

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



La Relación Nitrato/ Amonio y la Orientación de la Planta

Afecta el Crecimiento y Calidad de la Lechuga

(*Lactuca sativa* L.) en Sistema Aeropónico

Por:

**MARTIN RENDÓN VILLEGAS**

TESIS:

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México.

Febrero 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

La Relación Nitrato/ Amonio y la Orientación de la Planta

Afecta el Crecimiento y Calidad de la Lechuga

(*Lactuca sativa* L.) en Sistema Aeropónico

Por:

**MARTIN RENDÓN VILLEGAS**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar  
Asesor Principal



Dr. Armando Hernández Pérez  
Coasesor



Dra. Daniela Alvarado Camarillo  
Coasesor

  
Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación  
División de Agronomía  
Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2018

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres:

**Sebastián Martín Rendón y Cecilia Villegas** por haberme brindado su apoyo y cariño a pesar de las circunstancias presentadas. Por haberme compartido todo su tiempo y por la fe puesta en mi para lograr estar hasta donde estoy ahora. Gracias padres, por la confianza que me brindaron y la educación que me dieron y me hace ser una buena persona. Gracias por enseñarme a seguir los buenos pasos y consejos que me dieron. Por cuidarme a pesar de la distancia durante el tiempo que estuve lejos de casa.

A mis hermanos:

**Felipe Alejandro y Luis Octavio** gracias, por la motivación brindada, sus conocimientos y por saber que puedo contar con su apoyo en las situaciones difíciles que se presentan.

A mi **Alma Mater**:

Por permitirme formar parte de ésta institución de amplio reconocimiento nacional y mundial, en donde viví tanto mejores y no tan buenos momentos y así decir con orgullo **BUITRE POR SIEMPRE**.

Al Dr. **Luis Alonso Valdez Aguilar** por brindarme la oportunidad de trabajar con usted, por compartirme sus conocimientos y sabiduría, así como lo más importante: su amistad y confianza.

A mis amigas:

La ya **Dra. Daniela Alvarado Camarillo** y la ya **M.C. Eneida Velasco**, porque fueron una parte importante en el transcurso de mi estancia en la Universidad por que estuvieron guiándome por el camino correcto.

A todos mis amigos que estuvieron conmigo durante esta trayectoria:

**Abraham Zarazúa** por ser mi amigo y mi hermano en las malas y en las peores, **Erick Serrano**, **Cesar Augusto (los cerditos)**, **Víctor Emiliano (perry)** y **Jorge Luis (el viejito)**, el tiempo compartido con ustedes es mucho más que una simple amistad y fue un gusto ser compañero de ustedes.

## DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado para toda mi familia que creyó, confió en mí y que me apoyaron en todo momento para llegar hasta donde estoy ahora.

A mi padre **Sr. Sebastián Martín Rendón** porque en las malas y en las buenas y pese a los malos momentos es mi padre y sé que resulta difícil la tarea de ser padre pero poco a poco con el paso del tiempo uno mejora.

A mi madre **Sra. Cecilia Villegas** que es la mejor mujer que he conocido, porque sus consejos me han hecho ser una mejor persona ya que me ayudó en todo momento sin importar la situación.

Porque todo lo que soy y lo que tengo se los debo a ustedes

***MIS PADRES***

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	iv
DEDICATORIA .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE CUADROS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
I. INTRODUCCION.....	1
Justificación .....	4
Objetivos .....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
Hipótesis .....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Agricultura protegida.....	5
Cultivo de lechuga .....	5
Importancia de la lechuga.....	6
Nutrición mineral de plantas .....	6
Nutrición de plantas hortícolas.....	7
Nitrógeno .....	7
Nitrato / Amonio .....	7
Funciones de nitrógeno .....	8
Relación óptima Nitrato / Amonio .....	8
Antagonismo Nitrato / Amonio .....	9
Sistemas hidropónicos.....	10
Raíz flotante.....	10
Sistema NFT .....	10
Sistema en sustrato solido .....	11
Cultivo en macetas Bentley.....	11
Sistema de hidroponía vertical.....	12
Sistema en bolsas de cultivo (slabs) .....	12
Sistema NGS (New Growing System) .....	12

Sistema aeropónico .....	13
Aireación de solución nutritiva .....	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
IV. RESULTADOS .....	19
V. DISCUSIÓN.....	37
VI. CONCLUSIÓN.....	40
VII. LITERATURA CITADA .....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Efecto de concentración de $\text{NH}_4^+$ , posición de las plantas de lechuga, en la altura de plantas en un sistema aeropónico Ote=oriente. Pte=poniente. Sup=superior. ....	21
<b>Figura 2.</b> Efecto de concentración de $\text{NH}_4^+$ , ancho de las plantas de lechuga y posiciones en una unidad aeropónica. Ote=oriente. Pte=poniente. Sup=Superior. ....	22
<b>Figura3.</b> Efecto de concentración de $\text{NH}_4^+$ , posición de las pantas, en longitud de raíz de plantas de lechuga en un sistema aeropónico. Ote=oriente. Pte=poniente. Sup=superior. ....	23
<b>Figura 4.</b> Efecto de concentración de $\text{NH}_4^+$ , posición de las plantas de lechuga, en el volumen de raíz de lechuga en un sistema aeropónico. Ote=oriente. Pte=poniente. Sup=superior. ....	24
<b>Figura 5.</b> Efecto de la concentración de $\text{NH}_4^+$ , posición de las plantas, en la calidad visual de plantas de lechuga en un sistema aeropónico. Ote=oriente. Pte=poniente. Sup=superior. ....	26

**Figura 6.** Efecto de la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , posición de las camas de cultivo en la firmeza de la hoja vieja de plantas de lechuga de la unidad aeropónica. Ote=oriente. Pte=poniente. Sup=Superior ..... 27

**Figura 7.** Efecto de la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , posición de las camas de cultivo en la firmeza de la hoja joven en las plantas de lechuga en una unidad aeropónica. Ote= oriente. Pte= poniente. Sup=Superior. .... 28

**Figura 8.** Efecto de la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , posición de las camas de plantas de cultivo de lechugas en lecturas SPAD en plantas de lechuga en un sistema aeropónico. Ote=Oriente. Pte=Poniente. Sup=Superior. .... 29

**Figura 9.** Efecto de la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , posición de las camas de cultivo de lechuga en el peso fresco de hojas en un sistema aeropónico. Ote=Oriente. Pte=Poniente. Sup=Superior. .... 30

**Figura 10.** Efecto de la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , posición de las camas de cultivo de lechuga en peso fresco de raíz en un sistema aeropónico. Ote=Oriente. Pte=Poniente. Sup=Superior. .... 32

**Figura 11.** Efecto de la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , posición de las camas de un cultivo de lechuga en el peso fresco total de lechuga en un sistema aeropónico. Ote=Oriente. Pte=Poniente. Sup=Superior..... 33

**Figura 12.** Efecto de la concentración de  $\text{NH}_4^+$  posición de las camas de un cultivo en el balance parte aérea/raíz en fresco de plantas de lechuga en un sistema aeropónico. Ote=Oriente. Pte=Poniente. Sup=Superior. .... 34

**Figura 13.** Efecto de la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , posición de las camas en el cultivo de lechuga en el balance parte aérea/raíz en seco de plantas de lechuga en un sistema aeropónico. Ote=Oriente. Pte=Poniente. Sup=Superior. .... 35

**Figura 14.** Efecto de la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , posición de las camas de cultivo en el peso específico de las plantas de lechuga en un sistema aeropónico. Ote=Oriente. Pte=Poniente. Sup=Superior. .... 36

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Descripción de los tratamientos estudiados con diferentes niveles de $\text{NH}_4^+$ / $\text{NO}_3^-$ considerando su orientación.....	16
<b>Cuadro 2.</b> Variables evaluadas del cultivo de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.) en un sistema aeropónico bajo condiciones de invernadero. ....	17
<b>Cuadro 3.</b> Efecto de la proporción de $\text{NH}_4^+$ en la solución nutritiva y la interacción con la posición sobre las variables evaluadas en plantas de lechuga cultivadas en un sistema aeropónico. Leyenda de las variables como se indica en el cuadro 2.....	20
<b>Cuadro 4.</b> Efecto de la proporción de $\text{NH}_4^+$ en la solución nutritiva y la interacción con la posición de las plantas en las variables de peso fresco tanto en raíz como hoja en lechugas cultivadas en un sistema aeropónico. ....	29

## RESUMEN

En el siguiente estudio se desarrolló durante el ciclo de invierno-primavera del año 2017 en un invernadero experimental de media tecnología, perteneciente al departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila. El objetivo de este experimento fue evaluar el efecto de las diferentes concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  (amonio) en un sistema aeropónico en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Se evaluó el efecto de  $\text{NH}_4^+$  en lechugas orejonas de la variedad Lulú. El experimento se estableció mediante un diseño de bloques completamente al azar y fue constituido por un testigo absoluto el cual tuvo 6 meq de  $\text{NO}_3^-$  y 0 meq de  $\text{NH}_4^+$ , el segundo de los tratamientos 5.4 meq de  $\text{NO}_3^-$  (nitrato) y 0.6 meq de  $\text{NH}_4^+$ , en el tercer tratamiento tuvo un contenido de 4.2 meq de  $\text{NO}_3^-$ . Toda la planta seleccionada de cada uno de los tratamientos se evaluó la densidad de raíz, densidad de parte aérea, lecturas SPAD (clorofila), la longitud de raíz, altura de parte aérea, firmeza tanto de hojas viejas y jóvenes, balance parte aérea/raíz en fresco y seco. Esto con la finalidad de relacionar con el efecto del  $\text{NH}_4^+$ . Los estudios determinaron que el efecto del  $\text{NH}_4^+$  si influye en el desarrollo de las plantas de lechuga, y está relacionado con el efecto de diferentes concentraciones de  $\text{NH}_4^+$ .

Palabras clave: *Lactuca Sativa*, sistema aeropónico, nutrición mineral, cultivos sin suelo.

## I. INTRODUCCIÓN

La lechuga es una planta que se encuentra en estado silvestre principalmente en zonas templadas; sin embargo, actualmente se cultivan hibridaciones entre 9 especies. La lechuga es una planta anual con una raíz que no sobrepasa los 25 cm; las hojas de estas plantas están colocadas en roseta al principio, en algunos casos las hojas continúan de esta manera durante todo el desarrollo de la planta, pero en algunas variedades de estas plantas se acogollan más tarde. El limbo de las hojas en algunas variedades los bordes son lisos, ondulados o aserrados (Infoagro, 2017). Para la gastronomía de cualquier país o cultura, el mundo de las hortalizas es básico; dentro de estas hortalizas la lechuga es importante por la utilización en todo tipo de comida. Esta hortaliza tiene una gran demanda en la época actual por su equilibrio orgánico y su alto valor nutritivo. En la actualidad para mantener una vida saludable se ha elevado la demanda en el consumo de hortalizas por lo que ha crecido la producción de lechuga y así mismo las exportaciones, mayormente a los Estados Unidos (Barreiro, 1993).

La calidad visual de este cultivo depende principalmente de la nutrición mineral y del sistema de producción en la que es cultivado para el desarrollo de un cultivo el N (nitrógeno) es uno de los elementos más importantes, la función más importante del N es formar parte de las proteínas. En base a las formas minerales que hay se contemplan dos formas las cuales son  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  (Agromatica, 2014). La asimilación de N es aceptable en la mayor parte de las plantas ya que esta asimilación se produce por parte de la glutamina sintetasa (GS), la principal enzima para el metabolismo de  $\text{NH}_4^+$ , la glutamato

deshidrogenasa también puede actuar en la asimilación de  $\text{NH}_4^+$  y para altas concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  está involucrada la asparagina sintetasa. La asimilación de N no es la misma para las diferentes especies, por ejemplo, el tomate se desarrolla de manera muy pobre a altas concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  como la única fuente de N. Teóricamente el  $\text{NH}_4^+$  debería ser la mejor forma de N ya que no ocupa ser reducida antes de su incorporación en materiales orgánicos, en consecuencia, debería de ser la forma de N más eficiente, sin embargo el  $\text{NH}_4^+$  puede ser toxico en muchas plantas (Magalhaes y Huber, 1989).

Las raíces de las plantas asimilan el N en forma de  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NH}_4^+$  por lo general las plantas toman el N en forma de  $\text{NO}_3^-$  por las bacterias nitrificantes del suelo, sin embargo, en suelos anaeróbicos las plantas fijan en más cantidad el  $\text{NH}_4^+$ , cuando las dos formas de N están presentes depende de la variedad cultivada (Intagri,2017)

La incorporación de  $\text{NH}_4^+$  como sustituto de  $\text{NO}_3^-$  en cultivos establecidos en sustrato pueden asimilar otros cationes como lo son K (potasio), Ca (calcio) y Mg (magnesio), lo que se puede deber a la competencia entre cationes lo cual es causado por el  $\text{NH}_4^+$  con los demás cationes. Este efecto es dependiente de diferentes factores como lo es el tipo de cultivo, las condiciones en las que se encuentra el desarrollo y los ajustes que se realizaron el balance iónico de los nutrientes, por lo que se debe mantener cuidado en el uso de  $\text{NH}_4^+$  en cultivos en los cuales sean sensibles a las deficiencias de Ca. Sin embargo (Sonneveled y Voogt 2009) no solo depende del uso de  $\text{NH}_4^+$  sino también de las condiciones de las condiciones climáticas en las que se encuentran los

cultivos como los son altas temperaturas y baja humedad los cultivos como lo son tomates y pimientos bajo estas condiciones la asimilación de Ca resulta peligrosa, así como también el uso de  $\text{NH}_4^+$  (Sonneveled y Voogt 2009).

La hidropónia para la producción de plantas se realiza aprovechando al máximo los espacios como las azoteas, suelos infértiles, invernaderos climatizados o no. La hidropónia permite que el desarrollo de plantas mediante técnicas que se apoyan en sustratos o en sistemas en los cuales se aporta la solución nutritiva estáticas o circulantes sin perder las necesidades requeridas, como lo son la temperatura, agua, humedad y nutrimentos (Beltrano y Gimenez 2015).

El uso de un sistema aeropónico para la producción de plantas en ambiente protegido es una técnica muy avanzada para el cultivo de vegetales sin suelo que permite obtener aumentos en la producción. Las funciones de soporte y el abastecimiento de agua, así como también los nutrientes que normalmente desempeña el suelo se cumplen por la estructura de esta técnica de aeropónia (Infoagro 2017).

En hidropónia, las concentraciones óptimas de  $\text{NH}_4^+$  en soluciones nutritivas oscilan entre 5% a 10% en las soluciones nutritivas entre 5% a 10% total de N y difícilmente excederá un 15%. En cultivos como los rosales en etapa vegetativa pueden alcanzar hasta un 25%. La adición de  $\text{NH}_4^+$  ocurre durante el crecimiento del cultivo en combinación con el pH de la zona radicular. La incorporación de  $\text{NH}_4^+$  tiende a disminuir el pH por la activación de enzimas del catión ( $\text{NH}_4^+$ ) y una disminución de la absorción de ( $\text{NO}_3^-$ ) (Sonneveled y Voogt 2009).

## **Justificación**

En el presente experimento se pretende determinar la relación entre el  $\text{NH}_4^+$  y el  $\text{NO}_3^-$  óptimo para el cultivo de lechuga en un sistema hidropónico de aeroponía así como la posición de la planta en la estructura de este sistema.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Estudiar la interacción entre las diferentes concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva y las diferentes posiciones en la estructura del sistema aeropónico.

### **Objetivos específicos**

Evaluar la proporción del  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva en el comportamiento de la planta.

Evaluar el efecto de las diferentes posiciones de la estructura de aeroponía en el desarrollo de las plantas.

Evaluar la interacción entre las diferentes proporciones de  $\text{NH}_4^+$  y las diferentes posiciones de la estructura aeropónica.

## **Hipótesis**

El uso de diferentes proporciones de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva, así como la posición de la planta en la unidad aeropónica afecta la respuesta de las plantas de lechuga.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### **Agricultura protegida**

La agricultura protegida minimiza los efectos que imponen los fenómenos climáticos. La agricultura por naturaleza se asocia diferentes tipos de riesgos, de ahí surge que el sistema tenga características para la protección de riesgos inherentes a estas actividades, los riesgos no solamente climáticos sino también económicos y las limitaciones de recursos para la producción (Moreno, 2011).

Una de las principales ventajas de la agricultura protegida es que permite el desarrollo fuera del ciclo natural del cultivo así como también la producción en menos tiempo, permitiendo un incremento del rendimiento y reducción de espacio (FAO, 2007).

### **Cultivo de lechuga**

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) entre las hortalizas de hoja es una de las que tiene gran importancia; la mayor parte de la producción de esta hortaliza se realiza en el campo abierto, sin embargo, en últimos años la lechuga ha ocupado más espacio en invernaderos al combinar con técnicas intensivas, para de esta manera obtener mayor calidad en la producción y así mismo el precio en el mercado. Para aumentar la producción se requiere conocer con más exactitud cómo actúan los factores ambientales sobre el desarrollo de las plantas; en muchas investigaciones la radiación, la temperatura y la nutrición

con mayor contenido nitrogenado se identifican como importantes factores en distintas regiones productivas (De Grazia *et al.*, 2001).

### **Importancia de la lechuga**

La lechuga es una hortaliza que se cultiva en la mayor parte de los estados de México pero las superficies mayores dedicadas al cultivo de lechuga se encuentran en El Bajío y parte Noreste del país con un total de 7,190 ha (INEGI, y Colegio de Postgraduados, 1998). La producción mundial de lechuga tuvo un considerable crecimiento pasando de 840,000 ha a más de 1 millón en el 2005, los países que aportan la mayor parte de la producción mundial se encuentran en el continente asiático con más del 50% de la producción. El 16% de la producción mundial es aportada por Estados Unidos (Viteri y Ghezsán, 2013).

### **Nutrición mineral de plantas**

Los nutrientes que son requeridos por las plantas son de origen inorgánicos y se dividen en macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes se requieren en cantidades mayores, a diferencia de los micronutrientes. Sin embargo, las plantas pueden mostrar altas concentraciones de elementos que no son esenciales y que incluso pueden ser tóxicos (Konrad y Kirb, 2009). Los nutrientes como N, P (fósforo) y K son asimilados por las plantas en forma de iones inorgánicos, de manera que una vez tomados por las raíces son translocados a diferentes partes de la planta, donde estos cumplen funciones biológicas. La nutrición mineral es un área de investigación importante para la

agricultura moderna para obtener un alto rendimiento; por otra parte, las plantas solo utilizan el 50% de los fertilizantes que se aplican (Hernández, 2013).

### **Nutrición de plantas hortícolas**

El buen desarrollo de las hortalizas está relacionado con la presencia de óptimas condiciones ambientales, así como una buena nutrición, misma que debe proveer los 16 elementos esenciales para concluir con éxito el ciclo de cultivo. Los nutrientes tienen que ser tomados y asimilados por el metabolismo de la planta para de esta manera cumplir con todas sus funciones y procesos metabólicos (Yáñez, 2002).

### **Nitrógeno**

El N es el elemento aplicado frecuentemente de manera general en todos los cultivos ya que es determinante para el crecimiento de la planta en general. Un nivel óptimo de N se traduce en una planta de mayor vigorosidad, con buen tamaño y con una buena coloración. Una forma de detectar la falta de este elemento es que principalmente la coloración amarilla de las hojas y lo delgado de los tallos, así como entrenudos muy separados. El exceso del N es fácilmente notado por la elongación de hojas y tallos (Yáñez, 2002).

### **Nitrato / Amonio**

La urea, el  $\text{NH}_4^+$  y el  $\text{NO}_3^-$  son las fuentes nitrogenadas mayormente utilizadas. La oxidación del  $\text{NH}_4^+$  a la forma de  $\text{NO}_3^-$  se conoce como nitrificación; en este proceso se consideran varios puntos como lo que son las bacterias autotróficas

y aeróbicas obligadas. En suelos inundados la oxidación de  $\text{NH}_4^+$  es limitada, durante este proceso de amonificación, el amoniaco es convertido mediante las bacterias que amonifican la molécula de  $\text{NH}_4^+$ . En el siguiente paso es convertido a  $\text{NO}_3^-$  lo que se conoce como la nitrificación., Para que el N sea convertido depende de que existan las condiciones como son la presencia de bacterias nitrificantes, temperaturas  $<20^\circ\text{C}$ , pH de 5.5-7.5, humedad suficiente en el suelo y oxígeno en el suelo asociación de potasio y nitrógeno (PNA potassium and nitrate association, 2017).

### **Funciones de nitrógeno**

El N tiene la función del crecimiento en las plantas y es esencial de para el metabolismo de la planta; por otra parte, el N se encuentra en las proteínas, ácidos nucleicos y clorofila (Antunez-Ocampo *et al.*, 2014).

### **Relación óptima Nitrato / Amonio**

Bajo condiciones de suelo se encontró, según (Knight *et al.*, 2000), que una nutrición con alto contenido de  $\text{NO}_3^-$  es opuesta a una nutrición alta en  $\text{NH}_4^+$  ya que la nutrición con alto contenido de  $\text{NO}_3^-$  es mejor en cuanto al rendimiento; el mejor resultado se obtuvo con una concentración de  $\text{NO}_3^-$  del 80% y utilizando 20% de  $\text{NH}_4^+$  asociación de potasio y nitrógeno (PNA potassium nitrate association, 2017).

En sistemas hidropónicos, las concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  en las soluciones nutritivas varían de un 5% a un 10%, no más de un 15%. En rosas estos niveles pueden aumentar hasta un 25% dependiendo de la etapa, en este caso el aumento de  $\text{NH}_4^+$  debe de ser en la etapa de crecimiento vegetativo. Por otro

lado, en el cultivo de melón durante la etapa de fructificación debe de ser del 0%. La incorporación de  $\text{NH}_4^+$  disminuye el pH en el entorno de las raíces ya que se debe al proceso de absorción del catión  $\text{NH}_4^+$ , por lo cual se reduce la asimilación del anión  $\text{NO}_3^-$ . Cuando el  $\text{NH}_4^+$  es asimilado hay una liberación de iones de  $\text{H}^+$  para mantener la neutralidad eléctrica, es por eso que tiende a disminuir o mantenerse el pH en el entorno de las raíces; un pH óptimo para la mayoría de los cultivos es de entre 5 y 6 (Sonneveld y Voogt, 2009).

Al incorporar  $\text{NH}_4^+$  como sustituto del  $\text{NO}_3^-$  en cultivos semi hidropónicos o en sustrato, este causa una asimilación no solo de  $\text{NH}_4^+$  sino también de otros elementos como lo son K, Ca y Mg. Esto ocurre con más frecuencia cuando aumentan las condiciones ambientales que reducen la asimilación de Ca a los frutos, lo que por lo general se debe a condiciones como el aumento de temperatura y a humedades muy bajas, por lo que de generarse estas condiciones resulta ser peligroso para el  $\text{Ca}^{++}$  así como también el uso de  $\text{NH}_4^+$  (Sonneveld y Voogt, 2009).

### **Antagonismo Nitrato / Amonio**

Según (Hageman, 1992), se incrementan los rendimientos al combinar las dos fuentes de N, por otra parte, (Degiovani *et al.*, 2010) mencionan que al combinar los elementos e incrementan la tasa de crecimiento vegetal. Al incorporar  $\text{NH}_4^+$  a una solución nutritiva que tenga también  $\text{NO}_3^-$  se ve incrementada de asimilación de N y se genera un mayor crecimiento siempre y cuando las condiciones sean óptimas; sin embargo, al combinar estos

elementos existen alteraciones fisiológicas en cuanto a la disminución de Ca, K y Zn (zinc) (Sandoval *et al.*,2014).

### **Sistemas hidropónicos**

La hidropónia es una técnica la cual tiene un futuro imprescindible ya que el agricultor participa de manera directa en los procesos por los cuales pasa una planta. Los beneficios de la hidroponía representan una alternativa a la agricultura moderna. Esta técnica puede ser utilizada en grandes extensiones o inclusive en pequeñas explotaciones sin la necesidad de amplios conocimientos de la agronomía. La tecnificación de la hidroponía se logra a través de los factores que afectan en la zona previamente ubicada y destinada para aplicar esta técnica. En la actualidad la producción hidropónica se ha incrementado ampliamente, las técnicas utilizadas en hidroponía son una alternativa para obtener una alta calidad, mayores rendimientos y precocidad en comparación a cultivos en suelo (Arcos *et al.*, 2011).

#### **Raíz flotante**

El sistema de raíz flotante consiste en sumergir la parte radical de una planta en un medio nutritivo, la planta debe estar suspendida sobre la solución nutritiva mediante un panel de unicel. La solución nutritiva está expuesta continuamente a la aireación (Herrera, 1999).

#### **Sistema NFT**

Es un sistema sin sustrato el cual consiste en una técnica de solución re circulante ya que los nutrientes están disponibles en el agua con la finalidad de

ser llevados a la raíz directamente; este sistema permite que estén en contacto la solución nutritiva con la raíz y el aire (Beltrano y Gimenez, 2015).

### **Sistema en sustrato solido**

El sustrato es un medio solido en donde se desarrolla la parte subterránea del cultivo; con la finalidad de optimizar las propiedades del sustrato se realizan mezclas de diferentes componentes para formular el sustrato. Los sustratos se colocan en contenedores que acostumbran a tomar distintas formas (abiertas o cerradas) así como también diferentes volúmenes (cilindros o cubos). El sustrato debe de tener las condiciones óptimas y de esta manera las raíces tomen lo que la planta requiere. Los sustratos son separados en dos tipos los orgánicos y los inorgánicos; dentro de los orgánicos están aquellos como las turbas, fibra de coco, y residuos agroindustriales (cascarilla de arroz). En cuanto a los sustratos inorgánicos, algunos de ellos tienen origen natural, pero pasan por un proceso de transformación como lo son lana de roca, perlita, vermiculita. Un buen sustrato debe cumplir con ciertas funciones como: capacidad de retención de agua, aireación suficiente, baja densidad aparente, baja salinidad y hacer eficiente la disponibilidad de soluciones nutritivas y la velocidad de descomposición es lenta (Jay, 2000).

### **Cultivo en macetas Bentley**

Esta técnica es utilizada para cultivos hidropónicos con la finalidad de reducir el costo de producción y una mayor eficiencia. Para sustituir las tinas se utilizan bolsas de polietileno grueso de color negro, estas bolsas van llenas de sustrato para la producción de plantas de gran tamaño como lo el tomate o pepino. En el

caso del sistema de riego es un sistema similar al sistema de goteo solo que en este caso la solución nutritiva es rociada dependiendo de requerimiento de agua. Este sistema de macetas Bentley se ha modificado el color de la maceta color blanco por fuera y negro por dentro para lo cual hacer más eficiente el riego de solución nutritiva (Manual de hidroponia oasis easy plant, 2017).

### **Sistema de hidroponía vertical**

Son columnas de cultivo que consiste de tubos PVC u otros materiales. Este tubo es colocado de manera vertical y en los lados se tienen unas perforaciones. Las raíces crecen expuestas al aire y en el interior del tubo se distribuye la solución nutritiva mediante pulverización (Michael Jay, 2000).

### **Sistema en bolsas de cultivo (slabs)**

Es un sistema originado con la finalidad de producción de plantas de alto valor comercial como lo son el tomate y pimiento, así como también plantas ornamentales como las rosas. Para tener un cierto porcentaje de recuperación del lixiviado para ser reutilizado, en este tipo de sistemas el riego es a través de espaguetis y piquetas (Manual de hidroponia oasis easy plant, 2017).

### **Sistema NGS (New Growing System)**

Este sistema consiste en canalón formado con varias capas de polietileno el cual se mantiene a una altura cercana al suelo. Las plantas previamente enraizadas en lana de roca se colocan en el canalón superior mientras que las raíces que son guiadas por cada capa de polietileno y pasan por unas hendiduras separadas a la distancia convenientemente requerida. La solución nutritiva es movida por una bomba dicha solución pasa se distribuye por una

tubería porta goteros la cual tiene posibilidad de pasar por las cámaras donde se encuentran las raíces (Michael Jay, 2000)

### **Sistema aeropónico**

Es un método para producir plantas en un medio aéreo si hacer uso de suelo, un término básico de la aeroponía es que la planta se desarrolle en un medio cerrado donde se encuentran las raíces colgantes. Bajo el tallo se pulveriza una solución acuosa en la cual se encuentran libres todos los nutrientes disponibles. El desarrollo de las plantas en aeroponía hace eficiente el acceso del aire para un buen crecimiento, la clave para un buen crecimiento de la raíz es influenciado en el tamaño de la gota (Manual de hidroponia oasis easy plant, 2017).

### **Aireación de solución nutritiva**

En este sistema hidropónico la raíz se encuentra bajo el agua, la cual fluye por toda la balsa o canal el sistema radicular. Requiere estar en constante oxigenación durante el tiempo en que la raíz esté en contacto con la solución nutritiva (Matínez *et al.*, 2012). La falta de oxigenación para las plantas limita la absorción de las raíces y por consecuente la asimilación de nutrientes, provocando con esto una limitante en el rendimiento (Urrestarazu y Mazuela, 2005).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **Ubicación y localización**

El presente experimento fue realizado en un invernadero tipo mixto en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro situado en Buenavista, Saltillo, Coahuila con las coordenadas 25° 43´ 43” N y 103°00´07” O; la temperatura promedio osciló entre los 19°C.

#### **Material experimental**

Una vez establecido y funcionando el sistema aeropónico se trasplantó la lechuga de variedad “Lulú” del tipo orejona 19 de Febrero de 2017; las plantas tuvieron un lavado de raíz para eliminar el sustrato de germinación y una vez que estuvo completamente libre la raíz se colocó en los paneles de nieve seca. Alrededor de la planta se le colocó un material similar al algodón el cual tuvo la función de sostener la planta.

#### **Descripción de tratamientos**

El sistema aeropónico consiste en una estructura la cual el frente tiene forma de trapecio con un ancho de 2.0 m en la parte inferior y en la parte superior 1.0 metro y con un largo de 2.4 m. La estructura se divide en cuatro partes iguales, cada una corresponde a una unidad experimental debidamente separada uno de otro por un plástico de color negro para evitar la mezcla entre tratamientos. Para sostener las plantas en el aire estas se colocaron en paneles de nieve seca con una distancia de 20 cm entre planta y planta en la parte superior; igualmente, en las partes laterales. Para el sistema de nebulización se colocaron de 10 a 14 nebulizadores en una manguera de 16 mm para obtener un riego uniforme.

Para instalar el sistema de riego se hizo una excavación en el suelo donde se dispusieron 3 tambos de 200 L<sup>-1</sup>, en donde se colocaron las soluciones nutritivas (SN) las cuales fueron los tratamientos que constaban con las diferentes concentraciones de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en conjunto con la orientación de los paneles: oriente (OTE), superior (SUP) y poniente (PTE) (Cuadro 1). Cada uno de los tambos contenía una solución nutritiva diferente como también una bomba de ½ caballo, mismas que se empleaban para bombear la solución nutritiva hasta donde se encontraron localizados cada uno de los tratamientos en el sistema de aeroponía. El sistema se diseñó para recirculación con la finalidad de recuperar la mayor cantidad solución nutritiva; la solución se condujo de retorno a los tambos a través de tubos de 1". Las bombas se conectaron a un programador de tiempo para encender el riego cada 15

minutos durante el día y por la noche se prolongaron más los riegos a cada 3 horas.

**Cuadro 1.** Descripción de los tratamientos estudiados con diferentes niveles de  $\text{NH}_4^+$ /  $\text{NO}_3^-$  considerando su orientación.

Tratamiento	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^{=}$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Ca}^{++}$
meq L <sup>-1</sup>							
T1	0	6	0.5	3.5	3.5	2	4.5
T2	0.6	5.4	0.5	3.5	3.5	2	4.5
T3	1.8	4.2	0.5	3.5	3.5	2	4.5

Los tratamientos consistieron de tres soluciones nutritivas con la formulación de Steiner al 50% pero variando en la relación  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  con respecto a su orientación (Cuadro 1.)

Durante todo el ciclo de cultivo se estuvo monitoreando el pH y la CE de las soluciones con la ayuda de ionómetros específicos para cada uno de éstos. El pH se mantuvo en un rango de 5.5 a 6.3 con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico) durante dos veces al día. De igual manera durante el ciclo de cultivo se estuvieron realizando aplicaciones de productos para la prevención de hongos.

De igual manera una vez por semana se muestreaban 15 plantas por repetición (la concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> con su respectiva orientación) midiendo la altura de cada una de ellas sin ser un muestreo destructivo, a los 50 días después de trasplante (DDT) se cosecharon las lechugas.

### **Variables a evaluar**

**Cuadro 2.** Variables evaluadas del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema aeropónico bajo condiciones de invernadero.

<b>Variables evaluadas</b>	<b>Descripción de actividades</b>
Altura de planta (ALT)	Esta variable se determinó al final del ciclo del cultivo. De la hoja interna de la planta se midió la longitud con ayuda de una cinta métrica se determinó así la altura de cada planta a los 50 DDT. Esta variable se registró en cm.
Ancho de planta (A)	Esta variable se determinó a la cosecha de la planta a los 50 DDT de las hojas externas que rodeaban a la planta con una cinta métrica. Ésta variable se registró en cm.
Longitud de raíz (LR)	Esta variable se a los 50 DDT tomando la longitud en centímetros de la raíz desde la base de la planta. Registrándose ésta variable en cm.
Volumen de raíz (VR)	Esta variable se determinó sumergiendo la raíz en una probeta con agua obteniendo así el volumen en (ml)
Calidad visual (CV)	Esta variable consistió en observar la planta y se

	<p>determinaron mediante diferentes niveles:</p> <p>1.- Todas las hojas que formaban a la planta no tenían ningún enchinamiento.</p> <p>2.- Todas las hojas que formaban a la planta tenían un enchinamiento medio.</p> <p>3.- Todas las hojas que formaban a la planta tenían un enchinamiento en casi el 100% de las hojas.</p>
Firmeza (F)	Esta variable se evaluó con un penetrómetro en hojas jóvenes (HJ) (las que conformaban el centro de la planta) hojas viejas (HV) (hojas externas de la planta).
SPAD	Esta variable se determinó con un equipo SPAD para obtener el contenido de clorofila tomada de la hoja intermedia de la cabeza de la planta a los 50 DDT antes de realizar el muestreo destructivo.
Orientación de los paneles aeropónicos	Los tratamientos aplicados en la solución nutritiva se combinaron con las posiciones de los paneles ya mencionados: OTE, PTE, SUP.
Peso fresco/ seco de raíz (PFR)/ (PSR) parte aérea (PA)	<p>Estas variables se determinaron al realizar los muestreos destructivos registrando su peso fresco en una balanza tanto de hojas y raíz.</p> <p>Tanto en la raíz(R) como en la hoja (H) se lavó con agua para quitar los residuos y finalmente se le dio un lavado con agua destilada.</p> <p>A través de la suma aritmética de los pesos frescos se obtuvo el peso fresco total (PFT)</p> <p>Una vez secada la planta en estufa a 70 °C se obtuvo el peso seco de los órganos (PS).</p> <p>De igual manera se obtuvo el peso específico (PE)</p> <p><math>PE = PA + PFR</math></p>

### 3.5 Diseño experimental

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un tratamiento testigo y tres más cada uno con tres repeticiones, con un total de 45 plantas por repetición y con un total de 135 plantas por tratamiento.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) con la prueba de Duncan ( $p \leq 0.05$ ) procesado en el paquete estadístico SAS versión 9.0.

#### IV. RESULTADOS

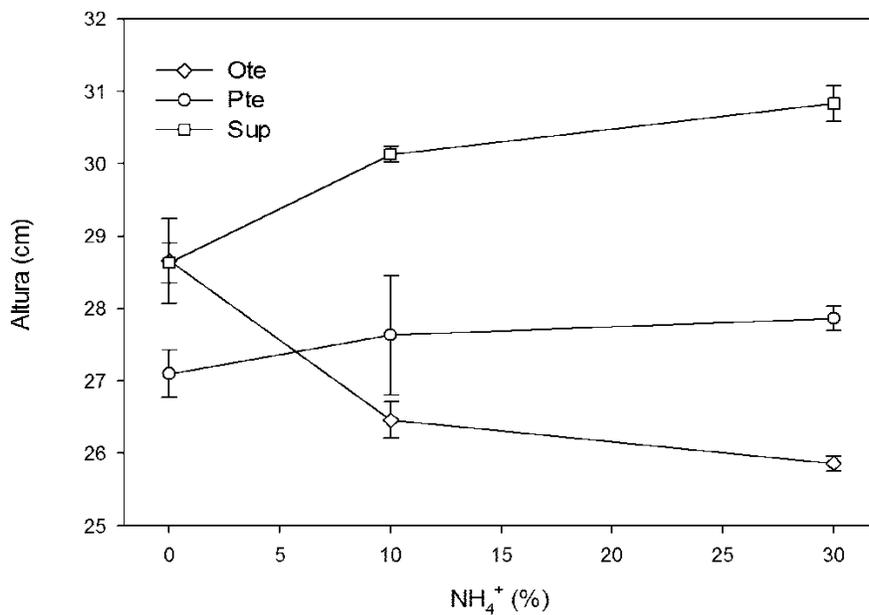
La proporción de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva no tuvo efecto sobre la altura de las plantas, sin embargo, las plantas que fueron crecidas en la parte superior de la unidad aeropónica resultaron con una mayor altura que aquellas desarrolladas en las partes laterales (Cuadro 3). La interacción entre la concentración de  $\text{NH}_4^+$  y la posición de las plantas tuvo un efecto significativo en la altura (Cuadro 3); dicha interacción señala que las plantas desarrolladas al poniente de la unidad aeropónica no fueron afectadas por la proporción de  $\text{NH}_4^+$ , sin embargo, aquellas que se desarrollaron tanto en la parte superior como en la parte oriente si hubo un efecto del  $\text{NH}_4^+$ . Al elevarse la proporción de a 10% y 30% se detectó un aumento en la altura de las plantas desarrolladas en la parte superior, en cambio, en las plantas de la parte oriente hubo una disminución.

**Cuadro 3.** Efecto de la proporción de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva y la interacción con la posición sobre las variables evaluadas en plantas de lechuga cultivadas en un sistema aeropónico. Leyenda de las variables como se indica en el cuadro 2.

$\text{NH}_4^+$ (%)	ALT	A	LR	VR	CV	F (HJ)	F (HV)	SPAD
	cm	cm	cm	ml		kg	kg	
0	28.1a	26.3a	89.7a	39.6a	2.55a	4.43a	2.94b	38.3b
10	28.1a	26.7a	91.8a	32.0b	2.73a	4.32a	3.46a	38.0b
30	28.2a	26.1a	82.2b	28.3b	3.06a	4.58a	3.40a	40.3a
ANOVA $P \leq$	0.98	0.56	0.01	0.01	0.09	0.07	0.01	0.05
Posición								
Poniente	27.5b	25.6	84.7b	25.9b	2.51b	3.67c	2.94b	38.5b
Superior	29.9a	26.9	95.0a	48.4a	3.11a	5.20a	3.84a	40.1a
Oriente	27.0b	27.1	83.0b	25.5b	2.53b	4.46b	3.02b	38.0b
ANOVA $P \leq$	0.01	0.04	0.01	0.01	0.002	0.001	0.001	0.02
Interacción $P \leq$	0.050	0.01	0.06	0.01	0.753	0.001	0.001	0.02
CV (%)	4.75	5.81	4.84	10.56	16.59	5.05	5.92	3.66

\* = Significativo

Promedios seguidos de la misma letra son no diferentes significativamente de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$



**Figura 1.** Efecto de concentración de  $\text{NH}_4^+$ , posición de las plantas de lechuga, en la altura de plantas en un sistema aeropónico Ote=oriente. Pte=poniente. Sup=superior.

En relación con la proporción de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva, tuvo efecto en el ancho de las plantas, sin embargo, las plantas que tuvieron un mejor crecimiento fueron las de la parte superior a comparación de la posición oriente

y poniente de la unidad aeropónica (Cuadro 3). La interacción entre la concentración de  $\text{NH}_4$  y las posiciones tuvo efecto significativo en el ancho de las plantas (Cuadro 3); en esta interacción señala que a una concentración de 10% de  $\text{NH}_4^+$  las plantas de la posición de la parte oriente de la unidad aeropónica disminuye y en la parte poniente y superior de la unidad aeropónica incrementa en ancho de la plantas, sin embargo las plantas de la posición de la parte poniente a una concentración de 30% de  $\text{NH}_4^+$  disminuye drásticamente el ancho de las plantas, en cambio a las posiciones oriente y superior no disminuyo.

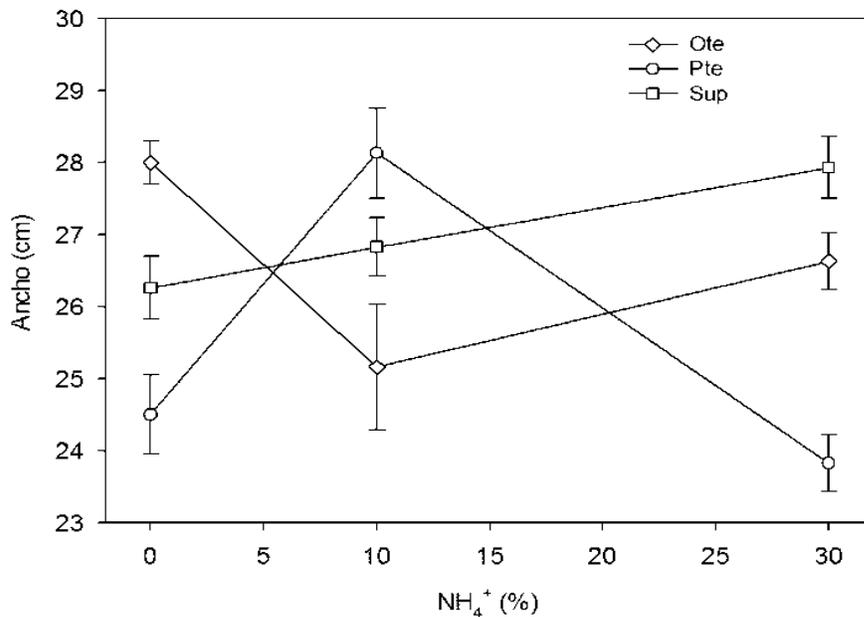
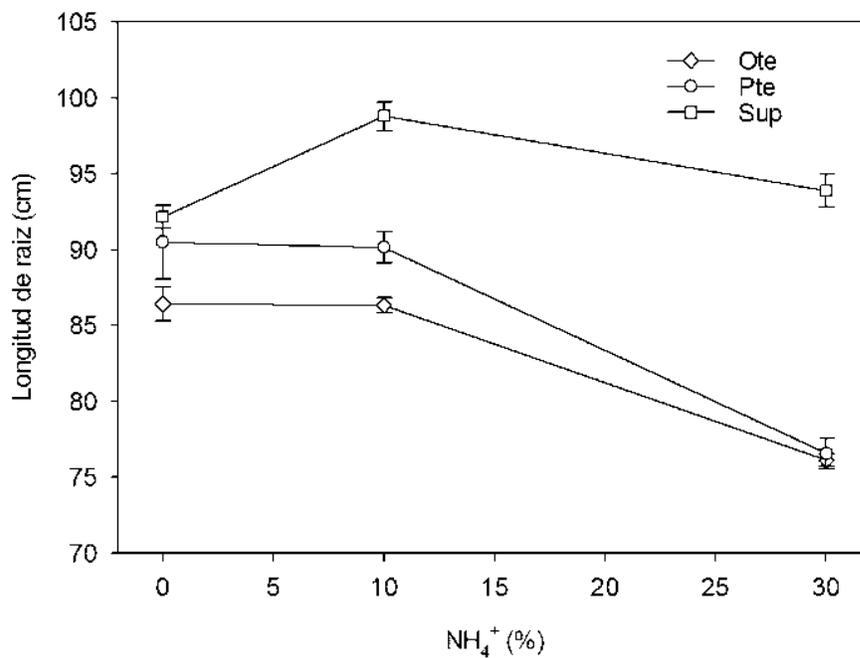


Figura 2. Efecto de concentración de  $\text{NH}_4^+$ , ancho de las plantas de lechuga y posiciones en una unidad aeropónica. Ote=oriente. Pte=poniente. Sup= Superior.

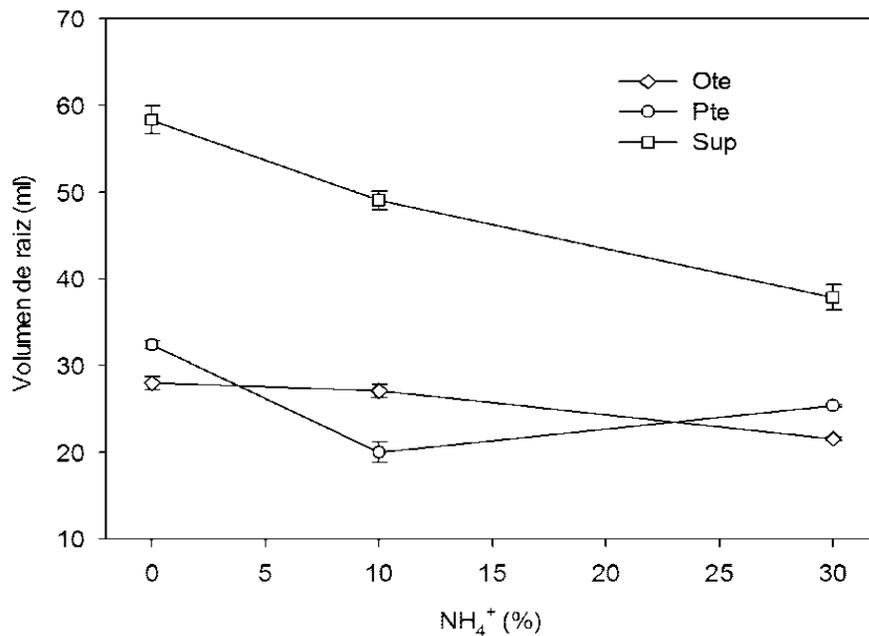
La relación entre la proporción de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva tuvo efecto en la longitud de raíz de las plantas de la parte superior a comparación con las partes

laterales de la unidad aeropónica (Cuadro 3). En cuanto a la interacción de la concentración de los elemento y las posiciones de las plantas en la unidad aeropónica mostro un efecto significativo (Cuadro 3); en dicha interacción señala que las plantas desarrolladas en la parte superior a una concentración de 10% incrementa la longitud de raíz y a una concentración de 30% reduce la longitud de raíz, por otro lado las plantas crecidas en las partes laterales de la unidad aeropónica a una concentración de 10% de  $\text{NH}_4^+$  se mantiene la longitud de raíz y a una concentración de 30% de  $\text{NH}_4^+$  se reduce el crecimiento de raíz.



**Figura3.** Efecto de concentración de  $\text{NH}_4^+$ , posición de las plantas, en longitud de raíz de plantas de lechuga en un sistema aeropónico. Ote=occidente. Pte=poniente. Sup=superior.

En la solución nutritiva la proporción del  $\text{NH}_4^+$  no tuvo efecto sobre el volumen de raíz, cabe mencionar que la planta desarrollada en la parte superior de la



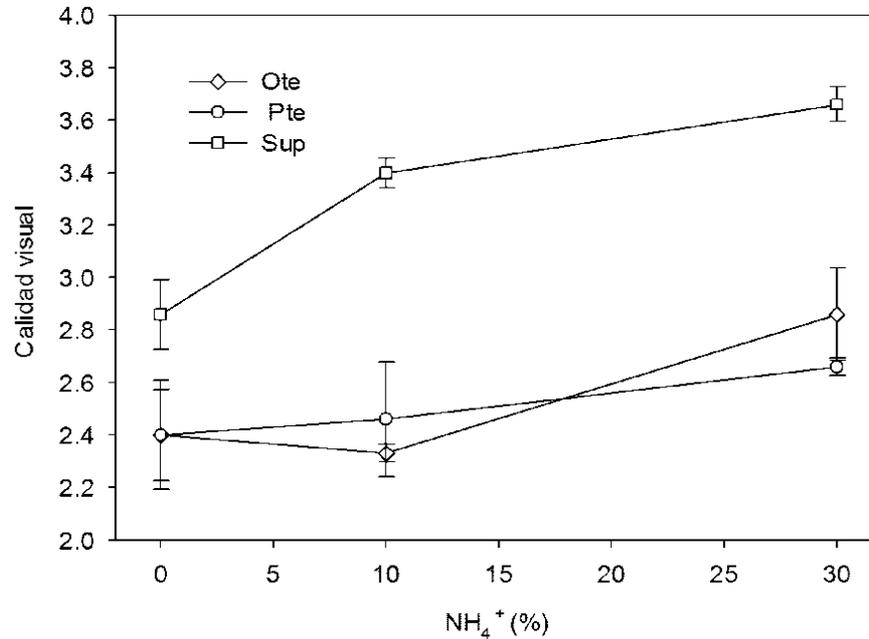
unidad aeropónica tuvo un mayor crecimiento que las plantas de las partes laterales de la unidad aeropónica (Cuadro 3). Por otro lado, la interacción de la proporción de  $\text{NH}_4^+$  y las posiciones de las plantas de la unidad aeropónica tuvo un efecto significativo en el volumen de raíz (Cuadro 3), en esta interacción muestra que a mayor concentración de  $\text{NH}_4^+$  disminuye el volumen de raíz en las posiciones oriente y superior, sin embargo, en la posición poniente a una mayor concentración de  $\text{NH}_4^+$  incrementa en volumen de raíz (Cuadro 3).

**Figura 4.** Efecto de concentración de  $\text{NH}_4^+$ , posición de las plantas de lechuga, en el volumen de raíz de lechuga en un sistema aeropónico. Ote=oriente. Pte=poniente. Sup=superior.

En relación al efecto del  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva se muestra que incrementando cantidad de  $\text{NH}_4^+$  aumenta la calidad visual (enchinamiento) en

las posiciones poniente y superior de la unidad aeropónica (Cuadro 3). Sin embargo, hubo un crecimiento negativo en la parte oriente de la unidad aeropónica a una concentración de 10% de  $\text{NH}_4^+$  y a una concentración de 30 % vuelve a incrementar la calidad visual (Cuadro 3). En cuanto a la interacción de los factores se mostró no significancia referente a calidad visual (Cuadro 3);

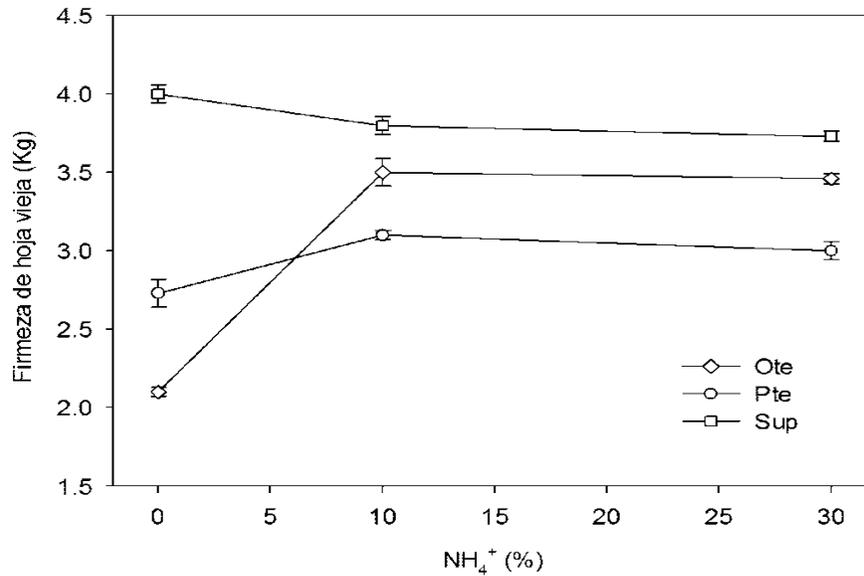
la



interacción en relación a la concentración de  $\text{NH}_4^+$  y las posiciones de unidad aeropónica muestra que a mayor concentración incrementa el enchinamiento, por otra parte en la posición oriente se vio afectada de manera negativa a una concentración de 10% de  $\text{NH}_4^+$ , se detectó que a mayor concentración de  $\text{NH}_4^+$  las plantas de la parte superior incrementa la calidad visual a comparación e las otras plantas de las otras posiciones.

**Figura 5.** Efecto de la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , posición de las plantas, en la calidad visual de plantas de lechuga en un sistema aeropónico. Ote=oriente. Pte=poniente. Sup=superior.

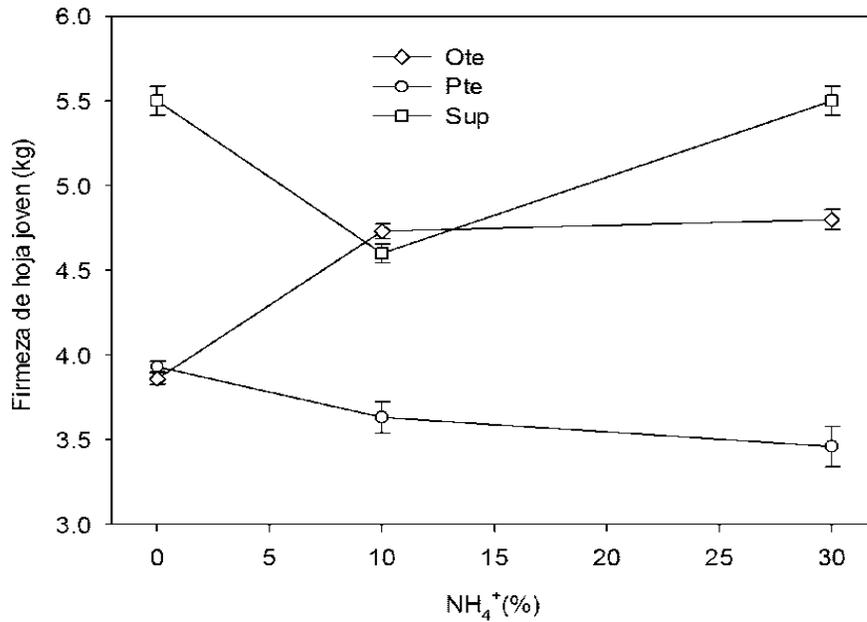
Referente a las proporciones de  $\text{NH}_4^+$  incremento la firmeza de las hojas a excepción de las plantas de la parte superior que en este caso se vio reducida la firmeza de las hojas (Cuadro 3). Por otro lado, en la interacción de estos factores señalan que la firmeza a una concentración de 10% a 30% se mantiene en las posiciones oriente y poniente, se observó que en la parte superior la firmeza con un contenido de  $\text{NH}_4^+$  0% a 10% reduce drásticamente y de 10% hasta 30% se mantiene la firmeza es por eso que hubo un efecto significativo en relación a las posiciones de la unidad aeropónica y las proporciones de  $\text{NH}_4^+$  (Cuadro 3).



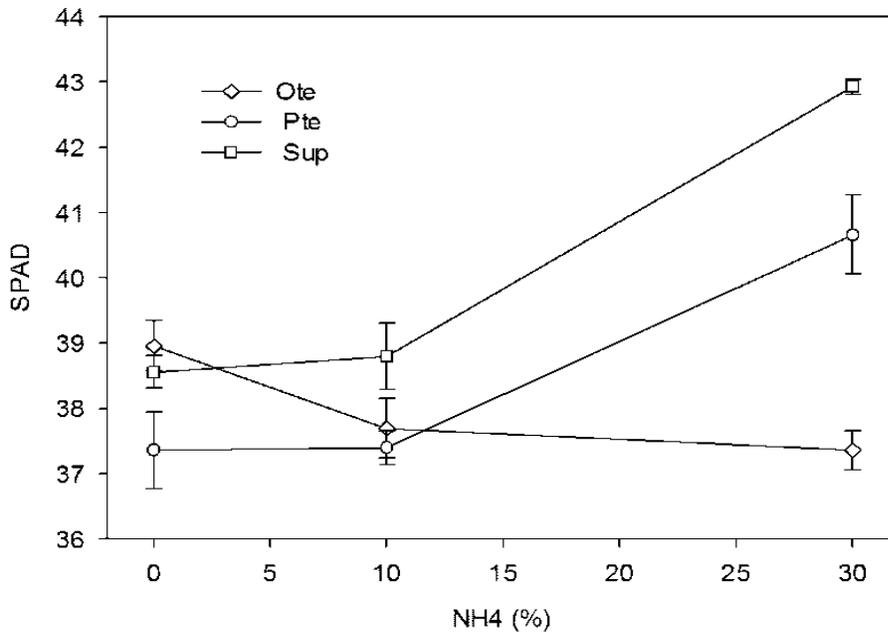
**Figura 6.** Efecto de la concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, posición de las camas de cultivo en la firmeza de la hoja vieja de plantas de lechuga de la unidad aeropónica. Ote=oriente. Pte=poniente. Sup=Superior

El NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en la solución nutritiva a diferentes proporciones tuvo efecto sobre la firmeza de la hoja joven, sin embargo, las plantas que fueron crecidas en la parte oriente de la unidad aeropónica resultaron con mayor firmeza en comparativa que las plantas que se desarrollaron en la parte lateral de la unidad aeropónica (Cuadro 3). La interacción entre las concentraciones de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y las posiciones en la unidad aeropónica tuvo un efecto significativo referente a la firmeza de las hojas jóvenes (Cuadro 3); esta interacción resalta que en el caso de la posición oriente a una concentración de 10% de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aumente la firmeza de la hoja y a una concentración de 30% de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> mantiene la firmeza de dicha hoja, sin embargo para el caso de las posiciones poniente y superior a una concentración de 10% se notó la disminución de la firmeza de hojas

jóvenes y a una concentración de 30% de  $\text{NH}_4^+$  en la parte poniente sigue le disminución de firmeza en el caso de parte superior al elevar la concentración de  $\text{NH}_4^+$  incrementa la firmeza de las hojas.



**Figura 7.** Efecto de la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , posición de las camas de cultivo en la firmeza de la hoja joven en las plantas de lechuga en una unidad aeropónica. Ote= oriente. Pte= poniente. Sup=Superior.

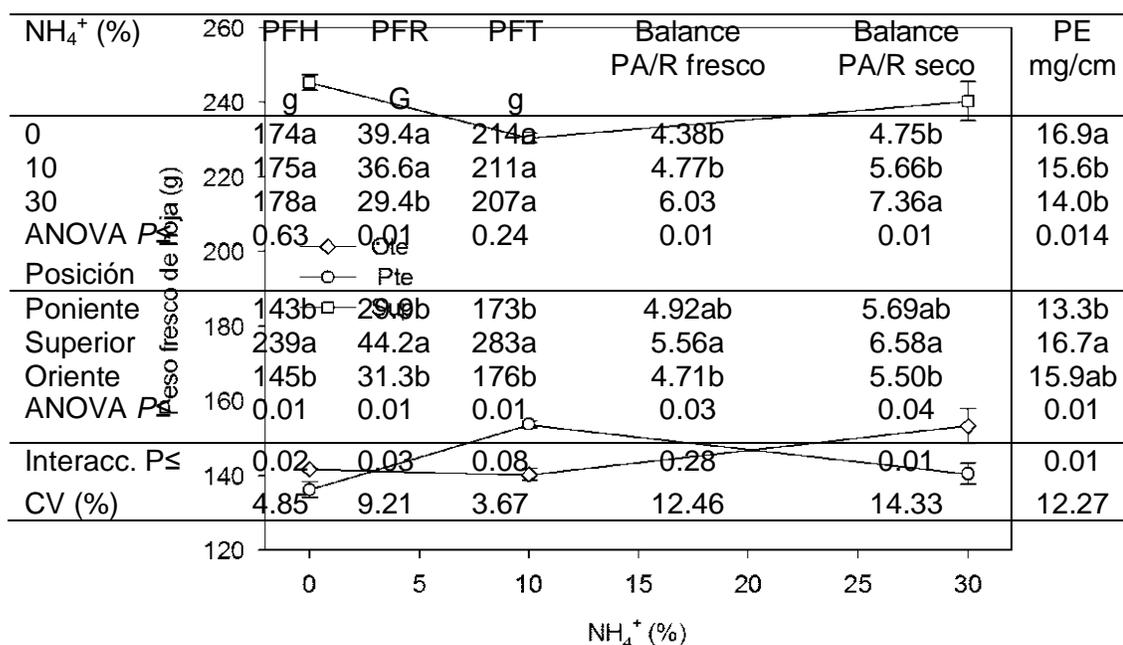


**Figura 8.** Efecto de la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , posición de las camas de plantas de cultivo de lechugas en lecturas SPAD en plantas de lechuga en un sistema aeropónico. Ote=Oriente. Pte=Poniente. Sup=Superior.

La solución nutritiva y la proporción de  $\text{NH}_4^+$  tuvo efecto en el incremento de peso fresco de las hojas principalmente en la posición superior de la unidad aeropónica estas plantas se vieron mejor desarrolladas que las de las posiciones oriente y poniente (Cuadro 4). La interacción entre las concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  y las posiciones de las plantas en la unidad aeropónica tuvo un efecto significativo en el ancho de las plantas (Cuadro 4); en la mencionada interacción señala que a una concentración de 10% de  $\text{NH}_4^+$  las plantas de la parte superior y oriente disminuye en peso se las hojas en fresco y en la posición poniente incremento el peso de las hojas, a una concentración de 30% de  $\text{NH}_4^+$  las plantas de las posiciones oriente y superior incrementa el peso de las plantas en fresco en cambio las plantas de la poniente se ven reducidas al elevar la concentración de  $\text{NH}_4^+$ .

**Cuadro 4.** Efecto de la proporción de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva y la interacción con la posición de las plantas en las variables de peso fresco tanto en raíz como hoja en lechugas cultivadas en un sistema aeropónico.

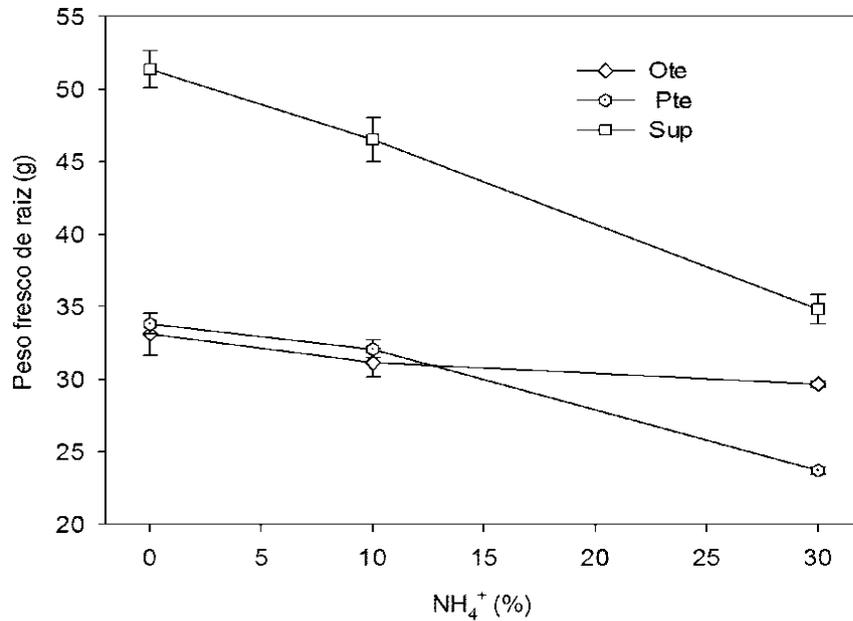
R fresco = raíz en fresco  
R seco =raíz en seco



**Figura 9.** Efecto de la concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, posición de las camas de cultivo de lechuga en el peso fresco de hojas en un sistema aeropónico. Ote=Oriente. Pte=Poniente. Sup=Superior.

En la siguiente grafica se muestra el comportamiento que tuvo las diferentes proporciones de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> lo cual se muestra que las plantas de la parte superior de la unidad aeropónica tuvo mayor peso de raíz en fresco y que hubo una disminucion de este peso conforme mayor es la proporcion de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Cuadro 4).

Por otrolado en las posiciones oriente y poniente es peso de la raiz en fesco fue menor peor el comportamiento por el efecto del  $\text{NH}_4^+$  es que a mayor



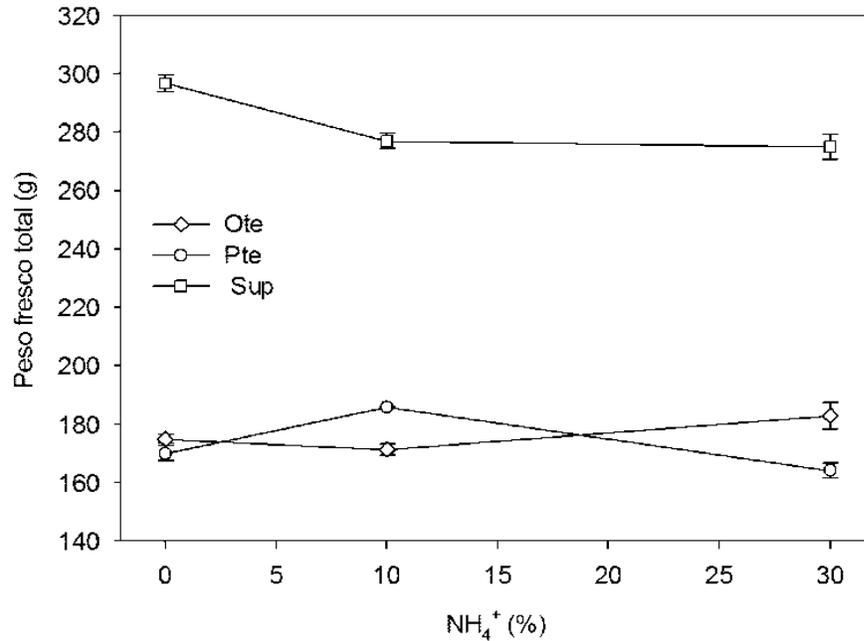
concentracion de  $\text{NH}_4^+$  disminuye el crecimiento de la parte radicular de la planta (Cuadro 4). Referente a la interaccion entre los fatores que es la concentracion de  $\text{NH}_4^+$  y las posiciones en la unidad aeropónica se mostro que a mayor porcentataje de  $\text{NH}_4^+$  en la solucion nutritiva es menor el crecimiento de raiz en las posiciones de la unidad aeropónica, por lo mismo es que se muestra significancia en el peso de raiz en fresco de las plantas (Cuadro 4).

**Figura 10.** Efecto de la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , posición de las camas de cultivo de lechuga en peso fresco de raíz en un sistema aeropónico. Ote=Oriente. Pte=Poniente. Sup=Superior.

Para el peso específico y el efecto del  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva se detectó la disminución de peso en las posiciones oriente y poniente (Cuadro 4). Por otra parte, la posición superior se vio afectada a mayor concentración de  $\text{NH}_4^+$  disminuyendo el peso específico. En cuanto a la interacción de las posiciones y la proporción de  $\text{NH}_4^+$  las posiciones tuvieron un efecto significativo (Cuadro 4) la interacción señala que el peso específico de las posiciones oriente y poniente incrementa a una concentración de 10% de  $\text{NH}_4^+$  y a mayor una concentración de 30% se notó una disminución de peso específico, por otra parte, la posición superior se vio reducida a mayor proporción de  $\text{NH}_4^+$ .

La proporción de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva no tuvo efecto en el peso fresco total de las plantas, sin embargo, las plantas desarrolladas en la parte superior tuvieron un incremento de peso mayor que las partes laterales de la unidad aeropónica (Cuadro 4). La interacción de  $\text{NH}_4^+$  y la posición de las plantas señala que el desarrollo de las plantas en la parte oriente y superior a una concentración de 10% de  $\text{NH}_4^+$  disminuyó el peso total de las plantas y para la parte poniente de la unidad aeropónica aumenta el peso total de la planta a una concentración de 30% la parte superior de la unidad aeropónica se mantiene el peso total de las plantas, en cambio en la parte poniente de la unidad aeropónica redujo el peso total de las plantas, en la parte superior de dicha

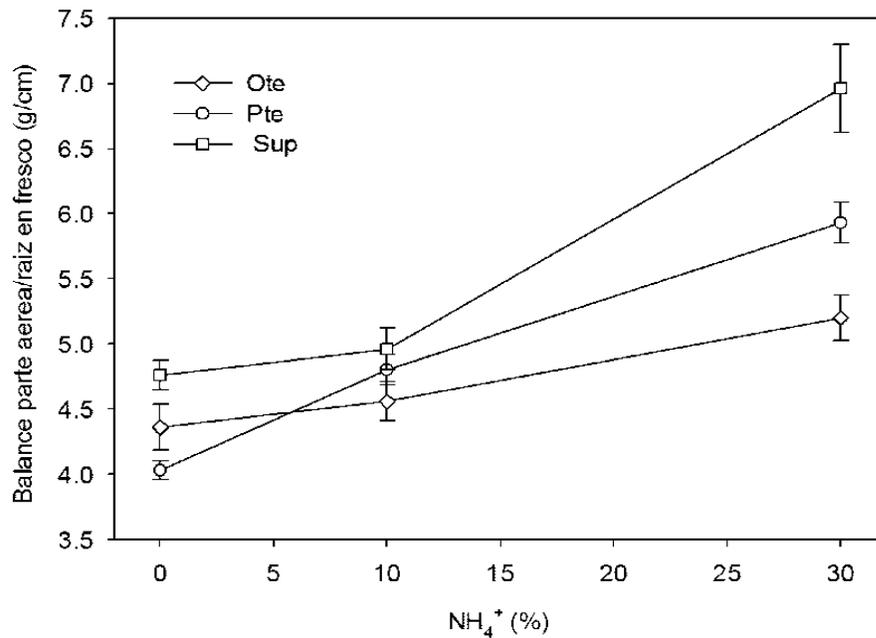
unidad incremento el peso total de las plantas al incrementar la concentración de las plantas.



**Figura 11.** Efecto de la concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, posición de las camas de un cultivo de lechuga en el peso fresco total de lechuga en un sistema aeropónico. Ote=Oriente. Pte=Poniente. Sup=Superior.

En la solución nutritiva la proporción de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> tuvo un efecto sobre el balance de parte aérea/ raíz en fresco, al aumentar el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dicho balance se ve incrementado en las plantas que crecieron en la parte superior de la unidad aeropónica en comparativa a las plantas que fueron desarrolladas en las partes laterales de dicha unidad (Cuadro 4). Referente a la interacción entre la

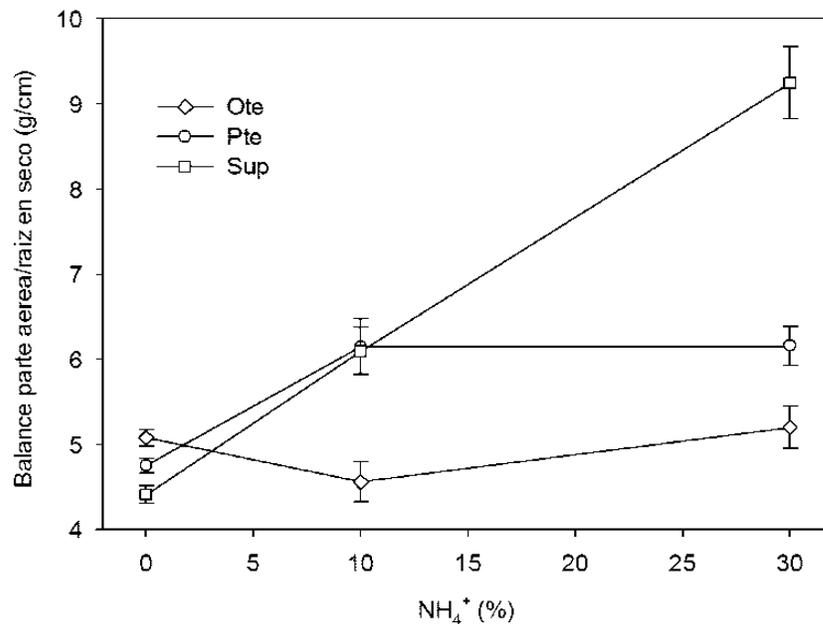
concentración de  $\text{NH}_4^+$  y la posición de las plantas tuvo un efecto no significativo en el balance parte aérea/raíz en fresco (Cuadro 4); esta interacción señala que las plantas las plantas crecidas en la unidad aeropónica a las concentraciones de 10% y 30% incrementan el balance de la parte aérea/raíz en fresco.



**Figura 12.** Efecto de la concentración de  $\text{NH}_4^+$  posición de las camas de un cultivo en el balance parte aérea/raíz en fresco de plantas de lechuga en un sistema aeropónico. Ote=Oriente. Pte=Poniente. Sup=Superior.

En la solución nutritiva a diferentes proporciones de  $\text{NH}_4^+$  tuvo efecto en el balance parte aérea/raíz en seco en las plantas que se desarrollaron en la parte superior en comparativa a las plantas crecidas en las partes laterales de la unidad aeropónica (Cuadro 4). La interacción entre la concentración de  $\text{NH}_4^+$  y la posición de las plantas tuvo un efecto significativo en al balance parte

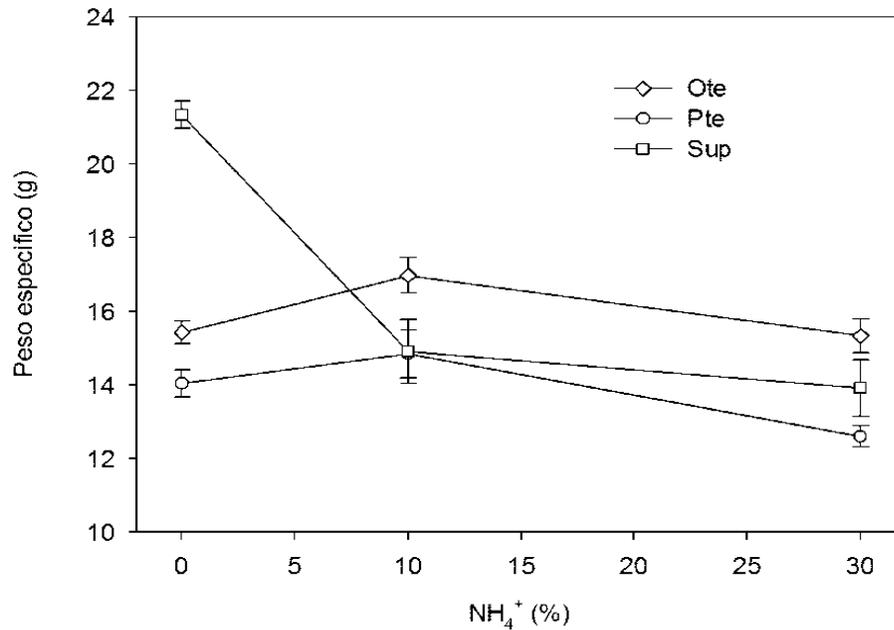
aérea/raíz en seco (Cuadro 4); esta interacción señala que en las plantas desarrolladas en la parte superior de la unidad aeropónica tuvo un crecimiento constante en comparación de las plantas de las posición poniente las cuales a una incrementan de 0% a una concentración de 10% incrementa el balance y a una concentración de 30% el balance se mantiene igual a de 10%, por otra parte en las plantas crecidas en la parte oriente a una concentración de 10% reduce el balance y a una concentración de 30% aumenta el balance.



**Figura 13.** Efecto de la concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, posición de las camas en el cultivo de lechuga en el balance parte aérea/raíz en seco de plantas de lechuga en un sistema aeropónico. Ote=Oriente. Pte=Poniente. Sup=Superior.

Las diferentes proporciones de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en la solución nutritiva tuvieron un efecto positivo en el contenido de clorofila en las plantas (Cuadro 3). En referencia a la interacción entre las diferentes concentraciones de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y la posición de las

plantas en la unidad aeropónica en la cual tuvo un efecto significativo (Cuadro 3); la interacción señala que en la posición poniente y superior al incrementar la



concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a 10 y 30% incrementa el contenido de clorofila, sin embargo, en la parte oriente tuvo un comportamiento de manera negativa ya que muestra que a mayor la concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> el contenido de clorofila para estas plantas es menor.

**Figura 14.** Efecto de la concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, posición de las camas de cultivo en el peso específico de las plantas de lechuga en un sistema aeropónico. Ote=Oriente. Pte=Poniente. Sup=Superior.

## V. DISCUSIÓN

En general el tratamiento con una concentración de 10% de  $\text{NH}_4^+$  es representado como el mejor en relación a las demás proporciones evaluadas. (Claussen y Lenz, 1999) mencionan que en general no hay una respuesta en base al rendimiento de la planta en relación a la nutrición basada en  $\text{NH}_4^+$  entre especies. Asimismo, (Belastegui *et al.*, 2007) señalan que al aumentar las proporciones de  $\text{NH}_4^+$  el crecimiento de hojas incrementó 5 veces más que con la aplicación de las todas las proporciones de  $\text{NO}_3^-$ , por otra parte, en plantas de centeno se señala que a mayor la proporción de  $\text{NH}_4^+$  disminuyó la hoja, pero no el contenido de Mg (Roosta y Schjoerring, 2007) mencionan que al incrementar las proporciones de  $\text{NH}_4^+$  siendo la única fuente de N empleada resultó una disminución del crecimiento en etapa de plántulas así como también en etapas posteriores en plantas de pastizales.

(Araiza *et al.*, 1997) mencionan que en el cultivo de tomate tiende a disminuir la firmeza al aumentar la dosis de N no se observa un efecto positivo o negativo de la dosificación de Ca, K, o el N-  $\text{NH}_4^+$ .

(Lasa *et al.*, 2001) observó que en plantas de fresa, frambuesa y arándanos por parte de la biomasa producida tiene diferentes resultados a la respuesta de

nutrición que incluye  $\text{NH}_4^+$  una disminución y un aumento de biomasa en comparación a la nutrición con  $\text{NO}_3^-$ . (Roosta y Schjoerring, 2007) observa que al aumentar las proporciones de  $\text{NH}_4^+$  los resultados de la materia seca son menores en comparación a las plantas que se nutrieron con  $\text{NO}_3^-$ .

(Belastegui *et al.*, 2007) señala que la producción de biomasa es similar a diferentes concentraciones de N, por otro lado, la relación raíz/parte aérea fue incrementada en plantas de trébol aplicando  $\text{NH}_4^+$ .

(Belastegui *et al.*, 2007) menciona que al incrementar las proporciones de  $\text{NH}_4^+$  el contenido de raíz en pastizales afectados por el pastoreo tuvo un aumento de hasta 6 veces más. (Roosta y Schjoerring, 2007) hace mención referente al tamaño de la raíz que es dañado y así mismo con más ramificaciones en las plantas en las cuales se utilizó  $\text{NH}_4^+$  en comparación con la utilización de  $\text{NO}_3^-$  las cantidades de nitrógeno afecta el crecimiento y el desarrollo del cultivo de pepino.

(Roosta y Schjoerring, 2007) mencionan que al aumentar las proporciones de  $\text{NH}_4^+$  el contenido de clorofila a y b y carotenoides fueron mayores en plantas en las que se utilizó  $\text{NH}_4^+$  siempre y cuando las proporciones sean de baja a media proporción, esto en comparación con las plantas alimentadas con  $\text{NO}_3^-$ , las plantas que recibieron un nivel intermedio de  $\text{NH}_4^+$  tuvieron una coloración verde más profundo en comparación a la proporción de  $\text{NH}_4^+$  más baja.

De acuerdo con (Roosta y Schjoerring, 2007) fue excesiva la acumulación de  $\text{NH}_4^+$  en las raíces de las plantas de pepino a diferencia que la acumulación en las hojas o tallos. Por esta causa es que el volumen de raíz a mayor proporción

de  $\text{NH}_4^+$  el tamaño o longitud de raíz disminuye en contra parte el uso de  $\text{NO}_3^-$  y por esto es que el volumen de raíz incrementa.

(Schortemeyer *et al.*, 1997) mencionan que al suministrarse  $\text{NH}_4^+$  producciones de materia seca en híbridos de maíz no se vieron afectados en los brotes y las raíces, sin embargo, referente a la materia seca la raíz, el híbrido Helga se mostró con más susceptible al  $\text{NH}_4^+$  en cuanto al crecimiento de raíces, así como también en el crecimiento de brotes.

(Ten Hoopen *et al.*, 2010) señalan que a incrementadas proporciones de  $\text{NH}_4^+$  se vio reducida la biomasa y así mismo el crecimiento radicular en plantas de cebada lo que señala que esto se debe a causa de una toxicidad por  $\text{NH}_4^+$ .

(Zhou *et al.*, 2011) menciona que el efecto sobre las plantas de pepino al suministrar  $\text{NH}_4^+$  se mostró un crecimiento lento en comparación con las plantas a las cuales se les suministro  $\text{NO}_3^-$  por lo que referente a esto al ser disminuido el crecimiento el ancho de la planta es afectada por la utilización de  $\text{NH}_4^+$ .

(Clostre y Suni, 2007) hace mención que el peso en fresco de las plantas de los tratamientos es afectado negativamente hasta con un 7.8% menos peso en fresco de las plantas al aumentar la proporción de  $\text{NH}_4^+$  Ten (Hoopen *et al.*, 2010) señala que conforme es el aumento de  $\text{NH}_4^+$  es menor el tamaño de las raíces.

(Lazo y Ascencio, 2010) señala que el alargamiento de las plantas de es causado por las elevadas temperaturas cuando los días son largos y calurosos.

## VI. CONCLUSIÓN

En base a los resultados obtenidos del experimento realizado sobre los efectos de la concentración de  $\text{NH}_4^+$  y la posición de las plantas en los efectos del crecimiento de lechuga aeropónica (*Lactuca sativa L.*) la interacción de las concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  con 10% y la posición de la parte superior, presenta un mejor crecimiento de acuerdo la mayoría de las variables: altura, ancho, longitud de raíz, volumen de raíz, calidad de visual, firmeza de hoja vieja, firmeza de hoja joven, peso fresco de hoja, peso fresco de raíz, peso específico, peso fresco total, balance parte aérea/raíz en fresco, balance parte aérea/raíz en seco, lecturas SPAD. En las plantas de la parte superior de la unidad aeropónica se obtuvo mayor crecimiento y calidad ya que las plantas en establecidas en la parte superior tuvieron una mayor captación de radiación.

## VII. LITERATURA CITADA

Araiza, E., Siller, C. J., Muy, R. D., Heredia, B. y Sánchez, E. (1997). Maduración en frutos de tomate de larga vida de anaquel. Memorias XXVII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 32, 37.

Arcos, B., Benavides, O. y Rodríguez, M. (2011). Evaluación de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga. Revista de Ciencias Agrícolas. 28:95-108.

Belastegui, X.M., Estavillo, J. M., Garcia-Mina, J.M., Gonzalez, A., Bastias, E. y Gonzalez-Murua, C. (2007). Clover and ryegrass are tolerant species to ammonium nutrition. Journal of Plant Physiology. 164:1953-1954.

Claussen, W. y Lenz, F. (1999). Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth, and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry. Plant and Soil. 208:95-102.

Clostre G. y Suni M. (2007). Efecto del nitrógeno, fosforo y potasio del medio de cultivo en el rendimiento y valor de *Lemna gibba* L. (Lemnaceae). Revista

Peruana de Biología. Asociación de Biólogos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Vol.13.

De Grazia, J., Tittonell, P. A. y Chiesa A. (2001). Efecto de la época de siembra, radiación y nutrición nitrogenada sobre el patrón de crecimiento y el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Cátedra de horticultura y floricultura, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Argentina. (pág. 359-360)

Herrera, A.L. (1999). Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra Latinoamericana. 17:221-229.

Lasa, B., Frechilla, S., Lamsfus, C. y Aparicio-Tejo, P. M. (2001) The sensitivity to ammonium nutrition is related to nitrogen accumulation. Scientia Horticulturae. 91:143-152.

Lazo J.V. y Ascencio J. (2010) Efecto de diferentes calidades de luz sobre el crecimiento de *Cyperus rotundus*. Bioagro. 22:153-158.

Magalhaes, J.R. y Huber, D.M. (1989). Ammonium assimilation in different plant species as affected by nitrogen form and pH control in solution culture. Fertilizer Research. 21:1-6.

Martínez-Gutiérrez, G.A., Ortiz-Hernández, Y.D. y López-Pozos, R. (2012) Oxigenación de la solución Nutritiva Recirculante y su Efecto en Tomate y Lechuga. Nota Científica Revista Fitotecnia Mexicana. Número Especial. 35:49-52.

Moreno, A. (2011). Características de la agricultura protegida y su entorno en México. Revista Mexicana de Agronegocios. (29): 763-774.

Roosta, H.R. y Schjoerring, J.K. (2007). Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber plants. Journal of Plant Nutrition. 30:1933-1951.

Antúnez-Ocampo, O.M., Sandoval-Villa M., Alcántar-Gonzalez y G., Solís-Martínez M. (2014) Aplicación de amonio y nitrato en plantas de *Physalis peruviana* L. Agrociencia. 48:805-817.

Schortemeyer, M.; Stamp, P. y Feil, B. (1997). Ammonium tolerance and carbohydrate status in maize cultivars. Annals of Botany. 79:25-30.

Sonneveld, C. y Voogt, W. (2009). Plant Nutrition in Future Greenhouse Production. In Plant Nutrition of Greenhouse Crops; Springer: Heidelberg. The Netherlands. pp. 393–403.

Ten Hoopen, F., Cuin, T.A., Pedas, P., Hegelund, J.N., Shabala, S., Schjoerring, J.K. y Jahn, T.P. (2010). Competition between uptake of ammonium and potassium in barley and Arabidopsis roots: molecular mechanisms and physiological consequences. *Journal Experimental Botany* 61: 2303–2315.

Urrestarazu, M. y Mazuela, P.C. (2005). Effect of slow-release oxygen supply by fertigation on horticultural crops under soiless culture. *Scientia Horticulturae*, 106:484-490.

Yáñez-Reyes, J. N. (2002). Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. Memorias del Segundo Simposio Nacional de Horticultura, Nutrición de Cultivos Hortícolas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México (pp. 1-22).

Zhou, Y., Zhang, Y., Wang, X., Cui, J., Xia, X., Shi, K. y Yu, J. (2011). Effects of nitrogen form on growth, CO<sub>2</sub> assimilation, chlorophyll fluorescence, and

photosynthetic electron allocation in cucumber and rice plants. Journal of Zhejiang University Science. B. 12:126-134.

## PAGINAS ELECTRÓNICAS

Agromatica. (2014). La (gran) importancia del nitrógeno en las plantas.  
<https://www.agromatica.es/importancia-del-nitrogeno-en-las-plantas/>.

Barreiro. (1993). Revista "Claridades Agropecuarias". Editorial Abriendo Surcos.

<http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/069/ca069.pdf>

Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015a). Cultivo en hidroponía.

[http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1)

FAO. (2007). Programa Especial para la Seguridad Alimentaria PESA- México  
Producción de hortalizas a cielo abierto y bajo condiciones protegidas.

[http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/AsistenciaCapacitacion/Documents/red del conocimiento/manuales pesa/invernaderos.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/AsistenciaCapacitacion/Documents/red%20del%20conocimiento/manuales%20pesa/invernaderos.pdf)

Hernández Cortes José A. (2013). Nutrición mineral en plantas. Grupo de Biotecnología de Frutales.

<https://cienciacebas.wordpress.com/2013/09/12/nutricion-mineral-en-plantas-i/>

INEGI y Colegio de Postgraduados (1998). Monografía. Principales Cultivos Hortícolas de México. Publicación única. Primera edición. 60 p.p.

[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/380/702825118495/702825118495.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/380/702825118495/702825118495.pdf)

Infoagro (2017) Agricultura. El cultivo de la lechuga. <http://www.infoagro.com/hortalizas/lechuga.htm>

Infoagro. (2017) Cultivos aeroponicos. Centro de F.P. Campomar. [http://www.infoagro.com/hortalizas/cultivo\\_aeroponico.htm](http://www.infoagro.com/hortalizas/cultivo_aeroponico.htm)

Intagri. (2017). Formas Químicas de Absorción del Nitrógeno. Intagri S.C. Facultad de Agronomía. Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/formas-quimicas-de-absorcion-del-nitrogeno>

Jay M. (2000). Invernaderos Greenhouse: Los cultivos sin suelo de la hidroponía a la aeroponía. <http://los-invernaderos.blogspot.mx/2010/06/los-cultivos-sin-suelo-de-la-hidroponia.html>

Oasis Easy Plant. Manual de hidropónia (2017) [http://www.oasisfloral.mx/wp-content/uploads/Manual-de-hidroponia\\_Media.pdf](http://www.oasisfloral.mx/wp-content/uploads/Manual-de-hidroponia_Media.pdf)

PNA. (Potassium and Nitrate Association). (2017). Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) versus amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). <http://www.kno3.org/es/product-features-a-benefits/nitrate-no3-versus-ammonium-nh4>

Viteri, Ghezán, I. (2013). Estudio Socioeconómico de los Sistemas Agroalimentarios y Agroindustriales N°14.

[https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_tomateylechuga\\_2013\\_viteri.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_tomateylechuga_2013_viteri.pdf)