con nitrógeno en forma de amonio (1.52 g planta<sup>-1</sup>) esto quizá tenga alguna relación con los resultados obtenidos en la presente investigación, posiblemente porque que el efecto positivo de los nitratos tal vez se deba a los cambios en el pH intracelular (apoplasto) causado por las diferentes fuentes de nitrógeno asociados con los eventos fisiológicos principalmente la acumulación de algunos compuestos (putrescinas), y porque las diferencias en el crecimiento de las plantas en función de la nutrición con nitrógeno podría ser la consecuencia de un equilibrio hormonal dentro de la planta, posiblemente por cambios significativos en el transporte de citoquininas de la raíz al tallo inducido por la presencia de nitratos.

### **5.2.3 Peso fresco de hoja**

Con referente a ésta variable de acuerdo al análisis de varianza y prueba de medias se observó que hubo significancia ( $P \leq 0.5$ ), el tratamiento A con mayor peso fresco de hoja, comparado con los demás tratamientos, superando en 49.9 % el valor más bajo obtenido en el tratamiento C. Este comportamiento ha sido observado en otras investigaciones en las que reportaron que una alta concentración de nitrógeno promueve un mayor peso fresco de hoja, debido a que el nitrógeno se encuentra en las moléculas tan importantes como las purinas y las pirimidias de los ácidos nucleicos esenciales para la síntesis de proteínas, también en proflirinas de las clorofilas y en los citocromos que son esenciales para la fotosíntesis y la respiración (Alcantar *et al.*, 2008). Mientras que una dosis optima de potasio contribuye en mayor crecimiento vegetativo (longitud de la planta, número de brotes por planta, número de hojas por planta y peso fresco de hojas), en comparación con otros tratamientos de potasio muy alto o muy bajo en otras

solanáceas como la berenjena (Fawzy *et al.*, 2007). Otros trabajos han reportado la tasa de crecimiento está influenciada por la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva, debido que origina una expansión más rápida de la superficie foliar de la planta y una mayor productividad fisiológica, lo que refleja mayor peso fresco de hoja, como se reporta en pimiento y berenjena (Balliu *et al.*, 2007). Aunque lo anterior difiere de los resultados arrojados por un análisis de correlación simple que muestra la figura 2, donde se obtuvo que el elemento con mayor coeficiente de correlación fue potasio, al tomar como variable dependiente el peso fresco de hoja, se observó que por cada unidad de potasio adicional, el peso fresco de hojas aumentó en 12.07g, lo que indica que el potasio es un catión que está involucrado en el mantenimiento del potencial osmótico de la planta (turgencia de la célula), una implicación de esto es el movimiento del estoma, la apertura estomática permite a las plantas intercambiar gas y agua con la atmósfera, esto permite a las plantas mantener un estado adecuado de hidratación bajo condiciones de stress como salinidad o escasez de agua. De hecho, estudios en pimiento con un contenido alto de potasio generalmente muestra una eficiencia mayor del uso del agua, lo que indica que, este consume relativamente menos agua que cultivos deficientes de potasio para producir la misma cantidad de biomasa. (Berrios *et al.*, 2007).

Figura 2: Efecto del potasio en el peso fresco de hoja en plantas de chile huacle

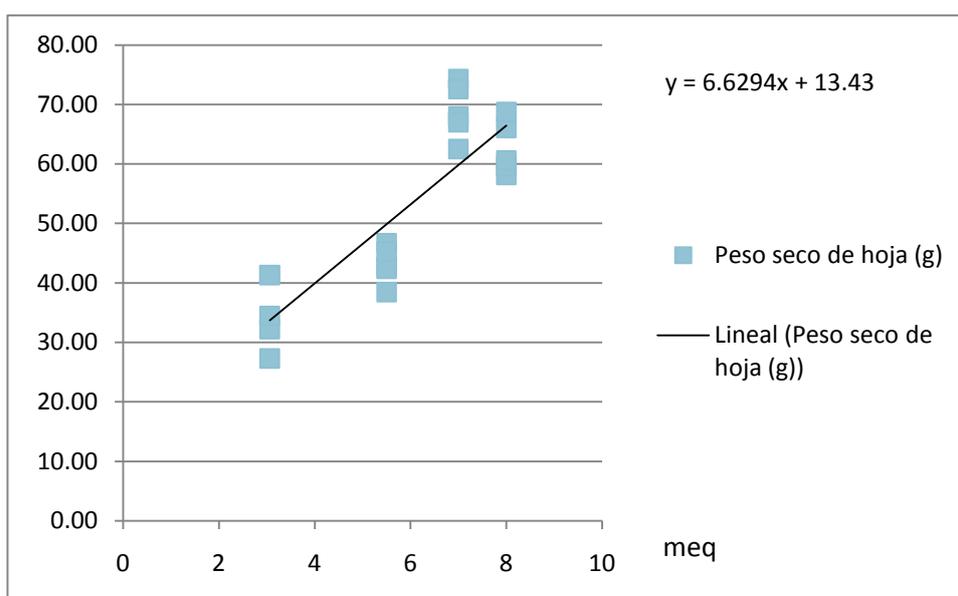


### 5.2.4 Peso seco de hoja

Con referente a ésta variable se obtuvo que hubo significancia ( $P < 0.5$ ) entre los tratamientos, en donde el tratamiento A fue superior a los demás la solución que contenía el tratamiento C la cual presentó bajos niveles de Nitrógeno y la más baja concentración de potasio, respecto al fósforo se encontró dentro del rango de los demás tratamientos, éste comportamiento ha sido observado en otras investigaciones Pire y Colmenarez, 1994 mencionan que el peso seco de hoja aumentó con las dosis entre 90 y 180 kg/ha de nitrógeno, sin embargo en la dosis de 360 kg/ha produjo los menores valores, sin embargo el peso seco acumulado aumentó paulatinamente con la edad del cultivo para finalmente disminuir debido a la pérdida de masa foliar por senescencia de las plantas.

Houdusse *et al.*, 2007 en su estudio efecto de fuentes de nitrógeno en el crecimiento y nutrición mineral de chile (*Capsicum annum* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.) mencionan que el peso seco de hoja presentan altos valores cuando las plantas son alimentadas con nitratos ( $4.85 \text{ g planta}^{-1}$ ) en comparación con las que son alimentadas con amonio ( $2.16 \text{ g planta}^{-1}$ ).

Figura 3: Efecto del potasio en el peso seco de hoja en plantas de chile huacle



En esta investigación de acuerdo con los resultados del análisis de correlación simple que se muestran en la figura 3 se obtuvo que el elemento con mayor coeficiente de

correlación fue potasio, al tomar como variable dependiente el peso seco de hoja, se observó que por cada unidad de potasio adicional, el peso seco de hojas aumentó en 6.62 g, aun cuando el análisis de correlación se obtuvo que el nitrógeno no influyó en el peso seco de hoja ( $r^2=0.27$ ), comparado con el potasio que presentó mayor relación ( $r^2=0.73$ ) con el peso seco de hoja, posiblemente a que el potasio también influye en la producción de biomasa, número de frutos y peso de frutos, ya que estas variables se incrementan linealmente con el incremento de los niveles de potasio en chile jalapeño (Johnson y Decoteau, 1996).

### **5.2.5 Peso fresco de tallo**

En esta variable el tratamiento A fue el que promovió mayor peso fresco de tallo, comparado a los otros tratamientos, la planta de chile huacle peso únicamente 60.80 g cuando se fertirrigó con la solución que contenía el tratamiento C la cual presentó bajos niveles de Nitrógeno y la más baja concentración de potasio, respecto al fósforo se encontró dentro del rango de los demás tratamientos, éste comportamiento ha sido observado en otras investigaciones, para Ghoname *et al.*, 2009 en su estudio del efecto de las formas de nitrógeno y la aplicación de bioestimulantes foliares en el crecimiento, rendimiento y composición química del chile picante en suelo arenoso, encontraron que la combinación de nitrato de amonio con humate de potasio da como resultado un alto peso fresco (154.53 g) y seco (33.37 g) de la planta, esto se debe a que el potasio incrementa la absorción y translocación de nutrientes y mejora la fotosíntesis, clorofila y la respiración de la raíz, mejoramiento del metabolismo, resultando en un mayor crecimiento y peso de la planta, por lo consiguiente los compuestos nitrogenados que constituyen una parte significativa del peso total de las plantas.

El nitrógeno es un elemento estructural y móvil dentro de la planta y participa en las reacciones enzimáticas y en los procesos metabólicos, síntesis de proteínas, respiración y fotosíntesis por lo que no es sorprendente que el crecimiento sea lento si no se añade este elemento (Alcantar *et al.*, 2008).

### 5.2.6 Peso seco de tallo

Con respecto a ésta variable el tratamiento A fue el que indujo el mayor peso seco de tallo, comparado a los otros tratamientos, la planta de chile huacle peso únicamente 33.44 g cuando se fertirrigó con la solución que contenía el tratamiento C la cual presentó bajos niveles de Nitrógeno, éste comportamiento ha sido observado en otras investigaciones y muestra que una alta concentración de nitrógeno promueven un mayor peso seco de tallo. Se afirman que el incremento gradual de la concentración de nitrógeno provoca un aumento progresivo del peso seco total en plantas de tomate y chile y una disminución constante en el peso seco de la raíz (Balliu *et al.*, 2007).

Halder *et al.*, 2003 en su estudio de respuesta del chile al manejo integrado de los fertilizantes encontraron que el mayor peso seco fue registrado con la aplicación de 100, 90, 90, 20 y 2 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y zinc respectivamente, a través de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, S y Zn.

Zhu *et al.*, 2005 en su estudio de implicaciones ambientales de la baja eficiencia de uso de nitrógeno en exceso en el cultivo de chile picante encontraron que a mayor concentración de nitrógeno (1800 kg ha<sup>-1</sup>) mayor producción (7.01 t ha<sup>-1</sup>) de materia seca (tallo mas hojas), sin embargo esta concentración de nitrógeno es excesiva.

Nicola y Basoccu, 1994, afirmaron que al incrementar los niveles de nitrógeno en la solución nutritiva en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*), este afecta positivamente la producción lo que resulta en un alto número de frutos y un incremento en el peso de frutos, mientras que la más baja relación de nitrógeno, fosforo y potasio afecto negativamente la producción y por ende el número y peso de frutos, concluyendo que el nitrógeno tiene una alta relación con el peso seco de hoja, de raíz, tallo, número y peso de frutos. Otras investigaciones reportaron que el aumento de la concentración de fosforo y potasio en la solución de nutrientes influyen sobre el crecimiento de plantas de chile tabasco, con un aumento de área foliar y el peso seco de las secciones de la planta sin incidir sobre otras variables de crecimiento en chile tabasco (Aldana, 2005).

### 5.3 Efecto en las variables de calidad del fruto

Cuadro 6. Variables de calidad del chile huacle bajo diferentes dosis de fertirrigación en cultivo sin suelo e invernadero

Tratamiento	Peso de frutos (g)		Brix (%)	Diámetro (mm)		Grosor de pericarpio (mm)	Firmeza (mm)
	Fresco	Seco		Ecuatorial	Longitudinal		
D	24.86 a	11.2 a	11.11 a	40.53 a	50.96 a	1.64 bc	6.11 a
A	21.57 ab	10.2 a	9.66 ab	39.25 a	47.40 a	2.07 a	6.26 a
B	14.05 b	13.6 a	5.21 b	42.58 a	41.16 a	1.99 ab	6.24 a
C	13.29 b	11.2 a	6.45 ab	40.83 a	44.67 a	1.53 c	6.06 a
Coeficiente de variación	31.73	35.24	24.31	13.88	22.09	11.91	3.53

\*Valores con la misma letra con estadísticamente iguales (Tukey;  $\alpha=0.05$ ).

Los resultados obtenidos respecto a las variables de calidad del chile huacle a diferentes dosis de fertirrigación en cultivo sin suelo e invernadero se muestran en el cuadro 6. No existe significancia para las variables peso seco de frutos, diámetro ecuatorial, diámetro longitudinal y firmeza. Pero se detectaron diferencias significativas respecto a las demás variables para los cuatro tratamientos de fertilización.

#### 5.3.1 Peso fresco de frutos

Con respecto al peso fresco de frutos el tratamiento D fue el que indujo mayor peso fresco de frutos comparado a los otros 3, los frutos de chile huacle pesaron únicamente 13.29 g cuando se fertirrigó con la solución que contenía el tratamiento C la cual presentó bajos niveles potasio y calcio, el fósforo se encontró dentro del rango respecto a los demás tratamientos, éste comportamiento ha sido observado en otras investigaciones y muestra que alta concentración de fósforo, potasio y calcio promueven un mayor peso fresco de frutos como lo indica Berrios *et al.*, 2007 mencionan que el potasio está involucrado en procesos de maduración de la fruta tal como la síntesis del pigmento licopeno, que es responsable del color rojo del pimiento. Para Rubio *et al.*, 2010 en su estudio de rendimiento y calidad del chile dulce como respuesta a la fertilización con calcio y potasio determinaron que con el incremento de calcio de 1.5 a 8 mmol L<sup>-1</sup> aumenta el número de frutos por planta sin embargo un alto nivel de potasio (14 mmol L<sup>-1</sup>) disminuyó el número de frutos por plantas hasta en un 26%, por lo que el

mayor rendimiento se obtuvo con 2.5 y 7 mmol L<sup>-1</sup>, esto por la interacción entre el calcio y potasio en el nivel de absorción y porque una deficiencia de potasio afecta la síntesis de proteínas en las células que se encuentran en procesos de división o elongación afectando el rendimiento del fruto.

Villa *et al.*, 2009 en su estudio de cultivares y nutrición de chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) en invernadero de clima controlado, obtuvieron que a una baja concentración de la solución nutritiva (12 meq L<sup>-1</sup> del total de aniones y cationes en la etapa de transplante y de 15 meq L<sup>-1</sup> en floración) produjo pimientos de menor peso y largo en comparación con la concentración media (15 meq<sup>-1</sup> del total de aniones y cationes en la etapa de transplante y de 18 meq L<sup>-1</sup> en floración) y alta (18 meq<sup>-1</sup> del total de aniones y cationes en la etapa de transplante y de 21 meq L<sup>-1</sup> en floración) mostraron los frutos más pesados y largos, estas dos últimas soluciones no fueron estadísticamente diferentes

Gómez-Hernández y Sánchez-del Castillo (2003) estudiaron soluciones nutritivas diluidas para la producción de jitomate a un racimo encontraron que la disminución de la concentración de fósforo a 20 mg L<sup>-1</sup> afecta negativamente el peso del fruto

Hassan *et al.*, 1995 investigaron el crecimiento y rendimiento del chile (*Capsicum annuum* L.) encontraron que el peso fresco de fruto (11.53 g) incremento con las concentraciones de potasio (132 kg ha<sup>-1</sup>).

Ghoname *et al.*, 2009 en su estudio del efecto de las formas de nitrógeno y la aplicación de bioestimulantes foliares en el crecimiento, rendimiento y composición química del chile picante en suelo arenoso, encontraron que la combinación de nitrato de amonio con humate de potasio da como resultado el mayor peso fresco por fruto (1.01 g), esto se puede atribuir que la combinación de nitrato de amonio con humate de potasio mejoran los parámetros químicos del fruto (contenido total de carbohidratos, antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y taninos)

### 5.3.2 Sólidos Solubles Totales

Con respecto a ésta variable el tratamiento D fue el que indujo la mayor concentración de sólidos solubles totales comparado con los otros 3, encontrándose diferencia significativa ( $P < 0.5$ ) entre los tratamientos, los sólidos solubles totales mostraron 11.11% cuando se fertirriego con la solución que contenía el tratamiento D la cual presentó uno de los más altos niveles de nitrógeno, calcio y potasio, éste comportamiento a sido observado en otras investigaciones, Berrios *et al.*, 2007 mencionan que un buen suministro de potasio sustentará, por consiguiente, desde el principio la función de la hoja en el crecimiento de la fruta y contribuirá al efecto positivo del potasio en el rendimiento y en el alto contenido de sólidos solubles (más azúcares) en la fruta al momento de cosecha. Aproximadamente el 50% del potasio absorbido por la planta, se encuentra en la fruta. La acción del potasio en la síntesis de la proteína refuerza la conversión del nitrato absorbido en proteínas, contribuyendo a una mayor eficiencia del fertilizante nitrogenado proporcionado.

Rubio *et al.*, 2010 mencionan a dosis bajas de Calcio decrecen los brix en chile dulce y a altos niveles de potasio aumento los niveles de acidez de las frutas y disminuye el índice de madurez.

Martínez *et al.*, 2003 investigaron la influencia del nitrógeno y potasio en la calidad de chile (*Capsicum annum*) “Jupiter” bajo almacenamiento encontraron que altas concentraciones de nitrógeno ( $300 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y bajas concentraciones de potasio ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ) dan como resultado un alto valor de sólidos solubles totales.

Fonseca *et al.*, 2005 en su investigación sobre el efecto de diferentes niveles de potasio en el rendimiento y la calidad de los frutos en pimiento (*Capsicum annum* L.) cultivar Bouquet-50, mencionan aunque el pimiento en general es un buen extractor de potasio ( $4.20 \text{ kg ha}^{-1}$ ) no altero el rango normal de valores para dicho cultivar (8-16% SST) respecto a los sólidos solubles totales.

Ghoname *et al.*, 2009 en su estudio del efecto de las formas de nitrógeno y la aplicación de bioestimulantes foliares en el crecimiento, rendimiento y composición química del chile picante en suelo arenoso, encontraron que la combinación de nitrato de amonio

con humate de potasio da como resultado el mayor porcentaje de sólidos solubles totales. El efecto de simulación de humatos de potasio en la mejora de las características del fruto se puede atribuir a que algunas sustancias vegetales parecidas a las hormonas parecen estar presentes de las sustancias húmicas, ejerciendo así un posible efecto estimulante en el fruto y porque el amonio presente en la solución incrementa los sólidos solubles totales.

Urrestarazu *et al.*, 2000 mencionan que en pimientos cuadrados en rojo los sólidos solubles totales oscila entre 4.5 y 7 grados Brix, en pimiento ver y rojo oscilan entre 4.5 y 6.5 grados Brix, para el caso del chile huacle osciló entre 5.21 y 11.11 grados Brix, encontrándose mayor contenido de grados Brix respecto al pimiento.

### **5.3.3 Grosor de pericarpio**

Con respecto al grosor de pericarpio el tratamiento A fue el que indujo mayor crecimiento en esta variable comparado a los otros 3, encontrándose diferencia significativa ( $P \leq 0.5$ ) entre los tratamientos, el grosor de pericarpio de chile huacle engrosó únicamente 1.53 mm cuando se fertirrigó con la solución que contenía el tratamiento C la cual presentó bajos niveles de Nitrógeno, potasio y calcio, éste comportamiento ha sido observado en otras investigaciones, para Berrios *et al.*, 2007 mencionan que el grosor de pared está absolutamente relacionado con el potasio y calcio en la solución.

Sin embargo para Villa *et al.*, 2009 el grosor de la pared del fruto (5.5 y 6.6 mm) fue estadísticamente afectado por el material genético del pimiento y las condiciones ambientales prevalecientes mas no por la solución nutrimental ni por la interacción de ambos factores.

Urrestarazu *et al.*, 2000 menciona que en pimientos tipo Clovis el grosor de pericarpio suele ser mayor de 5 y menor de 7 mm, para el caso del chile huacle oscilo entre 1.53 y 2.07 mm encontrando su valor por debajo del pimiento.

## VI CONCLUSIONES

1.- De las cuatro soluciones nutritivas evaluadas en la producción y calidad del chile huacle en hidroponía e invernadero, la solución nutritiva propuesta por Steiner fue la que indujo mayor altura, diámetro de tallo, número de brotes, número de frutos, peso fresco y seco de raíz, peso fresco y seco de hoja, peso fresco y seco de tallo y grosor de pericarpio, ésta solución propuesta por Steiner tiene altos contenidos de nitrógeno, calcio, potasio, magnesio y azufre con respecto a las demás.

2.- La solución nutritiva propuesta por Urrestarazu, con altos contenidos de nitrógeno, potasio y calcio, fue después de la solución nutritiva propuesta por Steiner la que indujo los mayores valores en las variables de producción y calidad del chile huacle en cultivo sin suelo e invernadero.

3.- La solución nutritiva con menor contenido de nitrógeno, potasio y calcio propuesta por Berenger fue la que indujo los valores más bajos en las variables de producción y calidad del chile huacle.

4.- La solución nutritiva con altos contenidos de nitrógeno, calcio y potasio propuesta por Escobar indujo el mayor valor en peso fresco de frutos y sólidos solubles totales del chile huacle.

5. Se puede utilizar la solución nutritiva propuesta por Steiner (1961) para la fertirrigación de partida del chile huacle en condiciones de domesticación de su cultivo bajo un sistema de producción en sustrato en invernadero, sin afectar la calidad del fruto.

## VII LITERATURA CITADA

- Abad, M. 1994. Sustratos para el cultivo sin suelo, en: El cultivo de tomate, Madrid, Mundi-Prensa, pp. 131-166. Agrícola.
- Agroproduce. 2005. Sistema-producto Chile. Num. 04, Año 01. Fundación Produce Oaxaca.
- Alabi D.A. 2006. Effects of fertilizer phosphorus and poultry droppings treatments on growth and nutrient components of pepper (*Capsicum annuum* L.). African Journal of Biotechnology. 5(8) 671-677.
- Alcantar G. G. y Trejo-Téllez L. 2008. Nutrición de cultivos. Editorial Mundi-Prensa. Colegio de Posgraduados. Montecillo, México.
- Aldana, M. E. 2005. Effect of phosphorus and potassium fertility on fruit quality and growth of tabasco pepper (*Capsicum frutescens*) in hydroponic culture. Masters thesis. Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.
- Alonso-Báez M., Tijerina-Chávez L., Sánchez G. P. Aceves N.L.A., Escalante E. A. J. y Martínez G. A. 2002. Producción de chile jalapeño con fertirriego como función de la tensión de humedad del suelo, nutrición nitrogenada y potásica. Terra 20: 209-215.
- Anza M. y Riga P. 2007. La fertilización nitrogenada afecta a la floración del pimiento. IX Congreso Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. Albacete. Actas de Horticultura No. 48
- Balcaza L. 2003. En el cinturón Verde del Gran Buenos Aires Fertilización de Pimiento. INTA Revista IDIA XXI. Año III. 4: 114-120.

- Balliu, A., Bani, A. and Sulçe, S. 2007. Nitrogen effects on the relative growth rate and its components of pepper (*capsicum annum*) and eggplant (*solanum melongena*) seedlings. *Acta Hort. (ISHS)* 747:257-262.
- Baixauli S. C. y Aguilar O. J. M. 2000 Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. Generalitat Valenciana. Universidad Politécnica de Valencia. 25-36.
- Barke, R. y Menary R. 1971. Calcium Nutrition of the Tomato as Influenced by Total Salts and Ammonium Nutrition”, *Aust. H. Expt. Agric. Anim. Hust*, vol. II, pp. 162-169.
- Berrios U. M. E., Arredondo B. C. y Tjalling H. H. 2007. Guía de manejo de Nutrición Vegetal de especialidad Pimiento. Crop Kit. SQM The Worldwide Bussines Formula. 47-53.
- Berrios U. M. E. 2005. Estudio sobre promotores de crecimiento radicular incorporados a un fertilizante NPK soluble sobre el crecimiento radicular en pimiento. Segunda Convención Mundial del Chile. *Uso y manejo del agua y nutrición*. 158-160.
- Berrios U. M. E. 2004. Pudrición Apical en Pimientos, 1ª. Convención del Chile 2004. p 340-343.
- Cadahía, L. C. 2005, Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid – Barcelona – México. 681-695 p.
- Castro G. F. H.; López L. P.; Montes H. S.; Andrés J. F. 2007. Caracterización morfológica de la diversidad de los chiles nativos (*Capsicum spp.*) en el Estado de Oaxaca. *Memorias Cuarta Convención Mundial del Chile*.
- CONAPROCH, Consejo Nacional de Productores de Chile. 2009. <http://www.conaproch.org>

- Escobar I. 1993. Cultivo del pimiento en sustratos en las condiciones del sudeste español. En: Cultivo sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo. Ed. De horticultura pp. 109-113.
- Fageria, N.K.; V.C. Baligar y Ch. A. Jones. 1997. Growth and mineral nutrition of field crops. 2nd edition. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Farias R.V. 2009. El chile sabor y color que lo distinguen. Diccionario de los colores y sabores del chile mexicano. México. 1-4 p. <http://es.scribd.com/doc/16597251/El-Chile-en-mesoamerica-diccionario>
- Fawzy, S. F., El-Nemr, M. A., Saleh, S. A. 2007. Influence of levels and methods of potassium fertilizer application on growth and yield of eggplant. Journal of Applied Sciences Research. 3(1): 42-49.
- Fonseca F. R., Piña A., Bazán L. M., Vega G. y Anaya K. 2005. Efecto de diferentes niveles de potasio en el rendimiento y la calidad de los frutos en Pimiento (*Capsicum annum* L.) cultivar Bouquet-50. Revista electrónica Granma Ciencia, Cuba. 9 (3).
- Gamayo D. J. de D. 2006. Capítulo 3: El cultivo protegido del pimiento. Compendio: Pimientos. Ediciones de Horticultura S. L.
- Ghoname A. A., Mona G., Dawood, Riad G. S. y El-Tohamy W. A. 2009. Effect of Nitrogen forms and biostimulants foliar application on the growth, yield and chemical composition of hot pepper grown under Sandy soil conditions. Journal of Agriculture and Biological Sciences. 5(5): 840-852.
- Gómez-Hernández T. y Sánchez-del Castillo F. 2003. Soluciones nutritivas diluidas para la producción de jitomate a un racimo. TERRA Latinoamericana 21(1): 57-63.

- González, C. A. 2005, Sustratos y soluciones nutritivas orgánicas en la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero, Tesis profesional, Chapingo, México. 156p.
- Halder J.U.S.N.K., Fazlul K. A.H.M., Sultana D. y Islam Z. 2003 Response of Chilli to integrated fertilizer management in North-eastern Brown Hill Soils of Bangladesh. *Journal of Biological Science* 3 (9): 797-801.
- Hassan S. A., Zainal-Abidin R. y Famlan M. F. 1995. Growth and yield of chilli (*Capsicum annum* L.) in response to mulching and potassium fertilization. *Trop. Agric. Sci.* 18 (2): 113-117.
- Houdusse F., Garnica M. y García-Mina J. M. 2007. Nitrogen fertiliser source effects on the growth and mineral nutrition of pepper (*Capsicum annum* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87: 2099-2105.
- Johnson C. D. y Decoteau D. R. 1996. Nitrogen and potassium fertility affects Jalapeño pepper plant growth, pod yield and pungency. *HortScience* 31(7): 1119-1123.
- Khan M.S.I., Roy S.S. y Pall K.K. 2010. Nitrogen and phosphorus efficiency on the Growth and Yield Attributes of *Capsicum*. *Academic Journal of Plant Sciences* 3(2): 71-78.
- López L. P, 2005. El Chihuacle: Un chile propio de la región Cañada de Oaxaca. *Revista Fundación Produce AC*, pp 7-19.
- Marfa, P. O. 2000, Recirculación en cultivos sin suelo. *Compendio de horticultura*. Ediciones de horticultura, S.L. Reus, España. 177- 185 p.
- Martínez Y., Díaz L. y Manzano J. 2003. Influences of nitrogen and potassium fertilizer on the quality of “jupiter” pepper (*Capsicum annum*) under storage. *Acta Hort.* 628. 135-140.

- Medellin, J. A. 2004, El cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum* MILL.) en red hidráulica, bajo el método de riego recirculante. Chapingo, México.
- Miranda V.I., Gil V.I., Bastida T.A., Reyes R. D.S., Hernández O. J., Morales P. J. y Flores E. G. 2003. Manejo de cultivos hidropónicos bajo invernadero, curso para técnicos y productores. Universidad Autónoma Chapingo. Publicaciones Agribot. México. 50-90 p.
- Namesny V. A. 2000 Pimientos. Ediciones de Horticultura S.L. p. 44-57.
- Nicola, S. and Basoccu, L. 1994. Nitrogen and n,p,k relation affect tomato seedling growth, yield and earliness. Acta Hort. (ishs) 357:95-102.
- NMX-FF-107/1-SCFI-2006. Productos alimenticios, chiles secos enteros (guajillo, ancho, mulato, de árbol, puya y pasilla), Parte 1: Especificaciones y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación. México, DF.
- Nuez, F. Gil O. R y Costa G. J, 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajies. Ediciones Mundi Prensa, Madrid-Barcelona-México. 63-92 p.
- Pire R. y Colmenarez O. 1994. Extracción y eficiencia de recuperación de nitrógeno por plantas de pimentón sometidas diferentes dosis y fraccionamientos del elemento. FONAIAP. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado de Yaritagua. Venezuela
- Preciado R. P., Lara-Herrera A., Segura C. M. A., Rueda P. E. O., Orozco V. J. A., Yescas C. P. y Montemayor T. J. A. 2008. Amonio y fosfato en el crecimiento de plántulas de chile jalapeño. Terra 26: 37-42.
- Raleigh, S. y Chucka J. 1944 Effect of Nutrient Ratio and Concentration on Growth and Composition of Tomato Plants and on the Occurrence of Blossom-end Rot of the Fruit"; Plant Physiology, n. 19, pp. 671-678.

- Resh H. M. 1992. Cultivos Hidropónicos Nuevas técnicas de producción. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 265-270 p.
- Romero, G. G. 2005, Evaluación de diferentes formas de distribución de plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía bajo condiciones de invernadero, Tesis profesional, Chapingo, México, 60p.
- Rubio J.S., García-Sánchez F., Flores P., Navarro J. M. y Martínez V. 2010. Yield and fruit quality of sweet pepper in response to fertilisation with  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{K}^{+}$ . Spanish Journal of Agricultural Research 8 (1): 170-177.
- Samperio, R. G. 2002, Hidroponia básica, Cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra. Editorial-Diana. México.
- Santos, J. P. 2004, Efecto del reciclaje de la solución nutritiva sobre el crecimiento, la nutrición y la productividad del tomate en cultivo sin suelo. Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca No. 23. 63-75 p.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2009. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <http://www.siap.gob.mx/>
- SIIT. Sistema Integrado de Información Taxonómica, 2009. <http://siit.conabio.gob.mx/>
- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant Soil 15: 134-154.
- Urrestarazu G. M. 2000. Manual de cultivos sin suelo. Mundi-Prensa. Almería. España. 113-144 p.
- Velasco V. V. A., Trinidad S. A., Tirado T. J. L. Téliz O. D., Martínez G. A. y Cadena H. M. 1998. Efecto de algunos nutrimentos en plantas de chile agua infectadas con virus. Terra. 16 (04): 317-324 p.

Villa C. M, Caralán V. E. A., Insunza I. M. A., López A. R., González L. M. L. y Valdéz A. J. 2009. Cultivares y nutrición de chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) en invernadero de clima controlado. Biotecnia. Vol. XI (2). 13-20.

Xu G., Wolf S. y Kafkafi U. 2001 Effect of varying nitrogen form and concentration during growing season on sweet pepper flowering and fruit yield. Journal of Plant Nutrition 24 (7): 1099-1116.

Zhu J. H., Li X.L., Christie P. y Li J.L. 2005. Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilized hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping systems. Agriculture, Ecosystems and Environment 111: 70-80.