



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA**

## **APLICACIÓN DE ARGININA EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LECHUGA EN HIDROPONÍA**

**ELIACER MÉNDEZ PÉREZ**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

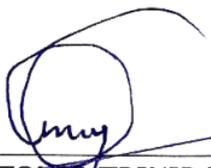
**2015**

La presente tesis titulada: **APLICACIÓN DE ARGININA EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LECHUGA EN HIDROPONÍA** realizada por el alumno: ELIACER MÉNDEZ PÉREZ bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

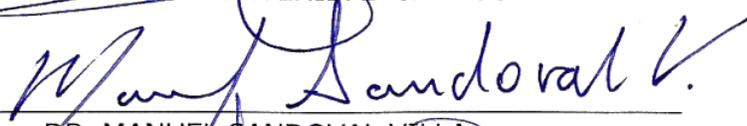
MAESTRO EN CIENCIAS  
EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

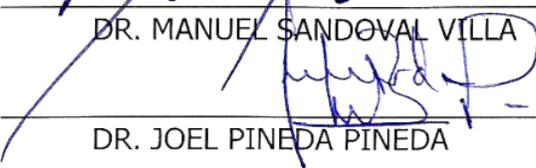
CONSEJERO

  
\_\_\_\_\_  
DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
DR. MANUEL SANDOVAL VILLA

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
DR. JOEL PINEDA PINEDA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, octubre de 2015

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento para realizar mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de maestría.

Al Postgrado de Edafología por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación en la especialidad de suelos y por las facilidades otorgadas en los procesos administrativos.

Al Dr. Antonio Trinidad Santos por su paciencia, sugerencias durante la realización de este trabajo, amistad y su apoyo incondicional en todo momento.

Al Dr. Manuel Sandoval Villa por su disposición en la revisión de este documento, por su valiosa aportación en mi formación profesional y las facilidades otorgadas durante el desarrollo del trabajo de tesis.

Al Dr. Joel Pineda Pineda por haber aceptado ser parte de mi consejo particular, por su aportación y disposición para apoyar este trabajo de tesis.

Al Dr. Gabriel E. Alcántar González por haber aceptado ser parte del jurado examinador.

A la Sria Rosa Cuevas de quien siempre recibí su apoyo incondicional para agilizar los trámites relacionados a los procesos administrativos durante mi estancia en el COLPOS y por ser una persona muy trabajadora.

A mis padres Ernesto Méndez Galicia y Altagracia Pérez Sánchez por la vida que les debo, por su gran esfuerzo en apoyarme en todo momento.

A todos aquellos profesores y compañeros que durante mis estudios de maestría, me brindaron su amistad y apoyo incondicional.

## DEDICATORIA

A mis padres:

Ernesto Méndez Galicia y Altagracia Pérez Sánchez por su amor, esfuerzo, confianza y por los buenos consejos que siempre me han brindado para elegir el camino correcto y ser motivo de superación.

A mis hermanos:

Con quienes he compartido parte de mi vida y me motivan a salir adelante, a quienes doy gracias por su apoyo y confianza.

A Yolanda:

Por ser una persona muy especial en mi vida a quien amo y quiero mucho, por ser motivo de mi inspiración, por su amor, su apoyo, compañía en los momentos buenos y malos, y a quien le debo mucho por haberme motivado a terminar la tesis.

A mis compañeros de la generación:

Quienes compartimos esfuerzos, preocupación, dificultades; pero todos persiguiendo un mismo objetivo de obtener el grado de maestría.

A todos aquellos que en un momento dado me brindaron palabras de aliento y consejos para seguir luchando y de alguna manera me han ayudado a construir mi proyecto de vida.

## RESUMEN

El contenido de nitratos en las hortalizas tiene impacto en la salud humana, es por esa razón que las investigaciones recientes se orientan a obtener hortalizas de hoja con menor contenido de nitratos. El objetivo de este estudio fue sustituir parcialmente el nitrato de la solución Steiner por arginina como fuente de nitrógeno en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) para encontrar la relación nitrato-arginina que permita obtener un rendimiento comparable con la solución Steiner, obtener plantas con menor contenido de nitratos y evaluar el efecto de la sustitución sobre el contenido de los nutrimentos en las hojas de lechuga. El cultivo se estableció en sistema hidropónico con diseño completamente al azar con cinco repeticiones. Las relaciones nitrato-arginina en valores porcentuales utilizados en el estudio como tratamientos fueron: 100-0, 85-15, 70-30, 55-45 y 40-60. Al incrementar la sustitución de nitratos por arginina disminuyó el contenido de nitratos de 3593.2 mg kg<sup>-1</sup> obtenido con la solución Steiner a 1537.0 mg kg<sup>-1</sup> con el 60 % de sustitución de nitratos pero sin afectarse la concentración de nitrógeno total en el tejido vegetal; aumentó el peso fresco y seco, altura de planta y área foliar. Con la sustitución del 36 % de nitratos por arginina se obtuvieron los valores máximos: 236 g de peso fresco, 17.4 g de peso seco, 21 cm de altura de planta y 3421.8 cm<sup>2</sup> de área foliar.

**Palabras clave:** nitratos, Steiner, rendimiento, nutrimentos

## **ABSTRACT**

The content of nitrates in vegetables has an impact on human health, so, recent research is directed towards agricultural management to obtain leafy vegetables low levels of nitrates. The objective of this study was to replace the nitrate in the Steiner solution with arginine as nitrogen source in the lettuce (*Lactuca sativa* L.) crop, and find the nitrate-arginine relationship for obtaining a comparable with the Steiner solution, in order to decrease nitrate in leaves and assess the content of nutrients in leaves. The crop was established in a hydroponic system with a completely randomized design with five replications. Nitrate-arginine relationships in percentage values used in the study as treatments were: 100-0, 85-15, 70-30, 55-45 and 40-60 arginine was increased in the relationship it increased fresh and dry weight, also did plant height and leaf area. The replacement of 36% of nitrates by arginine maximized fresh and dry weight (236 and 17.4 g plant<sup>-1</sup>), also maximized plant height and leaf area (21 cm and 3421.8 cm<sup>2</sup>) significantly decreased nitrate content without affecting the nitrogen concentration in plant tissue.

**Key words:** nitrate, Steiner, yield, nutrients.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	3
2.1. Objetivos.....	3
2.2. Hipótesis.....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. Nitratos en aguas en México .....	4
3.2. Contenido de nitratos en los vegetales.....	5
3.3. Límites máximos de nitratos en vegetales .....	6
3.4. Absorción de nitratos por las plantas.....	6
3.5. Nitratos en los vegetales y la salud humana .....	7
3.6. Factores que afectan la acumulación de nitratos.....	8
3.7. Nitratos en hortalizas y verduras .....	10
3.8. Combinación de formas de aplicación de nitrógeno y su efecto en el contenido de nitratos.....	11
3.9. Relación nitrato-amonio en hidroponía .....	11
3.10. Aminoácidos .....	12
3.11. Aminoácidos en la producción agrícola .....	13
3.12. Papel de los aminoácidos en la planta .....	14
3.13. Arginina .....	17
3.14. Prolina .....	19
3.15. Poliaminas .....	19
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
4.1. Ubicación del experimento .....	23
4.2. Material vegetal .....	23
4.3. Sustrato .....	24
4.4. Diseño experimental y de tratamientos.....	24
4.5. Muestreo y variables evaluadas .....	26
4.6. Análisis estadístico .....	27
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
5.1. Peso fresco.....	29

5.2. Peso seco .....	31
5.3. Altura de planta y área foliar .....	33
5.4. Concentración nutrimental al final del ciclo del cultivo de lechuga .....	35
5.5. Nitrógeno .....	36
5.6. Nitratos .....	36
5.7. Fósforo .....	37
5.8. Potasio.....	37
5.9. Calcio.....	37
5.10. Magnesio .....	37
5.11. Azufre .....	38
6. CONCLUSIONES.....	39
7. LITERATURA CITADA.....	40
8. ANEXOS .....	49

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Cantidad de iones para conformar los tratamientos de arginina en sustitución de nitratos en la solución nutritiva Steiner.....	<b>25</b>
<b>Cuadro 2.</b> Fuentes y cantidades para mil litros de solución utilizados en la investigación. ....	<b>25</b>
<b>Cuadro 3.</b> Cuadrados medios de los análisis de varianza para cada variable de los componentes de rendimiento del cultivo de lechuga.....	<b>27</b>
<b>Cuadro 4.</b> Comparación de medias de los componentes agronómicos del cultivo de lechuga obtenidos en invernadero. ....	<b>28</b>
<b>Cuadro 5.</b> Correlaciones y nivel de significancia entre los componentes de rendimiento del cultivo de lechuga.....	<b>29</b>
<b>Cuadro 6.</b> Cuadrados medios de los análisis de varianza del contenido nutrimental del tejido de la lechuga. ....	<b>34</b>
<b>Cuadro 7.</b> Concentración nutrimental del tejido de la lechuga bajo diferentes tratamientos de sustitución de nitratos por arginina en hidroponía. ....	<b>35</b>
<b>Cuadro 8.</b> Correlaciones y nivel de significancia en el contenido nutrimental de las plantas de lechuga. ....	<b>38</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nitrato en aguas superficiales: estaciones de monitoreo en cada categoría ...	4
Figura 2. Nitrato en aguas superficiales. Estaciones de monitoreo en cada categoría ...	5
Figura 3. Distribución espacial de los tratamientos. ....	24
Figura 4. Acumulación de materia fresca de lechuga por tratamiento (nitrato: arginina) en las diferentes fechas. ....	30
Figura 5. Respuesta de lechuga en peso fresco a la sustitución de nitratos por arginina en la solución nutritiva Steiner. ....	31
Figura 6. Acumulación de materia seca de lechuga por tratamiento (nitrato/arginina) en las diferentes fechas de muestreo. ....	32
Figura 7. Respuesta de lechuga en peso seco a la sustitución de nitratos por arginina en la solución nutritiva Steiner. ....	33
Figura 8. Respuesta de lechuga en el área foliar a la sustitución de nitratos por arginina en la solución nutritiva Steiner.....	34
Figura 9. Altura de la planta de lechuga por la sustitución de nitratos por arginina en la solución nutritiva Steiner. ....	34
Figura 10. Concentración nutrimental del tejido vegetal en el cultivo de lechuga .....	39



## 1. INTRODUCCIÓN

El nitrógeno es indispensable para los seres vivos. Se encuentra en una proporción del 78% en volumen en la atmósfera, pero este nitrógeno gaseoso debe ser transformado en forma aprovechable para las plantas en amonio y nitratos principalmente, iones que son incorporados al suelo y absorbidos por las plantas. El nitrógeno recorre la cadena alimentaria desde las plantas a los herbívoros y de estos a los carnívoros. El hombre aprovecha el nitrógeno a través de las proteínas de origen animal o vegetal.

La industria de los fertilizantes presenta el nitrato como fuente principal de nitrógeno para las plantas. El nitrato contenido en las plantas se transforma en nitrito y óxido nitroso, durante el metabolismo humano. Estas formas de nitrógeno pueden reaccionar en medio ácido del estómago con las aminas, sustancias obtenidas por el metabolismo de los alimentos proteicos (carne, pescados, huevos, leche y derivados de estos alimentos) originando nitrosaminas, las cuales son cancerígenas. Estudios efectuados indican que las hortalizas son una de las fuentes principales de nitratos en la dieta humana, destacan las especies como las lechugas y las espinacas, como acumuladoras de este anión. La unión europea ha reglamentado en estas especies el límite máximo de nitratos que pueden contener al momento de comercializarse en las distintas estaciones del año (Vega *et al.*, 1998).

Estudios epidemiológicos han correlacionado la incidencia de cáncer (nasofaríngeo, esofágico y gástrico) con las zonas agrícolas de alto uso de fertilizantes nitrogenados.

Los problemas de salud están llevando a los productores de cultivos de hortalizas a centrarse más en la calidad de los productos en lugar de cantidad, en particular en aspectos de nutrición. Por lo tanto, las investigaciones recientes tienen que ver con la gestión agrícola como uno de los factores más importantes que tiene impacto directo en la salud humana que es el contenido de nitrato en la lechuga.

El objetivo del presente trabajo fue sustituir el nitrato por arginina como fuente de nitrógeno en el cultivo de lechuga en la solución Steiner, encontrar la relación nitrato-

arginina que permita obtener un rendimiento comparable con la solución Steiner como testigo, obtener plantas con menor contenido de nitratos y evaluar el contenido de los nutrimentos en las plantas de lechuga.

## **2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **2.1. Objetivos**

1. Evaluar el rendimiento y calidad de lechuga cultivada en hidroponía con solución nutritiva Steiner combinado con diferentes dosis de arginina y su comparación con la solución de nitratos del fertilizante químico.
2. Determinar la relación máxima de nitrato-arginina que permita obtener un rendimiento comparable con la solución Steiner y disminuir la concentración de nitratos en el cultivo de lechuga.

### **2.2. Hipótesis**

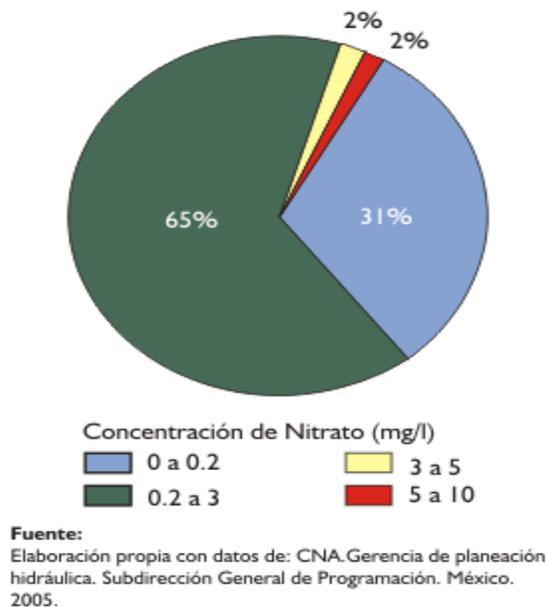
1. La aplicación de arginina en combinación con nitratos en soluciones nutritivas reduce la acumulación de nitratos en las plantas de lechuga.
2. La aplicación del nivel apropiado de arginina en una solución nutritiva permite obtener rendimientos comparables con la adición de nitratos de los fertilizantes químicos.

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

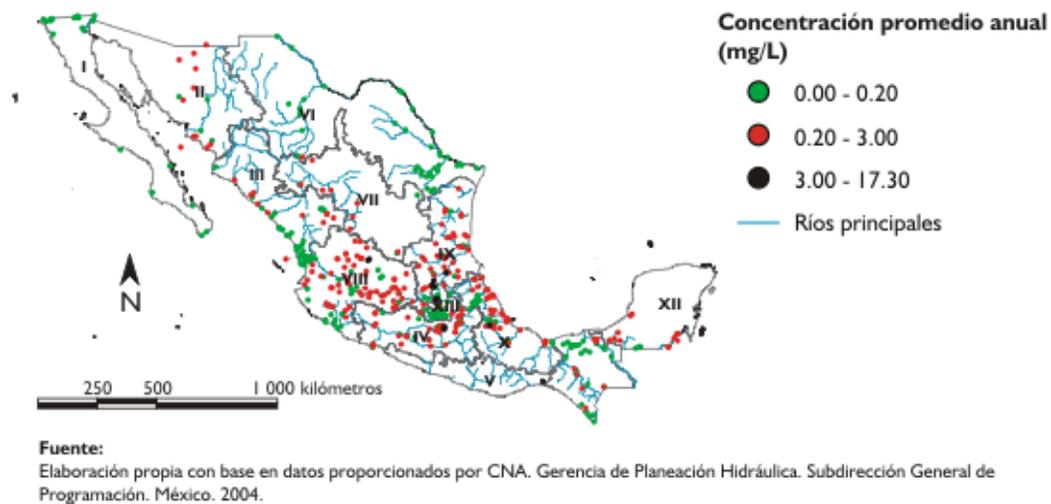
#### 3.1. Nitratos en aguas en México

El contenido de nitratos en el agua, se establece como concentración máxima  $0.2 \text{ mg L}^{-1}$  para el consumo humano a largo plazo, con el fin de prevenir la metahemoglobinemia en infantes (OMS, 2006).

En México en el año 2003 se detectaron concentraciones superiores a  $0.2 \text{ mg L}^{-1}$  en 69% de los sitios de monitoreo. En las regiones Noroeste, Río Balsas, Río Bravo, Cuencas Centrales del Norte, Lerma-Santiago-Pacífico, Golfo Norte, Golfo Centro y Península de Yucatán el 50% o más de los sitios de monitoreo sobrepasaron ese nivel. Ese mismo año 5% de los sitios de monitoreo de las regiones Golfo Norte y Valle de México presentaron concentraciones de nitrato mayores a  $5 \text{ mg L}^{-1}$ .



**Figura 1.** Nitrato en aguas superficiales: estaciones de monitoreo en cada categoría



**Figura 2.** Nitrato en aguas superficiales. Estaciones de monitoreo en cada categoría

### 3.2. Contenido de nitratos en los vegetales

Las plantas con alto contenido de nitratos ( $>1000 \text{ mg kg}^{-1}$ ) son: remolacha, lechuga, espinaca, verduras de hojas entre otras. Mientras que los vegetales con bajo contenido de nitrato ( $0.5\text{-}50 \text{ mg kg}^{-1}$ ) son: frutas, cereales y hortalizas de vaina (Tamme, 2006).

En los primeros meses de vida de los bebés, el estómago no produce gran cantidad de ácido, lo que favorece el asentamiento de bacterias en el tramo superior del intestino delgado, que pueden transformar directamente los nitratos ingeridos a nitritos. Los bebés, durante los primeros meses de vida poseen un tipo de hemoglobina (hemoglobina fetal), éste se transforma fácilmente en metahemoglobina; cuando el nitrito penetra en el sistema circulatorio, la hemoglobina se oxida y aparece la metahemoglobinemia, que pierde su capacidad de almacenar reversiblemente el oxígeno. Esto conduce a síntomas de asfixia y azulamiento de labios del bebé (cianosis) con graves consecuencias.

### 3.3. Límites máximos de nitratos en vegetales

La Unión Europea ha establecido el nivel máximo de la lechuga producida en campo de 2500-4000 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> en peso fresco para verano e invierno y para lechugas cultivadas en invernadero, es de 3500 a 4500 mg kg<sup>-1</sup> (Zhong *et al.*, 2002).

### 3.4. Absorción de nitratos por las plantas

Las células de la raíz contienen varios transportadores de nitrato en su membrana plasmática; entre estos está un transportador de baja afinidad (saturación media > 500 μM de nitrato) y un transportador con una muy alta afinidad (saturación media de 20-100 μM nitrato), este último se induce sólo cuando sea requerido por el metabolismo. La capacidad de absorción de nitrato en las raíces se ajusta a las condiciones ambientales. La eficiencia de los sistemas de absorción de nitrato hace posible que las plantas puedan crecer cuando la concentración de nitrato externa es tan baja como 10 μM (Heldt, 2005).

El transporte de nitrato en las células de la raíz se lleva a cabo por transporte facilitado con dos protones. Un gradiente de protones a través de la membrana plasmática, es generado por un H<sup>+</sup>-P-ATPasa que acciona la absorción de nitrato contra un gradiente de concentración. El ATP requerido para la formación del gradiente de protones se proporciona principalmente por la respiración mitocondrial. Cuando los inhibidores o desacopladores de respiración bloquean la síntesis de ATP mitocondrial en las raíces, el consumo de nitrato normalmente se detiene (Heldt, 2005).

El nitrato absorbido en las células de la raíz puede ser almacenado temporalmente en la vacuola, después es reducido químicamente a NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en las células epidérmicas y corticales de la raíz. Este NH<sub>4</sub><sup>+</sup> se utiliza principalmente para la síntesis de glutamina y asparagina. Estos dos aminoácidos pueden ser transportados a las hojas a través de los vasos del xilema. Sin embargo, cuando se agota la capacidad de asimilación de nitrato en las raíces, el nitrato es liberado de las raíces en los vasos del xilema y es transportado por la corriente de transpiración a las hojas. Allí se recoge el nitrato en las células del mesófilo, probablemente también por transporte facilitado. Grandes

cantidades de nitrato se pueden almacenar en una hoja por la absorción en la vacuola, misma que se vacía por la asimilación de nitrato durante el día y se repone durante la noche (Heldt, 2005).

La velocidad y tasa de absorción de nitrato difiere según la especie de planta, edad, nutrición y las condiciones de crecimiento. Los parámetros cinéticos de absorción de nitratos también difieren según la especie. Por ejemplo, la absorción activa ( $K_m$ ) en *Lactuca sativa* L. es de 9.5  $\mu$ moles, mientras que en la *Vicia faba* es de 60  $\mu$ moles. La tasa de absorción de nitrato varía según la especie y edad de la planta (Jaoual y Cox, 1998).

A diferencia de lo que ocurre con otros compuestos de nitrógeno (nitrito y amonio), los nitratos se acumulan en las vacuolas de las células vegetales, donde tienen una función no específica, supliendo a ácidos orgánicos y azúcares, y como reguladores osmóticos cuando la fotosíntesis es muy baja (Behr y Wiebe, 1992). Aunque otros autores mencionan que la planta utiliza más carbohidratos que iones nitratos como regulador osmótico (Steingröver *et al.*, 1993).

Los nitratos son asimilados o incorporados en las hojas y también en las raíces, en las plantas herbáceas la incorporación del nitrato se produce principalmente en las hojas, aunque también se puede llevar a cabo las raíces, que a menudo juega un papel importante en el crecimiento temprano de estas plantas. Por el contrario, muchas plantas leñosas (árboles, arbustos), así como las legumbres como la soya, asimilan el nitrato principalmente en las raíces (Heldt, 2005).

### **3.5. Nitratos en los vegetales y la salud humana**

Aunque los datos epidemiológicos actuales proporcionan conflicto-evidencia sobre el potencial a largo plazo para la salud de los altos niveles de nitratos en la dieta, es ampliamente aceptado que la reducción de nitrato en la dieta es una medida preventiva deseable. Una reducción en el contenido de nitrato puede, representar un valor añadido

para los productos vegetales que son ricas en carotenoides, vitaminas C y E, selenio, fibra dietética, esteroides vegetales, flavonoides, fenoles entre otros (Santamaria ,2006)

Los nitritos ingeridos como tal o provenientes de la reducción de nitratos, en el estómago se convierten en ácido nitroso ( $\text{HNO}_2$ ) y diferentes óxidos que pueden reaccionar con aminos secundarios, terciarios y amidas, provenientes de otros alimentos, como quesos, pescado y carnes para formar nitrosaminas. Los nitroso-compuestos son cancerígenos, y han sido comprobados en estudios realizados en humanos (van Maanen *et al.*, 1998; Santamaría, 2006).

El efecto más conocido de los nitritos, es la capacidad que tienen de reaccionar con la hemoglobina, generando productos oxidativos y metahemoglobina, que deteriora la entrega de oxígeno y produce problemas respiratorios principalmente en infantes (Mensinga *et al.*, 2003).

### **3.6. Factores que afectan la acumulación de nitratos**

En el cultivo en invernadero se pueden obtener productos hortícolas fuera de su estación. En invierno la acumulación de nitratos en los vegetales es mucho más alta; esto es porque los cultivos en el invernadero no metabolizan correctamente los nitratos por la falta de luz solar directa. Por lo general, el uso de invernadero dobla o triplica la acumulación de nitratos en la planta (Vega *et al.*, 1998).

Entre los factores que influyen en la acumulación de nitratos y nitritos en las verduras destacan las diferentes tasas de absorción de cada vegetal, aplicación de fertilizantes nitrogenados, condiciones de almacenamiento, luminosidad y la actividad de la enzima nitrato reductasa. En ciertas condiciones de almacenamiento de los vegetales, el nitrato puede convertirse en nitrito. Los niveles de nitratos en las hortalizas, no se reducen a nitrito en el almacenamiento en frío. Esto implica que la actividad de la nitrato reductasa tiende a ser inactivada en condiciones de frío (Chung *et al.*, 2004).

Estudios de niveles de nitrato y nitrito en espinaca (Chung *et al.*, 2004), col china (Chung *et al.*, 2004) y otras verduras de hoja (Ezeagu, 1996) en condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente indican que el contenido del nitrato disminuye mientras que el nitrito tiende a aumentar con el tiempo.

La intensidad de luz es un factor que influye en la acumulación de nitratos en la planta, de forma tal, que a mayor luminosidad, la acumulación de nitratos disminuye independientemente de la fertilización nitrogenada (Merino y Ansorena, 1993). En ciclos de cultivo con baja radiación global (cultivos de invierno), la actividad de la enzima nitrato reductasa es baja, dando lugar a elevadas concentraciones de nitrato en la planta, debido a que las raíces absorben más rápido el nitrato que la velocidad para convertirlos a proteína. Por el contrario, en ciclos de cultivo con alta radiación global (cultivos de primavera), la actividad de la nitrato reductasa es alta, disminuyendo la concentración de nitrato en las hojas (Steingröver *et al.*, 1993).

La cantidad de nitrato acumulado en los tejidos de la planta está estrechamente relacionado con la actividad de la nitrato reductasa que ha demostrado ser modulada por la intensidad de la luz (Ferretti *et al.*, 1995).

La acumulación de nitrato en las verduras depende de la cantidad de fertilizante nitrogenado, tiempo de aplicación (Guadagnin *et al.*, 2005), forma de nitrógeno (Gamiely *et al.*, 1991) y los métodos de fertilización nitrogenada y los procesos de reducción enzimáticas.

El genotipo de las plantas y la forma química de suministro de nitrógeno muestran un efecto sobre el crecimiento de la lechuga y el contenido de nitrato, la variedad Paris tiene menor contenido de nitrato en comparación con el cultivar Sonette. Las plantas cultivadas con solución de amonio presentan menor concentración de nitrato en las hojas comparados con los cultivados con solución de nitrato (El-Nemr *et al.*, 2012).

El grado de acumulación de nitrato no sólo depende del tipo y variedad genética de las plantas, sino también de la temperatura, concentración y el tipo de nitrógeno disponible

(Rincón *et al.*, 2002). El aumento de la temperatura disminuye la acumulación de nitratos en hojas de lechuga (Behr y Wiebe, 1992), aunque no suele apreciarse en plantaciones comerciales, debido a que un aumento de la temperatura va acompañado de una alta luminosidad, lo que genera una mayor reducción de nitratos en la planta.

La baja productividad y fotosíntesis en condiciones de sombra no son el resultado de la disponibilidad de nitrato, sino que son causadas directamente por la baja radiación. Por lo tanto, para evitar la alta acumulación de nitrato, una buena práctica sería retirar el nitrato de la solución de nutrientes durante los días nublados o ampliar el periodo de crecimiento de las plantas, es decir, alargar el periodo de cosecha (He *et al.*, 2011).

### **3.7. Nitratos en hortalizas y verduras**

Carrasco *et al.* (2006) realizaron cuatro experimentos para determinar el contenido de nitratos en lechugas cultivadas en hidroponía en película nutritiva. Los experimentos se efectuaron en forma independiente en donde obtuvieron lechugas de menor peso al producirlas a inicios de invierno, independientemente del sistema hidropónico utilizado. Los rendimientos más altos se obtuvieron con película nutritiva a fines de invierno, en el cual se presentaron las mayores concentraciones de nitratos (Abu-Rayyan *et al.*, 2004). Las hojas superiores alcanzaron las concentraciones de nitrato más elevadas, triplicando al correspondiente de las hojas interiores. Las cantidades de nitrógeno aportadas influyeron positivamente en la acumulación de nitrato en hoja.

En tratamientos de nitrógeno con 25, 50, 100, 150 y 200 kg ha<sup>-1</sup> aplicados al cultivo de lechuga, la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> con el tiempo fue creciente tanto en hojas superiores como en hojas interiores. La concentración de nitratos en materia fresca de las hojas superiores fueron de 4600 mg kg<sup>-1</sup> en el tratamiento de 200 kg ha<sup>-1</sup>, de 3800 mg kg<sup>-1</sup> en el de 150 kg ha<sup>-1</sup>, de 3200 mg kg<sup>-1</sup> en el de 100 kg ha<sup>-1</sup> e inferior a 2000 mg kg<sup>-1</sup> en los tratamientos de menor aportación de nitrógeno. En hojas interiores, las concentraciones fueron de 1500, 1250 y 1050 mg kg<sup>-1</sup> para los tratamientos en los que se aplicaron 200, 150 y 100 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, e inferiores a 850 mg kg<sup>-1</sup> en los tratamientos que recibieron 25 y 50 kg ha<sup>-1</sup> (Rincón *et al.*, 2002).

### **3.8. Combinación de formas de aplicación de nitrógeno y su efecto en el contenido de nitratos**

Escalona *et al.* (2009) observaron respuestas de crecimiento de plantas de lechuga en hidroponía, el cual las plantas fueron cultivadas en soluciones que tenían cuatro fuentes de nitrógeno: nitrato de potasio y nitrato de calcio, nitrato de amonio, sulfato de amonio y urea. Las plantas fertilizadas con nitrato mostraron mayor rendimiento y contenido de nitrato en peso fresco que las plantas de otros tratamientos. Las plantas fertilizadas con  $\text{NH}_4^+$ , mostraron un menor contenido de nitrato y peso fresco; en otro estudio el contenido total de nitrógeno aumentó, de acuerdo a la forma de nitrógeno aplicado, en el siguiente orden: urea > sulfato de amonio > nitrato de calcio y nitrato de potasio > nitrato de amonio (Abd *et al.*, 1996), (Chohura y Kołota, 2009).

### **3.9. Relación nitrato-amonio en hidroponía**

En hidroponía, las cantidades de  $\text{NH}_4^+$  incorporadas en las soluciones nutritivas están entre 5 a 10% del total de nitrógeno y difícilmente excederá el 15%. En rosas, estos niveles pueden alcanzar hasta 25% durante la etapa vegetativa, mientras que en melón, durante el desarrollo de frutos el  $\text{NH}_4^+$  debe ser 0%. La adición de  $\text{NH}_4^+$  disminuye el pH en el entorno de las raíces, debido a una activación en la absorción del catión  $\text{NH}_4^+$  y una disminución en la absorción del anión  $\text{NO}_3^-$ . Cuando el  $\text{NH}_4^+$  es absorbido, la planta libera  $\text{H}^+$  para mantener la neutralidad eléctrica, lo que provoca una disminución del pH en el entorno de las raíces. Además puede afectar la absorción de otros cationes como:  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , por la competencia catiónica que genera el  $\text{NH}_4^+$ . La proporción de este efecto depende de diferentes factores como: el cultivo, las condiciones de desarrollo y los ajustes realizados en el balance iónico de los nutrimentos, por lo cual no se recomienda el uso de  $\text{NH}_4^+$  en cultivos sensible a las deficiencias de  $\text{Ca}^{2+}$  (Sonneveld y Voogt, 2009).

El amonio requiere menos energía para ser introducida a la planta porque el nitrógeno está ya en una forma reducida omitiendo este paso en la asimilación. Aunque puede haber algunos problemas para la regulación del pH celular asociada con  $\text{NH}_4^+$  como

una fuente única de nitrógeno para la planta en concentraciones externas altas es tóxico para la célula (Britto *et al.*, 2001).

El amonio es directamente tomado de fuentes externas o los organismos emplean vías de reacción que generan amonio a partir de otros compuestos nitrogenados. Por otro lado, el amonio es conocido por ser tóxico para muchos organismos, en particular para plantas y microorganismos fotosintéticos. Una variedad de herbicidas (glufosinato) actúan como inhibidores de la enzima clave (glutamina sintetasa) de la asimilación de amonio, lo que conduce a la acumulación de concentraciones tóxicas de amonio. La toxicidad de amonio es causada por el desacoplamiento de la fotofosforilación oxidativa (Zhu *et al.*, 2000; Britto y Kronzucker, 2001) la toxicidad de amonio es más pronunciada en altas condiciones de luz.

El uso del agua y la acumulación de nitrato en el cultivo de lechuga aumentan cuando se usa solución de  $\text{NO}_3^-$  en comparación con la solución de  $\text{NH}_4^+$ , el peso fresco, seco y consumo de agua, son mayores en plantas fertilizadas con nitrato aunque se observa mayor eficiencia en el uso del agua en las plantas cultivadas en solución de  $\text{NO}_3^-$  en comparación con la solución de  $\text{NH}_4^+$  (El-Nemr *et al.*, 2012).

Según Lastra *et al.*, (2009) un mayor crecimiento se asocia con un mayor contenido de nitrato en las hojas de lechuga. El contenido puede ser mayor que los requerimientos reales de nitrógeno por la planta, clasificado como un consumo de "lujo".

### **3.10. Aminoácidos**

Los aminoácidos son ácidos orgánicos en los que un  $\text{H}^+$  ha sido sustituido por un grupo amino. Los aminoácidos cumplen funciones variadas, la más importante es constituir las unidades estructurales de los péptidos y las proteínas; que se unen por medio de enlaces peptídicos que es un enlace de tipo amida sustituida y se forma cuando reacciona el grupo carboxilo de un aminoácido con el amínico de otro y elimina una molécula de agua (Cardellá y Hernández, 2007). Los aminoácidos pueden clasificarse según diferentes criterios, por el número de grupos carboxílicos y amínicos, estos se clasifican en neutros, ácidos y básicos; por la polaridad de su grupo R se clasifican en

apolares y polares; estos últimos a su vez pueden ser polares iónicos o polares poco iónicos.

Los aminoácidos libres son aquellos que no se encuentran unidos a otros aminoácidos; por tanto, su peso molecular es reducido y son rápidamente absorbidos por la planta.

### **3.11. Aminoácidos en la producción agrícola**

Los aminoácidos libres y péptidos de bajo peso molecular son sustancias nutritivas de fácil absorción y asimilación por las plantas, tanto por vía foliar como radical y se transportan a los brotes, flores y frutos, en los que existe una mayor demanda debido a su actividad (Franco, 1989), donde son utilizados en la síntesis de proteínas ahorrándose una serie de procesos metabólicos consumidores de energía que serían necesarios para la elaboración de los aminoácidos a partir del nitrógeno amoniacal o nítrico.

En los últimos años, se ha hecho evidente que las plantas pueden tomar y utilizar aminoácidos como fuente de nitrógeno (Montamat *et al.*, 1999; Neelam *et al.*, 1999) y que puede reducir el contenido de nitrato y aumentar el contenido de nitrógeno total en verduras (Gunes *et al.*, 1994, 1996).

La utilización de los hidrolizados proteicos en fertirrigación, contribuyen a la activación de la microflora y microfauna del suelo, responsables de los procesos de humificación y de la movilización de elementos nutritivos; en otros ensayos realizados sobre lechuga Iceberg con un hidrolizado de proteínas con el 13.2% de aminoácidos en forma libre (Franco *et al.*, 1989), encontraron respuestas positivas en el aumento de peso fresco de las plantas y desarrollo de hojas.

El suministro de un solo aminoácido en los cotiledones de *Ricinus communis* L. después de eliminar el endospermo, la concentración de aminoácido aumenta en la savia de en un 40% del total de la solución aplicada (Schobert y Komor, 1989), el porcentaje de glicina aumentó del 9% al 85% del total de aminoácidos mientras que la glutamina sólo aumentó de 6% a 56%. Estos resultados sustentan la hipótesis de que

aminoácidos presentes en los tejidos de la raíz ejercen un efecto negativo en la absorción de nitratos y sugieren que el transporte de aminoácidos de brotes a raíces controla la absorción de nitratos (Muller y Touraine, 1992).

Reyes *et al.* (2001) realizaron un estudio del efecto de los aminoácidos en el crecimiento y producción del jitomate en el invernadero en donde encontraron que las variables longitud de tallo, peso fresco y seco de raíz y tallo, medidos en porcentaje fueron superiores al testigo.

### **3.12. Papel de los aminoácidos en la planta**

La absorción de aminoácidos en la planta puede ser activado por el gradiente de protones a través de la membrana plasmática y facilitado por proteínas de transporte (Rentsch *et al.*, 2007). Estos transportadores pueden funcionar en la adquisición de aminoácidos a partir de la solución del suelo, así como en la recaptura de aminoácidos que salen de las raíces (Jones *et al.*, 2005). Los sistemas de transportadores de aminoácidos comparten similitudes con los transportadores de nitrógeno que mayormente son dependientes de la concentración (Zhou *et al.*, 1998).

Los aminoácidos, son sustancias orgánicas de bajo peso molecular con una función ácida (COOH) y un amino (NH<sub>2</sub>), su principal función es penetrar a través de la cutícula y membranas celulares de las hojas y activar el metabolismo celular (Chen y Aviad, 1990); cumplen funciones clave en la estrategia que realizan las plantas para tolerar el estrés y adecuación de las plantas en suelos contaminados con metales pesados (López *et al.*, 2000).

La cantidad de aminoácidos exportado de hojas a la raíz es el resultado del equilibrio entre la reducción de nitratos, y la importación de aminoácidos del xilema, menos la fracción útil para el crecimiento vegetal y de esta forma controlan la absorción de nitrato en las raíces (Muller y Touraine, 1992).

Los efectos son favorables al incluir aminoácidos en la solución nutritiva en los procesos de absorción de agua y el transporte en la planta porque disminuyen la conductancia estomática y transpiración (García *et al.*, 2006).

Los aminoácidos aplicados en mezcla con algunos nutrimentos, aumenta la eficiencia de estos favoreciendo la permeabilidad de la membrana celular, reduciendo el tiempo de absorción de los mismos (Kamara, 2000), además pueden servir como agentes quelatantes para diferentes elementos como el fósforo (Massonneau *et al.*, 2001) y el hierro, favoreciendo su transporte y penetración en el interior de los tejidos vegetales (Mullins *et al.*, 1986).

Nusimovich *et al.* (1989) obtuvieron un aumento en el rendimiento de hasta un 14% más en el cultivo de tomate de invernadero mediante la aplicación foliar de micronutrimentos con aminoácidos obtenidos por hidrólisis enzimática. De igual modo, se han estudiado los efectos de la aplicación foliar de un producto obtenido por hidrólisis ácida en condiciones controladas sobre el cultivo de brócoli, obteniéndose un incremento de producción por aumento de peso de la cabeza principal y un mayor vigor en los rebrotes.

Algunos aminoácidos, como metionina, ornitina, arginina y lisina, precursores de la síntesis de poliaminas, las cuales intervienen en la regulación de procesos fisiológicos fundamentales, desde la germinación, floración y maduración del fruto (Smith, 1985). La glicina es un metabolito fundamental, utilizado para la formación de las hojas, siendo el primer eslabón de la ruta biosintética de la clorofila (Franco, 1989).

Al sumergir los cotiledones de plántulas de soya en una solución concentrada de aminoácidos con el fin de enriquecer la savia del floema con los aminoácidos, se logró una inhibición en la absorción de nitrato en aproximadamente cuatro horas después del pico de absorción de arginina en el exudado de floema. Los efectos inhibitorios fueron: (arginina 56%; asparagina 20%), inhibiciones que son similares cuando se sumergen los cotiledones o cuando se aplica la solución a la raíz, excepto para metionina que sólo inhibe por inmersión del cotiledón; serina inhibe sólo cuando se

añade al medio de la raíz. Entre los 14 aminoácidos utilizados en la prueba, algunos son inhibidores fuertes (80% a 100%). Las diferencias en los efectos de aminoácidos pueden ser consideradas con respecto a su ruta biosintética. Los miembros de la familia piruvato (alanina, isoleucina, leucina, valina) muestran efectos diferentes en la absorción de nitrato. Para leucina y alanina se encontraron 10% y 93% respectivamente. El único aminoácido aromático (fenilalanina) ensayado mostró un ligero efecto (20%), mientras que serina (de la familia de serina) tenía un efecto más fuerte (53%). Con excepción de alanina, valina, y serina, aminoácidos ácidos (asparagina y glutamina), sus amidas y el aminoácido básico (arginina) tuvo mayor efecto inhibitorio que los otros, no polares (valina, leucina, isoleucina, fenilalanina, y metionina) o neutral y polar (glicina) tienen poco o ningún efecto sobre la absorción de nitrato (Muller y Touraine, 1992).

En un estudio sobre soluciones nutritivas con distinta composición en aminoácidos para evaluar el efecto en el crecimiento y la concentración mineral en hojas de tomate, las plantas se regaron con siete soluciones nutritivas (0.5 Hoagland) que diferían en la composición de los aminoácidos, todos ellos a una concentración total de 0.2 mM de alanina, serina, fenilalanina y treonina aplicados de forma individual, dos tratamientos con la combinación alanina+serina y fenilalanina+treonina y un control sin aminoácidos, se observaron cambios en las concentraciones de nutrientes aunque los efectos dependieron de los aminoácidos utilizados. La mezcla de Ala+Ser aumentó la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$ , los tratamientos de aminoácidos alifáticos favorecieron un aumento de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$ , y aquellos con grupos hidroxilo serina y treonina aumentaron el  $\text{Mg}^{2+}$ . En el segundo experimento las plantas se regaron con solución 1/2 Hoagland (T0) y con solución 0.5 Hoagland más una mezcla de 4 aminoácidos (0.05 mM) (T1). En este experimento también aumentó la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , y  $\text{Mn}^{2+}$  en las hojas. Los datos obtenidos en los dos experimentos indican que la aplicación de aminoácidos a la solución nutritiva podría mejorar el estado nutricional de las plantas y la concentración de clorofilas en las hojas (García *et al.*, 2011).

La presencia de aminoácidos (por ejemplo, glutamina) se ha encontrado que puede inhibir la absorción de nitrato y amonio (Aslam *et al.*, 2001; Thornton, 2004).

### **3.13. Arginina**

La arginina es un aminoácido esencial considerado como principal precursor de poliaminas producido por descarboxilación de la arginina a través de la arginina-descarboxilasa para formar putrescina (Evans y Malmberg, 1989; Bouchereau, 1999). Las poliaminas y sus precursores de arginina han sido implicados como moduladores vitales en una variedad de procesos en el crecimiento fisiológico y los procesos de desarrollo en plantas superiores (Galston y Kaur-Sahney, 1990). Las poliaminas participan en el control del ciclo celular, la división celular, proceso de la morfogénesis mediada por la hormona fitocromo en la planta y el control de la senescencia, como respuesta de la planta a diversos factores de estrés (Walters, 2003; Abd El-Moniem, 2007).

La aplicación de arginina promueve significativamente el crecimiento, aumento de peso fresco y seco y aumento de reguladores del crecimiento vegetal, clorofilas a y b, carotenoides en frijol y trigo (Nassar *et al.*, 2003), además la arginina puede inducir la floración temprana y fructificación de las plantas de frijol.

Rociar las plantas de frijol mungo (*Vigna radiata L.*) con diferentes concentraciones de arginina disminuye el efecto nocivo de la salinidad sobre la altura de la planta y el peso seco (Qados, 2010). El valor más alto de peso seco de la planta se obtuvo con 2.5 mM de arginina. Según Abd El-Moniem (2007) a medida que incrementa la concentración de arginina en la solución aumenta la absorción de los nutrientes de las plantas de frijol mungo, número y porcentaje de proteínas en mg/100 granos, carbohidratos solubles totales, polisacáridos, prolina, contenido total de aminoácidos bajo riego salino y no salino.

El-Bassiouny *et al.* (2008) y Hassanein *et al.* (2008) indican que la arginina es el compuesto más eficaz para aumentar carbohidratos solubles, polisacáridos,

carbohidratos totales, prolina, aminoácidos totales y el contenido de proteínas de las plantas de trigo y granos en condiciones normales o salinas.

En otro estudio (Qados, 2010) encontró que 2.5 mM de arginina era la concentración óptima para reducir los efectos dañinos del estrés en las plantas de soya, en el cual la aplicación externa de la arginina aumentó la absorción de N, P y K<sup>+</sup> en hojas y N, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> en las semillas, además la relación K: Na aumenta en todos los niveles de salinidad en comparación con el testigo.

Breteler y Arnozis (1985) encontraron que cuatro aminoácidos, arginina, asparagina, cystina, y glutamina, inhiben la absorción de nitrato en las plantas de frijol; donde se observa una inhibición rápida y casi completa en la absorción de nitrato y la tasa de absorción de nitrato se restaura después de retirar arginina del medio, en la raíz (Muller y Touraine 1992). Tales observaciones son similares en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, que inhibe rápidamente y se reanuda la absorción de nitrato (Lee y Drew, 1989).

Sharma *et al.* (1997) indican que la aplicación foliar de putrescina (un producto de la arginina) mejora la absorción de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, pero disminuye la absorción de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> en plantas de garbanzo. Mansour y Al-Mutawa (1999), El-Bassiouny y Bekheta (2001) indican que el papel principal de todos los productos de arginina (putrescina, espermidina y espermina) en plantas bajo estrés por salinidad durante el desarrollo de la planta es mantener un balance catión/anión en tejidos de plantas mediante la estabilización de membrana a la alta salinidad.

Según Krishnamurthy (1991) cuando la putrescina (sustancia derivada de arginina) se suministra de forma exógena en condiciones de salinidad, el rendimiento de grano de arroz aumenta. Este incremento puede ser debido al control del envejecimiento de la planta por efecto de putrescina. El-Bassiouny y Bekheta (2001) demostraron que la putrescina está involucrada en la regulación de crecimiento, desarrollo y rendimiento de grano del trigo en condiciones de salinidad.

### 3.14. Prolina

Aminoácidos como prolina e hidroxiprolina, juegan un papel esencial en el equilibrio hídrico de la planta, especialmente cuando se ve sometida a condiciones de estrés, al fortalecer las paredes celulares (Curvetto *et al.*, 1986). El incremento de las cantidades de prolina en el citoplasma y paredes celulares tiene un efecto favorable frente al estrés osmótico en condiciones de salinidad (Eberhardt y Wegmann, 1989), como respuesta primaria de defensa para mantener la presión osmótica en la célula (Desingh y Kanagaraj, 2007; Misra y Gupta, 2005; Mansour *et al.*, 2005). Se sabe que la prolina influye sobre la viabilidad del polen de las plantas al incrementar su porcentaje de germinación.

Estudios con niveles crecientes de salinidad se observa el aumento del contenido de prolina en mijo (*Pennisetum glaucum L.*), el contenido de prolina y aminoácidos libres aumentan en las primeras 12 horas, alcanzando una concentración máxima de prolina de 133.25 mgkg<sup>-1</sup> de peso de tejido fresco y aminoácidos libres (560 µg g<sup>-1</sup> de peso de tejido fresco) en una concentración de 200 mM de cloruro de sodio (Sneha *et al.*, 2013); lo que indica que los aminoácidos pueden desempeñar un papel importante en la osmorregulación junto con la prolina.

Se ha informado que en *Brassica juncea L.*, *Pistada vera L.*, *Saussurea amara L.*, *Cajanus cajan L.*, *Oryza sativa L.*, *Morus alba L.* y *Sapindus trifolicates* que a medida que la concentración de sal aumenta el contenido de prolina también aumenta Madan *et al.*, 1995; Wang *et al.*, 2011; Mane *et al.*, 2011; Harinasut *et al.*, 2000) como resultado de la síntesis nueva o la inhibición de la actividad de la prolina oxidasa deshidrogenasa (Misra y Gupta, 2005).

### 3.15. Poliaminas

La poliamina, espermidina y la diamina putrescina se encuentran en todas las células procariontas y eucariotas, en los cuales se requiere para el crecimiento y desarrollo

normal de las plantas y se concentran en las vacuolas, citoplasma, paredes celulares y cloroplastos (Flores *et al.* 1990).

Las poliaminas participan en la embriogénesis y la senescencia, brotación, respuesta al estrés, producción de etileno y en algunos casos en el almacenamiento de nitrógeno. Sus niveles son altas cuando hay división celular y crecimiento activo (Smith, 1985); además las poliaminas se consideran como mensajeros secundarios, posiblemente actúan como mediadores de las hormonas vegetales.

La aplicación de poliaminas exógenas puede retrasar la senescencia, posiblemente por la inhibición de la producción de etileno o mediante la estabilización de los ácidos nucleicos y las membranas celulares. Las poliaminas también sirven como punto de partida para la síntesis de diversos alcaloides, incluyendo la nicotina (Flores *et al.*, 1990).

Hay muchas otras poliaminas en las plantas, pero éstos tienden a tener una distribución más restringida, incluyendo diaminopropano, que se encuentra en plantas monocotiledóneas y es un producto de oxidación de espermidina, espermina y cadaverina (1,5-diaminopen-lane), que ocurre en las flores anuales y algunas especies de leguminosas.

El metabolismo de poliaminas está regulado por la luz, el estrés y la senescencia (Tiburcio *et al.*, 1990) y parecen estar asociadas con la pared celular, donde regulan la interacción de las aminos con cationes inorgánicos, tales como calcio.

La espermina y espermidina son sintetizados a partir de putrescina, que se obtienen de los aminoácidos ornitina y arginina. La ornitina se deriva de glutamato, y la arginina es derivada del ciclo de la urea. En los animales y hongos, la putrescina se produce por la descarboxilación directa de ornitina (ornitina descarboxilasa, en las plantas y bacterias la arginina es el sustrato para la descarboxilación para la enzima arginina descarboxilasa (Smith, 1985). Después de la acción de arginina descarboxilasa en las plantas, se requieren dos enzimas para producir putrescina, las cuales se han encontrado en varias especies de plantas. Otra enzima (putrescina sintetasa) se ha

encontrado en *Lathyrus sativus* L. y *Cucumis sativus* L.; una vía adicional para la síntesis de putrescina ha sugerido la participación de citrulina.

La deficiencia de potasio provoca una disminución de las proteínas y un aumento en aminoácidos y putrescina en las plantas examinadas (Flores *et al.*, 1990).

Existe correlación entre aumento de putrescina y arginina descarboxilasa en las plantas bajo otros tipos de estrés, tales como la acidez y el estrés osmótico y la sequía (Flores *et al.*, 1985). En condiciones de salinidad *Brassica campestris*, se incrementa la putrescina, espermina y espermidina (Das *et al.*, 1995). Las poliaminas están completamente protonados a pH fisiológico y por lo tanto se pueden asociar con moléculas cargadas negativamente, tales como ácidos nucleicos, cromosomas de estabilización y con los lípidos de membrana, ejerciendo un efecto estabilizador. Además de la capacidad de captar radicales, lo que puede explicar su efecto en retardar la senescencia (Birecka *et al.*, 1991).

En plantas como arroz y tabaco se ha demostrado que una sobreproducción de putrescina, espermidina y espermina promueven la resistencia al estrés salino. En *Arabidopsis* la espermina sintetasa se ha visto que incrementa notablemente bajo condiciones de alta salinidad, mientras que en mutantes diseñados para que no produzcan poliaminas no se observa incremento (Wimalasekera, 2011).

En *Arabidopsis* como planta modelo para realizar investigaciones en este campo, Alcázar *et al.* (2006) observaron que los altos niveles de poliaminas en las células están correlacionados con la tolerancia al estrés abiótico; mientras que en plantas donde se inhibe la biosíntesis de éste regulador la tolerancia se pierde; sin embargo las aplicaciones exógenas de poliaminas revierten la situación.

Xu *et al.* (2001) y Nassar *et al.* (2003) concluyen que la aplicación exógena de poliamina (producto final de la arginina) para varias especies de plantas influye en la división celular, la diferenciación celular y la promoción del crecimiento en general, estabilización de la membrana y de la pared celular (Velikova *et al.*, 2000); y protección de las plantas contra el estrés ambiental (Mo y Pua, 2002).

Las poliaminas regulan procesos como la embriogénesis somática y cigótica así como la organogénesis de las plantas. Esto se ha logrado poner en evidencia gracias a que en mutantes de *Arabidopsis thaliana* L. con la biosíntesis interrumpida de esta hormona tienen problemas durante su desarrollo (Baron y Stasolla, 2008), los autores anteriores señalan que la importancia de las poliaminas durante el desarrollo de embriones se basa en que son moléculas que sirven de reguladores durante la división celular, específicamente en la fase en la cual las divisiones simétricas y asimétricas de las células coinciden con la diferenciación y muerte celular.

Actualmente existe avance en la investigación del uso de diferentes formas de nitrógeno en la fertilización de las plantas principalmente nitratos, amonio, aminoácidos, ácidos húmicos hasta proteínas. En cada una de estas formas se han encontrado diferentes velocidades de absorción cuando se aplican en forma separada como en combinación con las formas de nitrato y amonio que son las más utilizadas por la industria de los fertilizantes.

La adición de ácidos húmicos y fúlvicos a los suelos entre los beneficios se encuentra el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas como retención de humedad, formación de agregados, aumento de capacidad de intercambio catiónico entre otros, además de permitir la actividad microbiana.

La sustitución de nitratos en la fertilización de plantas por formas de complejos orgánicos está tomando auge en la agricultura orgánica para obtener plantas con menor contenido de nitratos, menos consumo de agua y en algunos casos para contrarrestar el estrés generado por la salinidad suelo y agua.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Ubicación del experimento**

El experimento se instaló el 13 de noviembre del 2014 en los invernaderos del Área de Nutrición Vegetal del Postgrado en Edafología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México. Las coordenadas geográficas del sitio son 19° 30' latitud norte, 98° 51' longitud oeste y se encuentra a una altitud de 2240 m.

De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García (1973), el clima del lugar donde se encuentran los invernaderos se clasifica como C(Wo) (W) b (i) g donde: C(Wo) significa templado subhúmedo con lluvias en verano y precipitación media anual de 650 mm, con temperatura media menor de 43.2 °C (es el clima más seco de los subhúmedos); (W) significa que la lluvia invernal es menor de 5% del total anual; b significa temperatura con verano fresco largo ,con temperatura media anual entre 12-18 °C; (i) significa poca oscilación térmica que va de 5 a 10 °C de las temperaturas medias mensuales y g significa que el mes más cálido se sitúa antes del solsticio de verano.

### **4.2. Material vegetal**

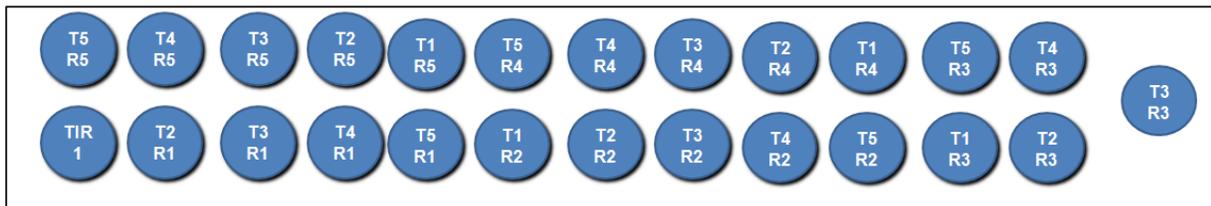
Como material vegetal se usaron plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) tipo romana, variedad Parris Island para cultivo de invierno, aunque también puede producirse en otoño y primavera. Pertenece a la familia de las asteráceas, género *Lactuca*, especie *sativa*. La planta tiene forma alargada, sus hojas son grandes de color verde oscuro, gruesas, ligeramente arrugadas con textura crujiente y el nervio central es muy pronunciado. Forma cabezas cilíndricas largas y de buen tamaño y el corazón o parte central es amarillo cremoso uniforme. La madurez fisiológica alcanza aproximadamente a los 60-75 días después de la germinación. Es ideal para el consumo en fresco, se puede producir en huertos familiares y aguanta el transporte. Es una variedad de lechuga romana estándar y tiene una resistencia media al virus del Mosaico(Marulanga e Izquierdo).

### 4.3. Sustrato

Se empleó como sustrato el tezontle rojo con granulometría de 0.5- 1 cm de diámetro. Los recipientes fueron bolsas de polietileno negro de capacidad de 15 litros mismos que se llenaron de tezontle a 80% de su capacidad. Posteriormente se saturó el tezontle con agua de la llave y al momento de estar drenando la bolsa se establecieron cuatro plantas de lechuga en cada una de ellas hasta completar las 25 bolsas, que resultan de cinco tratamientos con cinco repeticiones Cuadro 1.

### 4.4. Diseño experimental y de tratamientos

Las unidades experimentales fueron las bolsas de polietileno que se distribuyeron bajo el diseño completamente al azar con cinco repeticiones, distribuidas como se muestra en la Figura 3, con los tratamientos que se presenta en el Cuadro 1.



**Figura 3.** Distribución espacial de los tratamientos.

En el Cuadro 1 se muestran los porcentajes sustituidos de nitratos de las solución Steiner por arginina y las concentraciones de los nutrimentos que se aplicaron en cada uno de los tratamientos y en el Cuadro 2 se muestran las fuentes comerciales empleadas para la fertilización de las plantas en cada uno de los tratamientos.

**Cuadro 1.** Cantidad de iones para conformar los tratamientos de arginina en sustitución de nitratos en la solución nutritiva Steiner.

Ion (mg gL <sup>-1</sup> )	Concentración de arginina (%)				
	0	15	30	45	60
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	167.86	142.68	117.50	92.32	67.14
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	29.45	29.45	29.45	29.45	29.45
SO <sub>4</sub> <sup>2-*</sup>	79.02	108.47	133.38	155.72	178.05
K <sup>+</sup>	267.54	267.54	267.54	267.54	267.54
Ca <sup>2+</sup>	150.60	150.60	150.60	150.60	150.60
Mg <sup>2+</sup>	19.20	19.20	19.20	19.20	19.20
Arginina	0.00	25.18	50.36	75.54	100.72

\*Los incrementos en la concentración de sulfatos es debido a que el calcio fue suministrado con sulfato de calcio, para no desbalancear la solución Steiner.

Los micronutrientes fueron suministrados con el producto comercial Fermil R soluble con una dosis de 42 g en 1000 litros de solución y 21 gramos de Tradecorp (Fe 13.2% p/p) como fuente de Fe quelatado.

**Cuadro 2.** Fuentes y cantidades para mil litros de solución utilizados en la investigación.

Reactivos g / 1000 L	Tratamientos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -arginina)				
	100-0	85-15	70-30	55-45	40-60
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	885.88	886.67	783.35	615.49	447.63
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> *	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
CaSO <sub>4</sub>	---	---	75.79	199.86	323.93
KNO <sub>3</sub>	269.06	74.47	---	---	---
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	300.31	463.94	526.56	526.56	526.56
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	192.00	192.00	192.00	192.00	192.00
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	128.04	128.04	128.04	128.04	128.04

\* (mL /1000 L).

#### 4.5. Muestreo y variables evaluadas

Desde el primer día del experimento todas las bolsas con tezontle se regaron con la solución Steiner al  $1.5 \text{ dS m}^{-1}$  de conductividad eléctrica (CE) durante 8 días. Cumplidos los 8 días se iniciaron con los tratamientos, que resultaron de sustituir los nitratos en la solución Steiner en los diferentes porcentajes con arginina como se muestra en el Cuadro 1.

La primera cosecha se llevó a cabo a los 10 días de estar aplicando los tratamientos es decir a los 20 días de establecido el cultivo, en esta cosecha se cortó una planta de cada una de las repeticiones de los tratamientos a los cuales se les midió altura de planta, peso fresco y seco que se obtuvo después de secar las plantas en una estufa a una temperatura de  $70^{\circ}\text{C}$  durante 70 horas aproximadamente hasta obtener pesos constantes.

A los 26 días de establecido el cultivo se cosechó la segunda planta de cada una de las repeticiones y se hicieron las mismas mediciones que en la primera cosecha. El tercer muestreo se realizó a los 39 días con el mismo procedimiento.

Finalmente a los 56 días se cortó la última planta a la cual se le cuantificaron las mismas variables anteriores además de las lecturas SPAD con el SPAD 502 PLUS MINOLTA, el área foliar en el integrador de área foliar LI COR MOD. L1 3100, longitud de raíz y las variables de peso fresco de la planta, peso de raíz en fresco. Las muestras de plantas y raíz se colocaron en bolsas de papel para secarlas en la estufa a una temperatura de  $70^{\circ}\text{C}$  durante 70 horas a peso constante para obtener el un peso seco de raíz y planta. Las muestras secas se molieron, después la muestra molida se pasó por un tamiz del número 70 (0.21 mm) de diámetro para realizar el análisis químico de tejido vegetal. A las muestras se les determinó nitrógeno total,  $\text{NO}_3^-$ , P,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y S usando el AES-ICP, para lo cual se prepararon soluciones de multielementos con las siguientes concentraciones: 50,100, 150,200,250 y 300  $\text{mg L}^{-1}$  y estas se dividieron en dos grupos (soluciones a base de sulfato de potasio dibásico para  $\text{PO}_4^{3-}$  y nitrato de calcio para  $\text{Ca}^{2+}$  y soluciones a base de cloruro de potasio para  $\text{K}^+$  y sulfato de zinc para  $\text{SO}_4^{2-}$ ).

#### 4.6. Análisis estadístico

De acuerdo con la información obtenida, el análisis de varianza tuvo como objetivo comparar los tratamientos aplicados con base a las respuestas del cultivo de lechuga en las variables peso fresco, altura de planta, peso seco, área foliar, peso de raíz en fresco, peso de raíz seco, longitud de raíz medidos en el invernadero; posteriormente se procedió a la preparación de las muestras para la determinación del contenido nutrimental del tejido vegetal de las lechugas considerándose: Nitrógeno total,  $\text{NO}_3^-$ , P,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y S; bajo un diseño completamente al azar, y la prueba de comparación de medias (Tukey 0.05), con el programa estadístico SAS 9.0.

Después de efectuar el análisis de varianza, se procedió a realizar una correlación de las variables para conocer la asociación y el tipo de asociación presentes con cada uno de los tratamientos, finalmente se hizo un análisis de regresión para estimar funciones de respuesta de las variables evaluadas en función a los tratamientos.

### 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas entre los tratamientos, en cinco variables agronómicas: peso fresco, peso seco, área foliar, peso seco de raíz y altura de planta, lo que indica que al menos uno de los tratamientos es diferente al testigo (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Cuadrados medios de los análisis de varianza para cada variable de los componentes de rendimiento del cultivo de lechuga.

Fuente de variación	GI	PFRES	PSEC	ARF	LRZ	PRZF	PRZS	ALT	SPAD
Tratamiento	4	3026.98**	6.847**	357672.29**	4.90	27.25	6.75**	26.29**	8.59
Repetición	4	201.45	0.119	1234.09	1.94	10.42	1.39	0.7691	6.14
Error	16	497.94	0.697	29884.17	5.84	12.48	0.68	0.7256	11.113
CV (%)		10.15	5.01	5.32	13.12	11.27	5.74	4.301	7.672
Media		219.88	16.68	3249.48	18.41	31.35	14.35	19.80	43.454
F		6.08	9.81	11.97	0.84	2.18	9.95	36.23	0.77
Pr>F		0.0036	0.0003	0.0001	0.52	0.117	0.0003	<.0001	0.558

\*\*Significativo  $\alpha=0.05$ , Gl=grados de libertad, CV=coeficiente de variación, PFRES=peso fresco (g), PSEC=peso seco (g), ARF= área foliar (cm<sup>2</sup>), LRZ= longitud de raíz (cm), PRZF=peso de raíz fresco (g), PRZS=peso de raíz seco (g), ALT= Altura de planta (cm), SPAD=lecturas SPAD

Los valores medios de cada una de las variables agronómicas se presentan en el Cuadro 4, donde se muestra que el tratamiento que corresponde el 45% de sustitución de nitratos por arginina en la solución Steiner es la mejor combinación de nitrato-arginina para obtener plantas de lechuga con mayor altura de planta, área foliar, peso en fresco y materia seca. Con este tratamiento se obtuvo un rendimiento en fresco de 260 g planta<sup>-1</sup>, área foliar de 3698.6 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, altura de 23 cm planta<sup>-1</sup> y peso seco de 18.7 g planta<sup>-1</sup> en promedio, valores que son todos superiores al testigo (solución Steiner).

**Cuadro 4.** Comparación de medias de los componentes agronómicos del cultivo de lechuga obtenidos en invernadero.

Tratamiento NO <sub>3</sub> : arginina (%)	PFRES <sup>§</sup> (g)	PSEC (g)	ARF (cm <sup>2</sup> )	LRZ (cm)	PRZF (g)	PRZS (g)	ALT (cm)	SPAD
100-0	195.9 b	16.11 b	3054.8 b	18.9 a	33.048 a	15.71 a	17.5 c	43.17 a
85-15	207.31 b	16.21 b	3113.4b	17.4 a	32.86 a	14.06 bc	17.8 c	41.86 a
70-30	223.50 ba	16.63 b	3292.8 b	17.5 a	28.248 a	13.26 c	20.0 b	44.79 a
55-45	260.15 a	18.7 a	3698.6 a	19.76 a	33.166 a	15.43 ba	23.13 a	42.64 a
40-60	212.53 b	15.76 b	3087.8 b	18.5 a	29.422 a	13.29 c	20.6 b	44.79 a
DMS	43.24	1.62	334.96	4.68	6.85	1.60	1.65	6.46

<sup>§</sup>PFRES=peso fresco, PSEC=peso seco, ARF= área foliar, LRZ= longitud de raíz, PRZF=peso de raíz en fresco, PRZS=peso de raíz seco, ALT= altura de planta, SPAD= lecturas SPAD DMS=diferencia mínima significativa

La matriz de correlación (Cuadro 6) muestra los componentes de rendimiento de lechuga que presentaron una asociación con los tratamientos aplicados en los que destacan el peso fresco, peso seco, área foliar y altura de planta. Lo que indica que al sustituir los nitratos de la solución Steiner por arginina de acuerdo a los tratamientos empleados, estas variables son afectadas.

**Cuadro 5.** Correlaciones y nivel de significancia entre los componentes de rendimiento del cultivo de lechuga.

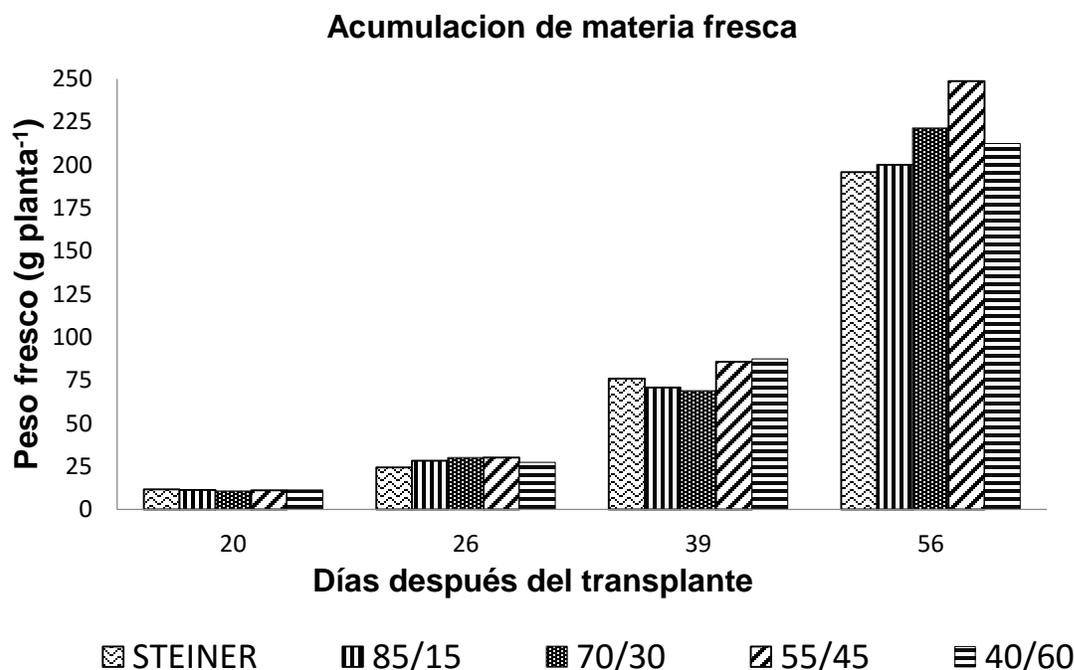
	PFRES	ARF	LRZ	PRZF	NO3	ALT	PSEC	PRZS
TRAT	0.42709 0.0332	0.3329 0.1039	0.1004 0.6330	-0.2624 0.2051	0.0372 0.8599	0.7445 <.0001	0.2465 0.2349	-0.3723 0.0668
PFRES	1	0.7922 <.0001	0.2916 0.1573	-0.0022 0.9918	-0.3183 0.1210	0.7642 <.0001	0.7434 <.0001	0.0375 0.8589
ARF		1	0.1479 0.4804	0.00843 0.9681	-0.3024 0.1418	0.7481 <.0001	0.6721 0.0002	0.1537 0.4633
LRZ			1	0.0592 0.7788	-0.0309 0.8834	0.2609 0.2077	0.4523 0.0232	0.1887 0.3664
PRZF				1	0.0355 0.8664	0.0239 0.9096	-0.0681 0.7464	0.1724 0.4099
NO3					1	-0.1313 0.5317	-0.0793 0.7064	-0.0630 0.76470
ALT						1	0.5717 0.0028	-0.0584 0.7816
PSEC							1	0.2261 0.2772
PRZS								1

‡PFRES=peso fresco, PSEC=peso seco, ARF= área foliar, LRZ= longitud de raíz, PRZF=peso de raíz fresco, PRZS=peso de raíz seco, ALT= altura de planta, NO3= nitratos.

Las asociaciones de las variables peso fresco, peso seco, área foliar y altura de planta de acuerdo a los tratamientos empleados en este estudio es positiva lo que indica que a medida que incrementamos la sustitución de nitratos por arginina estas variables también aumentan pero no en las mismas proporciones como se puede observar en el Cuadro 6.

### 5.1. Peso fresco

Al sustituir nitratos en la solución nutritiva Steiner por arginina se observa que existe efecto de tratamiento en el cultivo de lechuga, al presentar diferencias en el rendimiento en comparación con el testigo.

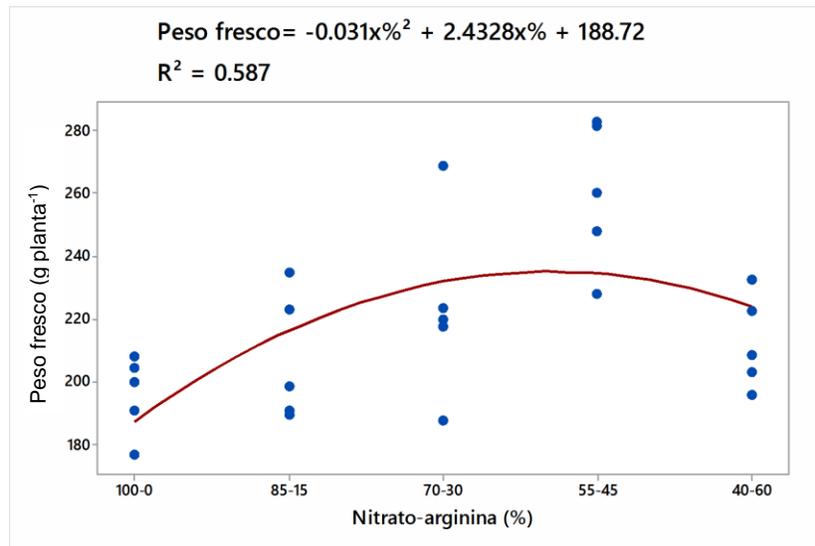


**Figura 4.** Acumulación de materia fresca de lechuga por tratamiento (nitrato: arginina) en las diferentes fechas.

La acumulación de la materia fresca de las plantas de lechuga en los diferentes muestreos por tratamientos se observa en la Figura 4. En los primeros veinte días después del trasplante no hubo diferencias en la acumulación de materia fresca, pasados los 30 días aproximadamente se observa una mayor acumulación de materia fresca cuando el nitrato se sustituye por arginina en la solución Steiner en porcentajes de 45% y 60%. En el último muestreo el tratamiento en el cual se sustituyó el nitrato por arginina en 60% tuvo menor rendimiento de materia fresca aun cuando este fue superior al testigo.

En la Figura 5 se observa que el peso fresco de la planta de lechuga incrementa a medida que el porcentaje de nitratos de la solución Steiner se substituye por arginina en niveles crecientes, aproximadamente al 40% que arroja un rendimiento de peso fresco de 236 g que es estadísticamente superior al testigo; se puede decir que a partir de este porcentaje la planta ya no es capaz de asimilar más arginina que permita incrementar el peso fresco de la lechuga. Este resultado es comparable con lo que obtuvieron Nassar *et al.* (2003) en el cultivo de frijol, además Xu *et al.* (2001) y Nassar

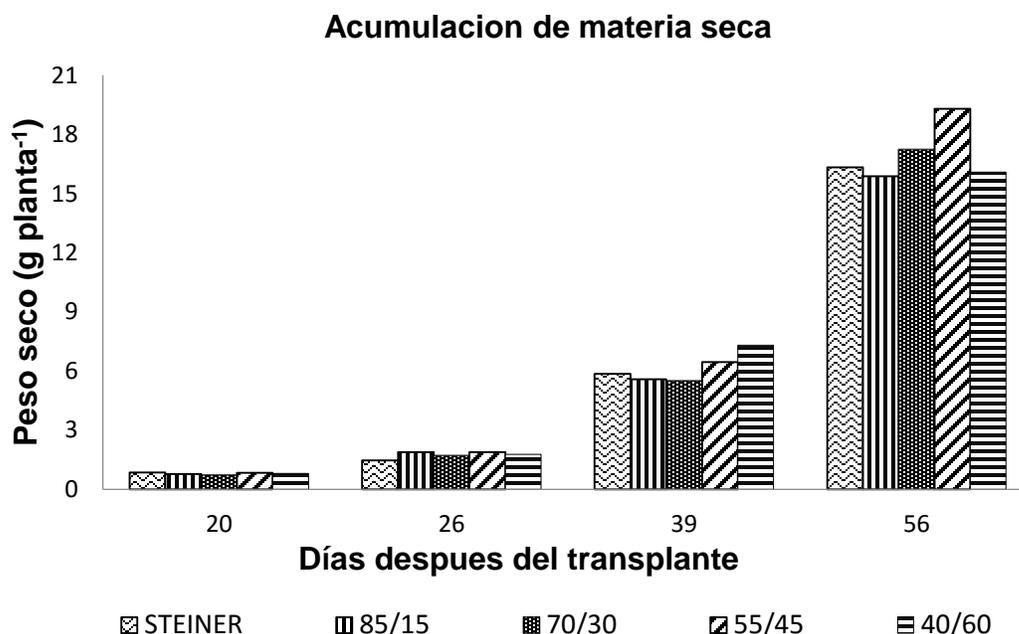
*et al.* (2003) mencionan que aplicar poliamina (producto de la arginina) a las plantas incrementa el crecimiento en general, otros ensayos realizados sobre lechuga *Iceberg* con un hidrolizado de proteínas con 13,2% de aminoácidos en forma libre (Franco *et al.*, 1989), muestran respuestas positivas en el incremento de peso de las plantas y el porcentaje de acogollado.



**Figura 5.** Respuesta de lechuga en peso fresco a la sustitución de nitratos por arginina en la solución nutritiva Steiner.

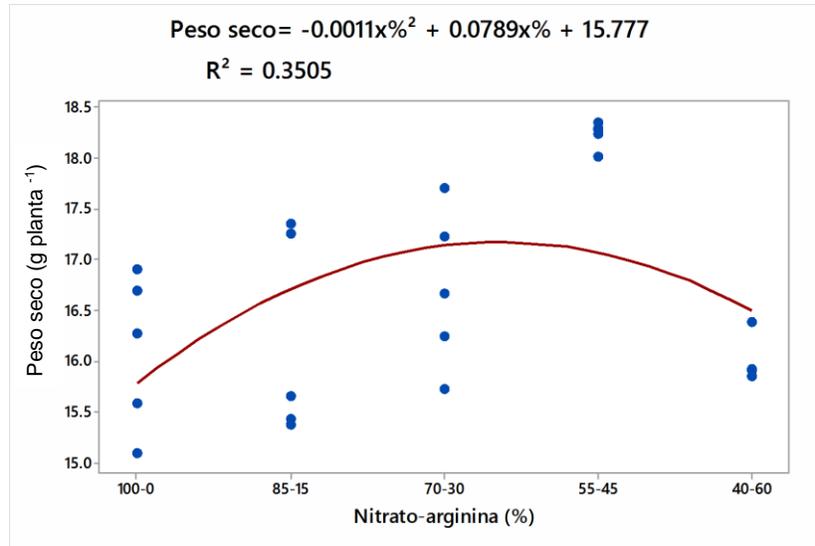
## 5.2. Peso seco

En la acumulación de materia seca (Figura 6) se observa un comportamiento similar a la acumulación de materia fresca, es decir, se observa una ligera variación cuando los nitratos de la solución Steiner se substituyen en 45 y 60%, lo que indica que hubo diferencias en cuanto a la acumulación de biomasa en la planta; este efecto también se ha observado en el cultivo de frijol en forma significativa en el crecimiento y aumento de los pesos fresco y seco (Nassar *et al.*, 2003).



**Figura 6.** Acumulación de materia seca de lechuga por tratamiento (nitrato/arginina) en las diferentes fechas de muestreo.

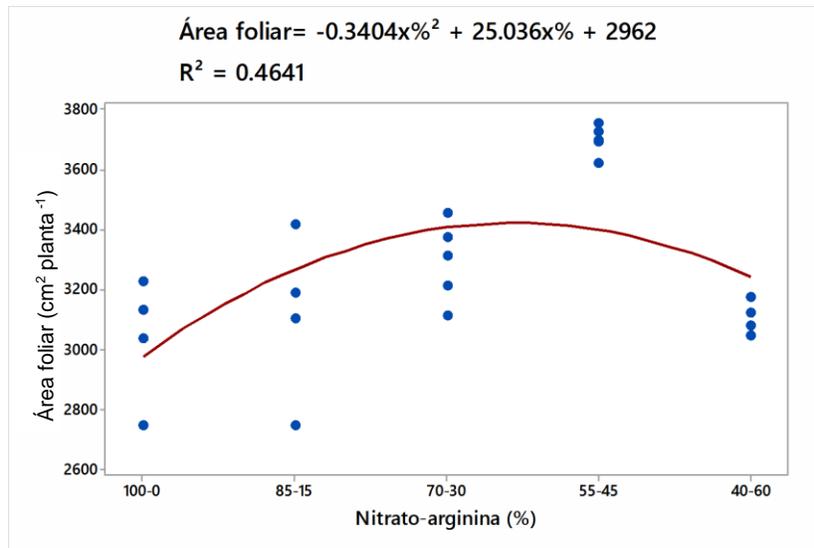
El peso seco de la planta de lechuga (Figura 7) incrementa a medida que aumenta la sustitución de nitratos por arginina. El porcentaje de sustitución de nitratos de aproximadamente 35% arroja un peso de 17.375 g planta<sup>-1</sup>. Con aproximadamente 5% de sustitución menos de nitratos respecto al porcentaje que se requiere para obtener el mayor peso fresco nos arroja el mayor peso seco, esto indica que a medida que se incrementa la sustitución de nitratos existe mayor acumulación de agua respecto al testigo esto se puede obtener con el porcentaje de biomasa respecto al peso fresco de la planta que para el caso de la solución Steiner es de 8.3% y para el tratamiento con 40% de sustitución es de 7.2% aproximadamente; podemos decir que aplicando arginina en la solución Steiner obtenemos plantas más turgentes. Los efectos son favorables al incluir aminoácidos en la solución nutritiva en los procesos de absorción de agua y transporte en la planta porque disminuyen la conductancia estomática y transpiración (García *et al.*, 2006). El-Bassiouny *et al.* (2008) y Hassanein *et al.* (2008) indican que la arginina es el compuesto más eficaz en el aumento de carbohidratos solubles, polisacáridos, carbohidratos totales, prolina, aminoácidos totales y el contenido de proteínas de las plantas de trigo.



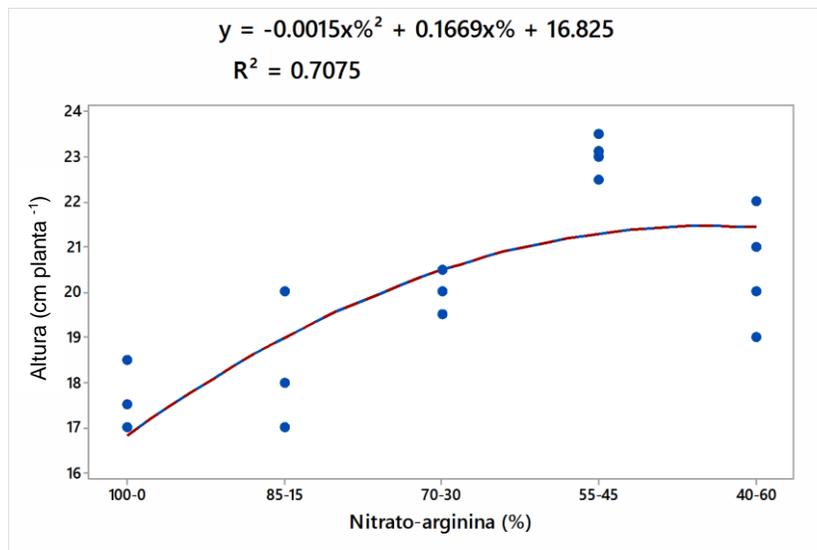
**Figura 7.** Respuesta de lechuga en peso seco a la sustitución de nitratos por arginina en la solución nutritiva Steiner.

### 5.3. Altura de planta y área foliar

La altura y área foliar de las plantas de lechuga (Figura 8 y 9) incrementaron de acuerdo a los tratamientos, lo que permite concluir que la arginina promovió en cierta manera la elongación celular, esta observación la menciona Reyes *et al.* (2001) en un estudio del efecto de los aminoácidos en el crecimiento y producción del jitomate en el invernadero, las variables longitud de tallo fueron superiores al testigo. Es importante mencionar que esto no se observó en la longitud de las raíces de las plantas, posiblemente porque la arginina incremento la absorción de fósforo por lo que no fue necesario incrementar volumen radical. Bates y Lynch (2000) señalan que la baja disponibilidad de fósforo aumenta la longitud de raíz, fenómeno general documentada en biología de las plantas.



**Figura 8.** Respuesta de lechuga en el área foliar a la sustitución de nitratos por arginina en la solución nutritiva Steiner



**Figura 9.** Altura de la planta de lechuga por la sustitución de nitratos por arginina en la solución nutritiva Steiner.

**Cuadro 6.** Cuadrados medios de los análisis de varianza del contenido nutrimental del tejido de la lechuga.

Fuente de	G	Nitratos	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magne	Azufre
-----------	---	----------	-----------	---------	---------	--------	-------	--------

variación	L	no				sio		
Tratamiento	4	3433213. 43**	0.0947	205332.53* *	1248471. 11	2573807.28 **	309660. 243	109172.51 8
Repetición	3	156891.9 9	0.10236	19326.66	3519566. 14	1009951.05	431879. 671	42954.561
Error	12	173699.8 4	0.073135	15057.60	2120617. 52	195801.58	186465. 590	33951.683
CV (%)		16.65	7.44	5.79	8.76	5.77	8.67	7.77
Media		2503.424+ 4981.53	3.634Z	2120.71+ 4+	16621.07+ 7670.42a	7670.42a	4+	2370.35+
F		19.77	1.29	13.64	0.59	13.14	1.66	3.22
Pr>F		<0.0001	0.33	0.0002	0.67	0.0002	0.22	0.052

+ (mg kg<sup>-1</sup>), Z (%).

#### 5.4. Concentración nutrimental al final del ciclo del cultivo de lechuga

Se observa el efecto de los diferentes tratamientos estudiados y las concentraciones de los nutrientes en el tejido vegetal del cultivo de lechuga. El análisis estadístico mostró diferencias significativas en la concentración de nitrato, fósforo y calcio en la planta de lechuga (Cuadro 7); además la asociación de estos nutrientes con los diferentes tratamientos estudiados el contenido de nitratos y calcio en el tejido es negativa lo que nos permite afirmar que a medida que se incrementa la sustitución de nitratos por arginina estos disminuyen, para el caso de fósforo se observa una relación positiva es decir el contenido de fósforo fue incrementando a medida que se incrementa la sustitución de nitratos por arginina en la solución Steiner.

**Cuadro 7.** Concentración nutrimental del tejido de la lechuga bajo diferentes tratamientos de sustitución de nitratos por arginina en hidroponía.

Tratamiento NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Arginina %	Nitratos (mg kg <sup>-1</sup> )	Nitrógeno (%)	Fósforo -----	Potasio -----	Calcio (mg kg <sup>-1</sup> )	Magnesio -----	Azufre ----- --
100-0	3593.2a	3.82	1799.35c	17173	8838.1a	5270.2	2372.3
85-15	3077.4a	3.623	2041.22bc	16465	8054.1ba	4627.0	2221.5
70-30	2762.7a	3.727	2421.95a	15745	7561.9bc	4747.3	2233.4
55-45	1546.8b	3.587	2166.11ba	16996	6876.4c	5151.4	2394.0
40-60	1537.0b	3.412	2174.91ba	16726	7021.6c	5111.8	2630.5
DMS	939.32	0.6095	276.56	3282	997.3	973.23	415.29

<sup>1</sup>DMS: diferencia mínima significativa (Tukey=0.05).

## 5.5. Nitrógeno

Para el contenido de nitrógeno en el tejido vegetal no hubo diferencias significativas (Cuadro 8), aunque se observa una ligera disminución al aumentar la sustitución de nitrato por arginina, pero no en la proporción que se eliminó el nitrato de la solución Steiner; lo que indica que la arginina se puede usar como fuente de nitrógeno (Ludwig, 1993). Resultado similar a lo que obtuvieron (Gunes *et al.* 1994, 1996), quienes encontraron que adición de los aminoácidos en la solución de nutrientes puede incrementar el contenido de nitrógeno total en las verduras.

## 5.6. Nitratos

En el Cuadro 8 se observan diferencias estadísticas significativas (Tukey=0.05) en la concentración de nitratos vegetal por tratamientos, existe una disminución visible de nitratos en el tejido vegetal cuando la relación de nitrato-arginina esta entre los 55 y 45 % (Figura 10d). El contenido máximo de nitratos en las plantas de lechuga se obtuvo con la solución Steiner alcanzando una concentración promedio de 3593 mg/kg y el valor mínimo promedio se obtuvo cuando la sustitución de nitrato por arginina fue de 60 %.

El resultado obtenido en este estudio respecto al contenido de nitrato en las plantas de lechuga nos permite concluir que al sustituir los nitratos por arginina en la solución Steiner podemos obtener plantas con niveles aceptables de nitrógeno pero con menor cantidad de nitratos, otros estudios mencionan que la arginina puede inhibir la absorción de nitratos (Breteler y Arnozis, 1985), donde se observa una inhibición rápida y casi completa en la absorción de nitrato. Además, la tasa de absorción de nitrato se restaura después de retirar arginina del medio, en la raíz (Muller y Touraine, 1992).

Los aminoácidos pueden regular negativamente la absorción de nitrato en las plantas superiores (Chen y Gao 2002; Gunes *et al.*, 1994, 1996; Wang *et al.*, 2004).

## **5.7. Fósforo**

Se observa que a medida que se incrementa la sustitución de nitratos por arginina en la solución Steiner incrementó el contenido de fósforo alcanzándose un máximo cuando la sustitución es de 40 % de nitrato contenido en la solución, comportamiento que se observa en la matriz de correlación (Cuadro 9) que indica una relación positiva entre los tratamientos y el contenido de fósforo. Este comportamiento (Figura 10b) del contenido de fosforo en el tejido vegetal coincide con (Massonneau *et al.*, 2001) quienes afirman que los aminoácidos pueden servir como agentes quelatantes para diferentes elementos como el fósforo, favoreciendo su transporte y penetración en el interior de los tejidos vegetales.

## **5.8. Potasio**

El análisis de varianza Cuadro 8 no muestra diferencias significativas para el contenido de potasio en el tejido vegetal de la planta, esto indica que la arginina presente en la solución nutritiva no afecto la absorción de potasio.

## **5.9. Calcio**

Al remplazar los nitratos por arginina en la solución Steiner se observa se observan diferencias estadísticas significativas Cuadro 8, además existe una relación negativa Cuadro 9. La disminución de la concentración de calcio en el tejido vegetal fue paulatina alcanzando el nivel más bajo cuando la sustitución de nitratos fue del 60%. La afectación negativa del contenido de calcio en las plantas pude explicarse por la forma en que el calcio entra a las plantas y es principalmente por flujo de masas, la arginina al disminuir la conductancia estomática este proceso se vio afectado (García *et al.*, 2006).

## **5.10. Magnesio**

De acuerdo al Cuadro 8 el contenido de magnesio no presentó diferencias significativas, tampoco muestra una asociación a los tratamientos de arginina que nos

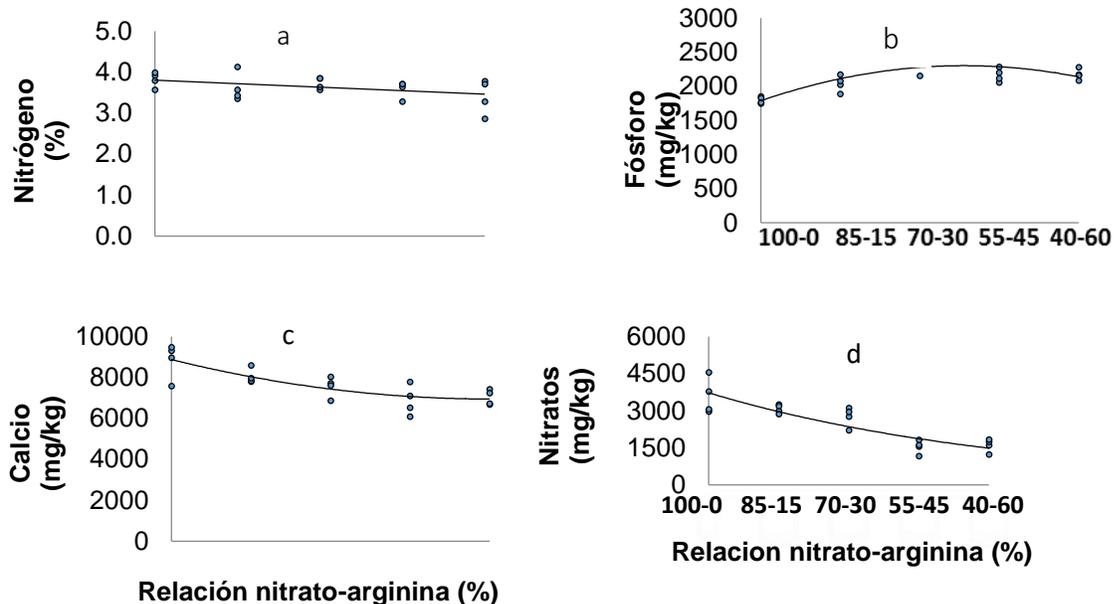
ayude a explicar una tendencia en el contenido del mismo en las plantas cuando se sustituyen los nitratos de la solución Steiner por arginina.

### 5.11. Azufre

El contenido de azufre en las plantas de lechuga se observa un ligero incremento que no corresponde a la proporción del incremento que se dio al sustituir los nitratos, que indica que su absorción por las plantas fue afectada, cabe mencionar que el contenido de azufre en la solución aumentó a medida que se incrementó la sustitución de nitratos por arginina (Cuadro 2), esto debido a que la fuente de calcio empleado fue el sulfato de calcio.

**Cuadro 8.** Correlaciones y nivel de significancia en el contenido nutrimental de las plantas de lechuga.

	TRAT	Nitratos	Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Azufre
<b>TRAT</b>	1	-0.8843 <.0001	-0.4299 0.0585	0.53813 0.0144	-0.0359 0.8806	-0.7685 <.0001	0.06014 0.8012	0.44173 0.0512
<b>Nitratos</b>		1	0.30086 0.1974	-0.3708 0.1075	-0.1176 0.6215	0.66977 0.0012	-0.1196 0.6156	-0.4063 0.0755
<b>Nitrógeno</b>			1	-0.0311 0.8966	0.41128 0.0716	0.54897 0.0122	0.23548 0.3176	-0.1409 0.5534
<b>Fosforo</b>				1	-0.3475 0.1332	-0.4214 0.0642	-0.0966 0.6853	-0.0419 0.8607
<b>Potasio</b>					1	0.12379 0.6031	0.36862 0.1098	0.43977 0.0523
<b>Calcio</b>						1	0.42894 0.0591	-0.0095 0.9682
<b>Magnesio</b>							1	0.58967 0.0062
<b>Azufre</b>								1



**Figura 10.** Concentración nutrimental del tejido vegetal en el cultivo de lechuga.

## 6. CONCLUSIONES

Aplicar arginina en la solución Steiner disminuye la concentración de nitratos y calcio e incrementa la absorción de fósforo en plantas de lechuga.

Al sustituir el nitrato de la solución Steiner por arginina en diferentes proporciones incrementa el peso fresco y seco, altura y área foliar de las plantas de lechuga en sistema hidropónico donde se realizó la investigación.

**Figura 10.** Concentración nutrimental del tejido vegetal en el cultivo de lechuga

## 7. LITERATURA CITADA

- Abd El-Moniem A.A., 2007. Polyamines as modulators of wheat growth, metabolism and reproductive development under high temperature stress. PhD Thesis: Ain Shamas University (Cairo, Egypt).
- Abd El-Moniem, E.M., Abou-Hadid, A.F., El-Shinawy, M.Z.; El-Beltagy, A.S.; Eissa, A.M.1996. Effect of nitrogen form on lettuce plant grown in hydroponic system. *Acta Horticulturae*, 434:47-52.
- Abu-Rayyan A., Kharawish B. H., Al-Ismaïl K. 2004. Nitrate content in lettuce (*Lactuca sativa* L.) heads in relation to plant spacing, nitrogen form and irrigation level. *Journal Science Food Agriculture* 84: 931–936.
- Alcázar, R., Marco, F., Cuevas, J., Patrón, M., Ferrando, A., Carrasco, P., Tiburcio, A. and Altabella, T. 2006. Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress. *Biotechnol Lett* 28: 1867-1876.
- Aslam, M., Travis, R.L. and Rains, D.W. 2001. Differential effect of amino acids on nitrate uptake and reduction systems in barley roots. *Plant Science* 160:219-228.
- Baron, K., Stasolla, C. 2008. The role of polyamines during in vivo and in vitro development- *In vitro Cell. Dev. Biology Plant* 44: 384-395.
- Bates, T. R., & Lynch, J. P. 2000. The efficiency of *Arabidopsis thaliana* (Brassicaceae) root hairs in phosphorus acquisition. *American Journal of Botany* 87: 964-970.
- Bates, T. R. and Lynch, J. P. 1996. Stimulation of root hair elongation in *Arabidopsis thaliana* by low phosphorus availability. *Plant Cell and Environment* 19: 529–538.
- Behr U. and Wiebe J. 1992. Relation between photosynthesis and nitrate content of lettuce cultivars. *Science Horticulture* 49: 175-179.
- Birecka, H., Ireton, K. P., Bitonti, A. J., and McCann, P.P. 1991. Endogenous polyamine levels and dark-induced leaf senescence. *Phytochemistry*. 30: 105-108.

- Bouchereau A., Aziz A., Larher F. and Martin-Tanguy J. 1999. Polyamines and environmental challenges: recent development. *Plant Science* 140: 103-125.
- Breteler H., Arnozis PA. 1985. Effect of amino compounds on nitrate utilization by roots of dwarf bean. *Phytochemistry* 24:653–658.
- Britto D.T., Siddiqi M.Y., Glass ADM and Kronzucker H.J. 2001. Futile transmembrane  $\text{NH}_4$  cycling: a cellular hypothesis to explain ammonium toxicity in plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98: 4255–4258.
- Cardellá R. L., Hernández F. R. 2007. *Bioquímica médica*. Tomo I. Ed. Ciencias Médicas, 85-100 pp.
- Carrasco, G., Tapia, J., & Urrestarazu, M. 2006. Contenido de nitratos en lechugas cultivadas en sistemas hidropónicos. *Idesia (Chile)*, 24: 25-30.
- Chen G. and Gao X. 2002. Effect of partial replacement of nitrate by amino acid and urea on nitrate content of non-heading Chinese cabbage and lettuce in hydroponics. *Scientia Agricultura Sinica*, 35, 187-191.
- Chen, Y., Aviad, T., 1990. Effects of humic substances on plant growth. In: MacCarthy, P., Clapp, C.E., Malcom, R.L., Bloom, P.R. (Eds.), *Humic Substances in Soils and Crop Science: Selected Readings*, Soil Science Society of America, Madison, pp. 161–186.
- Chung, J.C., Chou, S.S. and Hwang, D.F. 2004. Changes in nitrate and nitrite content of four vegetables during storage at refrigerated and ambient temperatures. *Food Additives and Contaminants* 21: 317–322.
- Curvetto, N.R.; Delmastro, S.E., Bredan, R.E., 1986. Epidermal abscisic acid as detected by immunofluorescence. Effect of proline. *Plant Cell Physiol.*, 27: 1469-1474.
- Desingh, R. and G. Kanagaraj. 2007. Influence of salinity stress on photosynthesis and antioxidative systems in two cotton varieties. *Gen. Applied. Plant Physiology*. 33: 221-234.

- Eberhardt, H.J. y Wegmann, K. 1989. Effects of abscisic acid and proline on adaptation of tobacco callus cultures to salinity and osmotic shock. *Physiology Plant.*, 76: 283-288.
- El- Bassiouny H. M. S. and Bekheta M. A. 2001: Role of putrescine on growth, regulation of stomatal aperture, ionic contents and yield by two wheat cultivars under salinity stress. *Egyptian Journal Physiologic Science* 2: 235-258.
- El-Bassiouny, H. M. S., Mostafa, H. A., El-Khawas, S. A., Hassanein, R. A., Khalil, S. I., Abd El-Monem, A. A. 2008. Physiological responses of wheat plant to foliar treatments with arginine or putrescine. *Australian Journal of Basic and Applied Science*: 1390-1403.
- El-Nemr, M. A., Abdel-Mawgoud, A. M. R., El-Baky, M. M. H., Mettawee, E. S. and Salman, S. R. (2012). Responses of yield and leaf nitrate content of two lettuce cultivars to different sources of nitrogen in NFT system. *Journal of Applied Sciences Research* 8: 2050-2056
- Escalona, A., Santana, M., Acevedo I.; Rodríguez, V.; Marcó, L. M. 2009. Efecto de las fuentes nitrogenadas sobre el contenido de nitratos y lecturas "SPAD" en el cultivo de lechuga. *Agronomía Tropical*, 59: 99-105.
- Evans, P. T., and Malmberg, R. L. 1989. Do polyamines have roles in plant development. *Annual review of plant biology* 40: 235-269.
- Ezeagu, I. E. 1996. Nitrate and nitrite contents in ogi and the changes occurring during storage. *Food Chemistry* 56: 77-79.
- Ferretti M, Merlo L, Passera C, Ghisi R.1995. Influence of irradiance on enzymes of sulphate and nitrate assimilation pathways in maize leaves. *Plant Physiology and Biochemistry* 33: 111-14.
- Flores, H.E.1990.Polyamines and plant stress. In: *Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms*. Willey-Liss, p. 217-239.
- Franco, J.A., 1989. Utilización de hidrolizados proteicos en horticultura. *Horticultura* 52: 60-64.

- Galston, A.W. and Kaur-Sahney.1990. Polyamines in plant physiology. *Plant Physiology* 94:406.
- Gamiely S, Randle WM, Mills HA, Smittle D.A.1991. Onion plant growth, bulb quality and water uptake following ammonium and nitrate nutrition. *HortiScience*. 26: 1061-1063.
- García, A. L., Franco, J. A., Nicolás, N. and Madrid-Vicente, R. 2006. Influence of amino acids in the hydroponic medium on the growth of tomato plants. *Journal of Plant Nutrition* 29: 2093-2104.
- García, Enriqueta. 1973. Modificación al sistema de clasificación de Köeppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Guadagnin S., Rath S, Reyes F. 2005. Evaluation of the nitrate content in leaf vegetables produced through different agricultural systems. *Food Additives and Contaminants* 22: 1203-1208.
- Gunes A, Inal A, Aktas M. 1996. Reducing nitrate content of NFT grown winter onion plants (*Allium cepa* L.) by partial replacement of NO<sub>3</sub> with amino acid in nutrient solution. *Scientia Horticulturae* 65:203-208.
- Gunes A, Post W H K, Kirkby E A, Akas M. 1994. Influence of partial replacement of nitrate by amino acid nitrogen or urea in the nutrient medium on nitrate accumulation in NFT grown winter lettuce. *Journal of Plant Nutrition* 17: 1929-1938.
- Harinasut, P., S. Srisunaka, S. Pitukchaisopola and R. Charoensatapom, 2000. Mechanisms of adaptation to increasing salinity of mulberry: Proline content and ascorbate peroxidase activity in leaves of multiple shoots. *ScienceAsia* 26: 207 - 211.
- Hassanein, R. A.; Khalil, S. I.; El-Bassiouny, H. M. S.; Mostafa, H. A. M.; El – Khawas, S. A.; Abd El – Monem, A. A. 2008. Protective role of exogenous arginine or putrescine treatments on heat shocked wheat plant. 1st. International Conference on Biological and Environmental Sciences, Hurghada, Egypt, March 13-16.

- He, J., Cheok, L., & Qin, L. 2011. Nitrate accumulation, productivity and photosynthesis of temperate butter head lettuce under different nitrate availabilities and growth irradiances. *Open Horticulture Journal* 4:17-24.
- Heldt H.W. 2005. *Plant Biochemistry* Elsevier Academic Press, Burlington, MA. 275-286 pp.
- Jaoual, T., and Cox, D. 1998. Effects of plant age on nitrogen uptake and distribution by greenhouse plants. *HortScience* 33: 204-204.
- Jones, D.L.; Shannon, D., Junvee-Fortune, T. & Farrarc, J.F. 2005. Plant capture of free amino acids is maximized under high soil amino acid concentrations. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 179-181.
- Kamara, K. A. 2000. *Catálogo de productos Intrakam*. S.A. de C.V. Saltillo, Coahuila, México.
- Krishnamurthy, R.1991. Amelioration of salinity effect in salt tolerance rice (*Oryza sativa* L.) by foliar application of putrescine. *Plant cell Physiology*. 32: 699-703.
- Lastra, O., M.L. Tapia, B. Razeto, and M. Rojas, 2009. Response of hydroponic lettuce cultivars to different treatments of nitrogen: growth and foliar nitrate content. *IDESIA (Chile)* 27:83-89.
- Lee RB, Drew MC. 1989. Rapid, reversible inhibition of nitrate influx in barley by ammonium. *Journal Experimental Botany*.40:741–752.
- López –Buc, J., Nieto-Jacob, M. F., Ramírez R. V., Herrera E. L. 2000. Organic acid metabolism in plants: From adaptative Physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant Science*. 160:1-13.
- Madan, S., Nainawatee, H. S., Jain, R. K., and Chowdhury, J. B. (1995). Proline and proline metabolising enzymes in in-vitro selected NaCl-tolerant *Brassica juncea* L. under salt stress. *Annals of Botany* 76: 51-57.
- Mane, AV., V.B. Wagh, B.A. Karadge and J.S. Samant, 2011. Effect of varying concentrations of salinity on some biochemical parameters involved in nitrogen metabolism of four grass species. *ScienceAsia* 37: 285-290.

- Mansour M. M. F. and Al – Mutawa M. M. 1999: Stabilization of plasma membrane by polyamines against salt stress. *Cytobios* 100: 7 – 17.
- Mansour, M.M.F., K.H.A. Salama, F.Z.M. Ali, and A.F.A. Hadid. 2005. Cell and plant responses to NaCl in *Zea mays* L. cultivars differing in salt tolerance. *Gen. Appl. Plant Physiol.* 31: 29-41.
- Marulanda, C. e Izquierdo, J. 2003. *La huerta Hidroponica Popular: Manual Técnico.* Oficina Regional de la FAO para America Latina y el Caribe 3ª. Edición. Santiago, Chile. 131 pp.
- Massonneau, A., Langlade, N., Leon, S., Smutry, J., Vogt, E., Neumann, G., Martinoa, E. 2001. Metabolic changes associated with cluster root development in white lupin (*Lupin albus* L.): relationship between organic acid excretion, sucrose metabolism an energy status. *Plant* 213:534-542.
- Mensinga, T., G. Speijers and Meulenbelt J. 2003. Health implication of exposure to environmental nitrogenous compounds. *Toxicol Review* 22:41-51.
- Merino D., Ansorena F.J., 1993. Recomendaciones para el cultivo de hortalizas con bajo contenido en nitratos. *Horticultura* 90: 11-21.
- Misra, N. and A.K. Gupta. 2005. Effect of salt stress on proline metabolism in two high yielding genotypes of green gram. *Plant Science* 169: 331-339.
- Montamat F, Maurosset L, Tegeder M, Frommer W, Delrot S. 1999. Cloning and expression of amino acid transporters from broad bean. *Plant Molecular Biology* 41: 259-268.
- Muller, B., & Touraine, B. 1992. Inhibition of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> Uptake by Various Phloem-Translocated Amino Acids in Soybean Seedlings. *Journal of Experimental Botany* 43: 617-623.
- Mullins, G.L., Sommers, L.E. y Housley, T.L. 1986. Metal speciation in xylem and phloem exudates. *Plant Soil* 96: 377-391.
- Nassar A. H., El – Tarabily K. A. and Sivasithamparam K. 2003: Growth promotion of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by a polyamine –producing isolate of *Streptomyces*

- griseoluteus. *Plant Growth Regul.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands 40: 97 – 106.
- Neelam A, Marvier A C, Hall J L, Williams L E. 1999. Functional characterization and expression analysis of the amino acid permease RcAAP3 from castor bean. *Plant Physiology.* 120: 1049-1056.
- Nusimovich, A.D., Gomis, P., Avila, LI., Escaich, J., 1989. Efectos de la absorción foliar de aminoácidos obtenidos por vía enzimática y nutrientes en cultivo de tomate. *Agrícola Vergel* 85: 47-48.
- OMS. 2006. Guías para la calidad del agua potable. OMS. Ginebra.
- Qados, A. M. 2010. Effect of arginine on growth, nutrient composition, yield and nutritional value of mung bean plants grown under salinity stress. *Nature* 8: 30-42.
- Rentsch, D., Schmidt, S., and Tegeder, M. 2007. Transporters for uptake and allocation of organic nitrogen compounds in plants. *Febs Letters* 581: 2281-2289.
- Reyes, L. A. 2001. Prueba de prototipos de proteína hidrolizada en el crecimiento y desarrollo de plántula de tomate. Reporte de investigación.
- Rincón, S., A. Pérez, C. Pellicer, J. Sáez y A. Abadía. 2002. Influencia de la fertilización nitrogenada en la absorción de nitrógeno y acumulación de nitratos en la lechuga iceberg. *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetales*, 17:303-318.
- Santamaría P. 2006. Nitrate in vegetables: toxicity content, intake and EC regulation. *Journal Sciences Food Agriculture* 86: 10-17.
- Schobert, C. and Komor, E. 1989. The differential transport of amino acids into the phloem of *Ricinus communis* L. seedlings as shown by the analysis of sieve-tube sap. *Planta* 177:342-349.
- Sharma M., Kumar B. and Pandey D. M. 1997. Effect of pre – flowering foliar application of putrescine on ion composition of seeds of chick pea (*Cicer arietinum* L. cv. H – 82 – 2) raised under saline conditions. *Annals of Agri Bio Research* 2: 111 – 113.
- Smith, T.A., 1985. Polyamines. *Annual Review of Plant Physiology* 35: 155-189.

- Sneha, S., A. Rishi, A. Dadhich, S. Chandra.2013. Effect of salinity on seed germination, accumulation of proline and free amino acid in *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. Pakistan Journal of Biological Sciences 16: 877–881.
- Sonneveld, C. and W. Voogt. 2009. Plant nutrition of greenhouse crops. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 431 pp.
- Steingröver, E., J. W. Steenhuizen and J. Van Der Boon. 1993. Effect of low light intensities at night on nitrate accumulation in lettuce grown on a recirculating nutrient solution. Journal Agriculture Science. 41:13-21.
- Tamme T.2006. Nitrates and nitrites in vegetables and vegetable-based products and their intakes by the Estonian population. Food Additives and Contaminants 23(4): 355–361.
- Thornton, B. 2004. Inhibition of nitrate influx by glutamine in *Lolium perenne* depends upon the contribution of the HATS to the total influx. Journal of Experimental Botany. 55: 761-769.
- Tiburcio, A.; Kaur-Shawney, R.; Galston, A. 1990. Polyamine metabolism. 283-325 p. In: The biochemistry of plants. B. J. Mifflin and Peter, J. Lea, eds.16. Academic Press, Inc. San Diego, California, U.S.A.
- Vega J. M, Aparicio P.J, Castillo F, Maldonado J. 1998. Avances en el metabolismo del nitrógeno: de la fisiología a la biología molecular IV reunión nacional pp. 155-158.
- Velikova V., Yordanov I. and Edreva A.2000.Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants. Protective role of exogenous polyamines. Plant Science., 5: 59 - 66.
- Walters, D. R. 2003. Polyamines and plant disease. Phytochemistry 64(1): 97-107.
- Wang H, Wu L, Tao Q. 2004. Nitrate accumulation and variation of nutrient quality in pakchoi after application of several amino acids in summer and autumn. Journal of Agro Environment Science 23: 224-227.

- Wang, K., Y. Liu, K. Dong, J. Dong and J. Kang. 2011. The effect of NaCl on proline metabolism in *Saussurea amara* seedlings. *Afr. Journal Biotechnology* 10: 2886-2893.
- Wimalasekera, R.; Tebartz, F.; Scherer, G. 2011. Polyamines, polyamine oxidases and nitric oxide in development, abiotic and biotic stresses. *Plant Science* 181: 593-603.
- Zhong W, Hu C, Wang, M.2002. Nitrate and nitrite in vegetables from north China: content and intake. *Food Add Cont.* 19: 1125-9.
- Zhou JJ, Theodoulou FL, Muldin I, Ingemarsson B, Miller AJ. 1998. Cloning and functional characterization of a *Brassica napus* transporter which is able to transport nitrate and histidine. *Journal of Biological Chemistry* 273: 12017–12033.

## 8. ANEXOS

### Anexo 1. Fuentes y cálculo de micronutrientos aplicados en el estudio.

Nutrimiento	Requerimiento	% en el producto	Fermil	Tradecorp*	Total Aportado
Fe	3	0.3	0.125	2.78	2.905
Zn	0.05	5.4	1.08		1.08
Mn	0.5	1.7	0.7		0.7
Cu	0.025	0.1	0.04		0.04
Boro	0.5	1.3	0.54		0.54
Mo	0.002	0.01	0.004		0.004
Co		0.002	0.00083		0.0008

\*Calculado a partir del requerimiento de Boro.

### Anexo2. Esquema de la distribución de tratamientos



**Anexo 3.** Plantas de lechuga en la etapa de cosecha



**Anexo 4.** Comportamiento de los componentes de rendimiento de lechuga en hidroponía por efecto de sustitución de nitratos por arginina en la solución Steiner

<b>% Arginina</b>	<b>Peso fresco (g)</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Área foliar (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura de planta (cm)</b>
36	236.125	17.3542	3421.80	20.8894
37	236.295	17.3486	3421.55	20.9468
35	235.893	17.3570	3421.34	20.8290
38	236.402	17.3402	3420.60	21.0012
34	235.599	17.3570	3420.17	20.7656
39	236.448	17.3290	3418.94	21.0526
33	235.243	17.3542	3418.30	20.6992
40	236.432	17.3150	3416.58	21.1010
32	234.826	17.3486	3415.72	20.6298
41	236.354	17.2982	3413.51	21.1464
29	233.200	17.3150	3403.74	20.4036
46	235.033	17.1722	3387.57	21.3284
24	229.251	17.2030	3369.66	19.9666
51	232.162	16.9762	3343.97	21.4354
19	223.752	17.0210	3317.92	19.4546
56	227.741	16.7102	3282.71	21.4674
14	216.703	16.7690	3248.53	18.8676
11	211.730	16.5842	3198.42	18.4794
6	202.201	16.2202	3100.77	17.7724
1	191.122	15.7862	2985.48	16.9904
0	188.720	15.6910	2960.30	16.8250