



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**  
**CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TENANCINGO**

---

---



**“CULTIVO HIDROPÓNICO DE CHILE HUACLE (*Capsicum annum* L.)  
CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE AMONIO EN EL  
MUNICIPIO DE TENANCINGO, ESTADO DE MÉXICO”.**

**TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO**

**DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN FLORICULTURA**

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

**ANTONIO CUEVAS JIMÉNEZ**

**DIRECTOR**

**DRA. ELIZABETH URBINA SÁNCHEZ.**

**ASESOR:**

**DR. JUAN CARLOS REYES ALEMÁN**

**Tenancingo, Estado de México; a 30 de Abril de 2018**

## RESUMEN

Existen hallazgos arqueológicos en Tamaulipas, en el Valle de Tehuacán y en Oaxaca, que señalan a México como centro de origen, domesticación y diversificación del chile (*Capsicum annuum* L.). La Cañada, Oaxaca es la única región donde se desarrolla y cultiva el huacle, en sus tres variedades rojo, amarillo y negro. Con el propósito de contribuir y conocer el desarrollo, se evaluó el efecto de la concentración  $\text{NH}_4^+$  de la solución nutritiva de Steiner en un sistema hidropónico, sobre el rendimiento y calidad e dos variedades de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) bajo invernadero, en el Municipio de Tenancingo Estado de México. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial  $2 \times 3$ . Los factores a evaluar fueron: variedades (rojo y negro) y concentraciones de amonio en la solución nutritiva de Steiner (0, 1.4692 y 2.89,  $\text{cmol}_+\text{L}^{-1}$ ), de tal manera que se conformaron seis tratamientos, cada uno con 10 repeticiones, la unidad experimental estuvo constituida por una planta. Los resultados mostraron que las diferencias que existieron fueron por efecto del factor variedad no por efecto del factor concentración de amonio en la solución nutritiva, ni por la interacción de los factores. A pesar de que los niveles de amonio fueron muy altos el sustrato amortiguó la absorción de amonio, y se evitó el efecto tóxico debido al amonio, así como la existencia de diferencias entre los tratamientos por efecto de este nutrimento.

# ÍNDICE

<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICAS</b> .....	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1. Importancia de la familia de las solanáceas</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2. Origen y distribución del chile huacle</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3. Importancia del chile huacle</b> .....	<b>9</b>
<b>2.4. Características morfológicas del Chile huacle (<i>Capsicum annuum</i> L.)</b> .....	<b>12</b>
<b>2.4.1. Planta</b> .....	<b>12</b>
<b>2.4.2. Flor</b> .....	<b>12</b>
<b>2.4.3. Fruto</b> .....	<b>13</b>
<b>2.4.4. Semillas</b> .....	<b>13</b>
<b>2.5. Crecimiento y desarrollo de la planta de chile</b> .....	<b>13</b>
<b>2.5.1. Etapas de crecimiento de la planta de chile</b> .....	<b>13</b>
<b>2.5.2 Etapa de desarrollo de la plántula hasta la primera bifurcación</b> .....	<b>14</b>
<b>2.5.3. Etapa de rápido desarrollo de brotes y formación de flores</b> .....	<b>14</b>
<b>2.5.4. Etapa de lento crecimiento y desarrollo de frutos</b> .....	<b>14</b>
<b>2.6. Antecedentes de los cultivos hidropónicos</b> .....	<b>15</b>
<b>2.6.1. Ventajas y desventajas del cultivo hidropónico</b> .....	<b>18</b>
<b>2.6.2. Tipos de sistemas hidropónicos</b> .....	<b>18</b>
<b>2.6.3. Solución nutritiva</b> .....	<b>19</b>
<b>2.6.3.1. Relaciones mutas de iones</b> .....	<b>19</b>
<b>2.6.3.2. pH y Conductividad eléctrica</b> .....	<b>20</b>
<b>2.6.4. Sustratos</b> .....	<b>22</b>
<b>2.6.4.1. Agrolita</b> .....	<b>23</b>
<b>2.6.4.2. Lana de roca</b> .....	<b>24</b>
<b>2.6.4.3. Vermiculita</b> .....	<b>25</b>
<b>2.6.4.4. Tezontle</b> .....	<b>25</b>
<b>2.6.4.5. Fibra de coco y polvo de coco</b> .....	<b>26</b>
<b>2.6.4.6. Turba o peat moss</b> .....	<b>27</b>
<b>2.6.4.7. Características generales de la zeolita</b> .....	<b>27</b>

2.6.4.7.1. Estructura de las zeolitas.....	28
2.6.4.7.2. Zeolita clinoptilolita .....	29
2.7. Nitrógeno elementos esencial en el crecimiento vegetal .....	29
2.7.1. Absorción y traslocación del nitrógeno .....	30
2.7.2. Suministro de nitrógeno .....	33
2.7.3. Síntomas de deficiencia y toxicidad del nitrógeno.....	38
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>41</b>
5.1. Objetivo general .....	41
5.2. Objetivos particulares .....	41
<b>5. HIPÓTESIS .....</b>	<b>41</b>
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
6.1. Ubicación del experimento.....	42
6.2. Manejo del cultivo .....	42
6.3. Diseño experimental .....	43
6.4 Variables a evaluar.....	43
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>47</b>
7.1. Variables de crecimiento en planta y fruto .....	47
7.2. Variables organolépticas.....	58
7.3. Concentración de nutrimentos en hoja y fruto de dos variedades de chile huacle cultivados con tres niveles de amonio.....	59
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>62</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
<b>Cuadro 1.</b> Soluciones nutritivas utilizadas en la producción de chile huacle.....	43
<b>Cuadro 2.</b> pH y grados °Brix en muestra de 100 g de chile huacle ( <i>Capsicum annuum</i> ) en dos variedades con tres niveles de amonio en la solución nutritiva de Steiner.....	59
<b>Cuadro 3.</b> Concentración de nutrimentos en hoja y fruto de dos variedades de chile huacle ( <i>Capsicum annuum</i> L.) y tres niveles de amonio de la solución nutritiva de Steiner.....	60

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
<b>Gráfica 1.</b> Altura de planta de dos variedades de chile huacle (rojo y negra). . . . .	47
<b>Gráfica 2.</b> Número de frutos por planta en dos variedades de chile huacle (rojo y negra). . . . .	48
<b>Gráfica 3.</b> Interacción de los niveles de amonio*variedades sobre el numero de frutos por planta en chile huacle. . . . .	49
<b>Gráfica 4.</b> Rendimiento de dos variedades de chile huacle (roja y negra). . . . .	50
<b>Gráfica 5.</b> Interacción de los niveles de amonio*variedades sobre el rendimiento del chile huacle). . . . .	51
<b>Gráfica 6.</b> Largo de fruto en dos variedades de chile huacle (rojo y negro . . . . .	53
<b>Gráfica 7.</b> Ancho de fruto en dos variedades de chile huacle (rojo y negro). . . . .	54
<b>Gráfica 8.</b> Ancho de pedúnculo en dos variedades de chile huacle (rojo y negro). . . . .	55
<b>Gráfica 9.</b> Peso fresco de fruto en dos variedades de chile huacle (rojo y negro). . . . .	56
<b>Gráfica 10.</b> Numero de semillas en dos variedades de chile huacle (rojo y negro). . . . .	57
<b>Gráfica 11.</b> Efecto de los niveles de amonio (0, 1.5 y 3.0 $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ ) en la solución nutritiva sobre el largo de pedúnculo en frutos de chile huacle. . . . .	58

## 1. INTRODUCCIÓN

Existen hallazgos arqueológicos de restos de chile (*Capsicum annuum* L.) en las cuevas de Ocampo de la Sierra en Tamaulipas (7000-5000 a.C.), en Coxcatlán en el Valle de Tehuacán (6000-4000 a. C.), y en Silvia y Guilá Naquitz en Oaxaca (600-1521 d. C.), que señalan a México como centro de origen, domesticación y diversificación del chile (*Capsicum annuum* L.) (Castellón *et al.*, 2014). En la actualidad no se conoce aún la gran diversidad de morfotipos de chiles que se encuentran en el estado de Oaxaca y algunos solo se encuentran cultivados en regiones específicas, como es el caso del chile de agua en valles centrales, el costeño en La Costa o el huacle en La Cañada, Oaxaca; siendo esta la única región en México donde se desarrolla y cultiva el chile huacle en sus tres variedades rojo, amarillo y negro (Espinosa, 2011).

En general el chile es una hortaliza de vital importancia en la alimentación de los mexicanos, ya que proporciona vitaminas y minerales, e investigaciones recientes, indican su efectividad como anestésico y como estimulante de la transpiración. Sin embargo la mayor fortaleza gastronómica del chile huacle que lo caracteriza y lo hace único en el estado de Oaxaca, que es uno de los ingredientes principales para la elaboración del Mole Negro Oaxaqueño, lo que ahora es patrimonio cultural inmaterial de la humanidad: nuestra cocina mexicana, según declaración realizada por la UNESCO en el 2010, forma parte importante de las fiestas de la región Cañada, principalmente en días de fieles difuntos, fiestas decembrinas, bodas y fiestas religiosas; éste no solo se ha utilizado de esta manera, sino

también para aderezar guisos, como colorante para teñir salsas, para elaborar la sopa de chileajo, estofado, clemole, ente otras cosas.

Aunque el chile huacle no se encuentra dentro de la Norma Mexicana NOM-059, se sabe que esta variedad de chile se encuentra en peligro de extinción debido al cambio climático, a la falta de apoyos de los organismos correspondientes y a la cautelosa forma de cultivarse, esto ha hecho que en los últimos años se reduzca el número de productores y por lo tanto se incremente su precio, lo que ha provocado que este sea sustituido por otros productos en los platillos. Espinosa (2011) indicó que uno de los principales problemas de este cultivo es que está desapareciendo la forma tradicional de cultivarlo, la disminución de las áreas de cultivo se atribuye a: 1) baja fertilidad del suelo, 2) emigración de la población del campo a las ciudades, entre otros factores.

Entre las principales dificultades en su proceso productivo; sobresalen la incidencia de enfermedades y plagas del fruto, prácticas de manejo y de postcosecha inadecuadas, carencia de genotipos mejorados, así como de una escasez de agua de riego debido a las lluvias erráticas, lo que ha causado una reducción considerable en la superficie sembrada y cosechada en los últimos años a pesar de los altos precios que llegan a alcanzar en el mercado. El cultivo de Chile huacle se realiza a cielo abierto con riego rodado o por gravedad y con uso moderado de agroquímicos en una superficie aproximada de 50 ha con un rendimiento de 1 ton ha<sup>-1</sup> de fruto seco con calidad comercial (Espinosa, 2011).

Con el objetivo de preservar este recurso fitogenético se está llevando a cabo la introducción de Chile huacle para su cultivo, en Tenancingo Estado de México bajo condiciones hidropónicas. Se está evaluando el efecto del suministro de amonio en la solución nutritiva de Steiner, sobre su rendimiento y calidad.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Importancia de la familia de las solanáceas

La familia Solanaceae posee cerca de 90 géneros y más de 2,600 especies de distribución Cosmopolitan. Dicha familia es especialmente diversa en Sudamérica, en donde se tiene registrado 56 géneros, de los cuales 25 son endémicos de esa región (Mabberley, 2009). La familia Solanaceae cuenta con géneros de gran importancia económica como: *Solanum*, *Lycopersicom* y *Capsicum*. Las especies silvestres del género *Capsicum* se distribuyen a través de la cadena montañosa de los Andes Suramericanos en las costas montañosas y proximidades bajas de las regiones del sur, sureste y noreste brasileño. La distribución es continua desde Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Brasil, Paraguay y Norte de Argentina (Ruiz, 2012).

### 2.2. Origen y distribución del chile huacle

El origen del cultivo de plantas es uno de los procesos más importantes en el desarrollo sociocultural y económico de los pueblos mesoamericanos, ya que implica una serie de transformaciones en las actividades de subsistencia que afectaron tanto la organización social como las estructuras económicas de estos pueblos, algunas regiones de Mesoamérica han proporcionado evidencias arqueológicas de la transformación de un modo de vida trashumante, que dependía en primera instancia de la caza de mamífero y secundariamente de una combinación de caza de especies menores con recolección de vegetales, a un patrón permanentemente sedentario basado en la agricultura. El Valle de

Tehuacán es la región más conocida en cuanto al problema de la transición de la caza- recolección a una vida agrícola sedentaria (Castellón *et al.*, 2014).

Según McClung y Zurita (1994) las principales especie que se han domesticado en México son: Maíz en el Valle de Oaxaca (polen 7,400-6,700 aC) en el Valle de Tehuacán (5,050 aC olotes) en la Cuenca de México (5,200-2,000 aC polen) y (5,000 aC granos), el frijol en el Valle de Tehuacán (4,000 aC-3,100 aC) y en Tamaulipas (4000-2300 aC). Castellón *et al.* (2014) señala que México es considerado como centro de origen, domesticación y diversificación de *Capsicum annum* L., el mismo autor cita que existen evidencias de restos arqueológicos encontrados en las cuevas de Ocampo de la Sierra de Tamaulipas (7000-5000 a.C.), Coxcatlán en el Valle de Tehuacán (6000-4000 a.C.), y Guilá Naquitz en Oaxaca (600-1521 d.C). McClung y Zurita (1994) explican que las formas cultivadas del chile mesoamericano (*Capsicum annum* L.) se derivan de variedades silvestres distribuidas en el centro de México, ya que los restos arqueobotánicos más antiguos se encuentran en Tehauacán, que corresponden a la fase El Riego (7000-5000 aC), y al suroeste de Tamaulipas, Infernillo (7000-5000 aC). Entre los restos arqueobotánicos rescatados están los tallos intactos con predominio de semillas carbonizadas de *Capsicum annum* L. (6500 aC silvestre) y (4121 aC domesticado). Las evidencias botánicas han contribuido al conocimiento de los procesos de domesticación de los cultivos.

### **2.3. Importancia del chile huacle**

El chile (*Capsicum* spp.), el maíz (*Zea mays* L.), el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y la calabaza (*Cucurbita* spp.) son cuatro de los alimentos más importantes en la dieta

mexicana (López y Pérez, 2015). El chile es una fuente importante de vitaminas y minerales; investigaciones médicas recientes comprueban su efectividad al utilizarlo como anestésico y como estimulante de la transpiración (Espinosa, 2011). El consumo de esta hortaliza puede ser en verde y/o en seco.

En México se encuentra la mayor variabilidad genética del género (*Capsicum* spp.) a nivel mundial, con más de 40 tipos de chiles, entre los que se encuentran; serrano, jalapeño, ancho, pasilla, guajillo, habanero, manzano y de árbol entre otros; de tal manera que es considerado como centro de origen (Espinosa, 2011).

Dentro del género *Capsicum*, se tiene gran diversidad de chiles cultivados y silvestres que se distribuyen desde el nivel del mar hasta los 2500 msnm. El chile se encuentra en primer lugar de las hortalizas sembradas a nivel nacional con 136,053.46 ha por encima del jitomate con una superficie sembrada de 48,234.01 ha; destacándose Zacatecas (31,580.90 ha), Chihuahua (24,727.70 ha) y en tercer lugar el estado de San Luis Potosí con 14,861.95 ha de superficie sembrada (SIAP, 2013). En este mismo año Oaxaca se ubica en el lugar 13° de superficie sembrada con 2,847.40 ha (SIAP, 2013) dedicadas principalmente a los tipos jalapeño, de agua, taviče, soledad, costeño y huacle (Castro *et al.*, 2007).

La gran diversidad de morfotipos de chiles que se encuentran en el estado de Oaxaca no se conocen aún y algunos solo se encuentran cultivados en regiones específicas, como es el caso del chile de agua en Valles centrales, el costeño en La Costa o el huacle en la Cañada (Langlé, 2011). De acuerdo con Espinosa (2011) 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" Latitud Norte y 96° 49'7.7" Longitud Oeste, entre un rango de altitud de 687-1085 msnm. López (2007) menciona que en estas localidades el cultivo de chile huacle se realiza a cielo abierto en superficies que varían de 2,500 a 5,000 m<sup>2</sup> y ocasionalmente en terrenos de una hectárea, con pendientes que varían de 1 a 10%, en tipos de suelos en los que se establece el cultivo son luvisoles, cambisoles y feozem.

El chile huacle se produce principalmente en la región de la Cañada, Oaxaca con una producción de aproximadamente de 600 kg a 1000 kg donde los productores hacen un uso moderado de agroquímicos, utilizan riego rodado o por gravedad, y se desconoce su manejo en un sistema protegido, así como sus requerimientos climáticos, nutrimentales, etc. (López, 2007). Según López *et al.* 2016 mencionaron que se podría generarse un valor económico equivalente a más de 125 millones de pesos anuales en 50 ha de cultivo y proporcionar empleo equivalente a más de 10 mil jornales.

Este chile 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 de la Cañada, principalmente en días de los fieles difuntos, fiestas decembrinas, bodas y fiestas religiosas (López, 2007).

## **2.4. Características morfológicas del Chile huacle (*Capsicum annum* L.)**

### **2.4.1. Planta**

Espinosa (2011), López y Pérez (2015) y Langlé (2011) mencionaron que es una planta de posición erecta, con un tallo principal de crecimiento limitado, hábito de crecimiento dicotómico que ramifica en tres o cuatro ramas o tallos secundarios entre los 10 y 40 cm de altura, estas ramas se bifurcan en los tallos terciarios y así sucesivamente hasta el final del ciclo. Los tallos de forma angular de color verde, y color violáceo intenso por las antocianinas en los entrenudos, y escasa pubescencia, con una raíz pivotante con un gran número de raíces secundarias (López y Pérez 2015). Las hojas son de forma ovada, color verde oscuro, margen laminar entero y de escasa pubescencia (López y Pérez 2015; Espinosa, 2011; Langlé, 20011). Andrés (2006) citado por Langlé (20011) y López y Pérez (2015) observaron que el pedúnculo tiene una posición no erecta.

### **2.4.2. Flor**

Las flores son frágiles y se ubican en cada nudo del tallo (Espinosa 2011; Cruz 2015), son hermafroditas, frecuentemente constituidas por seis sépalos, seis pétalos y seis estambres, corola de color amarillo o blanco (Cruz, 2015), López y Pérez (2015) menciona que las anteras presentan un color morado y filamentos blanco, con el estigma exserto, lo que no concuerda con Espinosa (2011) quien señala que las flores muestran anteras de color azul pálido, filamentos de color amarillo y estigma inserto. Cruz (2015) indicó que presenta un ovario supero con dos o tres lóculos.

### **2.4.3. Fruto**

Su fruto es una baya con forma trapezoidal (Aguilar *et al.*, 2010; López y Pérez, 2015), posición pendiente con textura lisa (López y Pérez, 2015), ápice hundido y agudo (López y Pérez, 2015; Espinosa, 2011). Langlé (2011) observo que el fruto tiene un color verde en su estado intermedio y un color rojo oscuro, casi negro en el estado maduro por otra parte López y Pérez (2015) concluyeron que el fruto antes de su madurez presenta un color verde e intensidad media y cuando llega a su madurez obtiene un color café obscuro e intensidad media con brillantez fuerte, aunque también existen frutos de color rojo y amarillo, Aguilar *et al.* (2010) menciona que el fruto es de color verde intenso o verde oscuro antes de su madurez y negro, rojo o amarillo en su madurez, pero todos de color negro al deshidratarse. El pericarpio con 2 a 4 mm de espesor, pedúnculo grueso (4 a 10 mm), glabro y aproximadamente 5 cm de longitud (Aguilar *et al.*, 2010). En la mayoría de los casos presenta de tres a cuatro lóculos (Langlé, 2011; López y Pérez, 2015).

### **2.4.4. Semillas**

Las semillas tienen forma aplanada y textura lisa, de color negro, son ricas en aceites y mantienen su poder germinativo por tres o cuatro años (Espinosa, 2011).

## **2.5. Crecimiento y desarrollo de la planta de chile**

### **2.5.1. 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.

### **2.5.2 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 (Nuez *et al.*, 1996).

### **2.5.3. 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).

### **2.5.4. 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 (2004) menciona seis etapas fenológicas de las plantas de pimiento en cultivo sin suelo, las cuales son: enraizamiento, desarrollo vegetativo, floración-cuaje, engorde de frutos, maduración y recolección de frutos. Respecto al chile huacle las etapas fenológicas son parecidas a las reportadas por dicho autor, con sus respectivas características propias de cada especie.

Independientemente de su diversidad el chile es un cultivo exigente y pocos son los que se adaptan a condiciones extremas. Las temperaturas inferiores a los 15 °C retrasan o bloquean el crecimiento del cultivo. La temperatura diurna óptima es de 23 a 25 °C y por la noche entre 18 y 20 °C (Ruiz, 2012)

## **2.6. Antecedentes de los cultivos hidropónicos**

El cultivo de las plantas sin tierra surgió de la idea de que sustancias y su composición hacen crecer a las plantas. Este trabajo sobre los constituyentes de las plantas inicio hacia el año 1600; sin embargo existen ejemplos de cultivos sin suelo antes de esta fecha como: los jardines colgantes de Babilonia; los jardines flotantes de los aztecas, en México, y los de la China imperial (Resh, 2001).

En 1600 se escribió la primera noticia científica por el belga Jan Van Helmont quien mostro que las plantas obtienen sustancias a partir del agua (Resh, 2001).

En 1699 el inglés John Woodward, cultivo plantas en agua con diferentes tipos de suelo, encontró que el mayor desarrollo correspondía a aquellas que contenían la mayor cantidad de suelo; por lo que concluyó que el crecimiento de las plantas era

el resultado de ciertas sustancias en el agua, obtenidas del suelo, y no simplemente del agua misma. En 1804, Da Saussure expuso el principio de que las plantas están compuestas por elementos químicos obtenidos del agua, suelo y aire (Resh, 2001).

Se ha demostrado que las plantas podían cultivarse en un medio inerte humedecido con una solución acuosa adicionada con los minerales requeridos para su crecimiento. El siguiente paso fue eliminar completamente el medio y cultivar las plantas en la solución que contenía dichos nutrimentos; esto último fue conseguido por dos científicos alemanes, Sachs (1860) y Knop (1861), lo cual fue el origen de la “nutriculture” (Resh, 2001).

Investigaciones en nutrición vegetal demostraron que las plantas crecían de manera normal, sumergiendo las raíces en una solución acuosa que contuviese sales de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), los cuales se definen en la actualidad como los macroelementos o macronutrimentos (elementos que la planta necesita en relativamente grandes cantidades). Posteriormente se descubrieron siete elementos esenciales que las plantas requieren en relativamente pequeñas cantidades, los microelementos o elementos trazas, estos incluyen: el hierro (Fe), cloro (Cl), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu) y molibdeno (Mo) (Resh, 2001).

En años subsecuentes, se han desarrollado diversas fórmulas básicas para el estudio de la nutrición vegetal. Tollens (1882), Totttingham (1914), Shive (1915),

Hoagland (1919), Trelease (1933), Arnon (1938) y Robbins (1946) fueron algunos de ellos (Resh, 2001).

En 1925 la industria de los invernaderos demostró interés en el uso de los cultivos en nutrientes, debido a la necesidad de cambiar la tierra para evitar los problemas de estructura, fertilidad y enfermedades para lo cual era necesario reemplazar los métodos de cultivo en suelos convencionales. Entre 1925 y 1935 tuvo lugar un desarrollo extensivo, modificándose las técnicas de laboratorio para el cultivo en nutrientes hacia una producción a gran escala (Resh, 2001).

A comienzos del siglo XX, W. F. Gericke, de la Universidad de California, estableció ensayos de laboratorio de nutrición vegetal a escala comercial, denominando a este sistema de cultivo en nutrientes hidropónicos, palabra derivada de las griegas hydro (agua) y ponos (labor, trabajo), literalmente trabajo en agua (Resh, 2001).

Los cultivos hidropónicos o hidroponía pueden ser definidos como el cultivo de las plantas sin utilizar el suelo, no obstante usando un medio inerte, tal como la grava, arena, turba, vermiculita, pumita o serrín, a los cuales se les añade una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales necesarios para el normal crecimiento y desarrollo vegetal (Resh, 2001).

Muchos de los métodos hidropónicos emplean algún tipo de medio de cultivo, se les denomina a menudo cultivo sin suelo, mientras que el cultivo solamente en agua sería el verdadero hidropónico (Resh, 2001).

La hidroponía es una tecnología en la que se emplea solución nutritiva, con o sin un medio artificial como: arena, grava, vermiculita, lana de roca, zeolita, tezontle, etc., cuya función es proporcionar soporte a la planta, ambos componentes juegan un rol importante en el desarrollo de la planta (Tucuch *et al.*, 2012). Ésta se utiliza principalmente para la producción de cultivos que son sensibles a enfermedades y altamente rentables (Velasco *et al.*, 2004).

### **2.6.1. Ventajas y desventajas del cultivo hidropónico**

Las desventajas de los cultivos hidropónicos son los elevados costos iniciales, algunas enfermedades, *Fusarium* y *Veticillium*, las cuales pueden extenderse rápidamente a través de este sistema, y la aparición de problemas nutrimentales complejos. La mayoría de estas desventajas pueden solucionarse con métodos hidropónicos más simples, así como el uso de variedades resistentes a las enfermedades (Resh, 2001).

Entre las principales ventajas del cultivo hidropónico frente al tradicional son una mayor eficiencia en la regularización de nutrición, su posibilidad de empleo en regiones del mundo que carecen de tierras cultivables, una utilización más eficiente del agua y fertilizantes, más fácil y bajo costo de desinfección del medio, así como una mayor densidad de plantación que los conduce a un incremento de cosechas (Resh, 2001).

### **2.6.2. Tipos de sistemas hidropónicos**

Existen dos tipos de sistemas hidropónicos: abierto en los que la solución nutritiva no se reutiliza y cerrado, la solución es recuperada, regenerada y reciclada (Lara,

1999). Zúñiga (2004) menciona que la recirculación de la solución nutritiva es una excelente alternativa para reducir los problemas de escasez de agua y la contaminación de los mantos acuíferos.

### **2.6.3. Solución nutritiva**

La solución nutritiva es determinante para lograr el éxito en los cultivos hidropónicos (Tucuch *et al.*, 2012), de esta depende la magnitud y calidad de la producción (Lara, 1999). El mismo autor indica que están constituidas básicamente de agua, oxígeno y nutrimento esenciales para el desarrollo de la planta y que cada cultivo requiere de con características específica.

Las características químicas de la solución nutritiva que determinan su disponibilidad de nutrimentos, y a su vez que bajo cultivo hidropónico, son tres los factores que definen la respuesta de las plantas a las condiciones ambientales, y son las siguientes: las relaciones mutuas de aniones y cationes, el potencial osmótico y el pH (Steiner, 1984; Sonneveld y Voogt, 2001; Preciado, 2001; Savvas y Gizas, 2002; Savvas *et al.*, 2003 y Molinos *et al.*, 2004).

#### **2.6.3.1. Relaciones mutas de iones**

La solución nutritiva universal de Steiner es una relación de aniones y cationes a la cual responden óptimamente un gran número de cultivos, requiriéndose solamente determinar experimentalmente, el potencial osmótico adecuada de dicha solución para cada cultivo y época climática (Steiner, 1984). Steiner (1973) recomienda mayor potencial osmótico de la solución nutritiva en invierno con relación a la de verano, e indica que en invierno las plantas absorben poca agua, por lo que, se les debe proporcionar una solución nutritiva relativamente

concentrada, que suministre los nutrimentos que requiere; en verano una mayor potencial osmótico de dicha solución, disminuye la absorción de agua, lo que puede ser perjudicial para las plantas, cuando no logran cubrir su alta tasa de transpiración.

Steiner (1961) empleo el término de relaciones entre aniones y cationes para indicar el balance que debe de existir entre los macronutrientes ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ ). Lara (1999), señala que la absorción de nutrimentos por la planta depende de la etapa fenológica dice que a medida que  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{K}^+$  tienden a disminuir durante el ciclo vegetativo, los niveles de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  se incrementan.

La composición química de una solución nutritiva depende de la concentración de la composición de los iones sobre la concentración de ión total expresado como valor osmótico y de la acidez expresada como pH (Steiner, 1968). Las soluciones nutritivas pueden ser consideradas como soluciones acuosas de iones inorgánicos. En estas soluciones acuosas, los elementos no están presentes como iones libres (De Rijck y Schrevens, 1997).

#### **2.6.3.2. pH y Conductividad eléctrica**

El pH de una solución nutritiva es una propiedad que es inherente a su composición. Si otro pH es propuesto este puede únicamente ser alcanzado cambiando la composición química. El pH de una solución acuosa está determinado por la concentración inicial de ácidos y bases. En el caso de las soluciones nutritivas este es el dihidrógeno de fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) y/o amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). En este estudio, las formulas son derivadas para

calcular el pH de una solución nutritiva como la concentración de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  y/o  $\text{HCO}_3^-$ . El pH de una solución nutritiva afecta las reacciones de disociación y precipitación que ocurren en las soluciones nutritivas. Estas reacciones químicas impactan significativamente la especiación elemental y disponibilidad y por lo tanto tienen que ser tomadas en cuenta en la investigación de nutrición vegetal hidropónica. El término especiación indica la distribución de los elementos entre sus formas físicas y químicas semejantes a: iones libres, complejos solubles quelatos, iones pares, fases sólida y gaseosa y diferentes estados de oxidación, los cuales influyen en su reactividad, movilidad y disponibilidad. Un buen conocimiento de las reacciones químicas que ocurren en las soluciones nutritivas es el primer prerrequisito en la investigación de nutrición vegetal hidropónica. El pH de una solución nutritiva está determinado por su concentración inicial de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{HCO}_3^-$  (De Rijck y Schrevens, 1997a.)

El pH es un factor importante en el manejo de las soluciones nutritivas. El aumento del pH y la conductividad eléctrica impiden la absorción de algunos nutrientes por la planta debido a la formación de precipitados o bien al cambio en la especie química de los iones (San Martín *et al.*, 2012).

Al aumentar la conductividad eléctrica de la solución nutritiva, la planta utiliza una mayor energía para absorber el agua y los nutrientes, lo que ocasiona disminución del crecimiento vegetal, interviene en la composición química de las plantas; al aumentar la conductividad eléctrica se incrementan los niveles de  $\text{K}^+$  en la planta a costa de la concentración de  $\text{Ca}^{+2}$ , de igual forma se aumenta la concentración de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{NO}_3^-$  ambos a expensas de  $\text{SO}_4^-$ . Además a mayor

conductividad eléctrica se aumenta la relación K<sup>+</sup>: (K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) lo que provoca un desbalance nutrimental (Lara, 1999).

Aunque la temperatura de la solución nutritiva no es considerada en los trabajos de Steiner se dice que, a medida que disminuye se reduce la absorción de agua y nutrimentos, a menos de 15 °C se observan deficiencias de Ca<sup>+2</sup>, PO<sub>4</sub><sup>=</sup> y Fe<sup>+2</sup>, y la suberización de la endodermis se extiende al ápice de la raíz e influye en la absorción de los nutrimentos; también se relaciona con la cantidad de oxígeno consumido por la planta e inversa con el oxígeno disuelto (Lara, 1999).

En temperaturas mayores que a 22 °C la demanda de oxígeno no es solventado por la solución nutritiva debido a que aumenta la difusión de este gas, se incrementa el crecimiento vegetativo en una magnitud mayor que la deseable y disminuye la fructificación, mantener una temperatura cercana a 22 °C es lo ideal (Lara, 1999).

Existen diversas formulaciones de soluciones nutritivas, como la universal de Steiner y la de Hoaglang, entre otras. Su uso al 100 % de concentración depende de los factores ambientales, por lo que es importante estudiar soluciones nutritivas diluidas en las que se puede regular la cantidad de sales minerales (Cruz *et al.* 2014).

#### **2.6.4. Sustratos**

Hoy en día existe mayor necesidad para encontrar métodos que contribuyan al uso eficiente del agua y nutrientes, lo que se puede lograr con el uso de sustratos (Cruz *et al.* 2014).

El sustrato es determinante para el éxito de los cultivos hidropónicos ya que es el medio en el que se desarrollan las raíces (Ortega *et al.*, 2010), debe promover un eficiente intercambio de gases, una buena retención y disponibilidad de agua y nutrientes a la plantas, todos estos factores influyen en el desarrollo y crecimiento vegetal (Valles *et al.*, 2009).

La agrolita, lana de roca, el peat moss son sustratos muy eficientes en la producción de cultivos hidropónicos, pero con el inconveniente de su alto costo y su adquisición. El tezontle “tepetzitl” (del eje neovolcánico) y la fibra de coco (de las zonas costeras) son sustratos muy buenos en la producción de cultivos hidropónicos (Velasco *et al.*, 2004).

Entre los factores a considerar para determinar el uso de un material como medio de cultivo son sus propiedades físicas y químicas (Velasco *et al.*, 2004). Éstas afectan la elongación, orientación y el patrón de ramificación de la raíz, cualquier estrés en la zona radical rompe el equilibrio entre las raíces y vástago, existe un crecimiento interrelacionado, en el cual los cambios en la tasa de crecimiento aéreo se expresa en la raíz y viceversa, por tanto afecta la producción de la planta (De Grazia *et al.*, 2007).

A continuación se describen las características de algunos de los sustratos más utilizados en cultivos hidropónicos.

#### **2.6.4.1. Agrolita**

En México existen dos plantas productoras de agrolita por lo cual tiene altos costos. Se obtiene de una roca volcánica vítrea llamada perlita, que es un mineral

de silicio. Es un sustrato granular de color blanco, cuyo principal componente es el silicato de aluminio, el cual es estéril e inerte. Compuesto de partículas de diversos tamaños que proporcionan buena aireación, buen drenaje y baja retención de humedad (Bastida, 2002).

Bastida (2002) menciona algunas características físicas de la agrolita, e indica que este material presenta una densidad aparente de  $0.12 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  y una densidad real de  $2.65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  un espacio poroso de 95.47 %. Un porcentaje de agua fácilmente disponible de 5.13 %, agua de reserva 1.30 % y agua difícilmente disponible 14.55 %. En relación a sus propiedades químicas tiene un pH de 9.2 y una conductividad eléctrica de  $0.01 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  y elementos extractables como: N: P: K: CA y Mg de 2, 3, 4, 190 y  $7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente.

#### **2.6.4.2. Lana de roca**

La lana de roca es un material fibroso e inerte que se obtiene al mezclar 60 % de basalto volcánico, 20% de caliza y 20 % de coque, estos componentes se funden a 1500-2000 °C. Es un sustrato con un alto costo (Bastida, 2002).

Bastida (2002) menciona que este sustrato tiene las siguientes características físicas, una densidad aparente de  $0.09 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , con una densidad real de  $2.65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , un espacio poroso de 96.7 %. Con un porcentaje de agua fácilmente disponible + agua de reserva de 77.8 y un 4 % de agua difícilmente disponible, por lo que presenta una buena retención de humedad. Como características químicas posee un pH de neutro a moderadamente alcalino de 7 a 8.5 y una baja capacidad de intercambio catiónico.

#### **2.6.4.3. Vermiculita**

La vermiculita es un mineral formado por silicato de aluminio, con una estructura en capas parecidas a una mica. Es usado para tapar las semillas en las cavidades de las charolas en la producción de hortalizas bajo invernadero. En México, no se producen las cantidades requeridas por lo que se hacen importaciones del extranjero, esto hace que sea un material costoso (Bastida, 2002).

Presenta como características físicas una densidad aparente de  $0.13 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , una densidad real de  $2.65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , con un espacio poroso de 95.09 %. Un porcentaje de agua fácilmente disponible, agua de reserva y agua difícilmente disponible de 12.6, 1.11 y 33.96 %, respectivamente. Como propiedades químicas muestra un pH de 8.9, una conductividad eléctrica de  $0.02 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  y un contenido de elementos extractables de Nitrógeno  $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , Fósforo  $3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , Potasio  $31 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , Calcio  $175 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y de Magnesio  $390 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Bastida, 2002).

#### **2.6.4.4. Tezontle**

El tezontle también conocido como arena volcánica o escoria volcánica, es un material procedente de las erupciones volcánicas, formado de silicatos de aluminio. Es un sustrato económico, que se encuentra en abundancia en México en el eje Neovolcánico. Puede ser de color rojo, negro o amarillo, los tres se utilizan en hidroponía (Bastida, 2002).

Bastida (2002) menciona que el tezontle presenta como características físicas una densidad aparente de  $0.682 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , una densidad real de  $2.65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , un 74.24 % de espacio poroso. Un 5.42 % de agua fácilmente disponible, 2.25 % de agua de

reserva y 7.89 % de agua difícilmente disponible. Como características químicas presenta un pH de 4.6, con una conductividad eléctrica de  $0.02 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  y elementos extractables como: N: P: K: Ca y Mg de 6, 9, 52, 330 y 25  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente. Cruz *et al.* (2012) reportó que este material con un tamaño de partículas de 2 a 10 mm posee un espacio poroso de 50.6 % y una capacidad de aireación de 31.7 %, un pH de 7.1, conductividad eléctrica de  $0.08 \text{ dS m}^{-1}$  y con una capacidad de intercambio catiónico de  $2.7 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$ .

Mientras que Cruz *et al.* (2014) encontraron que este sustrato con un tamaño de la partícula 0.18 a 10 mm posee como características físicas una porosidad total de 22.9 %, una porosidad del aire de 13.3 %, con una capacidad de retención del agua de 9.6 %, agua fácilmente disponible de 5.2 %, agua de reserva 2.4 % y agua difícilmente disponible 1.9 %.

#### **2.6.4.5. Fibra de coco y polvo de coco**

La fibra de coco y el polvo de coco se obtienen del bonote que protege al fruto del coco, la fibra se desmenuza y se prepara como sustrato, son un sustituto de la turba o peat moss (Bastida, 2002).

Las propiedades físicas que este sustrato presenta son: baja densidad, una porosidad de 80%, buen drenaje y una buena retención de humedad. Sus propiedades químicas incluyen un pH de ácido a neutro que varía de 4 a 7, una baja capacidad de intercambio catiónico, entre 20 a 30  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ , además, contiene sales solubles de cloro, sodio y potasio. Como propiedades biológicas cuenta con un 85-90 % de materia orgánica (Bastida, 2002).

#### **2.6.4.6. Turba o peat moss**

La turba o peat-moss se extrae de depósitos de restos de vegetación acuática, pantanosa o de ciega, de épocas geológicas remotas. Como elemento principal encontramos restos parcialmente descompuestos de musgo (*Sphagnum moss*). Hay dos tipos de turbas, la rubia y la negra, siendo la mejor la de color claro. Es un material usado en la producción de plántulas y sistemas hidropónicos. Es un producto de importación de Canadá, Estados Unidos y Europa por lo cual es un material costoso. Este autor señala que la turba rubia presenta una densidad aparente de  $0.076 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , una densidad real de  $1.35 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , con un espacio poroso de 94.3 %. Un porcentaje de agua fácilmente asimilable de 33.5 %, agua de reserva 6.5 % y agua difícilmente disponible 25.3 %. Para el caso de la turba negra presenta una densidad aparente de  $0.296 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , una densidad real de  $1.83 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , con un espacio poroso de 84 %. Un porcentaje de agua fácilmente asimilable de 24 %, agua de reserva 4.7 % y agua difícilmente disponible 47.7 % (Bastida, 2002).

#### **2.6.4.7. Características generales de la zeolita**

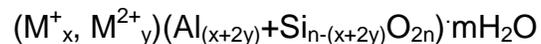
Las zeolitas son aluminosilicatos hidratados cristalinos de cationes alcalinos térreos y alcalinos, estructura de cristales en tres dimensiones. Son más caracterizadas por su capacidad reversible de hidratarse y deshidratarse y para intercambiar algunos de sus cationes constituyentes ambos sin mayor cambio de estructura. Las zeolitas fueron descubiertas en 1756 por el Suizo Cronstedt, quien la llamó de las palabras griegas *zein* y *lithos* que significa piedra que hierve, en alusión a su peculiar característica espumosa cuando es calentado.

Se han identificado cerca de 50 tipos de este mineral entre ellos analcime, cabazita, clinoptilolita-heulandita, erionita, ferrierita, laumontita, mordenita y phillipsita, estos minerales tienen arriba del 50 % de espacios vacíos con poros de 3 a 10 angstroms, con baja densidad de 2.1-2.2 g cm<sup>-3</sup>, con capacidad de intercambio catiónico de 150-250 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, tiene una alta selectividad a cationes como son cesio, potasio, amonio, calcio, magnesio etc., además de una alta capacidad de amortiguamiento de pH (Nakamura, 1996 y Carlino, 1998).

#### **2.6.4.7.1. Estructura de las zeolitas**

Son tectosilicatos que consisten de una estructura tridimensional de tetraedros de SiO<sub>4</sub><sup>-4</sup> en donde todos los oxígenos de cada tetraedro están compartidos con un tetraedro adyacente. Este arreglo reduce el total de la relación O/Si a 2:1 En las estructuras de zeolitas, algo del Si tetravalente es remplazado por Al<sup>3+</sup> dando incremento a una deficiencia de carga positiva en la estructura. Esta carga es balanceada por cationes monovalentes y divalentes, principalmente Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup> en otra parte en la estructura (Travieso *et al.*, 1991).

Gottardi y Galli (1985) mencionan la siguiente fórmula general para la zeolita:



Donde M<sup>+</sup> y M<sup>2+</sup> son cationes monovalentes y divalentes, respectivamente. Los cationes dentro del primer corchete de paréntesis son llamados cationes intercambiables; los de los segundos corchetes son conocidos como cationes estructurales.

#### **2.6.4.7.2. Zeolita clinoptilolita**

Dentro del grupo de las zeolitas heulanditas se encuentran, la heulandita, la clinoptilolita, la stilbita, stellerita y barrerita (Gottardi y Galli, 1985). Mumpton (1960) considera a una zeolita, clinoptilolita, cuando la  $(Na+K) > Ca$ ; posteriormente indica que una zeolita puede ser llamada clinoptilolita si su estructura cristalina sobrevive al calentamiento a  $450^{\circ}$  una sola noche y si tiene una relación Si/Al de alrededor de 4.5 a 5.0. El mismo autor propone la fórmula para la zeolita clinoptilolita como sigue:  $(Na_3K_3)(Al_6Si_{30}O_{72}) \cdot 24H_2O$

La clinoptilolita y la heulandita son las zeolitas naturales más abundantes en la corteza terrestre, con mucha frecuencia aparecen formando parte de la misma roca mineral. Presentan gran semejanza estructural con un sistema bidimensional de canales de tres tipos, cuya estructura de poros finos no permite adsorber moléculas mayores que el oxígeno (Travieso *et al.*, 1991).

#### **2.7. Nitrógeno elementos esencial en el crecimiento vegetal**

El nitrógeno es uno de los más ampliamente distribuidos en la naturaleza. La mayor cantidad se encuentra fijada en rocas de la corteza terrestre y sedimentos, en contraste a lo que comúnmente se cree que la atmósfera es la que cuenta con la mayor cantidad de  $N_2$ . La atmósfera contiene cerca de  $3.8 \times 10^{15}$  toneladas de moléculas de  $N_2$  y la cantidad de N presente en la litosfera es de alrededor de  $18 \times 10^{15}$  ton (Mengel y Kirkby, 1978).

El nitrógeno se encuentra en ambas formas orgánica e inorgánica en las plantas y en combinaciones con C, H y O y algunas veces con el azufre, para formar amino

ácidos, amino enzimas, ácidos nucleicos, clorofila, alcaloides y purina. Aunque el nitrógeno inorgánico puede acumularse en la planta principalmente en los tallos y tejidos conductivos en forma de nitratos. El nitrógeno orgánico predomina como proteína de alto peso molecular, en la planta (Benton, 1998).

La materia seca contiene alrededor de 2 al 4 % N. El nitrógeno es un elemento constituyente de numerosos compuestos (aminoácidos, proteínas ácidos nucleicos). En plantas superiores son los mayores contribuyentes de grandes cantidades de nitrógeno el cual es continuamente convertido de forma inorgánica a compuestos orgánicos. Las fuentes inorgánicas más importantes involucradas en esta conversión son  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  (Mengel y Kirkby, 1978).

Las plantas tienen la capacidad de reducir el nitrato a amonio e incorporar dichas formas reducidas a moléculas orgánicas. Los procesos biológicos, por los que el nitrógeno inorgánico es convertido en nitrógeno orgánico, son la fijación del nitrógeno molecular ( $\text{N}_2$ ) y la asimilación del nitrato, ésta consta de tres etapas: absorción, reducción del nitrato a amonio e incorporación de esqueletos carbonados; para la síntesis de aminoácidos, proceso que recibe el nombre de asimilación del amonio (Azcon-Bieto y Talón, 2000).

### **2.7.1. Absorción y traslocación del nitrógeno**

La absorción del nitrato por la planta disminuye a bajas temperaturas, en anaerobiosis y en presencia de inhibidores de la respiración, lo que demuestra que es un proceso dependiente de la energía metabólica; se caracteriza porque muestra una típica cinética de saturación, lo que indica que su transporte a través de la membrana es facilitado por una permeasa o proteína transportadora (Azcon-

Bieto y Talón, 2000). La absorción de nitrato estimula, a absorción de cationes mientras que los aniones como el cloro y el hidroxilo restringe la absorción de anión nitrato. Alto contenido de carbohidratos incrementa la absorción de amonio, la absorción de amonio restringe la de los cationes, lo cual puede conducir a una deficiencia de calcio, así como reducir los niveles de potasio en la planta (Benton, 1998). El nitrógeno existe en el suelo como anión nitrato o como catión amonio la absorción está influenciada por el pH del suelo, la temperatura y la presencia de otros iones en la solución del suelo (Benton, 1998).

El  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  son formas que pueden ser absorbidas y metabolizadas por las plantas. El nitrato es una fuente preferencial para el crecimiento de los cultivos, pero mucho depende de la especie y los factores ambientales. Los cultivos absorben  $\text{NO}_3^-$  aun cuando los fertilizantes amoniacales son utilizados a causa de la oxidación del amonio en el suelo. La absorción del  $\text{NO}_3^-$  es alta y ocurre en contra de un gradiente electroquímico indicando que es absorbido de una manera muy activa. Las raíces absorben el  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NH}_3^+$  o ambos. La absorción de  $\text{NH}_3^+$  puede ser favorecida por las raíces particularmente bajo condiciones de pH alto donde la presencia de  $\text{NH}_3^+$  es favorecido (Mengel y Kirkby, 1978).

La diferencia más importante entre la absorción de  $\text{NO}_3^-$  y la absorción de  $\text{NH}_4^+$  es su sensibilidad al pH. La absorción de  $\text{NH}_4^+$  se da bajo condiciones de pH neutro y disminuye cuando el pH es menor. La absorción de  $\text{NO}_3^-$  es más rápida bajo condiciones de pH bajo. La disminución de la absorción del  $\text{NO}_3^-$ , en un pH alto podría ser debido al efecto competitivo de los iones de  $\text{OH}^-$  suprimiendo la absorción de  $\text{NO}_3^-$  en el sistema de transporte (Mengel y Kirkby, 1978).

Se encontró que la absorción de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en varias especies vegetales se absorbió en igual proporción en un pH de 6.8. A pH de 4.0 la absorción de  $\text{NO}_3^-$  fue considerablemente mayor que el  $\text{NH}_4^+$ . La absorción de amonio está influenciado por el nivel de carbohidratos de las plantas. Altos niveles de carbohidratos en la planta favorecen la absorción de  $\text{NH}_4^+$  probablemente por el incremento de la asimilación de  $\text{NH}_3$  por la asimilación de esqueletos carbonados y energía (Mengel y Kirkby, 1978).

Las medidas de los cambios que experimenta el potencial de membrana de las células de la raíz durante la absorción de nitrato y su dependencia del pH externo, ha permitido proponer que el nitrato es transportado al interior celular mediante un mecanismo de simporte  $2\text{H}^+/\text{NO}_3^-$ . El gradiente de potencial electroquímico de  $\text{H}^+$  a través del plasmalema, necesario para sustentar dicho simporte, es mantenido por una  $\text{H}^+$ -ATPasa que transporta unidireccionalmente  $\text{H}^+$  al exterior con la energía del ATP proveniente de la respiración de las células de la raíz (Azcon-Bieto y Talón, 2000).

El nitrógeno es absorbido por las raíces de la planta y es traslocado en el xilema a la parte superior de la planta. La traslocación depende de la absorción de nitrógeno fuente y metabolismo de la raíz. Primero todo el  $\text{NH}_4^+$  es absorbido es asimilado en el tejido de la raíz y redistribuido como aminoácido. El  $\text{NO}_3^-$  puede ser traslocado inalterado, pero esto depende de la potencial reducción del nitrato en las raíces. El nitrato y los aminoácidos son la principal forma en la cual el nitrógeno es traslocado en el sistema vascular de las plantas superiores. Generalmente en la savia del xilema del 70 al 80 % de los aminoácidos presentes

son ricos en nitrógeno. Se cree que la función de las moléculas ricas en nitrógeno (glutamina y asparagina) es para transportar nitrógeno con una cantidad mínima de carbono (Mengel y Kirkby, 1978).

### **2.7.2. Suministro de nitrógeno**

La forma de suministrar el nitrógeno afecta el crecimiento y rendimiento de los cultivos producidos en suelo e hidroponia (Forde y Clarkson, 1999). Muchos estudios han mostrado que el uso de amonio como fuente dominante o única de N restringe el crecimiento y disminuye el rendimiento (Guo et al., Sonnevel, 2002). Bajo tales condiciones el N es absorbido principalmente como  $\text{NH}_4^+$  más que  $\text{NO}_3^-$  (Forde y Clarkson, 1999). Sarasketa *et al.* (2014) apuntaron que las plantas son dependientes del suministro de nitrógeno, el amonio y el nitrato son los principales compuestos nitrogenados y aunque la asimilación del amonio requiere de menos energía que el del nitrato muchas plantas manifiestan síntomas de toxicidad cuando crecen con amonio como única fuente de nitrógeno. Sin embargo la intensiva absorción de  $\text{NH}_4^+$ , puede incrementar la concentración intracelular del amonio el cual es altamente tóxico para las células de las plantas. Bittsánszky et al. (2015) indicaron que el amonio es una de las fuentes de nitrógeno clave en la síntesis de aminoácido celular, se produce continuamente en los organismos vivos por numerosos procesos bioquímicos, pero su acumulación en las células provoca daño del tejido. El amonio puede ser tóxico para el crecimiento de la planta. La toxicidad resulta principalmente del amoniaco  $\text{NH}_3$  el cual afecta el crecimiento vegetal a bajas concentraciones en las cuales el  $\text{NH}_4^+$  no es perjudicial. Las concentraciones de  $\text{NH}_3$  en la solución acuosa dependen en

mucho del pH del medio así que la toxicidad es controlada por el pH del medio (Mengel y Kirkby, 1978).

La sensibilidad de las plantas al amonio es un problema en todo el mundo lo que limita la producción de cultivos. La aplicación de amonio como fuente de nitrógeno ocasiona desordenes fisiológicos y morfológicos, como: disminución del crecimiento vegetal y disminución de la germinación de la semilla y toxicidad (Mengel y Kirkby, 1978).

Las principales causa de tolerancia o toxicidad descritas hasta ahora es la alta asimilación de amonio por las plantas y/o la baja sensibilidad a la acidificación externa del pH (Esteban *et al.*, 2016). Algunas investigaciones sugieren que algunas enzimas y transportadoras son las responsables del delicado balance del flujo de amonio en el tejido vegetal. Esteban *et al.* (2016) señalarón a los componentes relacionados con el transporte de amonio especialmente la bomba no electrogénica de  $\text{NH}_3$  (relacionado con el agotamiento de  $^{15}\text{N}$ ) y el flujo electrogénico del amonio puede contribuir a la acumulación de amonio y por lo tanto a toxicidad por  $\text{NH}_3$ , esta acumulación puede estar asociada al incremento en la concentración de potasio en el medio de la raíz.

Es claro que los efectos tóxicos del  $\text{NH}_4^+$  resultan del  $\text{NH}_3$  de la solución acuosa son más probable que ocurran en pH altos. Muchas especies vegetales toleran altos niveles de  $\text{NH}_4^+$  en pH ácido a neutral porque la alta concentración de  $\text{H}^+$  hace bajar la concentración de  $\text{NH}_3$  en la solución acuosa. Por lo tanto un gran número de especies puede crecer muy bien en niveles de  $\text{NH}_4^+$  proporcionados en

la región de pH de 4 a 6. Se reporta que la adición de  $\text{NH}_4^+$  redujo la absorción de  $\text{NO}_3^-$ . Esta reducción de la absorción de  $\text{NO}_3^-$  fue más que compensada por la absorción de  $\text{NH}_4^+$ . La más alta absorción de N se observó cuando ambas formas  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  estuvieron presentes en la solución nutritiva resultando en un mayor porcentaje de crecimiento (Mengel y Kirkby, 1978).

Al comparar los efectos de la nutrición con  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  se observa lo siguiente: altos niveles de amonio abate el rendimiento del cultivo, mientras que la combinación en cantidades equivalentes de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ , produce un incremento en el rendimiento en comparación con el uso de  $\text{NO}_3^-$  solo. Niveles mayores de  $\text{NH}_4^+$  mostraron una caída en el rendimiento del cultivo, esto demuestra que niveles altos de  $\text{NH}_4^+$  puede ser tóxico y que el crecimiento puede ser estimulado por la adición de pequeñas cantidades de  $\text{NH}_4^+$ . Aunque no se sabe por qué ocurre esto, se dice que la reducción de  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_3$  requiere de energía, esto sugiere que el  $\text{NH}_4^+$  suministra energía que es conservada y desviada a otros procesos metabólicos incluyendo absorción y crecimiento que a bajas concentraciones de amonio  $\text{NH}_4^+$  que el amonio a bajas concentraciones puede estimular la reducción del  $\text{NO}_3^-$ . Posible razón del efecto benéfico de las bajas concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  (Mengel y Kirkby, 1978).

En altas concentraciones externas de amonio, la absorción de N predominantemente en forma catiónica, suprime la absorción del anión total y esto es balanceado por la liberación excesiva de  $\text{H}^+$  desde las células de la raíz (Lea-Cox *et al.*, 1999). Como consecuencia el pH en el ambiente de la raíz podría caer a niveles que son perjudiciales para muchas especies vegetales. La presencia de

amonio puede además bajar el pH debido a la liberación de  $H^+$  de los procesos de nitrificación, particularmente la oxidación de  $NH_4^+$  a  $NO_2^-$ , el cual es llevado a cabo por *Nitrosomas* sp. y varias especies de bacterias nitrificadoras. Además las reacciones de nitrificación demandan oxígeno (Laanbroek *et al.*, 1994, citado por Savvas y Gizas, 2002). Cuando la concentración de  $NH_4^+$  en la solución externa es muy alta, estimula la nitrificación intensiva y el crecimiento puede ser suprimido debido a la carencia de oxígeno, lo cual restringe la respiración de la raíz. Por lo tanto el suministro de una menor cantidad de nitrógeno total a un cultivo en forma de amonio, puede estimular crecimiento y mayor rendimiento.

El pH de la solución nutritiva suplido a un cultivo hidropónico es obviamente un medio para regular el pH en el ambiente de la raíz de las plantas. Sin embargo el balance de la relación absorción catión anión por la liberación de  $H^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $OH^-$  ó aniones orgánicos de las células de la raíz tiene también un impacto en el pH de la zona de la raíz. La distribución del nitrógeno total suplido en formas de anión ( $NO_3^-$ ) y catión( $NH_4^+$ ) es la principal herramienta para balancear la absorción del catión y el anión, y así mantener el pH dentro del rango deseado en la zona de la raíz. Por lo tanto, el suministro de una menor parte de nitrógeno en forma de  $NH_4^+$ , ha llegado a ser una práctica común en hidroponia habilitada en la regulación del pH en la zona de la raíz de la planta (Bar-Tal *et al.*, 2001 y Lea-Cox *et al.*, 1999).

Las especies vegetales no responden similarmente a una relación particular de suministro de  $NH_4^+/N$  total y a un cierto pH en la zona de la raíz. Además el cambio en las concentraciones de la solución nutritiva y el pH en el ambiente de la raíz de plantas cultivadas hidropónicamente pueden ser rápido, debido al

restringido volumen de raíz y a la carencia de capacidad de amortiguamiento, lo cual puede dañar al cultivo (Lea-Cox *et al.*, 1999).

Desde un punto de vista práctico, la toxicidad por amonio bajo las condiciones de cultivos tradicionales en el suelo, no sería un problema como ocurre en los cultivos en solución. Hay varias razones para esto: 1) El suelo actúa como amortiguador a cambios de pH, por lo tanto la acidificación del ambiente radical debido a la absorción del amonio es mínima. 2) Ocurre nitrificación del amonio por lo cual su concentración disminuye constantemente. 3) Los suelos siempre tienen nitrato, lo cual modifica la asimilación del amonio y 4) Las raíces tienen la opción de no crecer, temporalmente, en zonas con alta concentración de amonio y absorberlo cuando haya ocurrido la nitrificación (Goyal y Huffaker, 1984).

Preciado *et al.* (2004), mencionan que en cultivos en solución nutritiva, el suministro de pequeñas cantidades de  $\text{NH}_4^+$  en combinación con el  $\text{NO}_3^-$  produce mayor rendimiento que su aplicación individual. Hu *et al.* (2015) indican que, en comparación con el nitrato, la adición de una concentración moderada de  $\text{NH}_4^+$  resultó en un mejor crecimiento y tuvieron una ultraestructura intacta de cloroplastos y un mayor grado de apilamiento de grana, contenido de clorofila y tasa fotosintética neta, así como un sistema de raíces más grande. Los mismos autores señalaron una óptima relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva alivió en el estrés provocado por la baja intensidad de luminosa mediante la regulación de la arquitectura de la raíz y la fotosíntesis. Urbina *et al.* (2011) encontraron mayores extracciones de micronutrientes: fierro, manganeso, zinc, cobre y boro; por efecto del amonio en la solución nutritiva.

Por otra parte la forma química de suministrar el nitrógeno:  $\text{NO}_3^-$  y/o  $\text{NH}_4^+$ , afecta el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos producidos en suelo (Marschner, 1995) e hidroponía (Steiner, 1984; Goyal y Huffaker, 1984 y Forde y Clarson, 1999), algunas plantas prefieren  $\text{NO}_3^-$  en cambio otras prefieren  $\text{NH}_4^+$ , ó una mezcla de ambas fuentes nitrogenadas (Marschner, 1995; Goyal y Huffaker, 1984; Bugarín *et al.*, 1998; Lara, 1998 y Preciado, 2001). Algunos autores indican que, cuando predomina la absorción de cationes sobre la de aniones, la planta libera iones  $\text{H}^+$  en el ambiente radical, los cuales causan que la solución nutritiva se acidifique (Marschner, 1995, Lea-Cox *et al.*, 1999; De Rijck y Schrevens, 1997; Jeong y Lee, 1999 y Azcon-Bieto y Talón, 2000). Por otra parte Bugarín *et al.* (1998) y Lara (1998) demostraron que en cultivo hidropónico el suministro conjunto de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  produce mayores rendimientos de crisantemo y jitomate respectivamente, que el aporte en forma  $\text{NO}_3^-$  únicamente. De acuerdo con Sonnevel *et al.* (1999), Bar-Tal *et al.* (2001) y Savvas *et al.* (2003), el suministro de una parte del nitrógeno total en forma de  $\text{NH}_4^+$ , ha llegado a ser una práctica común en hidroponía, usada para regular el pH en la zona de la raíz de planta. Steiner (1984), recomienda no usar más del 10% de amonio del total de nitrógeno. El cambio del pH en el ambiente de la raíz de plantas cultivadas hidropónicamente puede ser drástico, debido al restringido volumen de raíz y a la carencia de capacidad de amortiguamiento (Sonneveld *et al.*, 1999 y Savvas *et al.*, 2003).

### **2.7.3. Síntomas de deficiencia y toxicidad del nitrógeno**

Las plantas deficientes de nitrógeno son de muy lento crecimiento, débiles y enanas. Son de color ligeramente verdes a amarillas. Los síntomas de deficiencia

iniciales y los más severos, hojas amarillas, se presentan en las hojas más viejas. El nitrógeno es transportado a los sitios de activo crecimiento en las plantas. Las plantas con deficiencia de nitrógeno madurarán con un rendimiento y calidad significativamente reducidos (Benton, 1998). La deficiencia de nitrógeno es caracterizada por un pobre crecimiento. Las plantas permanecen pequeñas y los tallos tienen una apariencia larga y delgada, las hojas son pequeñas y las más viejas a menudo caen prematuramente. El crecimiento de la raíz es afectado y en particular la ramificación es restringida. Las hojas deficientes en nitrógeno muestran clorosis la cual es distribuida sobre toda la hoja. La necrosis de las hojas o parte de estas ocurre posteriormente en una etapa muy avanzada de la deficiencia. Al respecto de la deficiencia de nitrógeno difiere fundamentalmente de la de K y Mg donde los síntomas también son en hojas más viejas, pero la clorosis y las manchas necróticas aparecen en etapas más tempranas (Mengel y Kirkby, 1978). Las plantas con exceso de nitrógeno son verde oscuro con follaje succulento, las cuales son fácilmente susceptibles a plagas y enfermedades, Las plantas pueden ser fácilmente susceptibles a estrés hídrico, bajar los rendimientos y la calidad de los frutos y granos puede ser pobre (Benton, 1998). Si el amonio es la única o la mayor fuente de nitrógeno disponible para la absorción de la planta, se puede desarrollar una toxicidad que provoca el rompimiento del tejido vascular de tal modo que restringe la absorción del agua y reducir el rendimiento. Síntomas de deficiencia de calcio pueden ocurrir si el amonio es la principal fuente de nitrógeno. Una reducción de carbohidratos puede ocurrir con la nutrición con amonio, lo cual resulta en la reducción del crecimiento (Benton, 1998).

### 3. JUSTIFICACIÓN

Aunque el chile huacle no se encuentra dentro de la Norma Mexicana NOM-059, Aguilar *et al.* (2014) mencionan que esta variedad de chile se encuentra en peligro de extinción debido al cambio climático, y a la cautelosa forma de cultivarse, esto ha hecho que en los últimos años se reduzca el número de productores y por lo tanto se incremente su precio, lo que ha provocado que este sea sustituido por otros tipos de chile en los platillos. Los principales problemas para la producción de chile Huacle son: la pérdida de la fertilidad el suelo y la emigración de la población. La producción de una hectárea de chile cuesta al menos 150 mil pesos y en los últimos tres años han logrado la cosecha de tres a cuatro toneladas, cuando antes era de 10 o más.

El chile huacle es el ingrediente principal del mole negro oaxaqueño, de lo que ahora es patrimonio intangible de la humanidad: nuestra cocina mexicana, declaración realizada por la UNESCO en el 2010. El chile forma parte primordial en nuestra cultura siendo parte de la identidad de todos los mexicanos, se han encontrado registros arqueológicos de su uso que datan de hace siete mil años, principalmente en las zonas de Oaxaca, Puebla, y Tamaulipas. De ahí que sea importante el rescate de este chile (Rodríguez, 2015).

El cultivo sin suelo es una alternativa viable para su producción por las ventajas que tiene en comparación de un sistema tradicional como lo sería su alta productividad, la buena calidad del producto, bajos costos de producción, excelente respuesta al cuidado del medio ambiente y la salud de los

consumidores, menos problemas fitopatológicos, el agua puede ser utilizada con mayor eficiencia, los nutrientes minerales pueden ser aplicados de forma más eficiente, obtener varias cosechas por año, entre otras (Rodríguez, 2015).

#### **4. OBJETIVOS**

##### **5.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de la concentración  $\text{NH}_4^+$  de la solución nutritiva de Steiner en un sistema hidropónico, sobre el rendimiento y calidad de dos variedades de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) bajo invernadero, en el Municipio de Tenancingo Estado de México.

##### **5.2. Objetivos particulares**

- ❖ Producir plántulas de dos variedades de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) en el municipio de Tenancingo, Estado de México.
- ❖ Evaluar el rendimiento y calidad de dos variedades de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) por efecto de la concentración de amonio de la solución nutritiva.

#### **5. HIPÓTESIS**

A mayor concentración de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva de Steiner se tendrán el mayor rendimientos y calidad chile huacle (*Capsicum annuum* L.).

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Ubicación del experimento

Esta investigación se llevó a cabo en el invernadero del Centro Universitario UAEM Tenancingo, Edo. de México. Tomando en cuenta al climatólogo Köppen, la región tenancinguense presenta un clima CW (templado con lluvias en verano). Se tiene un promedio de precipitación que va de 1,000 a 1,500 mm.; año con año se presenta un periodo de lluvias de convección en verano y parte del otoño, el subsecuente periodo de tiempo es seco, con una temperatura media anual de 18.2°C y precipitación media anual de 1,199.3 mm.

### 6.2. Manejo del cultivo

Semillas de dos variedades de chile huacle de un año de almacén, procedentes de la Región de la Cañada, Oaxaca; se embebieron en una solución de 500 ppm de ácido giberélico ( $AG_3$ ) durante 24 h. Posteriormente se sembraron 60 semillas en charolas con 200 cavidades, como sustrato se utilizó la mezcla de peat-moss y zeolita. Los riegos se realizaron diariamente con agua destilada.

El trasplante de las plántulas se realizó cuando éstas tenían dos o tres pares de hojas verdaderas. Se utilizaron contenedores con una capacidad de 10 L. El sustrato fue zeolita clinoptilolita reutilizada. Los riegos se realizaron diariamente a las 8:00 a.m., con la solución nutritiva de Steiner la cual se modificó con dos niveles de amonio 1.5 y 3  $cmol L^{-1}$  y como testigo se utilizó la solución nutritiva de Steiner con -72 kPa (Cuadro 1); las concentraciones de micronutrientes fueron ( $mg L^{-1}$ ): 4, 0.865, 1.6, 0.023 y 0.011 de Fe, B, Mn, Zn y Cu. El pH de las tres soluciones se les ajustó el pH a 5.5 con  $H_2SO_4$  o NaOH según sea el caso.

**Cuadro 1. Soluciones nutritivas utilizadas en la producción de chile huacle**

<b>Nitratos</b>	<b>Fosfato</b>	<b>Sulfatos</b>	<b>Amonio</b>	<b>Potasio</b>	<b>Calcio</b>	<b>Magnesio</b>
$\text{NO}_3^-$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{+2}$	$\text{Mg}^{+2}$
<b>cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup></b>						
<b>11.9433</b>	0.9953	7.0515	-	6.9966	8.9955	3.998
<b>11.7532</b>	0.9794	6.9394	1.4692	6.371	8.1912	3.6406
<b>11.5691</b>	0.9641	6.8306	2.8923	5.7651	7.4121	3.2943

### **6.3. Diseño experimental**

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 × 3. Los factores a evaluar fueron: variedades (rojo y negro) y concentraciones de amonio en la solución nutritiva de Steiner (0, 1.4692 y 2.89, cmol<sub>c</sub>L<sup>-1</sup>), de tal manera que se conformaron seis tratamientos, cada uno con 10 repeticiones, la unidad experimental estuvo constituida por una planta.

### **6.4 Variables a evaluar**

Las variables a evaluar en la planta fueron: altura de la planta (cm), se realizó al final del experimento, utilizando una cinta métrica, la cual se colocó en la base de la planta hasta el ápice. Para el peso fresco y seco de la planta se tomó una

muestra de cuatro plantas por tratamiento, el secado se hizo en una estufa de aire forzado a 72 °C hasta peso constante y los peso en una balanza digital marca OHAUS (0.1 g).

Al término del ciclo de cultivo se sacaron las plantas de las macetas, se lavó la raíz para eliminar el sustrato, se quitó el exceso de humedad, se colocó en una superficie plana se midió la longitud de la raíz y el peso fresco, posteriormente las muestras se metieron a secar a en una estufa de aire forzado a 72 °C hasta peso constante.

En relación al fruto se determinó el número de frutos por planta (por conteo) y se cuantificaron los gramos de chile por planta, utilizando una balanza digital marca OHAUS (0.1 g), ambas variables se cumplieron hasta el final del ciclo productivo. El largo y ancho de frutos se midió en mm con un vernier marca Truper colocándolos en una superficie horizontal plana, la longitud se tomó de la base al ápice del fruto, sin considerar el pedúnculo; el ancho del fruto se midió en la parte de mayor amplitud (hombros del fruto), según la norma oficial mexicana NMX-FF-107/1-SCFI-2014. La longitud del pedúnculo se llevó a cabo con un vernier, colocándolo en la base del fruto hasta la punta del mismo, el ancho de este en la parte media (mm).

También se determinó la variable número de semillas, para lo cual se tomó una muestra de cinco frutos por planta y se obtuvo el promedio. El grosor del pericarpio se valoró haciendo un corte longitudinal del chile y se midió en su parte

media, con un vernier (Truper). Se hizo una clasificación de los chiles en cuanto a la forma del pedúnculo: recto, curvo y tipo bastón.

El peso fresco y seco de los frutos, en gramos, se estimó con una balanza granataría marca OHAUS (0.1 g). Para el peso seco, los frutos se colocaron en la estufa de aire forzado Thermo Fisher Scientific 72 °C en bolsas de papel, hasta peso constante.

Se midieron algunas variables organolépticas: para el porcentaje de sólidos solubles se tomaron 100 g de chile fresco sin semilla y se obtuvo su jugo en un extractor marca Moulinex, la lectura se hizo con un refractómetro 0–32 % Brix. Para el caso de pH se aplicó la metodología señalada en la NMX-F-317-S-1978, empleando un extractor marca Moulinex se obtuvo el jugo de 100 g de chile fresco sin semilla, se disolvió en 20 ml de agua destilada y se midió el pH con un potenciometro CONDUCTRONIC PC18.

Se determinó la concentración de macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio., en hojas (jóvenes completamente expandidas) y frutos (maduros), de dos variedades de chile huacle (negra y roja).

Las muestras correspondientes se secaron en una estufa con circulación forzada de aire a 70°C hasta peso constante, se molieron, y se pesaron en una balanza OHAUS, con aproximación de 0.1 gr; posteriormente se realizaron los análisis químicos correspondientes: El nitrógeno total se determinó mediante el método microkjeldahl (Bremmer, 1965). El resto de los nutrientes se extrajeron mediante una digestión húmeda, con una mezcla de HNO<sub>3</sub> y HClO<sub>4</sub> (CSTPA, 1980) y su

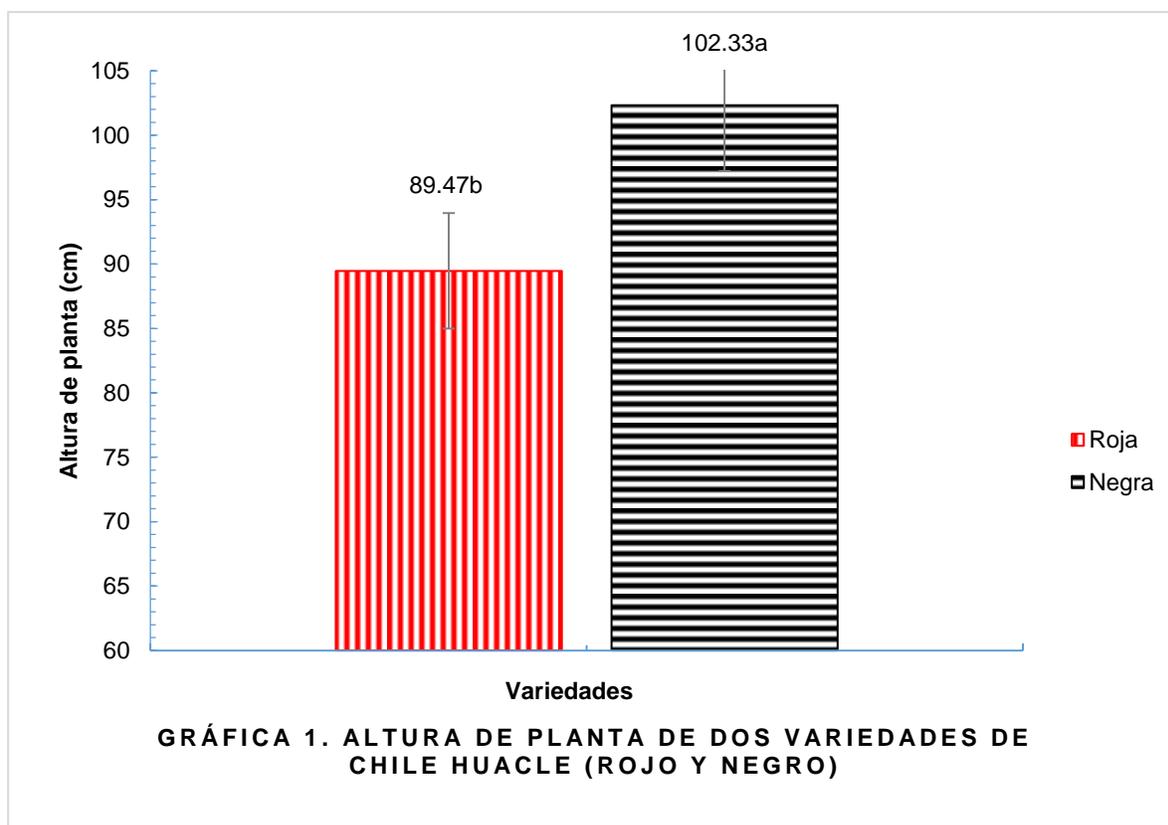
cuantificación se realizó con un espectrofotómetro de inducción con plasma acoplada (ICP-AES), marca Varian.

La interpretación estadística de las variables del crecimiento y de la concentración de nutrimentos en hojas y frutos se hizo mediante un análisis de varianza. La comparación de medias de los efectos principales fue con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Para el análisis se utilizó el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1985).

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

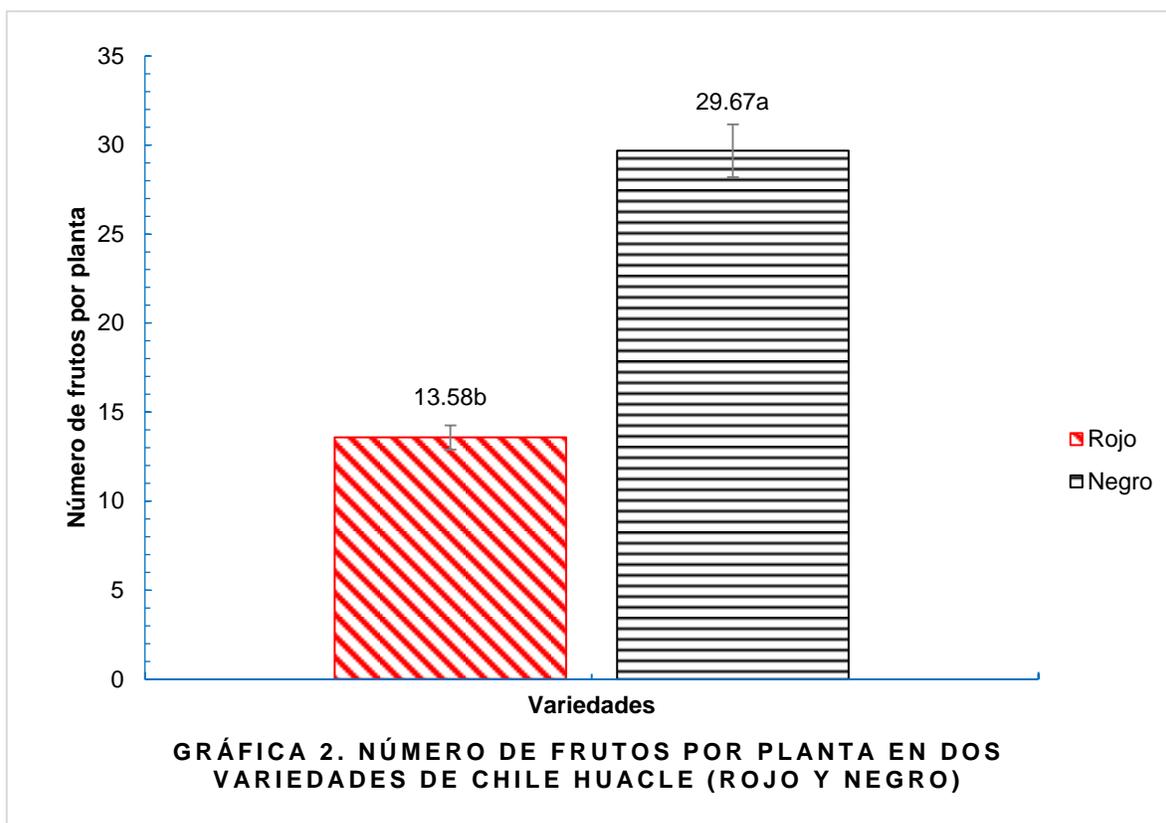
### 7.1. Variables de crecimiento en planta y fruto

Al llevar a cabo el análisis de varianza para la variable altura de planta se observaron diferencias significativas entre las variedades (roja y negra) con un coeficiente de variación de 14.11, en la que destacó la variedad de color negro (102.33) con una diferencia de 12.86 cm lo que representa un 14.37% más alta que la variedad roja (89.477) (Gráfica 1). Resultados similares fueron obtenidos por Espinosa (2011) al evaluar la variedad de color negro a cuatro soluciones nutritivas en cultivo sin suelo y bajo invernadero, logrando una media de 105.78 cm de altura de planta en su mejor tratamiento. Por otra parte López y Pérez (2015) obtuvieron mejores resultados que en el presente trabajo obteniendo un



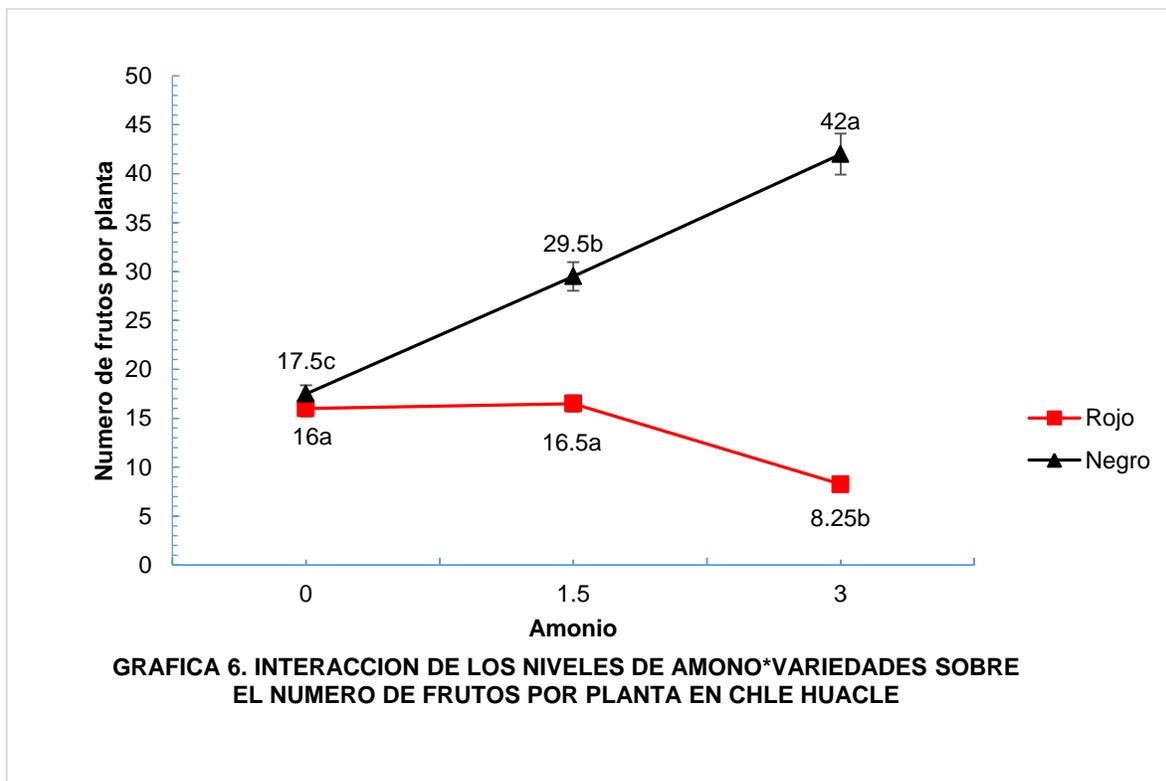
valor de 178 cm para esta variable en la variedad negra.

En cuanto al factor variedad de chile huacle, roja o negra; el análisis de varianza mostró que existieron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.001$ ) para la variable número de frutos por planta variedad (negra y rojo de chile huacle) Al realizar la comparación de medias con la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ), se observa que la variedad de color negro logró un total de 29.67 frutos y la variedad de color rojo un total de 13.58 frutos (Gráfica 2). En la misma gráfica se destaca que la variedad de color negro superó en número de frutos por planta a la variedad roja en 16.1 frutos lo que representa un 118.48% más. Estos resultados superan a los obtenidos por Langlé (2011) quien logro una media de siete frutos por planta en su mejor tratamiento quien evaluó la respuesta del chile huacle (*Capsicum annuum*



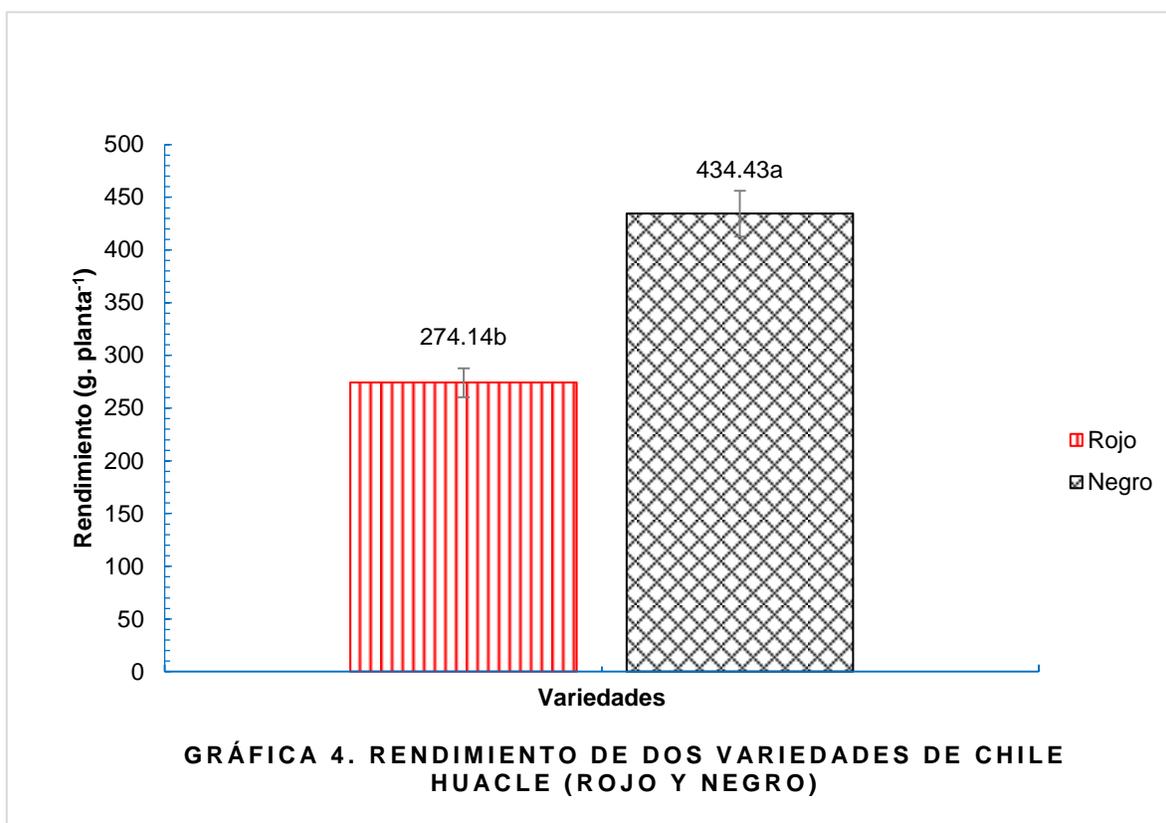
L.) a diferentes densidades de podas bajo manejo intensivo en invernadero usando la variedad de color negro. Espinosa (2011) logró un mejor resultado al evaluar la respuesta del chile huacle (*Capsicum annuum* L.) en cuatro soluciones nutritivas en cultivo sin suelo y bajo invernadero, al utilizar la solución nutritiva Urrestarazu (2004) alcanzando una media de 71.60 para la misma variable para frutos de color negro.

Al realizar la comparación de medias con la prueba de Sheffe ( $\alpha \leq 0.05$ ) existen diferencia significativas para la interacción var\*amonio sobre el número de frutos por planta. En la Gráfica 3 se muestra que el tratamiento más sobresaliente en la variedad de color negro en relación a la concentración de amonio en la solución nutritiva es la de  $3.0 \text{ cmol}_{c+} \text{ L}^{-1}$  con un promedio de 42 frutos por planta. La



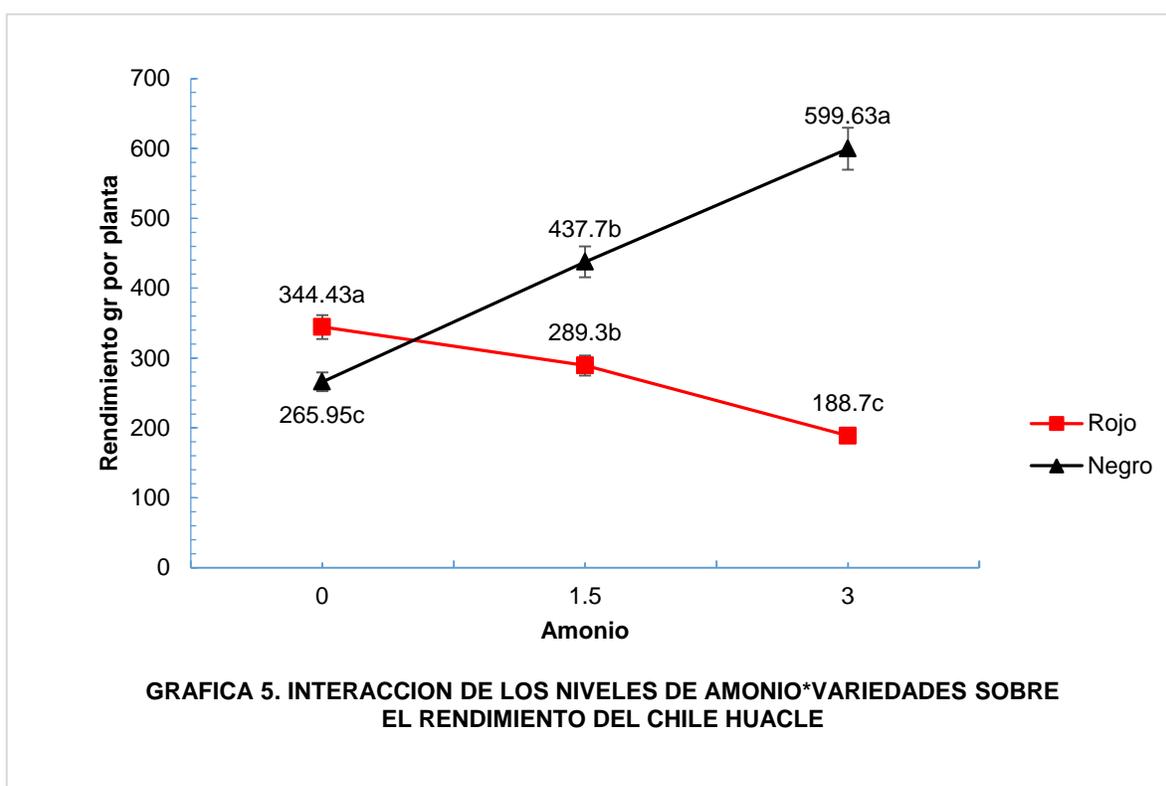
variedad roja responde a soluciones nutritivas sin amonio y a una concentración media de amonio ( $1.5 \text{ cmol}_{c+} \text{ L}^{-1}$ ) con un promedio de 16.25 frutos por planta, concentraciones altas de amonio en la solución nutritiva reducen el rendimiento de chile huacle variedad roja, en un 50 %.

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias significativas para la variable rendimiento expresado en  $\text{g.planta}^{-1}$ . Al hacer comparación de medias con la prueba Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) se observa el mayor rendimiento en la variedad de color negro alcanzando un valor de  $434.43 \text{ g. planta}^{-1}$  y la variedad de color rojo con un menor rendimiento ( $274.14 \text{ g. planta}^{-1}$ ) (Gráfica 4). Al comparar estos resultados existió una diferencia de 160.29 g entre las variedades, lo que



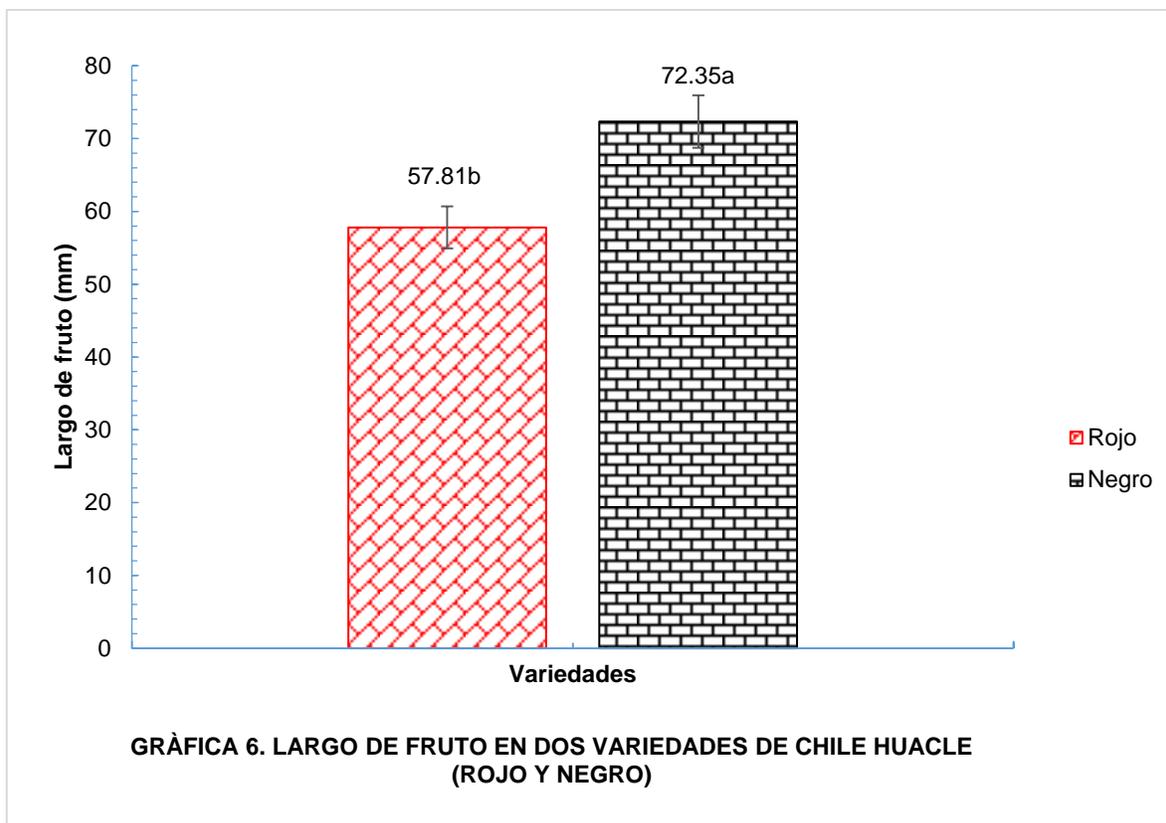
representa un 58.47% más de rendimiento en la variedad negra. Los resultados obtenidos en el presente trabajo superan a los encontrados por Espinosa (2011) quién evaluó la respuesta del chile huacle (*Capsicum annuum* L.) a cuatro soluciones nutritivas en cultivo sin suelo y bajo invernadero, quien consiguió un rendimiento de 229.62 g. planta<sup>-1</sup>, resultado similar obtuvo Langlé (2011) al manejar diferentes densidades de plantación y podas bajo manejo intensivo en invernadero con una media de 230.75 g.planta<sup>-1</sup>, ambos usando la variedad de color negro.

En la Gráfica 5 se observa que existieron diferencias significativas para la interacción variedad por amonio, Sheffe ( $\alpha \leq 0.05$ ) cabe señalar que el mayor rendimiento se logró con un suministro de amonio de 3 cmol<sub>c+</sub> L<sup>-1</sup> en la solución



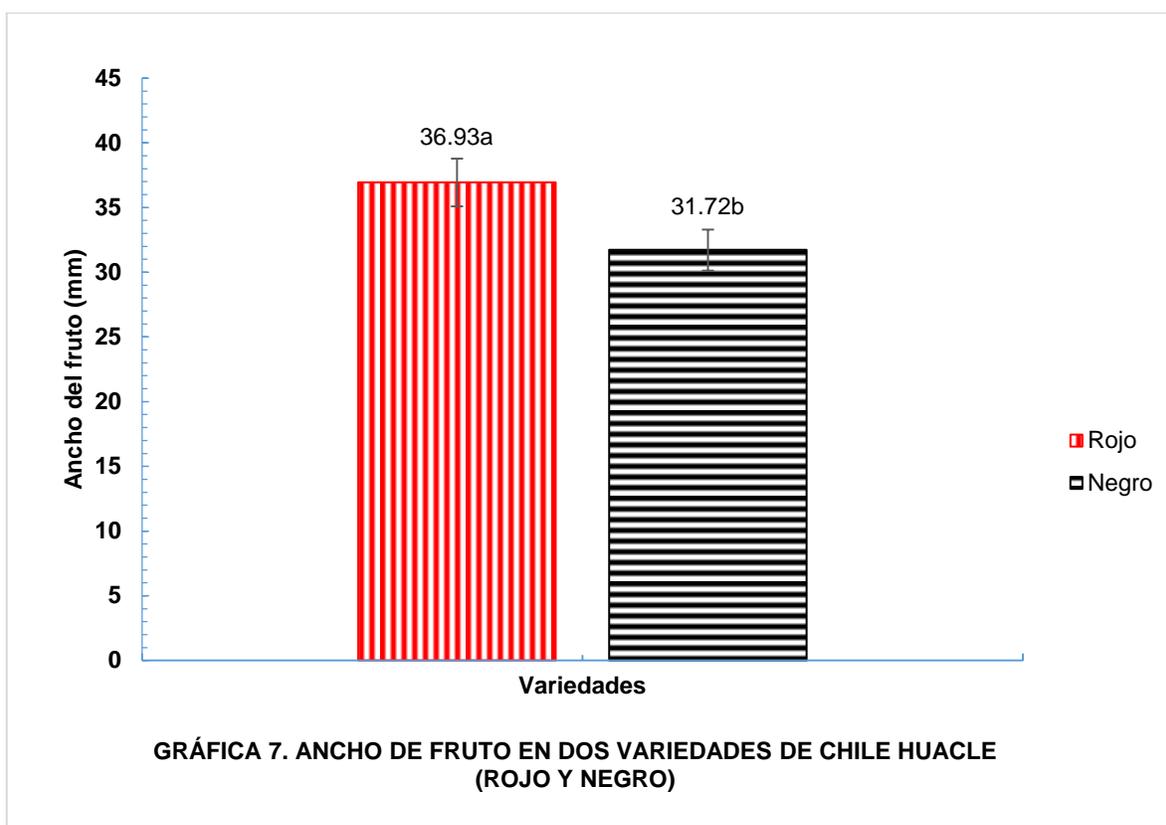
nutritiva, en la variedad de chile huacle de color negro. Sin embargo la variedad de color rojo responde a una solución nutritiva sin amonio, con concentración alta de amonio en la solución disminuyo el rendimiento en un 54.1

El análisis de varianza mostró diferencias significativas para la variable largo de fruto (mm), con un coeficiente de variación de 16.95. En la comparación de medias de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) para el factor variedad de chile huacle, los mejores resultados fueron los obtenidos por la variedad de color negro con un largo de 72.35 mm mientras tanto la variedad de color rojo logro un tamaño de 57.81 mm (Gráfica 6). Estos resultados son parecidos a los que alcanzo Langlé (2011) en su trabajo realizado en chile huacle utilizando diferentes densidades de plantación y podas bajo manejo intensivo en invernadero quien consiguió una media de 70.6 mm en la variedad de color negro. Pero superiores a los que encontró Espinosa (2011) al evaluar la respuesta del chile huacle (*Capsicum annuum* L.) a cuatro soluciones nutritivas en cultivo sin suelo y bajo invernadero, usando el genotipo de color negro obteniendo una media de 50.96 mm en su mejor tratamiento, dicho autor obtuvo resultados similares a Cruz (2015) quien al evaluar el comportamiento de genotipos de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) con fertilización orgánica en invernadero logro una media de 55 mm para el genotipo de color negro, además al usar el genotipo de color rojo alcanzó una media de 88.5 mm de longitud, valor que es mayor al obtenido en esta investigación para este color (Gráfica 6).



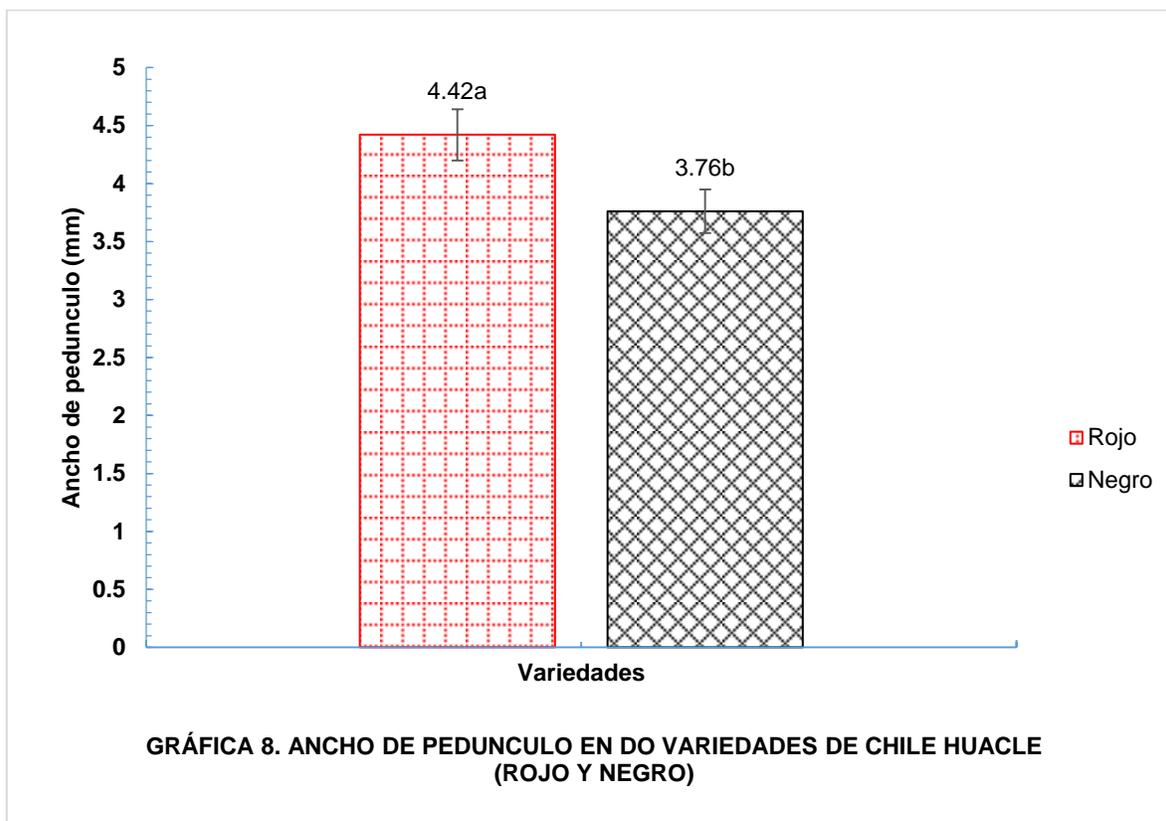
El análisis de varianza indicó que existen diferencias significativas con un coeficiente de variación de 7.98, para la variable ancho de fruto (mm) en relación a la variedad de chile huacle. La comparación de medias, Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ), de las variedades de chile huacle (roja y negra), confirma lo antes dicho (Grafica 7), en la cual sobresale la variedad de color rojo con una media de 36.93 mm y la variedad de color negro con un valor de 31.72 mm). En esta misma gráfica observamos que entre la variedad de color rojo y la variedad de color negro existió una diferencia de 5.21 mm lo que representa un 16.42% más de ancho. Cruz (2015) al evaluar el comportamiento de genotipos de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) con fertilización orgánica en invernadero y Langlé (2011) al comparar la respuesta del chile huacle (*Capsicum* spp.) a diferentes densidades de

plantación y podas bajo manejo intensivo en invernadero lograron resultados superiores a esta investigación con valores similares 56.3 y 54.49 mm respectivamente para la variedad de color negro, de la misma manera Espinosa (2011) superó a este trabajo obteniendo una media de 42.58 mm al utilizar cuatro soluciones nutritivas en cultivo sin suelo y bajo invernadero, en la variedad de chile huacle color negro. Para la variedad de color rojo los resultados obtenidos en el presente trabajo superan a los que encontró Cruz (2015) en donde la media obtenida fue de 29.6 mm para esta variable.



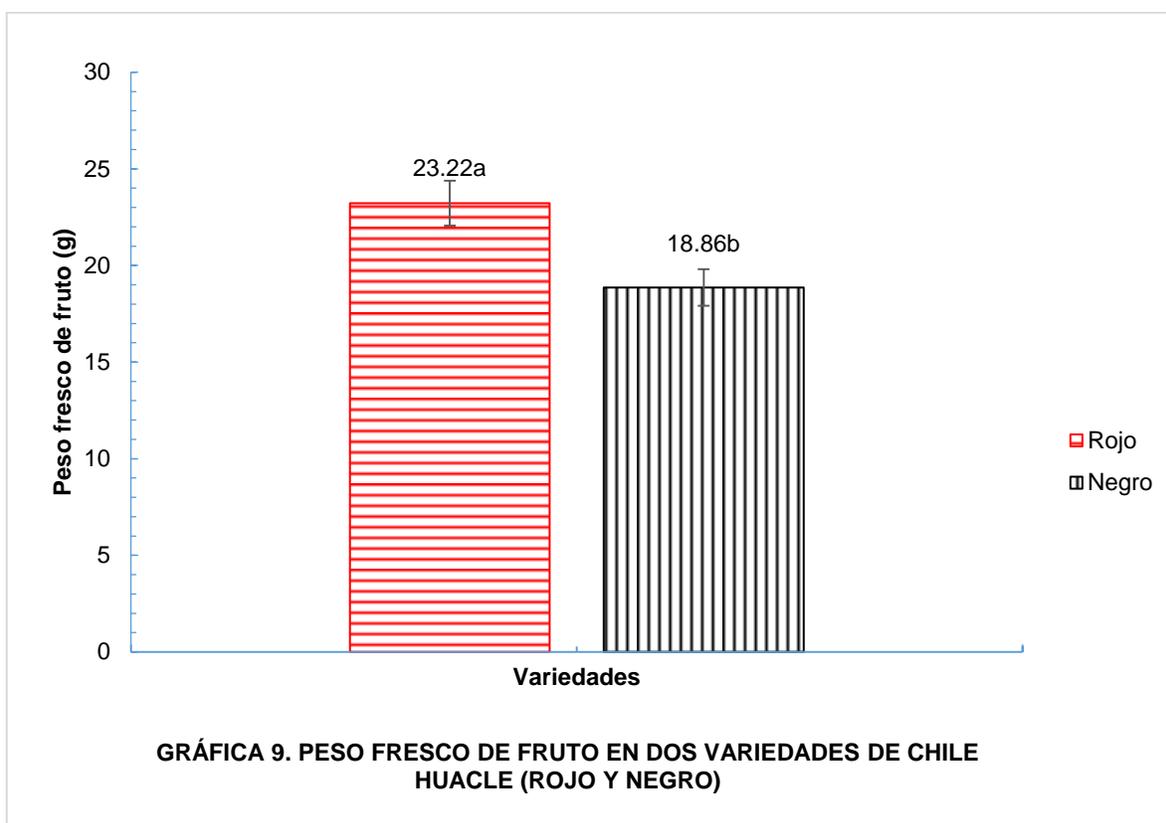
Al realizar el análisis de varianza se observan diferencias significativas con un coeficiente de variación de 11.86, en el factor variedad de chile, para la variable ancho de pedúnculo (mm). Al comparar las variedades de chile huacle con la

prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ), la Gráfica 8 destaca la variedad color rojo con un valor de 4.42 mm, con respecto a la variedad de color negro con una media de 3.76 mm, existiendo una diferencia de 0.66 mm lo que representa un 17.55% más.



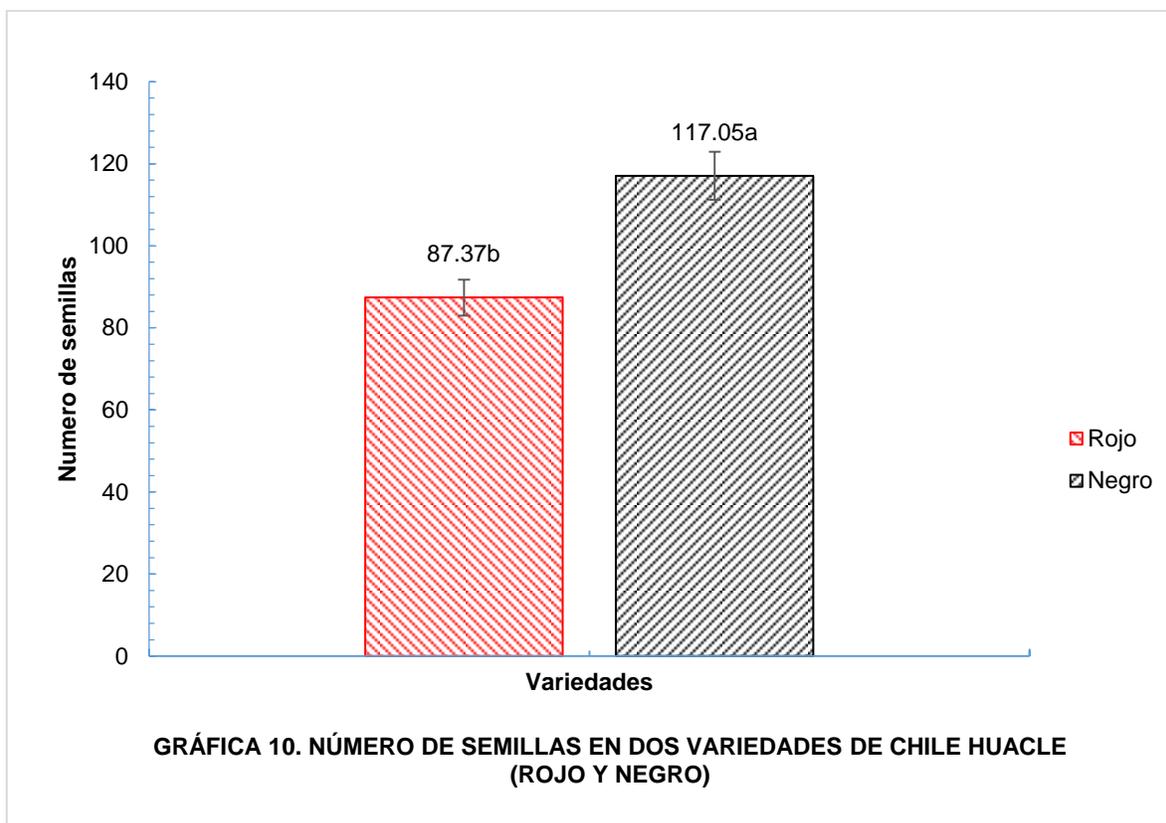
Para la variable de peso fresco de fruto (g) se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con la prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ). En el análisis de varianza se encontró lo mismo, con un coeficiente de variación de 20.08. Siendo mayor el peso fresco de frutos de la variedad de color rojo con un valor de 23.22 g, superando a la variedad de color negro quien alcanzo un peso de 18.86 g. Es necesario mencionar que existe una diferencia de 4.36 g entre las variedades, igual a un 23.12% más. Cruz (2015) quien evaluó del comportamiento de genotipos de Chile huacle (*Capsicum*

*annuum* L.) con fertilización orgánica en invernadero logro resultados similares en el genotipo de color rojo con una media de 22.38 g y resultados sobresalientes con respecto a los aquí presentados para la variedad de color negro mostrando una media de 44.38 g de peso fresco de fruto, de igual Espinosa (2011) utilizando cuatro soluciones nutritivas en cultivo sin suelo y bajo invernadero obtuvo mayores valores para esta variable con una media de 24.86 g usando la variedad de color negro (Gráfica 9).

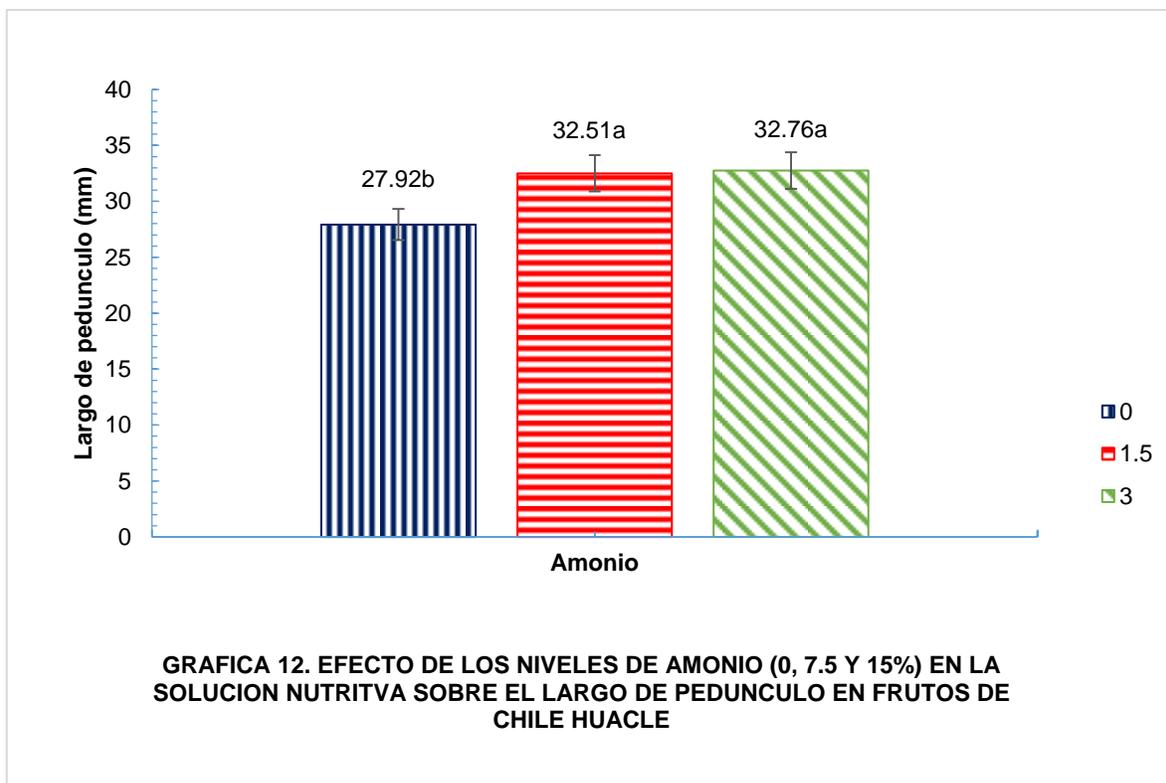


En la variable de número de semillas al realizar el análisis de varianza podemos observar que entre la variedad de color rojo y la de color negro existen diferencias significativas con un coeficiente de variación de 22.27. Al comparar la media de los tratamientos Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) se determinó que la variedad de color negro fue

la que sobresalió con un valor de 117.05 semillas, mientras la de color rojo presento 87.37 semillas en promedio (Gráfica 10).



Al realizar el análisis de varianza para la variable largo de pedúnculo se observa que existieron diferencias significativas, con un coeficiente de variación de 10.43. Al comparar los tratamientos con la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ). Se destaca a los chiles tratados con amonio como aquellos que tuvieron un pedúnculo de 4.71 mm más largo que los que se regaron con la solución sin amonio lo que se representa un 16.87% (Gráfica 11).



## 7.2. Variables organolépticas

En el Cuadro 2 se muestran las variables organolépticas medidas en el fruto del chile huacle, para la variedad roja se obtuvo un rango de pH de 4.56 - 4.71 y para la variedad de color negra un rango de 4.75-4.86, ambas variedades presentan un pH ácido que varió entre 4.5 y 4.8. Para los °Brix se logró un rango de 9-10.2 para la variedad de color rojo y en la variedad negra un rango de 8.2-9.5 °Brix. Espinosa (2011) utilizando la variedad de chile huacle negra en cuatro soluciones nutritivas en cultivo sin suelo y bajo invernadero logró un rango de °Brix de 5.21-11.11. Por otra parte Langlé (2011) al evaluar el chile huacle a diferentes densidades de plantación y podas bajo manejo intensivo en invernadero consiguió un rango de 10.8-13.6 °Brix utilizando la variedad de color negro. Cabe señalar

que los resultados obtenidos en este trabajo son similares a los de los autores ya mencionados.

**Cuadro 2. pH y grados °Brix en muestra de 100 g de chile huacle (*Capsicum annuum*) en dos variedades con tres niveles de amonio en la solución nutritiva de Steiner.**

<b>Variedad</b>	<b>Amonio (<math>\text{cmol}_{\text{c}+} \text{L}^{-1}</math>)</b>	<b>Peso de la muestra (g)</b>	<b>Agua destilada (ml)</b>	<b>pH</b>	<b>° Brix</b>
<b>Roja</b>	0	100	20	4.6	10.2
<b>Roja</b>	1.5	100	20	4.7	9
<b>Roja</b>	3	100	20	4.5	10
<b>Negra</b>	0	100	20	4.8	8.2
<b>Negra</b>	1.5	100	20	4.7	9.2
<b>Negra</b>	3	100	20	4.8	9.5

pH = se aplicó la metodología señalada en la NMX-F-317-S-1978, se toma el jugo de 100 g de muestra de chile sin semilla y se disolvió en 20 ml de agua destilada y se realizó la medición. ° Brix = se colocaron dos gotas de jugo en un refractómetro 0–32 % Brix.

### **7.3. Concentración de nutrimentos en hoja y fruto de dos variedades de chile huacle cultivados con tres niveles de amonio**

En el Cuadro 3 no se encontraron diferencias significativas en el análisis de varianza para el factor de variedades (roja y negra) de chile, en relación a las concentraciones de N total, K, Ca y Mg, en las hojas, excepto para la concentración de P. En relación al contenido nutrimental en fruto, el análisis de varianza no muestra diferencias significativas para los factores en estudio (variedades, niveles de amonio e interacciones) excepto para la concentración de  $\text{PO}_4$  en las variedades e interacciones.

**Cuadro 3. Concentración de nutrimentos en hoja y fruto de dos variedades de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) y tres niveles de amonio de la solución nutritiva de Steiner.**

<b>HOJAS</b>					
<b>FACTORES</b>	<b>N total</b>	<b>PO<sub>4</sub></b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>
<b>VARIEDAD</b>			<b>%</b>		
<b>Roja</b>	3.59a NS	0.12a *	5.96a NS	1.18a NS	1.77a NS
<b>Negra</b>	3.88a	0.08b	5.60 <sup>a</sup>	1.19a	1.73 <sup>a</sup>
<b>AMONIO (cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>					
<b>0</b>	3.50a NS	0.09a NS	5.99a NS	1.21a NS	1.83a *
<b>1.5</b>	3.77a	0.11a	5.82a	1.18a	1.79ab
<b>3.0</b>	3.94a	0.08a	5.53a	1.15a	1.62b
<b>VAR*AMONIO</b>	NS	NS	NS	NS	*
<b>CV</b>	17.41	53.46	17.69	12.69	10.21
<b>FRUTOS</b>					
<b>FACTORES</b>	<b>N total</b>	<b>PO<sub>4</sub></b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>
<b>VARIEDAD</b>			<b>%</b>		
<b>Roja</b>	3.33a NS	0.37a *	4.69a NS	0.20a NS	0.40a NS
<b>Negra</b>	3.26a	0.23b	4.85a	0.21a	0.39a
<b>AMONIO cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup></b>					
<b>0</b>	2.87a NS	0.30a NS	4.86a NS	0.21a NS	0.39a NS
<b>1.5</b>	4.18a	0.33a	4.64a	0.20a	0.39a
<b>3.0</b>	2.83a	0.28a	4.81 <sup>a</sup>	0.21a	0.40a
<b>VAR*AMONIO</b>	NS	**	NS	NS	NS
<b>CV</b>	32.60	18.27	13.53	5.51	17.30

## 8. CONCLUSIONES

1. La variedad de Chile huacle de la variedad negra mostró un mayor número de frutos y por lo tanto un mayor rendimiento por planta, que la variedad roja. Sus frutos son más largos pero menos anchos y tienen un mayor número de semillas que la variedad roja.
2. Los frutos del Chile huacle variedad roja tuvieron un mayor peso fresco, un pedúnculo más grueso y son más anchos pero menos largos, que los frutos de la variedad negra.
3. Las diferencias que existieron fueron por efecto del factor variedad no por efecto del factor concentración de amonio en la solución nutritiva, ni por la interacción de los factores.
4. A pesar de que los niveles de amonio fueron muy altos el sustrato amortiguó la absorción de amonio, y se evitó el efecto tóxico debido al amonio, así como la existencia de diferencias entre los tratamientos por efecto de este nutriente.
5. El sustrato interfirió en la respuesta del Chile huacle al suministro de amonio en la solución nutritiva, debido a que este tiene una capacidad de intercambio catiónico alta que le confiere capacidad de amortiguamiento sobre el abastecimiento de cationes a la planta. Por esta razón no hubo respuesta de las variables de rendimiento y calidad a la aplicación de amonio en la solución nutritiva.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar R., V. H.; Corona T., T.; López L., P.; Latournerie M., L.; Ramírez M., M.; Villalón M., H.; J. A. Aguilar C. (2010) Los chile de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 108 p.
- Asorena M., J. (1994) Sustratos. Propiedades y caracterización. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 172 p.
- Azcon-Bieto, J. y Talón, M. (2000) Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamericana. Barcelona, España. 522 p.
- Barranco R., T. (2016) Caracterización fenotípica de Chile huacle (*Capsicum annum* L.) bajo condiciones de agricultura orgánica y agricultura convencional en invernadero. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad laguna. División de carreras agronómicas. Torreón, Coahuila. 75 p.
- Bar-tal, A; Aloni, B; Karni L; and Rosenberg R. (2001) Nitrogen nutrition of greenhouse peper. II. Effects of nitrogen concentration and  $\text{NO}_3\text{:NH}_4$  ration on growth transpiration, and nutrient uptake. HortScience, Vol. 36. 1252-1259 pp.
- Bastida T., A. (2002) Sustratos hidropónicos. Serie de publicaciones Agribot. Chapingo, México. 72 p.

- Bittsánszky, A., Pilinszky, K., Gyulai, G. and Komives, T. (2015) Overcoming ammonium toxicity. *Plant Science*. 184-190 pp.
- Bosch, P., y Schifter, I. (1988) La zeolita una piedra que hierve. La ciencia desde México. Fondo de Cultura Económica. 82 p.
- Bremmer, J.M. (1965) Total nitrogen pp.1149-1178. *In*:C.C. Black (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9.* American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- Bugarín M., R; Baca C., G.A; Martínez H., J.J; Martínez G., A; Tirado T., J.L. (1998) Amonio/nitrato y concentracion ionica total de la solución nutritiva en crisantemo. *Terra*.
- Carlino, J.L. (1998) Evaluation of zeolite-based soilless root media for potted *Chrysanthemum* production. *Hortecology*, Vol. 8. 373-378 pp.
- Castellón M., E.; Carrillo R., J. C.; Chávez S., J. L.; Vera G., A. M. (2014) Variación fenotípica de morfotipos de chile (*Capsicum annum* L.) nativo de Oaxaca, México. *Phyton* , Vol. 83. 225-236 pp.
- 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. Memoria de la Cuarta Convención Mundial de Chile.
- Chaparro T., L. A.; Sánchez, A.; Guzmán, M.; Valenzuela, J. L. (2009) La relación de Ca/K en el fertirriego. Su efecto sobre la calidad de frutos de tomate

(*Lycopersicon esculentum* Mill cv. Raf). III Jornadas del Grupo de fertilización de la SECH. 35-41 pp.

Cruz C., E.; Can C., A.; Bugarín M., R.; Pineda P., J.; Flores C., R.; Juárez L., P.; Alejo S., G. (2014) Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. Revista Fitotecnia México, Vol. 37. 289-295 pp.

Cruz C., E.; Sandoval V., M.; Volke H., V. H.; Can C., A.; Sánchez E., J. (2012) Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Vol. 3. 1361-1373 pp.

Cruz F., S. (2015) Evaluación del comportamiento de genotipos de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) con fertilización orgánica en invernadero. Para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad laguna. División de carreras agronómicas. Torreón, Coahuila. 57 p.

De Grazia, J.; Tiftonell, P. A.; Chiesa, A. (2007) Efecto de sustratos de compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*). Ciencias e Investigación Agrarias, Vol. 34. 195-204 pp.

De Rijck, G. and Schrevens, E. (1997) Elemental bioavailability in nutrient solutions in relation to dissociation reactions. Journal of Plant Nutrition, Vol. 20. 901-910 pp.

- De Rijck, G. and Schrevens, E. (1997a) pH influenced by the mineral composition of nutrient solutions. *Journal of Plant Nutrition*, Vol. 20. 911-923 pp.
- Echavarri P., A. (1991) Las zeolitas del estado de Sonora, p 62-85. *In*: F.G. Rodríguez y J.A. González (eds). *Memorias de la 3ra. Conferencia Internacional sobre Ocurrencia, Propiedades y Usos de las zeolitas naturales*. La Habana, Cuba.
- Espinosa R., M. (2011) 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. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad-Oaxaca. Instituto Politécnico Nacional. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. 61 p.
- Esteban, R., Ariz, I., Cruz C. and Moran J.F. (2016) Review: Mechanisms of ammonium toxicity and the quest for tolerance. *Plant Sci*, Vol. 248. 92-101 pp.
- Esteban, R; Ariz, I.; Cruz, C.; Moran, J.F. (2016) Mechanisms of ammonium toxicity and the quest for tolerance. *Plant Science*, Vol. 248. 92-101 pp.
- Forde, B.G. and Clarkson, D.T. (1999) Nitrate and ammonium nutrition of plantas: Physiological and molecular perspectives. *Ad. Bot. Res*, Vol. 30. 1-90 pp.
- Gottardi, G. and Galli, E. (1985) Natural zeolites. p 1-285. *In*: P.J. Wyllie (eds). *Minerals and Rocks*. N. York, USA.

- Goyal, S.S. and Huffaker, R.(1984) Nitrogen toxicity in plants. pp. 97-117 *In:* Hauck, R.D. (ed). Nitrogen in crop production A.S.A. Madison, Wisconsin U.S.A.
- Guo, S; Brück, H; and Sattelmacher, B. (2002) Effects of supplied nitrogen on growth and water uptake of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. *Plant soil*, Vol. 239. 267-275 pp.
- Jeong, B.R. and Lee, E.J. (1999) Growth of plug seedlings of capsicum annuum as affected by ion concentration and NH<sub>4</sub>:NO<sub>3</sub> ration of nutrient solution. *Acta Horticulturae*, Vol. 481. 425-431 pp.
- Langlé A., L. A. (2011) Respuesta del Chile huacle (*Capsicum* spp.) a diferentes densidades de plantación y podas bajo manejo intensivo en invernadero. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad-Oaxaca. 39 p.
- Lara H., A. (1999) Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra*, Vol.17. 221-229 pp.
- Lara, H. A. (1998) Soluciones nutritivas para cuatro etapas fenológicas de jitomate. Tesis de Doctor en Ciencias, Colegio de posgraduados.
- Lea-Cox, J.D; Stutte, G.W; Berry, W.L. and Wheeler, R.M. (1999) Nutrient dynamics and pH/charge-balance relationships in.

- Linli Hu, Jihua Yu, Weibiao Liao, Guobin Zhang, Jianming Xie, Jian Lv, Xuemei Xiao, Bingli Yang, Ruohan Zhou, Ruifang Bu. (2015) Moderate ammonium:nitrate alleviates low light intensity stress in mini Chinese cabbage seedling by regulating root architecture and photosynthesis. *Scientia Horticulturae*, Vol. 186. 143–153 pp.
- López L., P. (2007) El Chihuacle: Un chile propio de la región Cañada de Oaxaca. *Revista Fundación Produce AC*. 7-19 pp.
- López L., P. y D. Pérez B. (2015) El Chile huacle (*Capsicum annuum* sp.) en el estado de Oaxaca, México. *Agroproductividad*, Vol. 8. 35-39 pp.
- López L, P., Rodríguez H, R., Bravo M, E. (2016) Impacto económico del chile huacle (*Capsicum annuum* L) en el Estado de Oaxaca. Séptima Época, Vol. 38. 317-327 pp.
- Mabberley, D. J. (2009) *Mabberley's plant-book : a portable dictionary of plants, their classification and uses*. Third edition. Cambridge Cambridge University Press. 1021 p.
- Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, 2<sup>nd</sup>. Edition, London.
- McClung de T., E y Zurita N., J. (1994) Las primeras sociedades sedentarias. Miguel Ángel Porrúa, México, D. F. 209-249 pp.
- Mejía de T., M. S.; Estrada S., E. I.; Franco P., M. M. (2007) Respuesta del tomate chonto cultivar Unapal Maravilla, a diferentes concentraciones de nutrientes. *Acta Agron (Colombia)*, Vol. 56. 75-83 pp.

- Mengel, K. y Kirkby E. A. (1978) Principles of plant nutrition. International potash institute.
- Ming, D.W. and F.A. Mumpton. (1989) Zeolites in soils, p. 873-911. In: J.B. Dixon and S.B. Weed (eds). Minerals in soil environments. 2nd ed Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wis.
- Molinos da Silva, C.; Villegas M., A.; Sánchez G., P.; Alcantar G., G.; Rodriguez M., M.N.; Ruíz P., L.M. (2004) Efecto del potencial osmótico y contenido de Ca en el medio de cultivo sobre la distribución de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ , producción de biomasa y necrosis apical de vid "R110". Interciencia, Vol. 29. 384-388 pp.
- Mumpton. (1960) Clinoptilolite redefinined. Am. Mineral, Vol. 45. 351-369 pp.
- Nakamura H. (1996) The pH-buffer action of water treated with silicate minerals. Acta Horticulturae, Vol. 440. 651-656 pp.
- Nus, J.L., and Brauen, S.E. (1991) Clinoptilolitic zeolite as an amendment for establishment of creeping bentgrass on sandy media. HortScience, Vol. 26. 117-119 pp.
- 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 pp.
- Ortega M., L. D.; Sánchez O., J.; Ocampo M., J.; Sandoval C., E.; Salcido R., B. A.; Manzo R., F. (2010) Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. Ra Ximhai, Vol. 6. 339-346 pp.

- Parra T. S.; Mendoza P., G.; Villareal R., M. (2012) Relación nitrato/amonio/urea y concentración de potasio en la producción de tomate hidropónico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Vol. 3. 113-124 pp.
- Parra T., S.; Salas N., E.; Villarreal R., M.; Hernández V., S.; Sánchez P., P. (2010) Relación nitrato/amonio/urea y concentraciones de potasio en la producción de plántulas de tomate. Revista Chapingo Serie Horticultura, Vol. 16. 37-47 pp.
- Preciado R., P. (2001) Fertigación nitrogenada, fosfórica y programa de riego en la producción del cultivo de melón. Tesis Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- Preciado R., P.; Baca C., G. A.; Tirado T., J. L.; Kohashi-Shibata, J.; Tijerina Ch., L. y Martínez G., A., (2004) Fertirrigación nitrogenada, fosfórica y programa de riego y sus efectos en melón y suelo. Terra, Vol. 22. 175-186 pp.
- Qian, Y.L., Koski,A.J., and Welton, R. (2001) Amending sand with isolite and zeolite under saline conditions:leachate composition and salt deposition. Hortscience, Vol. 36. 717-720 pp.
- Resh, H. M. (2001) Cultivos hidropónicos. 5a. Edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Rodríguez, O. (2015) El mole negro oaxaqueño, en “peligro de extinción. Milenio.
- Ruiz C., J. C. (2012) Evaluación de sustratos y su efecto en el desarrollo de dos colecta de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. P.). Tesis para obtener

el título de Ingeniero Agrónomo en Floricultura. Santa Ana Ixtlahuatzingo, Tenancingo, Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México, centro Universitario UAEM Tenancingo. 178 p.

Ruiz S., C. (2006) Efecto de a dosis y forma de colocación del potasio sobre la calidad física de frutos de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) almacenados a dos temperaturas. Rev. Fac. Agron. (LUZ), Vol. 23. 475-487 pp.

San Martín H., C.; Ordaz C., V. M.; Sánchez G., P.; Colinas L., M. T.; Borges G., L. (2012) Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. Agrocencias, Vol. 46. 243-254 pp.

Sarasketa A., González-Moro, M.B., González-Murua, C. and Marino, D. (2014) Exploring ammonium tolerance in a large panel of *Arabidopsis thaliana* natural accessions. J Exp Bot, Vol. 20. 6023-33 pp.

SAS Institute. (1985) Guide for personal computers. Versión 6.2. Cary, North Carolina.

Savvas, D. and Gizas, G. (2002) Response of hydroponically grown gerbera to nutrient solution recycling and different nutrient cation ratios. Scientia Horticulturae, Vol. 96. 267-280 pp.

Savvas, D., Karagianni, V., Kotsira, A., Demopoulo, V., Karkamisi, I., Pakou, P. (2003) Interactions between ammonium and pH of the solution supplied to

- gerbera (*Gerbera jamesonii*) grown pumice. Plant an soil, Vol. 254. 393-402 pp.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2013) Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <http://www.siap.gob.mx/>
- Sonneveld, C y W. Voogt. (2001) Chemical analysis in substrate systems and hydroponics-use and interpretation. Acta Horticulturae, Vol. 548. 247-259 pp.
- Sonneveld, C; Baas, R; Nijssen, H.M.C; and de Hoog, J. (1999) Salt tolerance of flower crops grown in soilless culture. J. Plant. Nutr, Vol. 22. 1033-1048 pp.
- Steiner, A. A. (1961) A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant and Soil XV. 134-154 pp.
- Steiner, A. A. (1968) Soilless culture. Proceeding of the 6th Colloquium of the Potash Institute. Florence, Italy.
- Steiner, A. A. (1973) The selective capacity of tomato plants for ions a nutrient solution. IWOSC Proceedings. The Netherlands. 43-53 pp.
- Steiner, A. A. (1976) The development of soilless culture and an introduction to the congress. Proceedings Fourth International Congress on Soilless Culture. Las palmas, The Netherlands. 21-37 pp.
- Steiner, A. A. (1984) The universal nutrient solution. pp.633-649. *In*: Proceeding of the 6th International Congress on Soilles Culture.ISOSC.Wageningen, The Netherlands.

- Travieso, N., Llabre, G., González J.A., Arcoya, A., y Sedane X.L. (1991) Propiedades tamiz molecular de formas intercambiadas de clinoptilolita natural. p 150-156. *In*: F.G. Rodríguez y J.A. González (eds). Memorias de la 3ra. Conferencia Internacional sobre Ocurrencia, Propiedades y Usos de las zeolitas naturales. La Habana, Cuba.
- Tucuch H., C. J.; Alcántar G., G.; Ordaz C., V. M.; Santizo R., J. A.; Larqué S., A. (2012) Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latinoamericana*, Vol. 30. 1. 9-15 pp.
- Urbina S., E.; Baca C., G.A.; Roberto N, E.; Colinas L., M. T.; Tijerina C., L. y Tirado T., J. L (2011) Zeolita como sustrato en el cultivo hidropónico de gerbera. *Terra Latinoamericana*. 387-394 pp.
- Urrestarazu, G. M. (2004) Manual de cultivos sin suelo. Mundi-Prensa. Almería. España. 113-144 pp.
- Valles R., G. J.; Lugo G., J. G.; Rodríguez G., Z. F. y Díaz T., L. T. (2009) Efecto del sustrato y la distancia de siembra entre plantas sobre el crecimiento de plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en un sistema hidropónico sin cobertura.
- Velasco H., e.; Miranda V., I.; Nieto A., R. y Villegas R., H. (2004) Evaluación de sustratos y variedades en la producción protegida de jitomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, Vol. 10. 2. 239-246 pp.

Villareal R., M.; García E., R. S.; Osuna E., T. y Armenta B., A. D. (2002) Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad postcosecha de tomate en fertirriego. Terra, Vol. 20. 311-320 pp.

Zúñiga E., L.; Martínez H., J. de J.; Baca C., G. A.; Martínez G., A.; Tirado T., J. L. y Kohashi S., J. (2004) Producción de chile pimiento en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas. Agrociencia, Vol. 38. 2. 207-217 pp.