

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Respuesta de Lechuga Romana a la Aireación y Diferentes Niveles de Nitrógeno y Potasio en la Solución Nutritiva en Sistema de Raíz Flotante

Por:

MIGUEL ANGEL MANZANO CARREÓN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México.

Febrero 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Respuesta de Lechuga Romana a la Aireación y Diferentes Niveles de
Nitrógeno y Potasio en la Solución Nutritiva en Sistema de Raíz Flotante

Por:

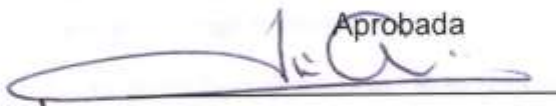
MIGUEL ANGEL MANZANO CARREÓN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada


Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Asesor Principal


Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coasesor


Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila. México.

Febrero 2015

AGRADECIMIENTOS

AGRADEZCO A DIOS POR PERMITIR LLEGAR Y FINALIZAR ESTA ETAPA DE MI VIDA.

A mis padres, **Ma. Belem Carreón Ibáñez** y **Ramón Manzano Gómez**, los mejores padres del mundo quienes me ha brindado su amor y apoyo incondicional ha sido clave en cada éxito en mi vida, que son su amor y educación han permitido concluir este logro.

A mis hermanos **Martha, Ramón, Paulina, Alejandro, Enrique, Álvaro y Dulce y sus Esposas (os)** quienes han sido parte fundamental de este logro y gracias a su apoyo brindado eh culminado esta etapa.

A mi hermano **Julio** quien ha sido cómplice, compañero y amigo en toda la trayectoria de mi vida gracias por su apoyo en aquellos momentos donde las por circunstancias nos teníamos uno al otro, su fortaleza y cariño fue clave para llegar a donde nos encontramos. GRACIAS hermano.

A esa persona quien ha sabido comprender y ha soportado la distancia, el tiempo, que es pilar de este sacrificio, que con su amor y paciencia, su cariño, su confianza depositada en mí, permitirme ser parte de su vida y ella de la mía, por darme la dicha de ser padre GRACIAS **María Guadalupe Lugo Salinas**.

A mi **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por permitirme llevar a cabo este proyecto en mi vida en sus instalaciones formarme profesionalmente como personalmente brindarme el mejor orgullo de ser BUITRE.

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar por su amistad y apoyo, compartir sus conocimientos, facilitar llevar a cabo este proyecto por su confianza brindada en esta etapa de mi vida, además de ser un guía y de las mejores personas que en la vida podre conocer. Gracias por todo.

A **Dra. Norma Angélica Ruiz Torres y Dr. Alberto Sandoval Rangel** por aceptar formar parte como coasesores y su apoyo brindado durante el experimento

A mis amigos **Erick Rodríguez, Salvador Cruz, Pablo Vargas, Hugo Sánchez, Omar Rueda, Ricardo Baeza, Fernando Camarillo, J.M Ricardo, Heriberto** quienes en algún momento brindaron su apoyo y convivencia, formamos una familia cuando estábamos lejos de la nuestra, gracias por su amistad y cariño.

A mis amigos **Eduardo Lugo y Luis Miguel Lara** por su apoyo incondicional.

A esa persona quien fue pieza clave para llevar a cabo una de las mejores experiencias en esta quien nos brindó su apoyo incondicional y permitió una ventana llena de oportunidades gracias por todo **Beatriz Contreras**.

A La familia **Padrón Vázquez**, abrirnos las puertas al iniciar esta etapa de mi vida al **Ing. Alberto Colunga Vieran** quien aconsejo e impulso a continuar preparándome.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a quienes me hicieron el hombre más feliz y dichoso quien será el motor de mi empeño y dedicación ahora y en toda mi vida, a ese pequeño que daré hasta lo imposible por que tenga una vida digna basada en el amor y cariño **mi hijo Santiago (mi becerrito) y María Guadalupe**

A mis padres **Ma. Belem Carreón Ibáñez y Ramón Manzano Gómez** y mis hermanos **Martha I Manzano, Ramón Manzano, Paulina Manzano, Alejandro Manzano, Enrique Manzano, Álvaro Manzano, Dulce Manzano y sus Esposas (os) e hijos**, a quienes no defraudare porque son el ejemplo a seguir y nuestro amor como familia nos mantendrá en unidad como hasta ahora lo ha hecho.

A mis amigos

Con **Cariño, Amor, Gratitud y Respeto.**

RESUMEN

En el presente trabajo se estudió el comportamiento de lechuga cv. Lulú en sistema raíz flotante, con respecto a diferentes niveles de N y K (15: 7, 12: 8.5 y 12, 2.85 meq L⁻¹) con y sin aireación en la solución nutritiva, evaluando el crecimiento vegetativo, el estatus nutricional fisiológico y la eficiencia de absorción nutrimental, evaluados en un diseño de bloques al azar con un arreglo factorial 2 x 3. Se encontró significancia en la aireación de la solución nutritiva, en el crecimiento vegetativo mas no en la acumulación de biomasa de raíz, el contenido macronutricional fue afectado por la aireación, tanto que el contenido de K se vio afectado por las concentraciones de la solución y su interacción con la aireación, y el contenido de P por la interacción solución-aireación. Similarmente ocurre para la eficiencia de absorción de macronutrientes y la tasa fotosintética no se ve afectada estadísticamente, más sin embargo una disminución de N y K ocasionó su incremento, lo que su a vez estuvo asociado con un incremento en la tasa de transpiración y conductancia estomática, esto ocasionado por una baja asimilación de N y P, por lo que se puede atribuir a un aumento en la acumulación de biomasa de las hojas, lo que a su vez incrementa la exploración de las raíces en la solución nutritiva por la aireación. Un incremento de N y K con aireación provocan una mayor acumulación de macronutrientes y por consecuencia su eficiencia en la absorción.

Palabras clave: lechuga, solución nutritiva, aireación, interacción.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN	iii
ÍNDICE GENERAL.....	1
ÍNDICE DE CUADROS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	4
I. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Hidroponía	5
1.2 Oxigenación	5
1.3 Nitrógeno	6
1.4 Potasio.....	6
1.5 Interaccion N/K	6
II. JUSTIFICACIÓN.....	8
III. OBJETIVOS.....	9
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.....	9
IV. HIPÓTESIS.....	10
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11

5.1 Localización y condiciones del experimento	11
5.2 Material vegetal.....	11
5.3 Diseño y tratamientos	11
5.4 Variables analizadas.....	12
5.5 Diseño estadístico.....	13
VI. RESULTADOS.....	14
6.1 Crecimiento vegetativo	14
6.2 Estado nutrimental	15
6.2.1 Nitrógeno (N).....	16
6.2.2 Fósforo (P).....	16
6.2.3 Potasio (K)	17
6.2.4 Calcio (Ca)	18
6.2.5 Magnesio (Mg)	18
6.3 Eficiencia en la absorción nutrimental.....	20
6.4 Estado fisiológico.....	25
VII. DISCUSIÓN	27
7.1 Aireación.....	27
7.2 Variables agronómicas	27
7.3 Contenido de nutrientes	29
7.4 Eficiencia de absorción	31
7.5 Rendimiento Fisiológico	32
VIII. CONCLUSIONES	33
IX. BIBLIOGRAFÍA	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Tratamientos utilizados para evaluar el efecto de la aireación de la solución nutritiva así como la relación N:K.	12
Cuadro 2 Efecto de la aireación de la solución nutritiva y de la relación N:K sobre algunas variables agronómicas en lechuga cv. Lulú.....	15
Cuadro 3 Efecto de la aireación de la solución nutritiva y de la relación N:K sobre contenido nutrimental en lechuga cv. Lulú.....	19
Cuadro 4 Efecto de la aireación de la solución nutritiva y de la relación N:K sobre eficiencia de absorción de nutrimentos en lechuga cv. Lulú.	24
Cuadro 5 Efecto de la aireación de la solución nutritiva y de la relación N:K sobre algunas variables fisiológicas en lechuga cv. Lulú.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Efecto de la interacción entre la relación N:K y la aireación de la solución nutritiva en el contenido de fósforo (P) en plantas de lechuga cv. Lulú.....	17
Figura 2 Efecto de la interacción entre la relación N:K y la aireación de la solución nutritiva en el contenido de potasio (K) en plantas de lechuga cv. Lulú.....	18
Figura 3 Efecto de la interacción entre la relación N:K y la aireación de la solución nutritiva en la eficiencia de absorción de fósforo (P) en plantas de lechuga cv. Lulú.....	21
Figura 4 Efecto de la interacción entre la relación N:K y la aireación de la solución nutritiva en la eficiencia de absorción de potasio (K) en plantas de lechuga cv. Lulú.....	22

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Hidroponía

El cultivo de plantas en agua enriquecida con nutrientes ha sido practicado por siglos. Por ejemplo, el antiguo Hanging Gardens en Babilonia y los jardines flotantes de los Aztecas en México, fueron hidropónicos en la naturaleza (Steiner, 1985) citado por Benton Jones, (2005). 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 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 Jones, 2005).

Un nutriente para la planta es un elemento químico que es esencial para el crecimiento y reproducción de la planta (Barker y Pilbean, 2007)

1.2 Oxigenación

La carencia de oxígeno en la zona radicular de la planta tiene muchas formas de manifestarse, dependiendo la especie. La falta de oxígeno reduce la permeabilidad de las raíces al agua y habrá una acumulación de toxinas: así el agua y los minerales no pueden ser absorbidos en cantidades suficientes para el crecimiento bajo condiciones de estrés, 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.

1.3 Nitrógeno

El nitrógeno está ligado a la asignación del crecimiento por la implicación directa con los reguladores de crecimiento de las plantas y al actuar como un regulador de crecimiento en sí, (Marschner 1995) las respuestas de la disponibilidad de nitrógeno sugiere que el estatus preferencial entre los nutrientes minerales, consiste con el hecho de que es el nutriente mineral requerido en cantidades más grandes por las plantas y que su disponibilidad es sub óptima en la mayoría de los entornos (Rubio *et al.*, 2003)

1.4 Potasio

El potasio es un macronutriente mayor en las plantas, involucrado en muchos procesos esenciales, así como con osmoregulación y expansión celular, regulación estomatal, activación de enzimas, síntesis de proteínas, fotosíntesis y transporte en el floema; juega un amplio rango de funciones en la nutrición de la planta, incluyendo el mantenimiento del gradiente del potencial eléctrico a través de la membrana celular y la generación de la turgencia celular, (Marschner, 1995)

1.5 Interaccion N/K

La actividad de un gran número de enzimas depende completamente de potasio o estimulada por este catión. En las plantas deficientes de potasio se producen una serie de actividades metabólicas que incluyen la acumulación de carbohidratos de bajo peso molecular y compuestos nitrogenados solubles y la disminución de en el contenido de almidón. Esto debido a que muchas enzimas reguladas por el potasio están implicadas en el metabolismo de carbohidratos se establece que la producción de materia seca vegetal depende del suministro del balanceado de N y K, pues la incidencia de N cuando las dosis de K no son limitantes, se cuantifica en un aumento de desarrollo foliar, pero cuando las dosis de K son más bajas que las de N se reduce el crecimiento de todos los órganos de la planta (Bugarín-

Montoya, et al., 2002). La interacción N:K en la actualidad es un tema de interés en muchos estudios (Zang, et al., (2010)

II. JUSTIFICACIÓN

Se plantea encontrar una forma de producción que nos permita crecer plantas de lechuga, disminuyendo el costo de mecanización con el suplemento de aireación en el sistema raíz flotante.

III. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la interacción N: K en soluciones nutritivas con y sin aireación, para la producción de Lechuga en el sistema raíz flotante.

Objetivos específicos

Evaluar el efecto de la aireación y su interacción con la solución nutritiva y sus distintos niveles de N y K, en la dinámica del crecimiento vegetal y acumulación de biomasa de Lechuga.

Determinar el efecto de la aireación y su interacción con la solución nutritiva y sus distintos niveles de N y K, en el contenido nutrimental de la parte comercial del cultivo.

Determinar el efecto de la aireación y su interacción con la solución nutritiva y sus distintos niveles de N y K, en la eficiencia de absorción nutrimental de la planta.

Determinar el efecto de la aireación y su interacción con la solución nutritiva y sus distintos niveles de N y K, en la eficiencia fisiológica de la planta.

IV. HIPÓTESIS

La no aireación con alguno de los diferentes niveles de K o N, afectará el crecimiento y la producción de Lechuga.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización y condiciones del experimento

El experimento se realizó en un invernadero localizado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el Norte de México (lat. N 25° 27', Long. W 101° 01', 1610 msnm). La temperatura promedio fue 19.9 °C con máximas/mínimas de 34.7 °C/12.6 °C, en tanto que la humedad relativa promedio fue 85.3% y la máxima y mínima de 100 % y 38.6 %; respectivamente, el promedio de la radiación fotosintéticamente activa fue de 3006.95 luxes.

5.2 Material vegetal

Plantas de lechuga (*Asteracea lectuce*) de tipo Orejona var. Lulú, fueron trasplantadas (29 Ago. 2013) dentro de contenedores de plástico rígido (5 plantas por contenedor) en un sistema de raíz flotante con la solución nutritiva estática; inicialmente los contenedores tenían 35 L de dicha solución. Cada contenedor fue considerado como unidad experimental.

5.3 Diseño y tratamientos

Se utilizaron tres tratamientos con tres diferentes soluciones nutritivas variando la concentración de N y K (Cuadro 1); la solución testigo fue preparada de acuerdo a la formulación de Hoagland con 15 y 7 meq L⁻¹ de N y K, respectivamente, en tanto que otros tratamientos tuvieron 12 y 8.5 meq L⁻¹ de N y K y 12 y 2.85 meq L⁻¹ de N y K, respectivamente. Las soluciones nutritivas en los contenedores se manejaron con y sin aireación, la cual se aplicó con bombas de aire (Elite) las cuales cuentan con diafragma y filtro contra la entrada de polvo, el tiempo de aireación fue durante todo el tiempo de duración del experimento.

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

Tratamiento	Aireación (O)	N meq L ⁻¹	K meq L ⁻¹
15 N + 7 K sin aireación	-	15	7
15 N + 7 K 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

5.4 Variables analizadas

La duración del experimento fue de 36 días después del trasplante, 3 plantas de cada unidad experimental fueron utilizadas para evaluar la longitud y volumen de raíz, utilizando un flexómetro y una probeta de 50 ml, llenándola hasta 30 ml con agua, midiendo el volumen desplazado al introducir la raíz. El peso seco se determinó tomando la parte aérea de la planta y separando las hojas (roseta) de la raíz, después fueron lavadas con agua destilada y se sometieron a 62 °C por 72 horas. El contenido de macronutrientes por planta (N, P, K, Ca y Mg) se determinó en la parte aérea, para ello, los tejidos secos de las hojas se molieron para pasarlos por un tamiz de malla 40 (A-10; TEKMAR, IKA Labor Technik, Germany) y se digirió en una mezcla 2:1 de H₂SO₄: HCl y 2 ml de H₂O₂ al 30%. Se analizaron las muestras digeridas para Nitrógeno (N) con 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, VARIAN, Santa Clara, CA), después de obtener estos datos

se procedió a calcular el contenido de nutrientes en base a materia seca, la eficiencia de absorción en base al porcentaje absorbido de nutrientes suministrados totales. El consumo de solución nutritiva se midió una vez finalizado el experimento retirando todas las plantas de cada contenedor utilizando probetas graduadas de laboratorio. La solución nutritiva se muestreó cada 8 días, tomando 4 ml por unidad experimental de todos los tratamientos, las muestras tomadas fueron refrigeradas y se tomó una lectura a cada muestra con electrodos específicos para N, K y Ca de la marca HORIBA, para el posterior cálculo de la eficiencia en el uso de los macronutrientes en base a la absorción, además de la eficiencia en base al aporte de cada macronutriente. A los 24 días después de trasplante se realizó la medición de tasa de fotosíntesis neta y la tasa de transpiración (LI-COR 6200, Inc., Lincoln, NE), la medición se realizó al medio día en la hoja más joven completamente desarrollada de la planta, con tres mediciones por unidad experimental.

5.5 Diseño estadístico

El experimento fue establecido con un diseño de bloques al azar, con un arreglo factorial 2 x 3, con cuatro repeticiones por unidad experimental (contenedores con 5 plantas). Los datos fueron analizados usando el paquete estadístico SAS (versión 9.0), mediante un análisis de varianza con una prueba de rango múltiple de Duncan. Se diseñaron los modelos lineales analizados en el paquete estadístico SAS (versión 9.0), mediante modelación con selección de variables por procedimiento backwards seleccionando el mejor modelo en base al R^2 ajustado más alto.

VI. RESULTADOS

6.1 Crecimiento vegetativo

Los resultados indican que las plantas que recibieron aireación en la solución nutritiva tuvieron una mayor longitud y volumen de las raíces en comparación con aquellas que no fueron aireadas (Cuadro 2). Lo anterior se reflejó en un mayor consumo de la solución nutritiva en las plantas aireadas (Cuadro 2).

Sin embargo, en la variable peso seco de raíz no se detecta significancia estadística, las plantas con aireación mostraron una reducción en la longitud, volumen y consumo de solución nutritiva por las raíces, conforme disminuyó la concentración de K, aunque el efecto fue menos marcado en plantas que no recibieron aireación de la solución nutritiva (Cuadro 2).

El peso seco de las hojas mostró un comportamiento similar al observado con las raíces, en tanto que el peso seco de las raíces, la longitud de raíz, consumo de solución y el volumen de raíz, no fue afectado por la concentración de N y K, así como tampoco por la oxigenación y su interacción de la solución nutritiva.

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

Aireación	Solución N:K (meq L ⁻¹)	Longitud de raíz (cm)	Cons. de solución (L/ 5 pta/ 36 días)	Vol.de raíz (cm ³)	Peso seco de hoja (g)	Peso seco de raíz (g)
Con Aireación	15: 7	57.8 a	16.7 a	42.1 a	10.38 ab	2.27 a
	12:8.5	59.7 a	15.8 a	40.4 a	11.38 a	2.20 a
	12:2.85	51.4 a	15.7 a	36.7 a	10.20 ab	2.18 a
Sin Aireación	15: 7	36.9 b	13.6 b	36.7 a	9.13 ab	2.50 a
	12:8.5	38.6 b	13.3 b	36.7 a	8.63 b	2.32 a
	12:2.85	38.4 b	13.3 b	35.0 a	8.60 b	2.26 a
Aireación		< .001	< .001	< .001	< .001	NS
Solución		NS	NS	NS	NS	NS
Interacción		NS	NS	NS	NS	NS

Medias seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$)
NS: No significancia

6.2 Estado nutrimental

En cuanto al contenido de macronutrientes en las hojas, las plantas que recibieron aireación existe una diferencia significativa para el factor aireación y mostraron en general un incremento en el contenido de N, P, K, Ca y Mg (Cuadro 3). En las plantas que fueron crecidas en solución con 12 N + 8.5 K con aireación, estas presentaron el mayor contenido para todos los macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) (Cuadro 3).

6.2.1 Nitrógeno (N).

El contenido de N mostró un incremento del 33.9 % en la solución 12 N y 8.5 K meq L⁻¹, con respecto a las plantas crecidas en la solución control sin aireación, no se encontró efecto para la concentración de solución ni su interacción con la aireación (Cuadro 3).

6.2.2 Fósforo (P).

Así mismo para el contenido P, se presentó un 72.9 % de incremento en comparación a las plantas crecidas en la solución control sin aireación (Cuadro 3), encontrando un efecto significativo en la interacción de la concentración de la solución nutritiva con la aireación, lo cual indica que mientras en plantas con aireación se presenta el máximo contenido del elemento cuando se mantuvieron con la solución 12 N : 8.5 K, en plantas sin aireación no existe efecto alguno de la solución nutritiva (Figura 1).

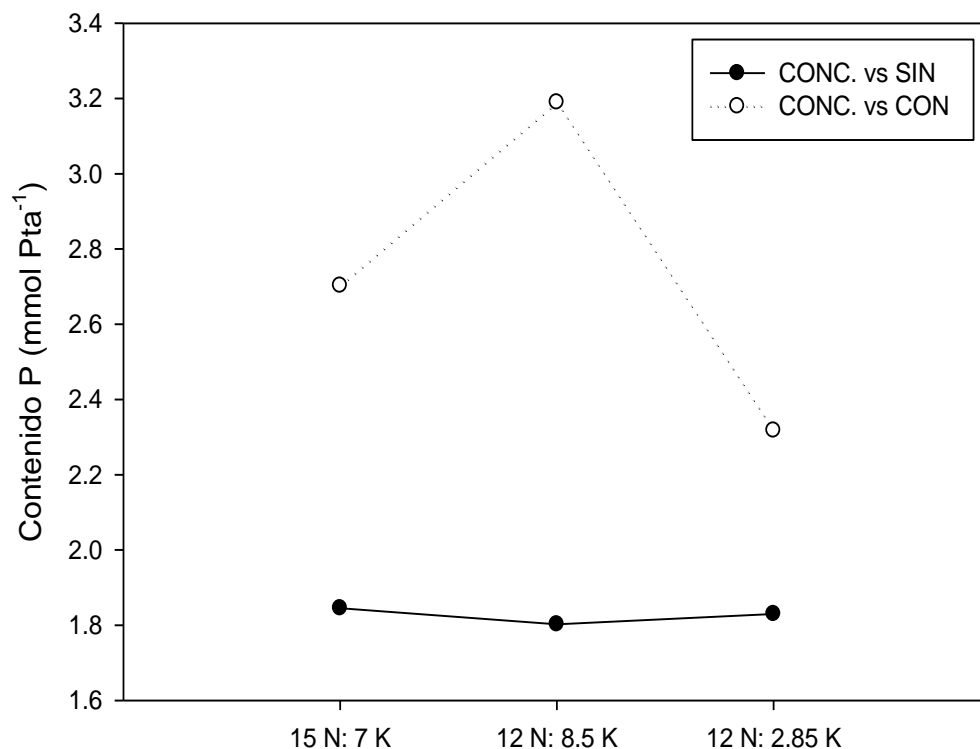


Figura 1 Efecto de la interacción entre la relación N:K y la aireación de la solución nutritiva en el contenido de fósforo (P) en plantas de lechuga cv. Lulú.

6.2.3 Potasio (K)

En el contenido de K se detectó un incremento de 63.8 % con la solución (12 N: 8.5 K) encontrándose un efecto significativo en la aireación y concentración de la solución nutritiva así como su interacción (Cuadro 3), en la que se observa una caída en el contenido del elemento al disminuir el K en la solución nutritiva, pero más marcadamente en plantas con aireación (Figura 2).

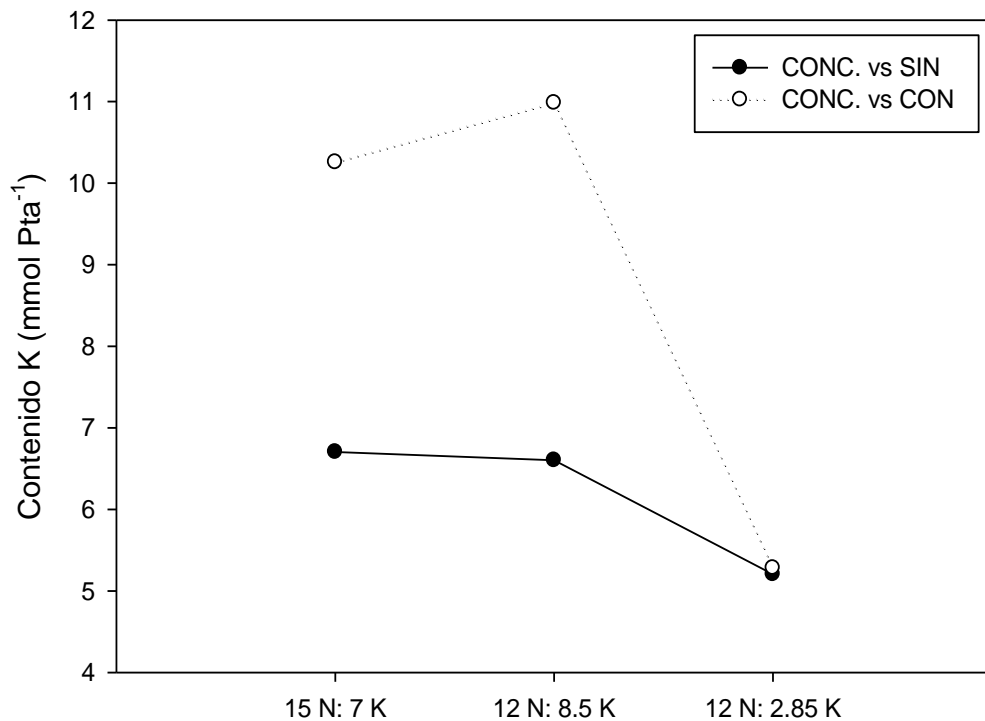


Figura 2 Efecto de la interacción entre la relación N:K y la aireación de la solución nutritiva en el contenido de potasio (K) en plantas de lechuga cv. Lulú.

6.2.4 Calcio (Ca)

No se observó efecto ocasionado por la concentración de la solución nutritiva ni su interacción con la aireación en el contenido de Ca, en comparación con el control sin aireación (Cuadro 3).

6.2.5 Magnesio (Mg)

El contenido de Mg se incrementó en 82.5 % con la solución 12 N + 8.5 K con aireación, así mismo se encontró un efecto significativo para la variable independiente aireación y no se encontró significancia para la concentración de la solución y su interacción con la aireación (Cuadro 3).

La longitud de la raíz en las plantas de lechuga es explicada en un 86.4% por el contenido de K, Ca y Mg, en tanto que, el consumo de la solución nutritiva es explicado en un 60.2% por el contenido de N, Ca y Mg y el peso seco de hoja es explicado en un 90 % por el contenido de N, Ca y Mg (Cuadro 3).

Cuadro 3 Efecto de la aireación de la solución nutritiva y de la relación N:K sobre contenido nutrimental en lechuga cv. Lulú.

Aireación	Solución N:K (meq L ⁻¹)	CONTENIDO DE NUTRIENTES (mmol Pta ⁻¹)				
		N	P	K	Ca	Mg
Con Aireación	15: 7	27.9 ab	2.70 ab	10.3 a	1.55 ab	1.47 ab
	12:8.5	30.0 a	3.19 a	11.0 a	1.70 a	1.62 a
	12:2.85	26.8 ab	2.32 bc	5.28 b	1.64 ab	1.61 a
Sin Aireación	15: 7	22.4 b	1.85 c	6.71 b	1.23 ab	0.89 c
	12:8.5	22.0 b	1.80 c	6.60 b	1.17 b	0.83 c
	12:2.85	21.4 b	1.83 c	5.21 b	1.54 ab	1.10 bc
Aireación		< .001	< .001	< .001	< .050	< .001
Solución		NS	NS	< .001	NS	NS
Interacción		NS	.050	< .050	NS	NS

MODELOS

$$LR = 27.3 + 1.91 \text{ CONT. K} - 27.6 \text{ CONT. Ca} + 36.1 \text{ CONT. Mg} \text{ CON } R^2 = 0.864 \text{ P} > .001$$

$$CS = 13.1 + 0.172 \text{ CONT. N} - 7.25 \text{ CONT. Ca} + 6.26 \text{ CONT. Mg} \text{ CON } R^2 = 0.602 \text{ P} > .001$$

$$PSH = 0.933 + 0.087 \text{ CONT. N} + 1.30 + 5.15 \text{ CONT. Ca} - 3.04 \text{ CONT. Mg} \text{ CON } R^2 = 0.899 \text{ P} > .001$$

Medias seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$)
NS: No significancia.

LR: Longitud de raíz, CS: Consumo de solución, PSH: Peso Seco de Hoja, CONT: Contenido.

6.3 Eficiencia en la absorción nutrimental

Una reducción significativa en la eficiencia en la absorción de N, P, K y Mg fue detectada cuando las plantas fueron crecidas en soluciones no aireadas (Cuadro 4). Con la solución 12 N + 8.5 K con aireación, se presentó la mayor eficiencia de absorción para N, P, K y Ca, con un incremento de 33.8 %, 72.7 %, 63.7 %, y 37.2 %, respectivamente, en comparación con el control sin aireación. Con la solución 12 N + 2.85 K con aireación se presentó el mayor porcentaje para la eficiencia de absorción de Mg con un incremento de 105 % en comparación al testigo (Cuadro 4). En la eficiencia de absorción de P se encuentra el mayor incremento de hasta 72.4 %, cuando la concentración de N se baja y la de K se sube (12 N + 8.5 K) con aireación en comparación con la solución testigo (Cuadro 4), sin embargo, la menor eficiencia para este macronutriente, e incluso menor que la solución testigo, se observó cuando la concentración de N y K se disminuye (12 N + 2.85 K) sin aireación (Figura 3).

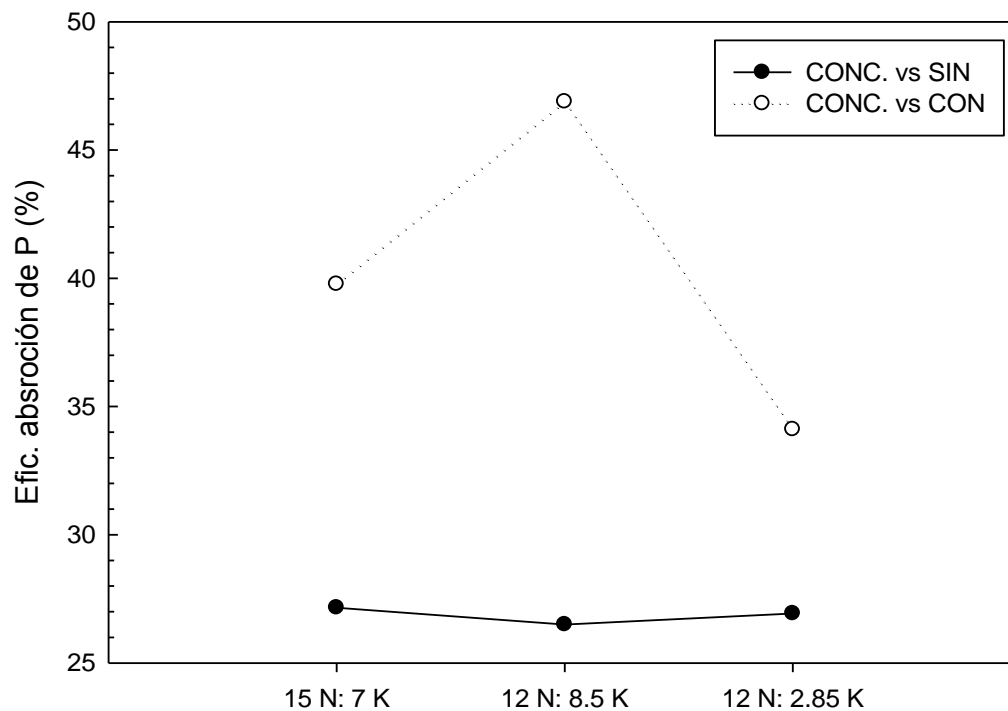


Figura 3 Efecto de la interacción entre la relación N:K y la aireación de la solución nutritiva en la eficiencia de absorción de fósforo (P) en plantas de lechuga cv. Lulú.

Hubo un efecto positivo en la eficiencia de absorción de K para las soluciones aireadas con una concentración de K de 8.5 meq L⁻¹, pero un claro efecto negativo con la disminución de concentración de K a 2.85 meq L⁻¹, aun con aireación, en comparación con la solución testigo. La mayor eficiencia se observó con la solución 12 N + 8.5 K meq L⁻¹ con aireación superando con un 63.8 % a la eficiencia obtenida con la solución 12 N + 2.85 K sin aireación y con un 22.4 % menos que la solución testigo (Cuadro 4). Notándose un efecto significativo en la interacción de la aireación de la solución nutritiva y su relación N:K (Figura 4).

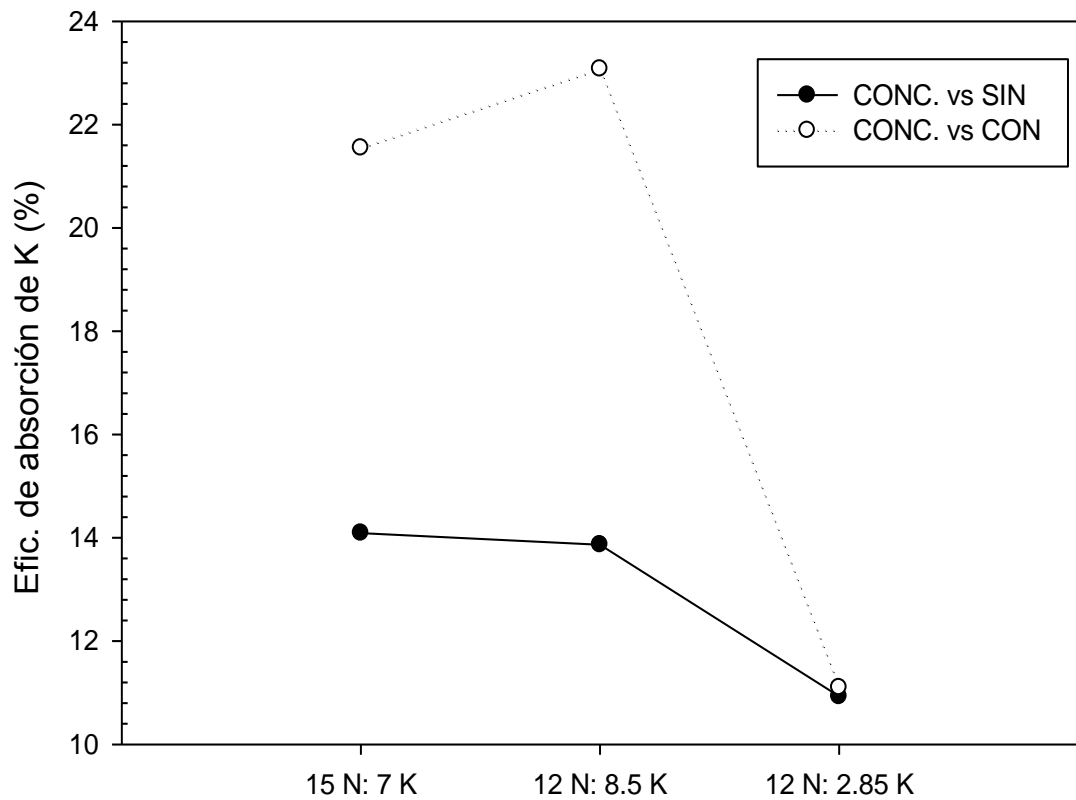


Figura 4 Efecto de la interacción entre la relación N:K y la aireación de la solución nutritiva en la eficiencia de absorción de potasio (K) en plantas de lechuga cv. Lulú.

La eficiencia de absorción de Ca fue influenciada por la aireación en la solución nutritiva, más sin embargo al incrementar la concentración de K en la solución más aireación mostró un efecto positivo con el incremento de un 37.2 % en comparación con el testigo. Por otro lado, la no aireación aun incrementando la concentración de K en la solución reduce la eficiencia de absorción de Ca (Cuadro 4).

Mientras que para Mg la solución 12 N + 2.85 K con aireación mostró un incremento del 105 % en la eficiencia, encontrando una diferencia altamente significativa en comparación con el testigo (Cuadro 4).

Sin embargo, la eficiencia de absorción de este nutriente incrementa cuando la concentración de N en la solución disminuye (Cuadro 4).

Para la variable independiente aireación se encontró una diferencia significativa para todas las eficiencias de los macronutrientes, más sin embargo solo se encontró en la eficiencia de absorción de K significancia en la variable independiente concentración de solución y para la interacción de esta con la aireación se encontró significancia en la eficiencia de absorción de P y K.

La longitud de la raíz en las plantas de lechuga es explicada en un 86% por la eficiencia de absorción de K, Ca y Mg, en tanto que, el consumo de la solución nutritiva es explicado en un 60.9% por la eficiencia de absorción de N, Ca y Mg y el peso seco de hoja es explicado en un 90 % por la eficiencia de absorción de N, P y Ca (Cuadro 4).

Cuadro 4 Efecto de la aireación de la solución nutritiva y de la relación N:K sobre eficiencia de absorción de nutrientes en lechuga cv. Lulú.

Aireación	Solución N:K (meq L ⁻¹)	Eficiencia de absorción (%)				
		N	P	K	Ca	Mg
Con Aireación	15: 7	27.3 ab	39.8 ab	21.6 a	5.09 ab	10.8 abc
	12:8.5	29.4 a	46.9 a	23.1 a	5.55 a	11.9 ab
	12:2.85	26.3 ab	34.1 bc	11.1 b	5.38 ab	13.3 a
Sin Aireación	15: 7	22.0 b	27.2 c	14.1 b	4.04 ab	6.50 c
	12:8.5	22.0 b	26.5 c	13.9 b	3.84 b	7.06 c
	12:2.85	21.0 b	26.9 c	11.0 b	4.55 ab	8.09 bc
Aireación		< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
Solución		NS	NS	< .001	NS	NS
Interacción		NS	.050	< .050	NS	NS

MODELOS

LR = 27.28564 + 0.91025 EFIC. ABS. K – 8.37193 EFIC. ABS. Ca + 4.91220 EFIC. ABS. Mg con R² = 0.8634 Y P > .0001

CS = 13.11968 + 0.17126 EFIC. ABS. N – 2.20877 EFIC. ABS. Ca + 0.85436 EFIC. ABS. Mg con R² = 0.6088 Y P > .0004

PSH = 0.90465 + 0.09163 EFIC. ABS. N + 0.08811 EFIC. ABS. P + 1.55703 EFIC. ABS. Ca – 0.41087 EFIC. ABS. Mg con R² = 0.8993 Y P > .0001

Medias seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales (p≤0.05)
 NS: No significancia. LR: Longitud de raíz, CS: Consumo de solución, PSH: Peso seco de Hoja, ABS: Absorción.

6.4 Estado fisiológico

La actividad fotosintética de las plantas fue incrementada con la solución 12 N + 2.85 K sin aireación hasta un 4.6 % en comparación con las plantas cultivadas en la solución control sin encontrar diferencias estadísticas entre estos tratamientos. Encontrando diferencia estadística entre los tratamientos (12 N; 2.85 K) sin aireación y (12 N; 8.5 K con aireación), así mismo la conductancia estomática, transpiración y agua en la hoja se encuentra un incremento de 4.24 %, 4.92 % y 4.97 %, respectivamente, utilizando la misma solución (12 N; 2.85 K), se muestra una diferencia estadística para estas variables en comparación con la misma solución. En la variable conductancia de CO₂ en la hoja tiene una tendencia a disminuir cuando las soluciones no son aireadas. Sin embargo no se encuentra diferencia significativa para las variables independientes aireación y concentración de solución nutritiva así como su interacción (Cuadro 5).

Cuadro 5 Efecto de la aireación de la solución nutritiva y de la relación N:K sobre algunas variables fisiológicas en lechuga cv. Lulú.

Aireación	Solución N:K (meq L ⁻¹)	Tasa fotosintética (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	Cond. Estomática (C m S ⁻¹)	Tasa de transpiración (μg cm ⁻² s ⁻¹)	Temperatura de la hoja (°C)	Cond. de la hoja (C m S ⁻¹)	Cond. Del agua en la hoja (C m S ⁻¹)
	15:7	13.6 ab	0.45 ab	11.1 bc	26.1 a	379.0 ab	12.8 bc
Con Aireación	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
	15:7	14.8 ab	0.51 ab	11.9 ab	26.0 a	377.4 ab	13.7 bc
Sin Aireación	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 misma letra son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$)

NS: No significantes

VII. DISCUSIÓN

7.1 Aireación

Gaitán et al. (2005) mencionan que el mayor crecimiento radical se encuentra en la superficie cercana donde la disponibilidad de nutrientes, resistencia mecánica, aireación y temperatura son más favorables. En evaluación de los efectos de la oxifertirrigación en el cultivo de pimiento en términos de peso seco de raíces, peso de frutos cosechados y número de frutos cosechados fueron significativamente mayores contrastados con tratamientos que no fueron oxifertirrigados esto encontrado por Mafrá et al. (2005), lo cual coincide con lo obtenido en lechuga en el presente estudio.

7.2 Variables agronómicas

El incremento de la longitud de raíz y el volumen de raíz, resultados indican que conforme se fue disminuyendo la concentración de K en las soluciones el crecimiento de la raíz y por lo tanto su volumen fue decreciendo, por lo tanto, en soluciones donde la concentración de K fue aumentada estas variables incrementaron simultáneamente, estos resultados coinciden con los reportados por Andersen *et al.* (1992), quienes mencionan que el aumento de la densidad de la raíz solo podría tener un efecto marginal sobre la cantidad de agua disponible para la planta debido a una baja retención de agua del subsuelo de arena. Esto coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que en el sistema raíz flotante no se ejerce resistencia para la penetración de raíz y por consecuente se desarrolla el sistema radicular. El K indujo un aumento en el crecimiento de raíz en la cebada; también se ha encontrado este efecto en experimentos realizados en macetas los cuales demuestran que en particular el sistema lateral de la raíz se incrementa con un aumento en el suministro de K (Hackett, 1968 y Drew, 1975), citados por Andersen *et al.*

(1992). Por otro lado Martínez-Gutiérrez *et al.* (2012) encontraron que al oxigenar la solución nutritiva con dos porcentajes de pendientes en 1, 2 y 3 saltos hidráulicos de la solución nutritiva en un sistema NFT no encontró diferencias significativas para el volumen y peso seco de raíz, tanto en lechuga como en tomate. Marschner (1995) menciona que el crecimiento de raíz se ve limitado por una deficiencia de Ca. Lo anterior concuerda con nuestros resultados al no encontrar un efecto en las soluciones con y sin aireación en el sistema de raíz flotante en plantas de lechuga para la variable peso seco de raíz.

Al desarrollarse las rosetas de lechuga, estas formaron un micro clima en los contenedores, lo que pudo estar asociado con respecto al consumo de solución por las lechugas; tal efecto pudo ser ocasionado por condiciones climáticas en invernadero, más humedad relativa por lo que ese forma un micro ambiente en el dosel de las plantas bajo invernaderos lo que puede provocar que la conductancia estomática de las hojas dentro del dosel sean menos dependientes para el intercambio de gases dentro de la cámara a la hora de la medición. El incremento de K en la concentración de las soluciones nutritivas, aumenta el consumo de solución nutritiva que a su vez, incrementa el peso seco de hoja, esto concuerda con Andersen *et al.* (1992) quien dice, una aplicación alta de K aumenta el uso eficiente de agua para la producción de materia seca total por aproximadamente 1-2%, excepto cuando las plantas fueron severamente estresadas por sequía en el cultivo de cebada.

En cuanto el peso seco de las hojas, no se encontró diferencia significativa en comparación con el testigo para la aireación ni la concentración de nutrientes en las soluciones nutritivas, más sin embargo se mostró una ligera tendencia que al disminuir la concentración de N y K sin aireación. Estos resultados coinciden con Rincón-Sánchez *et al.* (2002), quien encontró en lechuga Iceberg diferencias entre la materia seca acumulada para las cantidades de N aportado en los distintos tratamientos.

Estos resultados también coinciden en un estudio donde fueron cultivadas lechugas tipo Romaine en concentraciones de N de 0, 60, 120 y 180 kg N ha⁻¹ donde no se encontraron diferencias para el peso seco de hojas donde se aplicó N Boroujerdnia y Ansari, (2007). Una ligera tendencia de incremento en el peso seco de las hojas se observó cuando la concentración de N se disminuyó y K se aumentó en comparación con el testigo. Zhang *et al.* (2010) menciona que cultivos de alto rendimiento y calidad pueden ser obtenidos por optimas proporciones nutricionales de N: K. Las altas tasas de las aplicaciones de N y K no conducen a incremento de mayor rendimiento incluso pueden reducir el rendimiento. Las plantas de lechuga crespa en la fase de roseta tuvieron un crecimiento lento, no produciéndose diferencias entre la materia seca acumulada para las cantidades de N aportado en los distintos tratamientos estudiados Rincón-Sánchez *et al.* (2002). Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que el tipo de lechuga estudiado no presenta un acogollado por lo que su cosecha se hace en estado vegetativo.

7.3 Contenido de nutrientes

Con respecto al contenido de N en el estudio realizado, se encontró una deferencia significativa con respecto al testigo en la solución donde la concentración de N se disminuyó a 12 meq L⁻¹, lo cual coincide con el estudio realizado por Bugarín-Montoya *et al.* (2011), donde encontró que la contenido de N en lechuga crespa fue de 4.7 % en base a la biomasa acumulada cultivada con una concentración de N en la solución nutritiva de 12 meq L⁻¹; en este mismo estudio se encontró que la acumulación de N está influenciada por la acumulación de biomasa total producida por la planta lo que concuerda con los resultados obtenidos ya que los mismos agrupamientos estadísticos se obtuvieron tanto para peso seco de hoja y contenido de N para los distintos tratamientos, y menciona que la concentración de N en la materia seca total a través del tiempo es debida al rápido incremento en la cantidad de materia seca acumulada a medida que

se acerca la cosecha, por lo que presenta un efecto en la dilución Rincón-Sánchez *et al.* (2002).

En contraste con la solución testigo (15: 7 meq L⁻¹ N y K) sin aireación, con la solución 12: 8.5 meq L⁻¹ N y K se obtuvo una mayor contenido de P, lo cual pudo haber sido causado por la baja acumulación de biomasa, lo que concuerda con Biddinger *et al.* (1998), quien menciona que una deficiencia de P resulta en una progresiva reducción de crecimiento de la planta, acumulación de biomasa en plantas de tomate cultivadas bajo deficiencia de P un sistema aéroponico donde la oxigenación es abundante. La concentración de N y P también tienen influencia y ha modificado el contenido de P en las hojas de lechuga Biddinger *et al.* (1998), ya que también es un factor importante que contribuye a los diferentes niveles de nutrientes en los que se suministra con diferentes cantidades de fosforo podría ser alterada la función estomática en las plantas.

El contenido de K mostró un ligero efecto negativo cuando la concentración de K se disminuyó en las soluciones aplicadas, tal efecto lo reporta Bar-Tal y Pressman (1996) mencionando que un incremento en la concentración de K de 2.5 a 5 y 10 mmol L⁻¹ de la solución nutritiva generalmente incrementa la concentración de K en la raíz, en el tallo y el las hojas, pero no teniendo un efecto significativo en frutos maduros de tomate. Resultados similares encontró Bar-Tal y Pressman (1996), Pitchay *et al.* (2007), cuando incrementó la concentración de N suministrado, ya que se produce una disminución lineal en el contenido de K en plantas de begonia.

El contenido de Ca en las hojas de lechuga pudo verse afectado por el ambiente en que crecieron las plantas durante el experimento ya que la máxima humedad relativa promedio se mantuvieron en 85.3 % lo cual pudo causar una baja absorción y translocación de este nutriente. Barta y Tibbits (1991) menciona que los rangos de concentraciones de Ca de .2 a .4 mg g⁻¹ de peso seco, se presentaron en áreas de hojas dañadas por quemadura

del ápice, un desorden fisiológico por la ausencia Ca en tejidos, por el contrario bajo condiciones ambientales no controladas las hojas de lechuga no presentaron lesiones de este desorden fisiológico y los rangos de concentración de Ca fueron de .6 a 1.6 mg g⁻¹ de peso seco.

El aumento del contenido de Mg en hojas deficientes de P no puede atribuirse a la falta de disponibilidad o el efecto pH de la solución, porque las plantas se suministran con nutrientes frescos de la solución a intervalos regulares. La concentración K podría ser un factor que contribuya al aumento de contenido de Mg en las hojas menciona Biddinger, *et al.* (1998)

7.4 Eficiencia de absorción

La eficiencia de absorción para N está influenciada por la aireación de la solución nutritiva; en cuanto a la concentración de N y K se muestra un efecto positivo cuando la concentración de K aumenta así mismo para P y K con la misma solución. Estos resultados concuerdan con Dong *et al.* (2010) quienes mencionan que las plantas de algodón absorbieron 41.8, 41.6 y 7.1 % más N, P y K respectivamente en un campo con alta fertilidad con una fertilización de 240 y 150 kg/ha de N y K.

La eficiencia de absorción de fósforo se ve incrementada cuando la concentración de N en la solución se disminuyó y la de K respecto a esto Ristvey *et al.*, (2007) encontró en platas de azalea que la eficiencia de absorción para N y P está influenciada primariamente por la cantidad de nutriente aplicado. Donde las plantas bajo alto régimen de nutrientes (250 mg N o 25 mg P) únicamente usaron entre 11 % y 16 % del N y P aplicado.

La respuesta del rendimiento a la absorción de K en gran medida depende del suministro de N y su interacción por lo general es positiva cuando el N es suministrado en su forma N-NO₃. La tasa de aplicación de N, el calendario de aplicación y la forma de suministro influye en la fijación y liberación de K en el suelo, así como la absorción, transporte, ciclo y reutilización dentro de la planta. La interacción de N:K también depende de

la forma de N aplicado Zhang *et al.* (2010) la positiva interacción ha mostrado en estímulo de la absorción neta de K en varios cultivos así como el ion acompañante durante la absorción de K Pettersson, (1984). La absorción incrementa cuando la concentración de la solución incrementa ya sea con o sin aireación lo que concuerda con Lu, *et al.*, (2005) quien encontró que aumentando la concentración de potasio aplicado de 6 Mm a 1.4 veces mayor la absorción de potasio incremento de 52% y 75% en plantas fertilizadas con NO_3 y NH_4NO_3 respectivamente.

7.5 Rendimiento Fisiológico

Al disminuir el N y el K en la solución se disminuyó la asimilación de N y P, lo que a su vez estuvo asociado con la disminución en el proceso de fotosíntesis, incrementa la tasa de transpiración y la tasa de conductancia estomatal en las hojas de lechuga jóvenes desarrolladas. Estos resultados no concuerdan con Konstantopoulou *et al.* (2012), quien menciona que incrementando el nivel de N en la solución nutritiva de 20 a 260 mg L^{-1} causa un incremento en la fotosíntesis neta en hojas maduras de lechuga y a su vez incrementado N se incrementa la tasa de transpiración y la conductancia estomática en hojas de lechuga. Almedia *et al.* (2000) mencionan que la limitación estomatal de fotosíntesis disminuye con incremento de la concentración de P. (Fischer y Hsiao, 1968; Fischer, 1972a; Humble y Raschke, 1971; Pallas, Dilley 1972 y Rasherke. 1975) citados por Otoole, *et al.*, (1980) menciona que han demostrado el rol de los iones de K en la apertura de los estomas y proveen una explicación parcial para el incremento de la resistencia estomatal bajo un estrés de K. Los estomas están también sensibles a la concentración interna de CO_2 que también resulta de un incremento de la respiración asociado por una deficiencia de K. Lu *et al.* (2005) encontró que una bajo nivel de N-NO_3 en tabaco reduce la conductancia estomatal comparada con las que se aplica una alto nivel de nutriente.

VIII. CONCLUSIONES

El suplemento de aireación en las soluciones nutritivas no afectó estadísticamente el crecimiento vegetativo en lechuga más sin embargo mostró una tendencia a incrementar la acumulación de biomasa en la hoja y el crecimiento de raíz y por lo tanto su volumen, esto combinado son una disminución de la concentración de N y K incremento en la solución nutritiva donde la acumulación de macronutrientes en la misma solución se vio incrementada. La aireación provoco un mayor consumo de solución nutritiva, pero n una mayor tasa fotosintética esto dado que la tasa de transpiración fue mayor cuando las soluciones nutritivas no fueron aireadas.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Almedia, J. P., Hartwing, U. A., Frehner, M., Nosberger, J., y Lüscher, A. (2000). Evidence that P efficiency induces N feedback regulation of symbiotic N Fixation in white clover (*Trifolium repens* L.). *Journal of Experimental Botany*, 51(348), 1289-1297.
- Andersen, M. N., Jensen, C. R., y Losch, R. (1992). The interaction effects of potassium and drought in field-grown barley. I. yield, water-use efficiency and growth. *Acta Agraria. scand. B*(42), 45-56.
- Barker, A., y Pilbeam, D. J. (2007). *Handbook of plant nutrition*. New York: Taylor y Francis.
- Barta, D. J., y Tibbits, T. W. (1991). Calcium localizacion in lettuce leaves with and without tipburn: comparison of controlled-environment and field grown plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(5), 870-875.
- Bar-Tal, A., y Pressman, E. (1996). Root restriction and potassium and calcium solution concentrations affect dry-matter production, cation uptake, and blossom-end rot in greenhouse tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(4), 649-655.
- Benton Jones, J. (2005). *Hydroponics s practical guide for the soilless grower*. Washington, D.C.: CRC PRESS.
- Biddinger, E. J., Liu, C., Joly, R. J., y Raghothama, K. G. (1998). Physiological and molecular responses of aeroponically grown tomato planta to phosphorus deficiency. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(2), 330-333.

- Boroujerdnia, M., y Ansari, N. A. (2007). Effect of different levels of nitrogen fertilizer and cultivars on growth, yield and yield components of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology*, 1(2), 47-53.
- Bugarín-Montoya, R., Galvis-Spinola, A., Sánchez-García, P., y García-Paredes, D. (2002). Daily accumulation aboveground dry matter and potassium in tomato. *Terra Latinoamericana*, 20(4), 401-409.
- Bugarín-Montoya, R., Virgen-Ponce, M., Galvis-SPinola, A., García-Paredes, D., Mendoza, T. H., Bojorquez-Serrano, I., y Madueño-Molina, A. (2011). Extracción de nitrógeno en seis especies olerícolas durante su ciclo de crecimiento. *Bioagro*, 23(2), 93-98.
- Dong, H., Kong, X., Li, W., Tang, W., y Zhang, D. (2010). Effects of plant density and nitrogen and potassium fertilization on cotton yield and uptake of major nutrients in two fields with varying fertility. *Field Crops Research*, 68, 106-113.
- Gaitán, J. j., Penón, E. A., y Costa, M. C. (2005). Fine root distribution of (*Eucalyptus globulus* ssp. *maidnii*) in relation to some soil properties. *Ciencia Forestal, Santa Maria*, 15(1), 33-41.
- Konstantopoulou, E., Kapotis, G., Salachas, G., petropoulos, S. A., Chatzieustratiou, E., Ioannis C, K., y Passam, H. C. (2012). Effect of nitrogen application on growth parameters, yield leaf nitrate content of greenhouse lettuce cultivated during three seasons. *Journal of Plant Nutrition*, (35), 1246-1254.
- Lu, Y. X., Li, C. J., y Zhang, F. (2005). Transpiration, potassium uptake and flow in tobacco as affected by nitrogen forms and nutrient level. *Annals of Botany*, 45, 991-998.

- Mafrá, O., Cáceres, R., y S, G. (2005). Oxigenation: a new technique for soilless culture under mediterranean conditions. *Acta Horticulture* (697), 65-75.
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants* (Segunda ed.). London: Academic Press.
- 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. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35 (5), 49-52.
- Navarro Fernandez, 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.
- Otoole, J. C., Treharne, K., Turnipseed, M., y Ozburn, K. C. (1980). Effect of potassium nutrition on leaf anatomy and net photosynthesis of *Phaseolus vulgaris* L. *New Phytol* 134 623-630.
- Pettersson, S. (1984). Effects of nitrate on influence on influx, efflux and translocation of potassium in young sunflower plants. *Physiol Plantarum*, 64(4), 663-669.
- Pitchay, D. S., Frantz, J. M., Locke, J. C., Krause, C. R., y Fernandez, G. C. (2007). Impact of applied nitrogen concentration on growth of *Elatior begonia* and *New guinea impatiens* and susceptibility of *begonia* to *botrytis cinerea*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 132(2), 193-201.
- Rincón-Sánchez, L., Pérez-Crespo, A., Pellicer-Botía, C., Sáez-Sironi, J., y Abadía-Sánchez, A. (2002). Influencia de la fertilización nitrogenada en la absorción de nitrógeno y acumulación de nitratos en lechuga iceberg. *Invest. Agr*, 17(2), 303-318.
- Ristvey, A. G., Lea-Cox, J. D., y Ross, D. S. (2007). Nitrogen and phosphorus uptake and partitioning of container-grown *Azalea* during

spring growth. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 132(4), 563-571.

Rubio, G., Zhu, J., y Lynch, J. P. (2003). A critical test of the two prevailing theories of plant response to nutrient availability. *American Journal of Botany*, 90(1), 143-152.

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

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