

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Peso Fresco y Estado Nutrimental de Lechuga Romana (*Lactuca sativa* L.)  
en Respuesta a la Aireación y la Concentración de Nitrógeno y Potasio en  
la Solución Nutritiva

Por:

**JULIO CESAR MANZANO CARREON**

TESIS:

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre del 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Peso Fresco y Estado Nutricional de Lechuga Romana (*Lactuca sativa* L.) en  
Respuesta a la Aireación y la Concentración de Nitrógeno y Potasio en  
la Solución Nutritiva

Por:

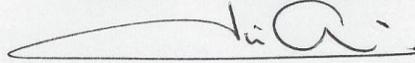
**JULIO CESAR MANZANO CARREON**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

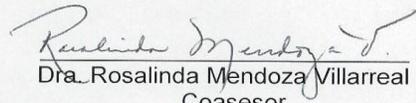
Aprobada por el Comité de Asesoría



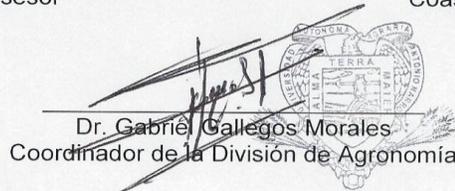
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar  
Asesor Principal



Dr. Armando Hernández Pérez  
Coasesor



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal  
Coasesor



Dr. Gabriel Callegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación  
División de Agronomía  
Saltillo, Coahuila, México  
Noviembre 2015

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme dado la sabiduría y fortaleza de haber llegado hasta este lugar y la dicha de poder aprender en esta vida, por darme la familia que tengo y ponerme en el camino de las personas que he conocido en esta trayectoria, Por cuidarme y protegerme siempre durante todo este tiempo que estuve fuera de mi hogar.

A mis padres **Ma. Belem Carreón Ibáñez, Ramón Manzano Gómez (†)**. Por haberme dado la vida y su amor en estos años de vida a su lado por haberme guiado y compartido su sabiduría por su entusiasmo y su Fe puesta en mí, por su confianza y apoyo incondicional en todo momento, por darme ese hogar y esa familia que amo tanto.

A mis hermanos **Martha, Paulina, Dulce, Ramón, Alejandro, Enrique, Álvaro y Miguel**. Por brindarme su apoyo incondicional y motivarme en todo momento por su conocimiento en esta vida compartido por darme la oportunidad de contar con ellos como hermanos y en ocasiones como padres, a cada uno de ellos por su amor brindado como familia.

A mi compañero de toda la vida y hermano amigo **Miguel**, por ese apoyo y esa esencia que me brindo durante estos cinco años fuera de mi hogar que con su compañía hizo sentirme con la familia completa, por su disponibilidad y complicidad en muchas etapas y circunstancias de esta trayectoria y ser eslabón para poder concluir este trabajo y esta etapa de mi vida gracias hermano.

A mi **ALMA TERRA MATER** por haberme dado la dicha de formar parte de su institución y con orgullo digo **BUITRE POR SIEMPRE**. Por compartirme esta experiencia que siempre se llevara en el corazón y a todas aquellas personas que formaron parte de ella. También por haberme dado hogar durante cinco años que fue mi segundo hogar.

A mi asesor el **Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar**, por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo y compartirme experiencias, sabiduría y lo más importante brindarme su **amistad y confianza** durante toda mi carrera gracias **Doc**.

A la **Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal** y **Dr. Armando Hernández Pérez**, por aceptar al ser parte de mis asesores en este trabajo y por el apoyo brindado durante mi estancia gracias.

A todos a aquellos maestros que formaron parte de mi formación académica por sus conocimientos compartidos por el apoyo que en su momento se me brindo más que nada su estimación gracias **profesores**.

A esos amigos que nos abrieron las puertas de su hogar cuando emprendí este nuevo camino en mi vida a **Víctor Hernández y Sra. Mary** y sus **hijos** por brindarme su hogar y su amistad en aquel lugar.

A mis amigos de la carrera que durante esta trayectoria fueron como familia

**Salvador Cruz Armenta** por ser un gran compañero y hermano durante este tiempo, **Erick Rodríguez, Pablo Vargas**, por su compañía y apoyo durante la carrera, **José Andrés De la Cruz (andresin), David Rincón (Daivid), Omar Rueda, Soledad Briseño (sol), Arnulfo Torrez (el zacatecas), JM Ricardo, Sergio Pérez, Mónica Alik, Carla Campos, Ricardo Baeza (joven), Fernando Camarillo (joven), Juventino**

**Rendón, Marcelino Rendón (los becerros), Adán Estrada, Heriberto Jiménez ( compadre), Jesús Martínez (el Ing. chuy)** por su amistad brindada durante estos 5 años momentos y experiencias compartidas. A **Hugo Sánchez (el Ing.)** por esa confianza brindada y experiencias vividas por los consejos brindados, **Jesús Joaquín (QUIÑONEZ)** por su amistad y su entusiasmo y a muchos más que no menciono que siempre se les recuerda gracias apoyo durante este tiempo.

A la paisana **Beatriz Adriana Contreras Barragán** por su apoyo en la última etapa de este camino la hospitalidad que nos brindó afuera de nuestros dos hogares y por creer en mí gracias amiga.

Al **CITRUS CENTER TEXAS A&M** por brindarme la oportunidad de cerrar este camino experimentado y aprendiendo cosas nuevas con ellos gracias a todo su personal por el apoyo brindado durante mi estancia en esa institución.

Gracias al DR. **MAMOUDOU SETAMOU**, por confiar en mí y darme la oportunidad de aprender cosas nuevas con él.

A **Lidia Guadalupe Valdez Sepúlveda** por la amistad que me brindo y por colaborar con ella y confianza, a sus padres **Sr. Faustino Valdez y Sra. Laura Minerva Sepúlveda Martínez e hijas** por el apoyo que me brindaron cuando más se necesitó.

## DEDICATORIA

A Dios por darme la dicha de aprender y prepararme en el camino de esta vida por darme fortaleza y paciencia y sabiduría, y por haberme cuidado en todo este tiempo te dedico mis conocimientos adquiridos durante todo este tiempo.

Este trabajo fue dedicado a mi familia que creyó en mí que me impulso en todo momento en llegar hasta aquí. En especial A mis padres **Sra Belem y Sr. Ramón (†)** es dedicado por su disponibilidad y apoyo incondicional, porque siempre se preocuparon por mí por siempre veían ayudarme que todo estuviera bien y motivarme a terminar esta carrera lo más importante para mí.

A mis hermanos con mucho cariño y afecto **Ramón, Martha, Paulina, Alejandro, Enrique, Álvaro, Dulce y Miguel,** y a sus **Esposas y Esposos** de cada uno de ellos y a sus **Hijos** con cariño este trabajo.

**Con Amor Gritud y Respeto.**

## RESUMEN

El presente trabajo se estudió el comportamiento de lechuga cv. Lulú en un sistema de producción raíz flotante, en base a diferentes niveles de concentración de N y K en la solución nutritiva (15:7, 12:8.5, 12:2.85 meq L<sup>-1</sup>) con y sin aireación en la solución nutritiva evaluando el desarrollo vegetativo, la acumulación y eficiencia de absorción de nutrientes, evaluados con un diseño bloques completos al azar con un arreglo factorial 2 x 3. Encontrando diferencia en la aireación para las variables de desarrollo del cultivo; en la biomasa de raíz se presentó diferencia significativa por efecto de la aireación y por la concentración de la solución, en la acumulación de nutrientes no se presentó diferencia para N, mientras que para P, K y Mg se presentó una diferencia significativa por efecto de la aireación y de la solución, existiendo una interacción significativa entre ambos a excepción de Mg. La acumulación de Ca solo se obtuvo diferencia significativa por efecto de la concentración de la solución. La eficiencia de absorción de estos nutrientes fue afectada por la aireación. En cuanto a las variables fotosintéticas ocurre lo mismo que en la eficiencia, aunque la disminución de N y K en la solución hubo un mayor incremento, lo que también ocasionó un incremento de transpiración y conductancia estomática. La adición de aireación en la solución nutritiva provoca una mejor eficiencia de nutrientes y acumulación de biomasa, dando lugar a una mejor absorción de estos.

Palabras clave: Lechuga, raíz flotante, solución nutritiva, aireación, nitrógeno, potasio.

Correo electrónico, Julio Cesar Manzano Carreón,  
[manzocarreon8@gmail.com](mailto:manzocarreon8@gmail.com)

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIA .....	IV
RESUMEN.....	V
ÍNDICE GENERAL .....	VI
ÍNDICE DE CUADROS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	3
III. OBJETIVOS.....	4
3.1Objetivogeneral.....	4
3.2 Objetivos especificos.....	4
IV. HIPOTESIS.....	5
V. REVISIÓN DE LITERATURA .....	6
5.1. Lechuga.....	6
5.1.1. Origen .....	6
5.1.2. Importancia. ....	7
5.1.3. Hidroponía.....	7
5.2.1. Sistemas hidropónicos .....	8
5.2.2 Raíz flotante .....	8
5.2.3 Sistema NFT .....	8
5.2.4. Sistema en sustrato solido .....	9
5.2.5 Sistema NGS .....	10
5.2.6 Sistema Aeroponico. ....	11
5.2.7 Sustratos en la hidroponía. ....	11

5.3 Aireación de la Solución Nutritiva .....	11
5.4 Nitrógeno .....	12
5.4.1 Nitratos .....	12
5.4 Potasio .....	13
5.5 Interacción N/K .....	13
5.6 Importancia comercial. ....	13
VI. MATERIALES Y METODOS .....	14
6.1 Ubicación.....	14
6.2 Material vegetativo .....	14
6.3 Diseño de tratamientos.....	14
6.4 Variables analizadas .....	15
6.5 Diseño estadístico .....	16
VII. RESULTADOS .....	17
7.1. Desarrollo vegetativo .....	17
7.2 CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES .....	18
7.2.1 Nitrógeno (N).....	18
7.2.2 Fosforo (P) .....	19
7.2.3 Potasio (K) .....	20
7.2.4 Calcio (Ca) .....	20
7.2.5 Magnesio (Mg) .....	21
7.3 Eficiencia en producción de biomasa .....	22
7.4 variables fisiológicas.....	24
VIII DISCUSIÓN .....	26
8.1 Variables agronómicas .....	26
8.2 Concentración de nutrientes.....	26
8.3 Eficiencia de nutrientes .....	27
8.4 Para las variables fotosintéticas .....	29
IX. CONCLUSIÓN .....	31
X. LITERATURA CITADA.....	32

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Tratamientos utilizados para evaluar el efecto de la aireación de la solución nutritiva como la relación N:K .....	15
<b>Cuadro 2.</b> Efecto de la aireación de la solución nutritiva y de la relación N:K sobre las variables agronómicas de lechuga cv. Lulu .....	18
<b>Cuadro 3.</b> Efecto de la aireación de la solución nutritiva y de la relación N:K sobre la concentración de nutrientes en hojas de lechugas var Lulu.	21
<b>Cuadro 4.</b> Modelación sobre el peso fresco de hoja y de lechuga y longitud de raíz en la interacción N:K en la solución nutritiva en la concentración de hojas en plantas de lechuga var Lulu.....	22
<b>Cuadro 5.</b> Efecto de la aireación en la solución nutritiva y relación N:K en la eficiencia de nutrientes en base a biomasa acumulada mg/g en plantas de lechuga var Lulu cultivadas en sistema de raíz flotante.....	23
<b>Cuadro 6.</b> Efecto de la aireación en la solución nutritiva y de la relación N:K sobre algunas variables fotosintéticas en plantas de lechuga var Lulu.....	25

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Efecto de la interacción entre la relación N:K y la aireación de la solución nutritiva en la concentración de (P) en plantas de lechuga cv. Lulu .....	19
<b>Figura 2.</b> Efecto de la interacción entre la relación N:K y la aireación de la solución nutritiva en la concentración de (K) en plantas de lechuga cv. Lulu .....	20

## I. INTRODUCCIÓN

El sector hortícola representa una actividad importante en México, en particular la producción de hortalizas con sistemas protegidos a base de invernaderos, actividad que se ha incrementado notablemente en los últimos años (SIAP, 2015). En este sistema las principales hortalizas cultivadas son: tomate, seguido de pimiento y pepino, en una superficie que abarca hasta un 90%. La producción de hortalizas en invernadero en sistemas hidropónicos, donde se puede usar o no sustratos en lugar de suelo y solución nutritiva como soporte para las plantas (Urrestarazu, 2004). Con este tipo de tecnología se mejoraría el ambiente de desarrollo de la raíz y disminuiríamos el problema de enfermedades en la raíz ocasionadas por el suelo de igual manera la incidencia de plagas en la planta (Os, 2009). La producción intensiva principalmente de tomate entre otras hortalizas producidas en invernadero presenta un problema de saturación de mercado lo que ocasiona una disminución en el precio del producto que por ende el productor se ve perjudicado en la rentabilidad de su producción. Por esto es necesario diversificar las especies cultivadas en este tipo de sistemas de producción. La lechuga (*Lactuca sativa* L.) representa un potencial para su producción y manejo, ya que actualmente el mercado extranjero la está demandando. (SAGARPA, 2007).

En el 2010 la producción de lechuga reportó una producción a cielo abierto de 16,638.6 ha, con un volumen de producción de 349,425.97 ton., mientras que invernadero se reportaron 5 ha con un rendimiento de 95 ton/ha (SIAP, 2015). Si implementamos esta tecnología de hidroponía se incrementa considerablemente el rendimiento.

La implementación de producción en invernadero en México ofrece paquetes tecnológicos para ambos sistemas de producción. Un inconveniente de estos sistemas de producción es que traen consigo

un alto consumo de agua y fertilizantes, lo que a futuro es el agotamiento de agua y los fertilizantes cada vez más costosos (Huang, 2009).

Una implementación en la producción de lechuga hidropónica es la implementación de la reutilizar la solución, recirculando la solución nutritiva para un nuevo uso realizando una previa esterilización y ajustando los nutrientes de dicha solución, pH y CE.

Con la implementación de la reutilización de la solución nutritiva disminuye el uso de agua y fertilizantes, de tal manera que se puede tener un ahorro hasta un 30% (Dhakal *et al.*, 2005), además de un menor impacto ambiental al evitar la percolación de sales minerales, las que finalmente llegan a ríos y mares (Massa *et al.*, 2010).

## **II. JUSTIFICACIÓN**

Mediante el presente estudio se pretende encontrar una forma de producción de lechuga de igual o mejor calidad reduciendo los costos de producción en el adicionamiento de aireación y haciendo un uso eficiente de fertilizantes en el sistema de raíz flotante.

## III. OBJETIVOS

### 3.1 Objetivo general

Estudiar la interacción de N:K en interacción con la aireación de la solución nutritiva, para la producción de Lechuga en el sistema de raíz flotante.

### 3.2 Objetivos específicos

Evaluar el efecto de la aireación y su interacción con la solución nutritiva con diferentes concentraciones de N y K y el comportamiento con el desarrollo vegetal y su acumulación de biomasa de lechuga.

Evaluar el efecto de la solución nutritiva y las distintas concentraciones de N y K en el contenido nutrimental de la parte comercial de la planta de lechuga.

Evaluar el efecto de la aireación y su interacción con la concentración de N y K en la eficiencia de absorción de nutrientes en la planta.

Evaluar el efecto de la aireación y su interacción con la solución nutritiva y sus distintas concentraciones de N y K, en la fotosíntesis de la planta.

## **IV. HIPOTESIS**

La no aireación en la solución nutritiva con al menos una de las concentraciones de N o K, afectara el desarrollo y producción de la planta de lechuga.

## V. REVISIÓN DE LITERATURA

### 5.1. Lechuga

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) se encuentra dentro del grupo más importante de las hortalizas de hoja, siendo de gran interés en México, ya que la producción de las hortalizas no se caracteriza por una concentración en pocas regiones, esto es debido a la gran facilidad para cultivarse y a la diversidad de climas que cuenta nuestro país, las tecnologías empleadas y la mentalidad empresarial de nuestros productores. Estos factores tan simples nos han colocado como un país potencialmente productivo en donde es posible obtener una amplia gama de productos en las diferentes épocas del año (Borrego *et al.*, 1999).

#### 5.1.1. Origen

El origen de la lechuga parece no estar muy claro, aunque el botánico Vavilov mencionaba que el origen de la lechuga se situaba en el cercano oriente. Hoy en día no existe un acuerdo al respecto del origen debido a la aparición de un segundo antecesor de la *Lactuca cariola* L. que se encuentra en estado silvestre en la mayor parte de las zonas templadas (Mills *et al.*, 1996), que son de las variedades actualmente cultivadas y resultado de la hibridación entre distintas especies. Se dice que la lechuga es una especie nativa de Asia, Europa y el Norte de África por ser desarrollada de la *Lactuca serriola*, aunque la lechuga ya era conocida por los primeros griegos y romanos (Edmon, 2009).

### **5.1.2. Importancia**

La lechuga es exportada principalmente a Estados Unidos de Norte América donde se tiene un mayor valor en el mercado por la venta en dólares. El estado de Guanajuato con una gran cantidad de productores que tiene situado un mercado de venta con el vecino país teniendo vetas de oportunidad es decir que solo cuando pase un fenómeno o su producción no cumpla con las exigencias del mercado, mientras que el estado de Puebla su producción se destina solamente para satisfacer las necesidades del mercado nacional, es decir que la mayor producción se sitúa en el estado de Guanajuato (ASERCA, 2011). En el 2011 se reportaron 11,564 ha sembradas con disponibilidad de riego en 22 estados de la República Mexicana, donde los estados más sobresalientes son Guanajuato con 3,646 ha, Puebla con 2,286 ha, Baja California con 1,945 ha y Zacatecas con 1,074 ha con rendimientos promedio de 18.54 ton/ha, siendo Guanajuato la entidad que tiene el mejor rendimiento por hectárea (SIAP, 2011).

### **5.1.3. Hidroponía**

La hidroponía permite, con un reducido consumo de agua y pequeños trabajos físicos, pero con mucha dedicación y constancia, producir hortalizas frescas, sanas y abundantes en pequeños espacios de las viviendas, aprovechando en muchas ocasiones elementos desechados, que de no ser utilizados causarían contaminación (Mougeot, 2006). Todos los sistemas de hidroponía / cultivo sin suelo, requieren considerablemente de cantidades de agua pura relativamente. El mejor suministro que se usa frecuentemente es agua doméstica y/o agua para la agricultura, las que frecuentemente contienen sustancias y elementos que pueden afectar (positivamente o negativamente) el crecimiento de la planta. Por lo tanto un análisis de agua, para que sea usada en un sistema hidropónico/cultivo sin suelo es esencia (Benton, 2004).

### **5.2.1. Sistemas hidropónicos**

Existen diferentes sistemas de cultivo sin suelo (hidroponía), de los cuales se derivan en tres clasificaciones todo depende del ambiente en el que se desarrollan las raíces. Son sistemas que por excelencia la raíz está en contacto directo con la solución nutritiva, algunos sistemas hidropónicos se pueden definir conforme el material utilizado dependiendo del cultivo (Montero, 2006).

### **5.2.2 Raíz flotante**

El sistema de la raíz flotante es uno de los sistemas hidropónicos más utilizados para la producción de hortalizas en las que únicamente se aprovechan sus hojas para su consumo (lechuga, albahaca, apio, endibia, etc.). Esto es debido a que estos cultivos tienen la capacidad de adaptar sus raíces, absorbiendo eficientemente el oxígeno disuelto en la solución nutritiva (Barrios, 2004).

### **5.2.3 Sistema NFT**

El término NFT hace referencia a las iniciales Nutrient Film Technique (Técnica de La película nutritiva). Este principio consiste en mantener en recirculación la solución nutritiva por medio de una electro bomba a través de tuberías de distribución, hacia una serie de canales de PVC de superficie plana (Carrasco y Izquierdo, 1996).

#### **5.2.4. Sistema en sustrato solido**

La solución nutritiva atraviesa el sustrato de arriba abajo, por percolación, los sustratos pueden ser orgánicos o inorgánicos. Entre los sustratos inorgánicos más utilizados y aptos para cultivos hidropónicos, se encuentran: arena, grava, piedra volcánica, y ladrillo molido. En cuanto a sustratos orgánicos: aserrín, la cascarilla de arroz, fibra de coco, y carbón vegetal (Montero, 2006).

Es un sistema en el cual se usan sustratos solidos los cuales sirven para brindar un balance entre los poros que retengan la solución y que los poros de mayor magnitud proporcionen oxígeno a la raíz y de soporte para la planta. Existen distintas técnicas en los cultivos en sustratos.

##### **5.2.4.1 Cultivo en macetas Bentley (Bentley Containers System)**

Esta técnica de producción hidropónica el doctor Bentley que se publicó por primera vez en 1974 y responde a la idea de implementar métodos más económicos en este tipo de producción hidroponía, donde se utilizan bolsas de polietileno, donde el sistema de riego se realiza con un riego por goteo.

##### **5.2.4.2 Sistema de tubos verticales (hidroponía vertical)**

Son cultivos verticales en tubos de polietileno rellenos de sustratos ligeros, de dimensiones de 0.5 a 2 metros estos pueden ser soportados por la estructura del invernadero o realizando un soporte individualmente, el riego se realiza de la misma manera utilizando el principio del riego por goteo este sistema se puede recircular la solución nutritiva dejando drenar los tubos, este tipo de sistema se acopla perfectamente a cultivos de porte bajo es decir que su crecimiento sea determinado y no muy robusto, se pueden emplearse para una producción decorativa y estética.

#### **5.2.4.3 Sistema en barras y bolsas de cultivo (slabs)**

Esta técnica se desarrolló en Dinamarca y Suecia, para la producción de hortalizas y plantas de ornato de alto valor comercial, en sustratos que se comercializan listos para su uso en bolsas de plástico, estos se colocan en hileras sobre canaletas donde se conduce el exceso de la solución nutritiva para poderla reutilizar donde se usa el riego a través de espaguetis.

El primer sustrato utilizado fue la lana de roca y actualmente se usa la fibra de coco y espuma fenólica entre otras, esta última ha demostrado ahorros significativos de más del 50% en el consumo de la solución nutritiva entre otros beneficios como un adelanto en la fructificación y grados Brix en la producción.

#### **5.2.5 Sistema NGS**

El sistema NGS es una modalidad de cultivo hidropónico desarrollado en 1991 caracterizado por la ausencia de sustrato; es decir se trata de un cultivo hidropónico puro, en el que las raíces se desarrollan en una disolución nutritiva recirculante (DNR) que circula por un circuito cerrado lo que permite un ahorro muy significativo de agua y fertilizantes y da a este sistema un carácter ecológico y de respeto al medio ambiente. La DNR ocurre por la liberación de la solución nutritiva en el centro de dos láminas de polietileno que están colocadas en forma de “V” desde el momento que es liberada hasta que se llenan las dos láminas de polietileno y las raíces aprovechan al máximo (Durán, 2005).

### **5.2.6 Sistema Aeropónico**

Este sistema por su cuenta toma ventajas en comparación que el de raíz flotante, el cual tiene la óptima aireación de la raíz (Durán, 2000). El principio básico de este sistema es hacer crecer las plantas cerrado realizando una micro aspersión creando una pulverización acuosa rica en nutrientes, la parte aérea de la planta están hacia arriba las raíces están separadas de la estructura de apoyen entorno de las raíces está libre de plagas y enfermedades por lo cual el desarrollo del cultivo es más favorable y eficiente por lo que no recibe alteraciones sobre su crecimiento en comparación que las desarrolladas en suelo.

### **5.2.7 Sustratos en la hidroponía**

En la hidroponía es indispensable tener un conocimiento previo sobre la fisiología vegetal, la elección del sustrato el tipo de contenedores y aplicación de nutrientes en agua, estos elementos son sencillos pero su infraestructura es algo elevado en cuanto a su costo por las exigencias para el establecimiento se estos sistemas (Urrestarazu, 2004)

Algo indispensable en las características de los sustratos es su retención de humedad una capacidad de intercambio catiónico moderado libre de semillas de otras especies y sobretodo de bajo costo que sea fácil su proceso para la incorporación al sistema. (Barbado, 2005; Urrestarazu, 2004).

### **5.3 Aireación de la Solución Nutritiva**

La carencia de oxígeno en la zona radicular de la planta tiene muchas formas de manifestarse, dependiendo la especie. El agua y los minerales no pueden ser absorbidos en cantidades suficientes por ende se somete a un crecimiento por estrés. Cuando no se detecta oxígeno en la zona

radicular se dice que existe anoxia o condiciones anaeróbicas ocasionando en la planta marchitamiento y una disminución en la fotosíntesis y la asimilación de carbohidratos menciona Navarro-Fernandez (2013); por otro lado Zheng *et al.* (2007) mencionan que un ambiente radical bien oxigenado es esencial para la salud del sistema radical (absorción de nutrientes, crecimiento y mantenimiento de raíces) y la prevención de enfermedades radicales. La deficiencia de oxígeno en la zona radicular puede conducir a una mala raíz y rendimiento de la planta. (Cherif *et al.*,1997).

## **5.4 Nitrógeno**

La función específica de los nitratos en los vegetales es la de suministrar nitrógeno para la síntesis de proteínas, una vez reducido por acción de la enzima nitrato reductasa. A diferencia de lo que ocurre con otros compuestos de nitrógeno (nitritos y amonio), los nitratos se acumulan en las vacuolas de los tejidos vegetales, donde tienen una función no específica, supliendo a ácidos orgánicos y azúcares, actuando como reguladores osmóticos cuando la fotosíntesis es muy baja (Berhr y Wiebe,1992).

### **5.4.1 Nitratos**

Las formas de nitrógeno y cantidades aportadas al cultivo, tienen gran relación en cuanto a la concentración de nitratos en la planta. (Pomares *et al.*, 1996). La utilización de fertilizantes de lenta liberación disminuye en contenido de nitratos en la planta (Belligno, 1997). Los nitratos están tomando cada vez más fuerza como parámetro de calidad del alimento debido a los riesgos que pueden ocasionar en la salud del consumidor, los niveles permitidos han ido cambiando conforme avanza el tiempo se ha tomado un control más riguroso sobre los niveles permitidos (Hill, 1996).

## **5.4 Potasio**

El potasio tiene una amplia gama de funciones de nutrición de las plantas, incluyendo el mantenimiento de los gradientes de potencial eléctrico a través de las membranas celulares, la generación de la turgencia, y la activación de numerosas enzimas. También es esencial para la fotosíntesis, síntesis de proteínas y regulación del movimiento de los estomas, y es el principal catión en el mantenimiento de anión-catión saldo (Marschner, 1995).

## **5.5 Interacción N/K**

El nitrógeno y el potasio son los principales nutrientes en la fertilización de los cultivos. El catión monovalente  $K^+$  es la forma iónica de K en el suelo y recoge como tal las plantas. Para N hay varias formas iónicas y no iónicas en el suelo, pero la absorción de la planta por no leguminosas generalmente se limita a las dos principales formas iónicas monovalentes:  $NH_4^+$  un catión y  $NO_3^-$  un anión Tal (2011). Recientemente, el K para nutrir los cultivos se ha influenciado bajo regímenes variados de suministro de nitrógeno fue revisado por (Zhang *et al.*, 2010).

## **5.6 Importancia comercial**

La calidad nutricional y de mercado de la lechuga se relaciona no sólo al tamaño de la cabeza y la apariencia sino también al contenido de vitaminas y minerales y el mantenimiento de las concentraciones de nitrato y nitrito en el follaje a niveles por debajo de la E.U. Los cambios en el máximo valor nutricional ocurre tanto o durante el crecimiento de la planta (Drews, 1997). El consumo de altos contenidos de nitratos en la dieta

humana es extremadamente peligroso dado que este ion es un precursor en la formación de agentes cancerígenos (Jaworska, 2005).

## **VI. MATERIALES Y METODOS**

### **6.1 Ubicación**

El experimento se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicado en las coordenadas geográficas 25°43'43"N y 103°00'07"O. Con una temperatura promedio de 19.9 °C, con máximas/mínimas de 34.7°C/12.6°C respectivamente y una humedad relativa promedio fue del 85.3%, una máxima de 100% y una mínima del 38.3%. La radiación fue de 3006.5 luxes.

### **6.2 Material vegetativo**

El material vegetativo del experimento fue con plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) de tipo Orejona var. Lulú, las cuales fueron trasplantadas el 29 de agosto del 2013 en contenedores de plástico rígido con 5 plántulas en un sistema de raíz flotante consistente de un contenedor con un volumen de 35L de solución nutritiva; cada contenedor fue considerado como una unidad experimental.

### **6.3 Diseño de tratamientos**

Se utilizaron tres soluciones nutritivas basadas en la solución Hoagland, variando la concentración de N y K y con o sin aireación de la solución nutritiva (Cuadro 1). A la solución nutritiva se le adicionó aireación mediante un equipo de bombeo para peceras de marca Elite, este equipo contaba con un diafragma y filtros que regulaban la salida de aire para que su distribución fuera homogénea, la aportación de aire se realizó

permanentemente los 7 días de la semana por la duración del experimento.

**Cuadro 1** Tratamientos utilizados para evaluar el efecto de la aireación de la solución nutritiva como la relación N: K

Tratamiento	Aireación (O)	N meq L <sup>-1</sup>	K meq L <sup>-1</sup>
15 N + 7 K sin aireación (Control sin aireación)	-	15	7
15 N + 7 K con aireación (Control con aireación)	O	15	7
12 N + 8.5 K sin aireación	-	12	8.5
12 N + 8.5 K con aireación	O	12	8.5
12 N + 2.85 K sin aireación	-	12	2.85
12 N + 8.5 K con aireación	O	12	2.85

#### 6.4 Variables analizadas

El experimento se mantuvo durante 36 días después del trasplante, cada unidad experimental contaba con 5 plantas de las cuales se utilizaron 3 de ellas para analizar las mediciones. Dentro del laboratorio las variables a medir fueron las siguientes: altura de planta, firmeza, la cual se midió con un penetrómetro (McCormick mod). F327; el peso fresco de hoja y de raíz se obtuvieron las muestras y se lavaron y se pesaron cada uno de los órganos a medir. La concentración y eficiencia en su uso en base a biomasa acumulada de los macronutrientes N, P, K, Ca, y Mg, se analizaron en muestras de hojas, las cuales se molieron para pasarlos por

un tamiz de malla calibre 40 (A-10; TEKMAR IKA Laborectehnik, Germany) y se realizó con una mezcla de 2:1 de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: HCl<sub>4</sub> y 2 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30%. Se analizaron las muestras dirigidas para N con el procedimiento de micro -Kjeldahl, mientras que para K, P, Ca, Mg, fueron analizados con un espectrómetro de emisión de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES, modelo Liberty, VARIA, Santa Clara, CA). A los 24 días después del trasplante se realizó la medición de la tasa fotosintética neta con un equipo de medición de fotosíntesis (LI-COR, Inc., Lincoln, NE) en una hoja joven completamente desarrollada; se tomaron tres repeticiones por unidad experimental.

### **6.5 Diseño estadístico**

El experimento fue diseñado en bloques al azar con un arreglo factorial de 2 x 3 utilizando cuatro repeticiones por tratamiento (contenedores con 5 plantas cada uno), los resultados se analizaron con el paquete estadístico SAS versión (9.0) mediante análisis de varianza y una prueba de rango múltiple de Duncan al 0.05. Se estimaron unos modelos mediante selección de variables por procedimiento backwards seleccionando el mejor modelo en base a R<sup>2</sup> ajustado más alto.

## VII. RESULTADOS

### 7.1. Desarrollo vegetativo

Los resultados indican que las plantas creciendo con soluciones con aeración muestran un incremento significativo en las variables de longitud de hoja, peso fresco de hoja y peso fresco de raíz (Cuadro 2). Para la variable longitud de hoja el incremento de la concentración de 15 N + 7 K meq L<sup>-1</sup> con aireación fue de 8% en comparación de la misma solución pero sin aireación encontrando una diferencia significativa.

En cuanto a la variable peso fresco de hoja se muestra un incremento de un 40 % más con la solución de 15 N + 7 K con aeración en comparación de la solución control sin aireación con una diferencia significativa mientras que para la variable peso fresco de raíz se muestra incremento de un 19% comparado con solución 15 N + 7 K sin aireación (cuadro 2).

El peso fresco de raíz también fue afectado significativamente por la relación N:K pues en general este fue mayor en plantas con la solución 15:7 (Cuadro 2)

**Cuadro 2** Efecto de la aireación de la solución nutritiva y de la relación N:K sobre variables agronómicas en lechuga cv. Lulu.

Aireación	Solución N:K (meq L <sup>-1</sup> )	Longitud de hoja (cm)	Firmeza (gr/cm <sup>2</sup> )	Peso fresco de hoja (gr)	Peso fresco de raíz (g)
Con aireación	15: 7	35.50 a	2.90 a	286.90 a	42.80 a
	12:8.5	34.80 a	3.20 a	243.70 b a	37.71 b a
	12: 2.85	33.96 b a	3.00 a	239.70 b a	33.88 b
Sin aireación	15: 7	32.90 b c	3.60 a	205.60 b	36.06 b a
	12 : 8.5	32.00 c	3.00 a	201.50 b	32.80 b
	12 : 2.85	31.77 c	3.60 a	206.01 b	32.25 b
Aireación		<0 .001	NS	< 0.005	< 0.005
Solución		NS	NS	NS	< .005
Interacción		NS	NS	NS	NS

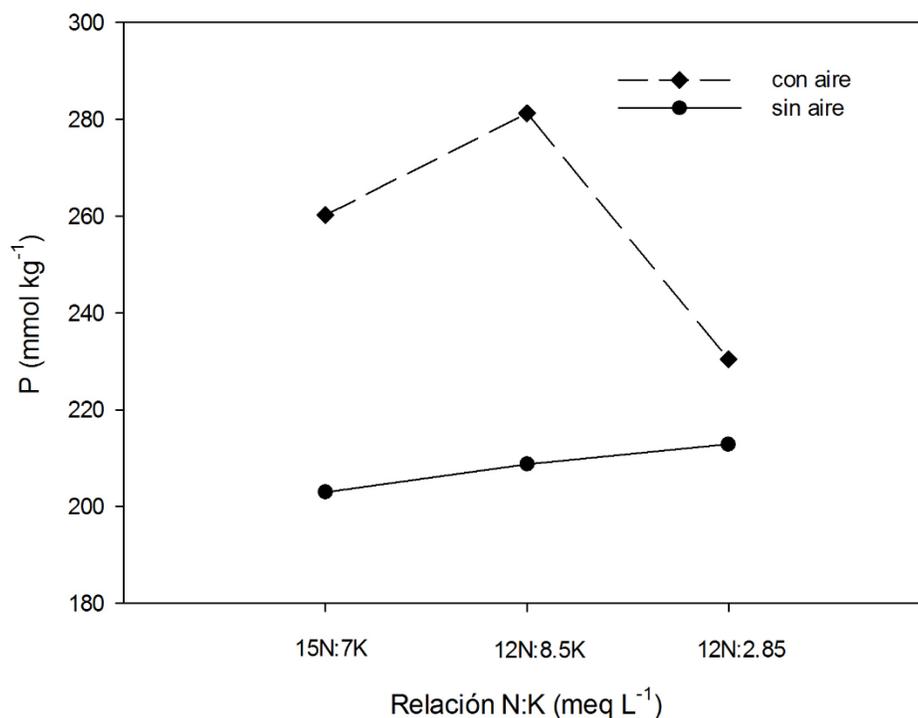
Las medias seguidas de la misma letra son estadísticamente iguales ( $p \leq 0.05$ )  
NS: No significantes.

## 7.2 CONCENTRACION DE NUTRIENTES

### 7.2.1 Nitrógeno (N)

Para la concentración de nutrientes, en el N no se presenta diferencia significativa, más sin embargo si existe una ligera diferencia del 9.9%

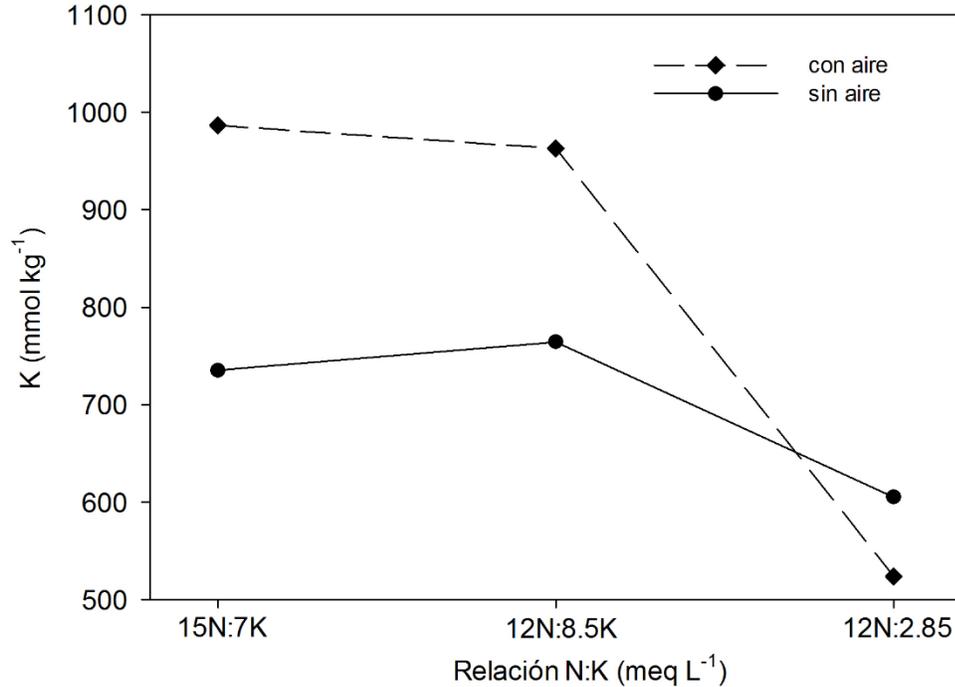
mayor concentración cuando se adiciona aireación a la solución nutritiva con la concentración 15 N + 7 K (Cuadro 3).



**Figura 1.** Efecto de la interacción entre la relación N:K y la aireación de la solución nutritiva en la concentración de fósforo (P) en plantas de lechuga cv. Lulú.

### 7.2.2 Fósforo (P)

En general, la concentración de P, K, Mg fue más elevada en plantas que recibieron aireación en la solución nutritiva (Cuadro 3). Sin embargo en plantas sin aireación de la solución nutritiva, la concentración de P tendió a elevarse conforme se disminuye la concentración de K en la solución, mientras que en plantas con aireación no hubo un efecto significativo de la solución (Cuadro 3).



**Figura 2.** Efecto de la interacción entre la relación N:K y la aireación de la solución nutritiva en la concentración de potasio (K) en plantas de lechuga cv. Lulú.

### 7.2.3 Potasio (K)

En plantas con y sin aireación de la solución la concentración de K disminuyó conforme de disminuye la concentración de este ion en la solución nutritiva (Cuadro 3). la interacción significativa sugiere que el efecto fue más marcado en plantas con aireación como se muestra en la Figura 1.

### 7.2.4 Calcio (Ca)

La concentración de Ca aumento significativamente cuando se disminuyó la concentración de K en la solución nutritiva, respuesta que fue independiente de las plantas que recibieron aireación en la solución nutritiva (Cuadro 3).

### 7.2.5 Magnesio (Mg)

Una respuesta similar se observa con respecto a la concentración de Mg, aunque en este caso las plantas que recibieron aireación en la solución nutritiva una mayor concentración del nutrimento (Cuadro 3).

**Cuadro 3** Efecto de la aireación de la solución nutritiva y de la relación N:K sobre la concentración de nutrientes en hojas de lechuga var Lulu

Aireación	Solución N:K (meq L <sup>-1</sup> )	Concentración de nutrientes (mmol Kg <sup>-1</sup> )				
		N	P	K	Ca	Mg
Con Aireación	15: 7	2712.5 a	260.27 a	986.24 a	191.38 b	108.685 b a
	12:8.5	2662.5 a	281.28 a	962.96 a	190.79 b	108.800 b a
	12:2.85	2650.0 a	230.40 a	523.63 d	210.64 a	124.128 a
Sin Aireación	15: 7	2443.8 a	202.91 b	734.95 b	174.57 b	74.803 c
	12:8.5	2531.3 a	208.74 a	764.20 b	175.60 b	73.525 b
	12:2.85	2512.5 a	212.84 a	605.06 c	208.23 a	98.793 b
Aire		NS	< 0.001	< 0.001	NS	< 0.001
Solución		NS	<0 .05	< 0.001	< 0.001	<0 .05
Interacción		NS	=0.023	<0.001	NS	NS

Medias seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ( $p \leq 0.05$ )

NS: No significancia

**Cuadro 4.** Modelación sobre peso fresco de la hoja y longitud de raíz en la interacción N:K en la solución nutritiva en la concentración de hojas en plantas de lechuga var. Lulu.

MODELOS
<p><b>PFH</b> = 85.79587 – 1079.14001 EFIC. APORT. P + 3948.09700 EFIC. APORT. K + 3688.11932 EFIC. APORT. Ca CON R<sup>2</sup> = 0.6493 Y P &gt; .0002</p> <p><b>LR</b> = –2.83356 + 7.33818 EFIC. APORT. N CON R<sup>2</sup> = 0.5953 Y P &gt; .0001</p>

. **PFH**: peso fresco de hoja, **LR**: longitud de raíz.

### 7.3 Eficiencia en producción de biomasa

Para la eficiencia en base a la biomasa acumulada las soluciones nutritivas con aireación provocaron un efecto significativo en comparación con aquellas sin aireación pues en todos los nutrimentos se requirió de una mayor extracción nutrimental para la producción de un gramo de biomasa (Cuadro 5).

En la solución 12 N + 8.5 K con aireación la eficiencia de N fue 19.7% mayor en comparación que la solución 15 N + 7 K. Para el P se presenta una eficiencia de 19.7 % mayor con una concentración en la solución de 12 N + 8.5 K con aireación en comparación que la solución control sin aireación, en tanto que para el K se muestra una eficiencia 19.6% mayor cuando se tiene una solución en una concentración de 12 N + 8.5 K con aireación en comparación que la solución control sin aireación (**Cuadro 5**).

Para el Ca se presenta un aumento del 19.7% cuando se tiene una solución con 12 N + 8.5 K con aireación en comparación que la solución control sin aeración. Para el Mg se presenta una eficiencia mayor en 19.7% cuando se presenta una solución con una concentración de 12 N + 8.5 K con aireación en comparación que la solución testigo. Sin encontrar

efectos significativos en la eficiencia en base a biomasa acumulada de N, P, K, Ca y Mg en las concentraciones de N y K de la solución nutritiva comparando los valores más altos con la solución control sin aireación.

**Cuadro 5** Efecto de la aireación en la solución nutritiva y relación N : K en la eficiencia de nutrientes en base a biomasa acumulada mg/g en plantas de lechuga var Lulu *cultivadas en sistema de raíz flotante*.

Aireación	Solución N:K (meq L <sup>-1</sup> )	Eficiencia de nutrientes en base a la biomasa acumulada en (mg/g)				
		N (mg/g)	P (mg/g)	K (mg/g)	Ca (mg/g)	Mg (mg/g)
Con Aireación	15: 7	7.27 b a	49.24 b a	5.58 b a	8.48 b a	31.80 b a
	12:8.5	7.97 a	53.95 a	6.11 a	9.29 a	34.84 a
	12:2.85	7.14 b a	48.36 b a	5.48 b a	8.33 b a	31.80 b a
Sin aireación	15: 7	6.40 b a	43.32 b a	4.91 b a	7.46 b a	27.98 b a
	12:8.5	6.04 b	40.94 b	4.64 b	7.05 b	26.44 b
	12:2.85	6.03 b	40.55 b	4.62 b	7.02 b	26.44 b
Aire		<0 .001	< 0.001	<0 .001	< 0.001	< 0.001
Solución		NS	NS	NS	NS	NS
Interacción		NS	NS	NS	NS	NS

Las medias seguidas de la misma letra estadísticamente son iguales ( $p \leq 0.05$ )  
NS: No significantes.

#### 7.4 variables fisiológicas

La aireación de la solución nutritiva provocó una disminución en la concentración de N y P lo que a su vez incremento la tasa fotosintética en las soluciones sin aireación y en la conductancia estomática, encontrando diferencia significativas entre la solución 12 N: 2.85 K meq L<sup>-1</sup> sin aireación y 12 N: 8.5 K meq L<sup>-1</sup> con aireación incrementando hasta un 4.3 % y disminuyendo 12.1 % respectivamente la tasa fotosintética en estas soluciones comparado con la solución control sin aireación, en cuanto a conductancia estomática mostro una diferencia significativa entre las soluciones 12 N: 2.85 K meq L<sup>-1</sup> sin aireación y 12 N: 8.5 K meq L<sup>-1</sup> con aireación encontrando un incremento de 2 % y disminución de 14% respectivamente comparado con la solución control sin aireación y encontrando en las mismas soluciones (12 N: 2.85 K meq L<sup>-1</sup> sin aireación y 12 N: 8.5 K meq L<sup>-1</sup> con aireación) una diferencia significativa en la transpiración con un incremento de 5 % y disminución de 10% respectivamente comparado con la solución control sin aireación. En cuanto a la temperatura de la hoja y la conductancia en la hoja no presentas efectos significativos. Sin embargo no se encuentra diferencia significativa en cuanto a la aireación de la solución nutritiva y concentración de N y K así como su interacción (**Cuadro 6**).

**Cuadro 6**  
Efecto de la aireación en la solución nutritiva y de la relación N:K sobre algunas variables fotosintéticas en plantas de lechuga var Lulu

Aireación	Solución N:K (meq L <sup>-1</sup> )	Condu.			Temperatura de la			Del agua en la hoja (C m S <sup>-1</sup> )
		Tasa fotosintética (µmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Estomática (C m S <sup>-1</sup> )	Tasa de transpiración (µg cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	hoja	Cond. de la hoja (C m S <sup>-1</sup> )		
Con Aireación	15:7	13.6 ab	0.45 ab	11.1 bc	26.1 a	379.0 ab	12.8 bc	
	12:8.5	13.08 b	0.43 b	10.8 c	26.0 a	380.2 a	12.5 c	
	12:2.85	13.4 ab	0.51 ab	11.4 ab	26.4 a	379.8 a	13.1 bc	
Sin Aireación	15:7	14.8 ab	0.51 ab	11.9 ab	26.0 a	377.4 ab	13.7 bc	
	12:8.5	13.5 ab	0.49 ab	11.5 abc	26.0 a	377.8 ab	13.3 ab	
	12:2.85	15.4 a	0.53 a	12.5 a	26.3 a	376.3 ab	14.4 a	
Aireación		NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Solución		NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Interacción		NS	NS	NS	NS	NS	NS	

Las medias seguidas de la letra son estadísticamente iguales (p≤0.05 NS: No significantes).

## VIII DISCUSIÓN

### 8.1 Variables agronómicas

La aireación incrementó la longitud de hoja, peso fresco de hoja y peso fresco de raíz respectivamente; nuestros resultados no concuerda con lo obtenido por Martínez-Gutierrez *et al.* (2012) donde mencionan que en plantas de tomate no se encontró efecto en la producción de biomasa fresca, tanto de la parte aérea como de la raíz, sobre la oxigenación de la solución nutritiva pasiva mediante pendientes y saltos en el sistema NFT. Sin embargo, el contenido de oxígeno disuelto en la solución muestra un efecto significativo en estos parámetros donde hubo pendientes de 4% con tres caídas en el sistema (Martínez-Gutiérrez *et al.*, 2012). Por su parte, Gui-Xiao *et al.* (2009) mencionan que la concentración de CO<sub>2</sub> y N aumentó considerablemente el peso seco de la parte aérea, raíces y altura en plantas de col rizada.

### 8.2 Concentración de nutrientes

En la concentración de nitrógeno no se encontró diferencia significativa, esto concuerda con lo que reporta Montoya *et al.* (2011) quienes señalan que en hortalizas de hoja (col china y lechuga crespa) la concentración de N se mantuvo constante hasta la cosecha con valores de 4,0 y 4,7 % de N en la materia seca total. El P presentó una acumulación de 27.8% con una solución con aireación, esto concuerda los resultados encontrados por Csizinszky (1996) donde encontró un 33 % de acumulación de P en hojas de coliflor verde a los 98 días después del trasplante, en un estudio de diferentes concentraciones de N y K en diferentes tiempos de plantación.

Sin aireación los niveles de K no afectaron la concentración de este nutrimento en la planta, esto concuerda con lo que reporta Tafur *et al.*

(2008) en su trabajo de investigación en cilantro, ya que la acumulación de biomasa fue mayor con un valor de  $0.24 \text{ g planta}^{-1}$  con una concentración baja de K, esto concuerda con los resultados de este trabajo.

Para la concentración de Ca se presentó un 20.66% mayor en la concentración 12 N y 2.85 K meq  $\text{L}^{-1}$  con aireación, esto concuerda con lo que reporta Tal (2011) quienes demostraron que la absorción de Ca y K es similar a la absorción de N en relación a la forma de nitrógeno ( $\text{N-NO}_3\text{:N-NH}_4$ ), donde se manejó la interacción de las formas de N y K.

Para la concentración de Mg se encontró un 65.95% mayor con una concentración en la solución nutritiva de 12 N + 2.85 K con aireación, en comparación que la solución testigo de (15 meq N y 7 meq K) sin aireación, lo que concuerda con lo reportado por Donald (1941) en plantas de tomate, las cuales mostraron que la aireación de las solución nutritiva continuamente produjo un aumento marcado de las tasas de absorción de cationes y aniones en este caso el Mg, que sobre las soluciones sin aireación continua

### **8.3 Eficiencia de nutrientes**

Para las variables de la eficiencia de nutrientes solamente se presentó diferencia significativa en la aireación ya que se comportaron similarmente el N, P, K, Ca, y Mg; esto deduce lo que reporta Bonachela *et al.* (2005), el contenido de oxígeno de la solución enriquecida era sólo alrededor de  $1 \text{ mg L}^{-1}$  mayor que el de la solución no enriquecida cuando se mide en la parte inferior de las porciones medias de bolsas de perlita, a pesar de ser significativamente mayor en el gotero. La explicación más probable es que la porosidad del sustrato fue suficiente para permitir el intercambio rápido de oxígeno en solución con que en los espacios llenos de aire, lo que resulta en concentraciones cercanas a la ambiente en la solución en la

bolsa. Sin embargo, los niveles de oxígeno en las partes principales de la bolsa, durante y después de la irrigación son desconocidos (Ehrent *et al.*, 2010).

Para la eficiencia de N y K donde se encontró 19.38% y 19.64%, respectivamente, con una concentración en la solución e (12 N y 8.5 K meq L<sup>-1</sup>) con aireación más que la solución testigo (15 meq N y 7 meq K) sin aireación, esto concuerda con lo que dice Tal (2011) donde concluye que la forma de N y modos de aplicación K tienen efectos al instante o después de tiempo sobre la disponibilidad de K en el suelo a través de reacciones de intercambio y de fijación, lo cual se relaciona en los niveles de N y K que se manejó en este trabajo

En la eficiencia de P se presenta un 19.72% más con la solución de 12 N y 8.5 K meq L<sup>-1</sup>) con aireación, donde solo hubo diferencia altamente significativa mientras que en la solución testigo fue de 12.03%. Betancourt & Pierre (2013) reportan que los frutos fueron los principales extractores de P al final del ciclo del cultivo. Los autores dicen que la extracción de fruto>hoja>tallo>raíz con los valores de 214, 106, 33, y 4,5 mg por planta respectivamente. Esto concuerda que la biomasa acumulada de P ocurre por la movilización de nutrientes asimilados por la actividad metabólica.

En la eficiencia de N, P, K, Ca, Mg. donde se encuentra un 19.64%, 19.7%, 19.64%, 19.72%, y 19.69%, respectivamente con la concentración en la solución con 12 N y 8.5 K meq L<sup>-1</sup> se observa que se presentó una extracción similar para estos elementos; resultados similares se ha reportado en fresa cv. Chandler donde la absorción de los nutrimentos fue proporcional a los valores de la materia seca ganada por la planta, esto concuerda con lo reportado por Pineda *et al.*(2008) quienes indican que la absorción de los nutrimentos fue proporcional a los valores de la materia seca ganada por la planta.

Para la concentración K los valores más altos se obtuvieron cuando la concentración de la solución fueron altos, por el contrario las concentraciones más bajas se obtuvieron cuando la concentración fue baja, esto concuerda con Benlloch-González *et al.* (2012) donde obtuvo plantas con deficiencia de K en girasol sometido a distintos niveles de este nutrimento.

Para la concentración de Ca y Mg donde se presenta un aumento de 19.72% y 19.69% respectivamente cuando se tiene una solución con 12 N y 8.5 K meq L<sup>-1</sup> más aireación, en comparación que la solución testigo (15 N y 7 K meq L<sup>-1</sup>) sin aireación, lo que concuerda con Armenta *et al.* (2001) donde en las plantas control mostraron que las concentraciones de Ca y Mg aumentaron hasta los 138 días después del trasplante, pero después disminuyen, con excepción del Ca debido a su movilidad lenta en el fruto, lo cual concuerda con los resultados en las soluciones que contiene aireación.

Para el Mg se presenta una eficiencia 19.69% cuando se tiene una solución a una concentración de 12 N y 8.5 K meq L<sup>-1</sup> en comparación con la solución testigo esto, concuerda con lo obtenido por Cruz-Crespo *et al.* (2014) quienes mencionan que las concentraciones de Mg se encontraron en mayor valor en tratamientos tratados con soluciones al 50% y 75% de concentración.

#### **8.4 Para las variables fotosintéticas**

Para la tasa fotosintética donde se mostró un ligero incremento del 23.0 % con la solución en concentración de 12 N 2.85 K meq L<sup>-1</sup> sin aireación en comparación de la solución testigo (15 N 7K meq L<sup>-1</sup>) donde se observa si

bajamos N y K aumenta la tasa fotosintética, esto es lo opuesto con los resultados obtenidos Jin *et al.* (2011) donde dicen que la tasa fotosintética disminuye con el aumento de los suministros de K en plantas de nogal.

LU *et al.* (2005) menciona que la baja conductancia estomática se presenta en platas tratadas con N mayormente en niveles bajos que en altos en plantas de tabaco.

En el resultado de transpiración donde se encontró un ligero incremento del 5.04% más en la solución cuya concentración tiene 12 N y 2.85 K meq L<sup>-1</sup> sin aireación en comparación que la solución testigo, esto concuerda con (Gómez-Pérez *et al.*, 2014) donde mencionan que concentración neta Ca influyo en un incremento en la transpiración ocasionado por una disminución de K en brotes de *lisianthus*.

## **IX. CONCLUSIÓN**

El suplemento de aireación en la solución nutritiva favorece el crecimiento de lechuga aumentando su longitud de hoja así como su peso fresco y peso fresco de raíz.

Asimismo, favoreció la concentración de macronutrientes en las hojas y se observa una tendencia favorable cuando la concentración de K disminuye. La eficiencia de nutrientes favoreció considerablemente con porcentajes superiores en comparación con las soluciones sin aireación.

## X. LITERATURA CITADA

ASERCA. (2011). Lechuga. *Claridades Agropecuarias*, 442-425.

Armenta-Bojórquez, A. D., Baca-Castillo, G. A., Alcántar-González, G., Kohashi-Shibata, J., Valenzuela-Ureta, J. G., & Martínez-Garza, A. (2001). Relaciones de nitrato y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental de tomate. *Chapingo Serie Horticultura*, 7(1). 61-76p.

Barrios, A. 2004. Evaluación del cultivo de la lechuga *Lactuca sativa* L. bajo condiciones hidropónicas en pachalí, San Juan Sacatepequez, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 55 p.

Barbado, J. (2005). Hidroponía. Buenos Aires, República Argentina: Albatros Saci.

Belligno, A. M. (1997). NO<sub>3</sub>- N contents in *Lactuca sativa* L. induced by slow release nitrogenous fertilizer caacted with NPK. *Agricultura Mediterranea*, 127: 126-133.

Benlloch-González, M., García, J., García-Mateo, M. J., Benlloch, M., & Fournier, J. M. (2012). K<sup>+</sup> starvation causes a differential effect on shoot and root K<sup>+</sup> (Rb<sup>+</sup>) uptake in sunflower plants. *Scientia Horticulturae*, 146: 153-158.

Benton Jones, J. (2004). Hydroponics a parcial guide for the soilless Grower. Washington, D.C.: CRC PRESS

.

Berhr, U., & Wiebe, H.-J. (1992). Relation between photosynthesis and nitrate content of lettuce cultivars. *Scientia Horticulturae*, 49(3): 175- 179.

Betancourt, P., & Pierre, F. (2013). Extracción de macronutrientes por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill. Var. Alba) en casas de cultivo en Quíbor, Estado Lara. *Bioagro*, 25(3): 181-188.

Bonachela, S., Vargas, J. A., & Acuña, R. A. (2005). Effect of increasing the dissolved oxygen in the nutrient solution to above-saturation levels in a greenhouse watermelon crop grown in perlite bags in a Mediterranean area. *Acta Horticulturae*, 697: 25-32

Borrego, J. V., Gomez, A. M., & Soria, C. B. (1999). Lechuga y escarola. S.A. Mundi Prensa.

Carrasco, G., & Izquierdo, J. (1996). La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT). Manual técnico.

Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Bugarin-Montoya, R., Pineda-Pineda, J., Flores-Canales, R., Juárez-López, P., & Alejo-Santiago, G. (2014). Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana*, XXXVII (3), 289-295.

Chérif, M., Tirilly, Y., & Bélanger, R. R. (1997). Effect of oxygen concentration on plant growth, lipidperoxidation, and receptivity of tomato roots to *Pythium F* under hydroponic conditions. *European Journal of Plant Pathology*, 103(3): 255-264.

Csizinszky, A. A. (1996). Optimum planting time, plant spacing, and nitrogen and potassium rates to maximize yield of green cauliflower. *HortScience*, 6(31): 930-933.

Dhakal, U., Salokhe, V. M., Tantau, H. J., & Max, J. (2005). Development of a greenhouse nutrient recycling system for tomato production in humid tropics. *Agricultural Engineering International: The CIGR EJournal*. 7: 1-15

Donald, D. W. (1941). The Effect of Aeration on Growth of the Tomato in Nutrient Solution. *Plant Physiology*, 16 (2): 327-341.

Drews, M. S. (1997). Content of minerals, vitamins and sugars in iceberg lettuce (*Lactuca sativa* var *capitata* L.) grown in greenhouse. *Gartenbauwissenschaft*, 66-72.

Durán, J. M. (2000). Cultivos sin suelo de la hidroponía a la aeroponía (I). *Departamento de Produccion Vegetal :Fitotecnia*.

Edmon, A. J. (2009). *La lechuga , cultivo y comercializacion*. Lokos. 25-28 pp.

Ehrent, D. L., Edwards, D., Helmer, T., Lin, W., Jones, G., Dorais, M., & Papadopoulos, A. P. (2010). effects of oxygen enriched nutrients solutions on greenhouse cucumber and pepper production. *Scientia Horticulturae* (125): 602-607.

Gómez-Pérez, L., Valdez-Aguilar, L. A., Sandoval-Rangel, A., Benavides-Mendoza, A., Mendoza-Villarreal, R., & Castillo-González, A. M. (2014). Calcium ameliorates the tolerance of lisianthus [*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.] to Alkalinity in Irrigation Water. *HortScience*, 49(6): 807-811.

Gui-Xiao, *et al*, (2009). Effect of CO<sub>2</sub> enrichment on the gluconate contents under different nitrogen levels in bolting stem of chinese kale (*Brassica alboglabra* L.). *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 6(10): 454-464.

HUANG, W. Y. 2009. Factors contributing to the recent increase in U.S. fertilizer prices, 2002-08. Agricultural Resources Situation and Outlook Number AR-33. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, Washington, DC. 21 p.

Hill, M. (1996). Nitrates and nitrites from food and water in relation to human disease. *Nitrates and nitrites in food and water* (Woodhead Publishing Limited, Ed) Cambridge, Inglaterra, 163-187.

Durán, (2005). NGS: Un nuevo sistema de cultivo hidropónico. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia.

Jaworska, G. (2005). *Content of nitrates, nitrites, and oxalates in spinach*. New Zealand: Food Chemistry. 89(2), 235-242.

Jin, S. H., Huang, J. Q., Li, X. Q., Zheng, B. S., Wu, J. S., Wang, Z. J., & Chen, M. (2011). Effects of potassium supply on limitations of photosynthesis by mesophyll diffusion conductance in *Carya cathayensis*. *Tree physiology*, 31 (10): 1142-1151.

Lu, Y. X., Li, C. J., & Zhang, F. S. (2005). Transpiration, potassium uptake and flow in tobacco as affected by nitrogen forms and nutrient levels. *Annals of Botany*, 95(6), 991-998.

Marschner, H. (1995). Functions of mineral nutrients: macronutrients. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2, 379-396.

Martínez-Gutiérrez, G. A., Ortiz-Hernández, Y. D., & López-Pozos, R. (2012). Oxigenación de la solución nutritiva recirculante y su efecto en tomate y lechuga. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(SPE. 5), 49-52.

Massa, D., Incrocci, L., Maggini, R., & Carmassi, G. (2010). Strategies to decrease water drainage and nitrate emission from soilless cultures of greenhouse tomato. *Agricultural Water Management*, 97(7): 971-980.

Mills, H. A., Jones, J. B., & Wolf, B. (1996). *Plant analysis handbook II: A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide*. Athens, GA: MicroMacro, Csirio, Publishing.

Montero, C. S.-R. (2006). Evaluación de seis estructuras de producción hidropónica diversificada en el trópico húmedo de Costa Rica. *Organización para Estudios Tropicales (OET), Costa Rica Bibliografía Nacional en Biología Tropical (BINABITROP)*, 27-37.

Montoya, R. B., Spínola, A. G., Paredes, D. G., Mendoza, T. M. H., Ponce, M. V., Serrano, I. B., & Molina, A. M. (2011). Extracción de nitrógeno en seis especies olerícolas durante su ciclo de crecimiento. *Bioagro*, 23(2): 93-98.

Mougeot, L. J. (2006). Cultivando mejores ciudades: agricultura urbana para el desarrollo sostenible. IDRC.

Navarro Fernández, M. A. (2013). efecto de diferentes niveles de aireación de la solución nutritiva sobre el crecimiento y la calidad de canónigos y berros cultivados en bandejas flotantes. Cartagena, España.

Os, E. V. (2009). Comparison of some chemical and non-Chemical Treatments to Disinfect a Recirculating Nutrient Solution. *ISHS Acta Horticulturae 843*: 229-234.

Pineda-Pineda, J., Avitia-García, E., Castillo-González, A., Corona-Torres, T., Valdez-Aguilar, L., & Gómez-Hernández, J. (2008). Extracción de macronutrientes en frambueso rojo. *Terra Latinoamericana*, 26(4), 333-340.

Pomares, F., Tarazona, F., Canet, R., Aguilar, M. J., Baixauli, C., Iranzo, B. & Giner, J. (1996). Efecto de la fertilización nitrogenada en el contenido de nitratos en lechuga y coliflor. *Phytoma Espana*.

SAGARPA.(27 de MARZO de 2007).

[http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollo\\_rural/agronegocios](http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollo_rural/agronegocios) .

SIAP. (05 de FEBRERO de 2011). <http://www.siap.gob.mx>.

SIAP. (05 de OCTUBRE de 2015). <http://www.siap.gob.mx/lechuga/>

Tafur, M. S., Estrada, E. I., & Figueroa, O. A. (2008). Respuesta fisiológica del cilantro a diferentes niveles de potasio y nitrógeno. *ACTA AGRON (PALMIRA)*, 3(57), 195-198.

Tal, A. B. (2011). The effects of nitrogen form on interactions with potassium. *Research Findings*(29), 3-11.

Urrestarazu Gavilan (2004). *Sistemas con Sustrato y Recirculación de la Solución Nutritiva*. Madrid España: Mundi Prensa S.A.

Zhang, F., Niu, J., Zhang, W., Chen, X., Li, C., Yuan, L., & Xie, J. (2010). Potassium nutrition of crops under varied regimes of nitrogen supply. *Plant and Soil*, 335(1-2), 21-34.

Zheng, Y., Wang, L., & Dixon, M. (2007). An upper limit for elevated root zone dissolved oxygen concentration for tomato. *Scientia Horticulturae*, 113(2), 162-165.