



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

## RESPUESTA DEL ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum* L.) A LA APLICACIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS CON DIFERENTE RELACIÓN $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$

CYNTHIA PAOLA GALDAMEZ FIGUEROA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO  
2015

La presente tesis titulada: Respuesta del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) a la aplicación de soluciones nutritivas con diferente relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  realizada por la alumna: Cynthia Paola Galdámez Figueroa, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS  
EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

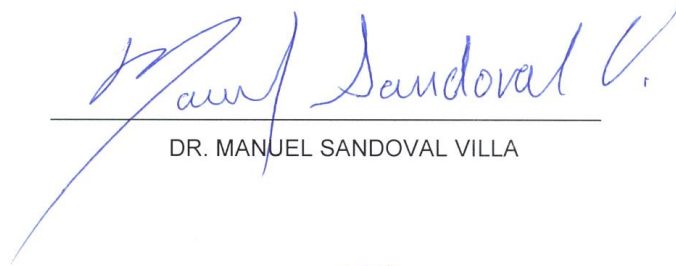
CONSEJERO



---

DR. PROMETEO SÁNCHEZ GARCÍA

ASESOR



---

DR. MANUEL SANDOVAL VILLA

ASESOR



---

DR. ROGELIO COATZÍN RAMÍREZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2015

## DEDICATORIA

A la inquebrantable y autentica Maritza Galdámez Figueroa, por su amor y apoyo  
incondicional

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi hermana, Denise Yureny Galdámez Figueroa, por ser mi principal inspiración.

A mi familia y amigos, por su apoyo y motivación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por financiar mis estudios de Maestría en Ciencias.

Al Colegio de Postgraduados por el crecimiento personal y permitirme continuar mis estudios de grado.

A la Universidad Autónoma Chapingo por permitirme beneficiarme de sus variados servicios.

Al Dr. Prometeo Sánchez García por su calidez humana, por su dirección y apoyo para la realización de la presente tesis de maestría.

Al Dr. Manuel Sandoval Villa por su dirección, dedicación en la revisión y realización de este trabajo.

Al Dr. Rogelio Coatzín Ramírez por la revisión de este trabajo y por permitirme conocer su trabajo en campo.

## Contenido

## Página

ÍNDICE DE CUADROS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	x
SUMMARY .....	xi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	3
2.1 Objetivo General .....	3
2.2 Objetivos Particulares .....	3
III. HIPÓTESIS .....	4
3.1 Hipótesis General .....	4
3.2 Hipótesis Particulares .....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
4.1 Aspectos generales del cultivo de arándano .....	5
4.1.2 Taxonomía y descripción botánica .....	6
4.2 Soluciones nutritivas .....	8
4.2.1 Soluciones nutritivas para arándano .....	9
4.3 Nutrición nitrogenada .....	10
4.3.1 Relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ .....	10
4.3.2 Absorción y asimilación del $\text{NH}_4^+$ por las plantas .....	12
4.3.3 Absorción y asimilación del $\text{NO}_3^-$ por las plantas .....	14
4.4 Uso de sustratos en la producción de arándano .....	16
V. MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
5.1 Ubicación del experimento .....	18
5.2 Material vegetal .....	18
5.3 Sustrato .....	19
5.4 Tratamientos .....	19
5.5 Solución nutritiva .....	19
5.5.1 Aplicación de la solución nutritiva .....	20
5.6 Muestreo y variables evaluadas .....	21
5.6.1 Altura de planta y diámetro de tallo .....	21
5.6.2 Lecturas SPAD .....	21
5.6.3 Área foliar .....	21
5.6.4 Peso de materia fresca y seca .....	21
5.6.5 Nitrógeno total (método micro Kjeldahl) .....	22
5.6.6 Nitrógeno reducido (método Nessler) .....	23
5.6.7 Nitratos (método Cataldo) .....	24
5.6.8 Concentración nutrimental .....	25
5.6.9 Tasa de asimilación neta .....	25
5.6.10 Extracción nutrimental .....	26

5.7 Diseño experimental.....	26
5.8 Análisis estadístico.....	27
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
6.1 Altura de planta .....	28
6.2 Diámetro de tallo .....	29
6.3 Peso de biomasa fresco y seco de hojas.....	29
6.4 Área foliar.....	31
6.5 Peso fresco y seco de tallos .....	32
6.6 Peso fresco y seco de raíz .....	33
6.7 Nitrógeno total.....	34
6.8 Lecturas SPAD.....	36
6.9 Nitrógeno nítrico .....	37
6.10 Nitrógeno reducido .....	38
El tratamiento 50/50 tuvo la mayor concentración de $\text{NH}_4^+$ a lo largo de los	
muestreos. Takamizo y Sugiyama (1991) encontraron que en <i>Vaccinium ashei</i> y	
<i>V. corymbosum</i> , la concentración de $\text{NH}_4^+$ en las hojas fue mayor en el tratamiento	
en el que se adiciono $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ (Cuadro 14). En este estudio <i>Vaccinium</i>	
<i>corymbosum</i> tuvo la menor concentración de $\text{NH}_4^+$ a diferencia de <i>Vaccinium</i>	
<i>ashei</i> cuando fue suministrado como única fuente de N. Estos autores concluyen	
que <i>Vaccinium corymbosum</i> es menos tolerante a la oferta excesiva de $\text{NH}_4^+$	
comparado con <i>Vaccinium ashei</i> . Tanto en tallo y raíz, la concentración se	
incrementó conforme se aumentó la proporción de $\text{NH}_4^+$ a la solución nutritiva. 38	
6.11 Extracción nutrimental .....	39
6.12 Tasa de asimilación neta.....	42
6.13 Concentración de Ca en hojas, tallo y raíz.....	45
6.14 Concentración de K en hojas, tallo y raíz.....	46
6.15 Concentración de Mg en hojas, tallo y raíz .....	48
6.16 Concentración de P en hojas, tallo y raíz.....	50
6.17 Concentración de B en hojas, tallo y raíz.....	51
6.18 Concentración de Fe en hojas, tallo y raíz.....	52
6.19 Concentración de Mn en hojas, tallo y raíz .....	54
6.20 Concentración de Cu en hojas, tallo y raíz.....	55
6.21 Concentración de Zn en hojas, tallo y raíz.....	56
VII. CONCLUSIONES .....	58
VIII. LITERATURA CITADA .....	60

## ÍNDICE DE CUADROS

### Página

Cuadro 1. Tratamientos a partir de las diferentes relaciones $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ .....	19
Cuadro 2. Formulación de soluciones nutritivas en $\text{gL}^{-1}$ modificando la Solución Universal Steiner al 50% (Steiner, 1984).....	20
Cuadro 3. Curva de calibración para la determinación de N-reducido. ....	23
Cuadro 4. Curva de calibración para la determinación de N- $\text{NO}_3^-$ . ....	24
Cuadro 5. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en la altura de planta de arándano var. Biloxi. ....	28
Cuadro 6. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en diámetro de tallo en plantas de arándano var. Biloxi. ....	29
Cuadro 7. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en el peso fresco (g) y peso seco (g) de hojas de arándano var. Biloxi. ....	30
Cuadro 8. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en el área foliar ( $\text{cm}^2$ ) en hojas de arándano var. Biloxi. ....	32
Cuadro 9. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en el peso fresco (g) y peso seco (g) de tallos de plantas de arándano var. Biloxi. ....	33
Cuadro 10. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en el peso fresco (g) y peso seco (g) de raíces de plantas de arándano var. Biloxi. ....	34
Cuadro 11. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en la concentración de N-total (%) en hoja, tallo y raíz de plantas de arándano. ....	35
Cuadro 12. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en las lecturas SPAD-502 en plantas de arándano.....	37
Cuadro 13. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en la concentración de $\text{NO}_3^-$ (%) en plantas de arándano.....	38
Cuadro 14. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en la concentración de $\text{NH}_4^+$ (%) en plantas de arándano.....	39
Cuadro 15. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en la extracción nutrimental (%) en hojas, tallo y raíz de plantas de arándano var. Bilóxi. ....	42

Cuadro 16. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ en la tasa de asimilación neta ( $\text{g}/\text{cm}^2/\text{día}$ ) en hojas, tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi. ....	44
Cuadro 17. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en la concentración de Ca ( $\text{g kg}^{-1}$ ) en tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi. ....	46
Cuadro 18. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en la concentración de K ( $\text{g kg}^{-1}$ ) en tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi. ....	47
Cuadro 19. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en la concentración de Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ ) en tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi. ....	49
Cuadro 20. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en la concentración de P ( $\text{g kg}^{-1}$ ) en tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi. ....	51
Cuadro 21. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en la concentración de B ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en hojas, tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi. ....	52
Cuadro 22. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en la concentración de Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi. ....	54
Cuadro 23. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en la concentración de Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi. ....	55
Cuadro 24. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en la concentración de Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi. ....	56
Cuadro 25. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en la concentración de Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi. ....	57



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. Pedigrí del arándano, cv. Biloxi (Spiers <i>et al.</i> , 2002). ....	18
Figura 2. Distribución de los tratamientos en un diseño de bloques al azar. ....	26
Figura 3. Concentración de Ca en hojas de arándano tratadas con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ( <i>Tukey</i> < 0.05). ....	45
Figura 4. Concentración de K en hojas de arándano tratadas con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ( <i>Tukey</i> < 0.05). ....	47
Figura 5. Concentración de Mg en hojas de arándano tratadas con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ( <i>Tukey</i> < 0.05). ....	49
Figura 6. Concentración de P en hojas de arándano tratadas con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ( <i>Tukey</i> < 0.05). ....	51

# RESPUESTA DEL ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum* L.) A LA APLICACIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS CON DIFERENTE RELACIÓN $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$

Cynthia Paola Galdámez Figueroa, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2015

## RESUMEN

Con el objetivo de conocer el efecto de cinco combinaciones de amonio y nitrato (0/100, 25/75, 50/50, 75/25 y 100/0%) en plantas de arándano cv. Biloxi en hidroponía, se estableció un experimento en invernadero con diseño de bloques al azar y tres repeticiones por tratamiento. La unidad experimental fue una planta colocada en una bolsa de polietileno de 20 L de capacidad en tezontle suministrada con solución nutritiva. Las variables evaluadas fueron altura de planta, diámetro de tallo, peso fresco y seco de hojas, tallo y raíz, área foliar, nitrógeno total, lecturas SPAD, concentración de nitrato y amonio, extracción nutrimental, tasa de asimilación neta, así como la concentración de macro y micronutrientes en hoja, tallo y raíz. Los resultados indicaron que la altura y peso fresco de tallo se incrementaron con las relaciones 100/0 y 75/25, mientras que el diámetro y peso seco de tallo aumentaron con la relación 25/75. Todas las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  incrementaron el peso fresco y seco en hojas de arándano, así como el peso fresco de raíz. Las plantas tratadas con las relaciones 75/25 y 25/75 tuvieron mayor superficie foliar. La tasa de asimilación neta fue mayor con los tratamientos 100/0, 0/100 y 75/25. Las lecturas SPAD y la concentración de nitrógeno total fueron afectadas positivamente cuando se utilizó la relación 100/0. El N-nítrico fue mayor para hojas, tallo y raíz en plantas tratadas con 0/100. El N-reducido fue mayor en las plantas con las relaciones 25/75, 50/50 y 100/0 en hojas y 100/0 para tallo y raíz. La relación 75/25 acumuló la mayor cantidad de nutrimentos en todas las etapas fenológicas. La concentración de Ca, K y Mg en hojas incrementó conforme disminuyó el  $\text{NH}_4^+$ . Se tuvo una mayor concentración de P con 75/25. Con la relación 100/0 se acumuló B, Fe, Cu y Zn.

**Palabras clave:** nitrógeno, amonio, nitrato.

# BLUEBERRY (*Vaccinium corymbosum* L.) RESPONSE TO THE SUPPLY OF NUTRIENT SOLUTIONS WITH DIFFERENT $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ RATIOS

Cynthia Paola Galdámez Figueroa, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2015

## SUMMARY

A random block experiment with three replications was established aiming to assess the effect of five combinations of ammonium and nitrate (0/100, 25/75, 50/50, 75/25 y 100/0%) on blueberry plants cv. Biloxi in hydroponics in a greenhouse. The experimental unit was one blueberry plant placed in a 20 L-capacity polyethylene bag filled with red porous volcano gravel locally known as tezontle, where the nutrient solution was added. Analyzed variables were: plant height; stem diameter; fresh and dried weight of leaves, stem and root, total leaf area, total nitrogen, SPAD readings; nitrate and ammonium concentration, nutrient extraction; net assimilation rate; and both macro- and micro-nutrients in leaves, stem and root. Results indicated that plant height and fresh stem weight were increased with the 100/0 and 25/75 ratios, whereas stem diameter and dried stem weight were favored by the 25/75 ratio. All  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  ratios increased dried and fresh leaves-weight and also fresh root weight. Plants treated with the 75/25 and 25/75 ratios had larger canopy areas. Net assimilation rate was higher with the 100/0, 0/100 and 75/25 ratios. SPAD readings and total nitrogen proportion were positively affected when the 100/0 ratio was utilized. Nitric-N was higher for leaves, stem and root in plants treated with the 0/100 ratio. Reduced-N was increased in leaves with the 25/75, 50/50 and 100/0 ratios, and in stem and root with the 100/0 ratio. The 75/25 ratio accumulated the highest amount of nutrients regardless of phenologic stage of the plant. Concentration of Ca, K and Mg in leaves increased as  $\text{NH}_4^+$  diminished. P values were higher with the 75/25 ratio. Accumulation of B, Fe, Cu and Zn was positively affected with the 100/0 ratio.

**Key Words:** nitrogen, ammonium, nitrate.

## I. INTRODUCCIÓN

El arándano o blueberry (*Vaccinium corymbosum* sp.) pertenece a la familia *Ericaceae*, *Vaccinium* es una de las especies de mayor importancia económica, por lo que en los últimos años se ha incrementado su superficie de cultivo en el mundo. En México, la producción del arándano es nueva. En 2008 la superficie era de 857 ha (Brazelton, 2011). El cultivo de arándano crece a un ritmo acelerado y a la fecha, la superficie reportada es de 1500 ha, establecidas en Jalisco y Michoacán principalmente (Bascope, 2013), lo cual da un crecimiento promedio de 2008 a la fecha de aproximadamente 100 ha por año.

El interés por este fruto se debe a su alto contenido de antioxidantes, antocianinas, flavonoides y ácidos fenólicos (Kalt *et al.*, 1999), compuestos con gran valor terapéutico que contribuyen al mantenimiento de la salud (Kamei *et al.*, 1995).

Para atender la creciente demanda de arándano para los mercados norteamericano y europeo, empresas locales y extranjeras (americanas y chilenas) invierten en México para impulsar el desarrollo de esta industria. Un proyecto específico, es el establecimiento en el sur y sureste de Jalisco, en un plazo de cinco años, de una superficie de 4,000 ha de arándano. Se pretende involucrar a 800 productores. Una de las primeras acciones fue establecer en las regiones sur y sureste de Jalisco desde 2010 un vivero que cuenta con 300 mil plantas y se ampliará a tres millones de plantas por año (Bernal, 2010).

Uno de los aspectos clave para la producción de berries con calidad de exportación, es el manejo nutricional. En México, la fertilización del cultivo de arándano se basa en información generada en el extranjero que utiliza al amonio como principal fuente de nitrógeno. Sin embargo, la nutrición con amonio reprime la absorción de otros cationes como  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  (Hanan, 1998) y se ha observado que este efecto se modifica cuando se utiliza nitrato en la solución nutritiva. Por otra parte, los mecanismos a la tolerancia de amonio o al nitrato no

están dilucidados para arándano y contrario a lo que se conoce, se ha mencionado que las diferencias en el crecimiento vegetativo en arándano no son debidas a la fuente de nitrógeno sino al pH de la solución nutritiva (Peterson *et al.*, 1988; Takamizo y Sugiyama, 1991). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta de *Vaccinium corymbosum* L. cv. Biloxi a la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en hidroponía.

## II. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  de la solución nutritiva sobre el crecimiento vegetativo, concentración y contenido nutrimental, materia seca y tasa de asimilación de *Vaccinium corymbosum* L. cv. Biloxi en hidroponía.

### 2.2 Objetivos Particulares

Evaluar el crecimiento vegetativo y reproductivo del arándano azul por efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva.

Determinar la concentración de N-total, N-reducido y N- $\text{NO}_3$  en hojas de arándano azul por efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva.

Caracterizar el crecimiento vegetativo a partir del cálculo de la tasa de asimilación neta de *Vaccinium corymbosum* L. cv. Biloxi.

### III. HIPÓTESIS

#### 3.1 Hipótesis General

La relación 25/75 (%)  $\text{NH}_4^+$ /  $\text{NO}_3^-$  de la solución nutritiva favorece el crecimiento vegetativo, contenido nutrimental, materia seca y tasa de asimilación en el cultivo de *Vaccinium corymbosum* L. cv. Biloxi en un sistema hidropónico.

#### 3.2 Hipótesis Particulares

- La relación 25/75 (%)  $\text{NH}_4^+$ /  $\text{NO}_3^-$  de la solución nutritiva incrementa la altura y diámetro de tallo y materia seca en plantas de arándano.
- La concentración de N-total, N-reducido, N- $\text{NO}_3$ , el color de las hojas (lecturas SPAD), concentración y extracción nutrimental en plantas de arándano se incrementa con la relación 25/75 (%)  $\text{NH}_4^+$ /  $\text{NO}_3^-$  de la solución nutritiva.
- La relación 25/75 (%)  $\text{NH}_4^+$ /  $\text{NO}_3^-$  de la solución nutritiva incrementa el área foliar y la tasa de asimilación neta de *Vaccinium corymbosum* L. cv. Biloxi.

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Aspectos generales del cultivo de arándano

El arándano es un arbusto perenne, longevo, de hoja caduca y con tallos leñosos que alcanza una altura de 3 a 5 m en estado adulto. Alcanza la producción comercial de su fruto entre los 4 a 5 años de edad de la planta. Una de las razones de su demanda es que se le atribuyen efectos antioxidantes (Howard *et al.*, 2003), que permiten prevenir o atenuar enfermedades (Prior *et al.*, 1998).

El arándano es una especie que requiere entre 800 y 1,200 horas frío para romper el receso invernal, pero no deben ocurrir heladas en primavera y las temperaturas de verano deben ser alrededor de 25°C. Este se distribuye desde los 2,100 hasta 4,000 m de altitud. Son arbustos que manejados con podas se pueden mantener a una altura no mayor de 3 m para facilitar su manejo agronómico (Ligarreto *et al.*, 2013).

#### 4.1.1 Importancia mundial y nacional

Estados Unidos de América (EE.UU.) es el mayor productor mundial de arándanos con una producción reportada de 230 millones de kilogramos en 2011, entre variedades comerciales (highbush) y silvestres (lowbush), con un valor comercial de US\$ 860 millones, siendo la segunda berry (frutilla) en importancia económica del país después de la fresa. En los últimos años la creciente demanda por berries en EE.UU. ha dado un gran espacio a los arándanos, tanto frescos como congelados. Para el caso del consumo fresco, éste registró un aumento de casi 500% en la última década.

En EE. UU. crece el interés por el consumo de arándano debido a los beneficios reportados para la salud y actualmente existe preferencia por el consumo de



producto fresco y para el 2011 se reportó un consumo per cápita record de 565 gramos (Bascopé, 2013).

Para el 2010, EE. UU. reportó una producción de 222, 224 toneladas, seguido de Canadá con 83,507 y Polonia con 9,946 (USDA, 2010).

La producción de arándanos en México ha ocurrido recientemente ya que fue introducido a mediados de los años 1990. Para el 2013 se reportan 1500 ha (Bascopé 2013). El 75% de la producción de arándano se concentra en los estados de Jalisco y Michoacán, con 518 y 600 ha, respectivamente. Sin embargo, se tiene el potencial en estados como Baja California, Chihuahua, Nayarit, Colima, Hidalgo, Estado de México, Sinaloa y Puebla.

De acuerdo con la información del USDA, en el 2011, México solo tuvo una producción de 106 toneladas e importó 540 toneladas con un valor de 1,262 000 dólares (USDA, 2010), aunque datos oficiales reportan una producción para el 2011 de 6, 900 toneladas (Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (OEIDRUS), 2011).

El 70% de la producción de arándano en México se exporta principalmente a Estados Unidos y el 30% a Europa y a Japón (Bascopé, 2013).

#### **4.1.2 Taxonomía y descripción botánica**

El arándano pertenece a la familia *Ericaceae* y al género *Vaccinium*. Este género comprende cinco especies, entre ellas *V. corymbosum*, que es un arbusto de porte alto, comúnmente conocido como “blueberry” que es considerada una de las especies de mayor importancia comercial (Moore y Ballington, 1990; Gil, 2000).

El arándano es una planta tetraploide que posee tallos erectos, no rizados y una raíz fibrosa que no penetra los suelos pesados, haciéndolos por esta razón

sensibles a la falta de agua. El fruto de esta especie se desarrolla en un periodo de 60 a 90 días a partir de la floración hasta la maduración del fruto. El crecimiento del sistema radical está determinado por la temperatura del suelo y el rango adecuado oscila entre 14 a 18 °C (Spiers, 1995).

El sistema radical está compuesto de finas raicillas, que presentan un desarrollo superficial y de poca extensión, desprovisto de pelos radicales, de modo que la absorción es realizada principalmente por raíces jóvenes. Las hojas son alternas, cortamente pediceladas de borde entero o serrado. Sus flores se presentan en racimos o terminales de color blanco que aparecen en forma basipetala en las ramas del año anterior (Eck, 1977).

El fruto es una baya casi esférica, que puede variar de 0.7-1.8 cm de diámetro y posee un color azul metálico. Contiene 5 lóculos que son delineados por una pared de células simples, lo que constituye el endocarpo. Las semillas perfectas tienden a agruparse en la parte superior del eje del lóculo, con las semillas imperfectas (Eck, 1977).

La corola tiene forma de tubo o campana. La flor tiene de 8 a 10 estambres insertados en la base de la corola, alrededor de un largo estilo. Las anteras son dehiscentes y el polen es liberado en extremo de estas (McGregor, 1976).

Las semillas de *Vaccinium* sp. provienen de rudimentos seminales muy pequeños, anátropos y unitégmicos. Por cada fruto se producen semillas variadas en tamaño, número, color y forma; en algunos frutos se encuentran pocas semillas bien desarrolladas y numerosos rudimentos de color blanquecino (De Valencia y Ramírez, 1993).

## 4.2 Soluciones nutritivas

La producción de cultivos en hidroponía se ha incrementado rápidamente debido a que entre otras cosas, permite el un uso eficiente de agua y los fertilizantes, aumenta la calidad de los cultivos y la productividad. Entre los principales factores que afectan a los sistemas de producción hidropónica, la solución nutritiva es un factor determinante en el rendimiento de la cosecha y la calidad.

Una solución nutritiva contiene los nutrientes esenciales en su forma iónica para satisfacer la demanda nutrimental de una planta. Esta puede incluir micronutrientes en su forma iónica o quelatados (Steiner, 1968). Las soluciones nutritivas varían de acuerdo a la especie y no hay una solución nutritiva única, aunque algunas soluciones nutritivas como la Long Ashton (Hewitt, 1966) y la de Hoagland (1938), han sido utilizadas debido a que se consideran apropiadas para el crecimiento de un rango amplio de especies y en algunos casos estas han sido ligeramente modificadas incluso para el crecimiento de hongos micorrízicos como *Glomeus mosseae* con tres especies de plantas (Hawking y George, 1997).

Para Steiner (1984), la solución nutritiva está determinada por el equilibrio entre las proporciones de aniones y cationes, la concentración iónica total y el pH.

Dentro de los macronutrientes, el nitrógeno es el elemento esencial que más afecta al crecimiento y desarrollo de los cultivos y en la absorción de otros nutrientes. Las plantas lo absorben en forma de amonio o de nitrato y la absorción varía según la especie vegetal, las condiciones del medio, la luz y temperatura (Martín, 2003). La solución nutritiva universal de Steiner, menciona que la selección de la concentración de una solución nutritiva debe ser tal que el agua y los iones totales sean absorbidos por la planta en la misma proporción en la cual están presentes en la solución (Steiner, 1968). Steiner (1961) desarrolló un método para calcular una fórmula para la composición de una solución nutritiva, la cual satisface ciertos requerimientos. Steiner (1980) señala que la composición y concentración de una

solución nutritiva depende de la clase de cultivo, de la fase de desarrollo, del medio ambiente, del tipo de hidroponía.

Steiner (1966) elaboró una solución nutritiva universal, que se distingue por sus relaciones mutuas entre aniones y cationes. Las relaciones mutuas entre los iones en la Solución Nutritiva Universal de Steiner en porcentaje del total de  $\text{mM L}^{-1}$  es de 60:5:35 para  $\text{NO}_3^-$ :  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ :  $\text{SO}_4^{2-}$  y 35:45:20 para  $\text{K}^+$ :  $\text{Ca}^{2+}$ :  $\text{Mg}^{2+}$ . Este autor indica que el uso de la solución nutritiva universal demanda únicamente que se determine la presión osmótica requerida para un cultivo en particular en una cierta época del año.

#### 4.2.1 Soluciones nutritivas para arándano

Los sistemas de producción de arándanos tienen un sistema de riego por aspersión o goteo (Strik y Yarborough, 2005). Este tipo de sistema permite preparar soluciones nutritivas, controlar las frecuencias y tiempos de los riegos (Burt *et al.*, 1998). La solución nutritiva en arándano debe ser ácida con un pH de 4.0 a 5.5 (Williamson y Lyrene, 1998). Rosen *et al* (1990), al estudiar los efectos del pH y la forma de nitrógeno en el crecimiento y la nutrición de dos clones de *Vaccinium* en hidroponía, utilizó la solución nutritiva que contenía (en  $\text{mM L}^{-1}$ )  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 1.0;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.75;  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , 0.5;  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , 0.13; (en  $\mu\text{M L}^{-1}$ )  $\text{FeNaEDTA}$ , 80,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 46;  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 9;  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.8,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 0.3,  $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 0.1, estos autores determinaron que el crecimiento de brotes y peso de biomasa seca final en arándano fueron mayores a pH de 4.5, independientemente de la forma de nitrógeno empleada. Por otro lado, Merhaut y Darnell (1995), al evaluar la acumulación de las formas de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en plantas de arándano, utilizaron la solución nutritiva modificada de Hoagland (1938) que tenía la siguiente composición química (en mM): 5.0 N, 1.4 P, 1.0 K, 0.5 Ca, 1.0 Mg, 0.4 Na, 1.7 S, 1.0 Cl,  $9.0 \times 10^{-2}$  Fe,  $4.5 \times 10^{-2}$  B,  $9.1 \times 10^{-2}$  Mn,  $1.1 \times 10^{-2}$  Zn,  $1.6 \times 10^{-3}$  Cu, y  $2.1 \times 10^{-3}$  Mo. La fuente de Fe fue quelato FeEDTA chelate. La solución nutritiva fue ajustada a pH 5.

Otro componente determinante en la preparación de la solución nutritiva es la conductividad eléctrica (CE). El arándano tolera CE entre 1.5 a 2.0 dS m<sup>-1</sup> (Patten *et al.*, 1988). Freeman (1983) reporta que los arándanos son sensibles a las condiciones de salinidad. El contenido máximo de sal tolerada en el agua está en el rango de 250-300 mg L<sup>-1</sup>. Según Bunt (1988), la salinidad del suelo tiende a aumentar rápidamente con altas concentraciones de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> debido a que este fertilizante tiene un alto índice de salinidad (3.25) comparado con otras fuentes de nitrógeno (Bunt, 1988). En un estudio preliminar realizado por Bryla *et al* (2010), encontraron que la CE aumentó linealmente con una tendencia de 2 dS m<sup>-1</sup> por cada gramo de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> disuelto por litro de agua destilada. Un exceso de sal puede potencialmente conducir a daños en plantas de arándano cuando se aplican altas tasas de fertilización (Caruso y Ramsdell, 1995).

### **4.3 Nutrición nitrogenada**

El nitrógeno tiene una importancia clave en la agricultura. Se estima que anualmente, se utilizan de 85 a 90 millones de toneladas métricas de fertilizantes nitrogenados en el mundo. Su utilización se ha incrementado al pasar de 1.3 y 10.2 millones de toneladas métricas en los años 1930 y 1960, respectivamente. Para el año 2050 se estima que aumente a 240 millones de toneladas métricas (Good *et al.*, 2004). Su importancia radica en que es el elemento que las plantas requieren en mayor cantidad, respecto a cualquier otro nutriente, ya que es constituyente estructural de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila y reguladores del crecimiento. El nitrógeno participa en procesos de síntesis y transferencia de energía, de manera que la deficiencia de este nutriente limita el crecimiento de las plantas y el rendimiento en cultivos comerciales.

#### **4.3.1 Relación NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

El nitrógeno (N) es un componente de muchos compuestos orgánicos desde las proteínas hasta los ácidos nucleicos. Es un constituyente de la molécula de clorofila. Muchas enzimas son proteicas, por lo tanto, el N es clave en muchas

reacciones metabólicas. El N también es constituyente estructural de las paredes celulares y se encuentra en moléculas tan importantes como las purinas, pirimidinas, porfirinas, vitaminas y alcaloides (Fageria, 2009). Por lo que contribuye en el crecimiento de brotes, desarrollo de yemas florales y en la producción y productividad. El N es absorbido por las plantas principalmente en dos formas: una en forma de amonio y otra en forma de nitrato (Martín, 2003).

El  $\text{NH}_4^+$  y el  $\text{NO}_3^-$ , en la solución del suelo, según Marschner (1995), comprenden el 80% de los cationes y aniones extraídos por las plantas, de manera que la forma de suministro del N impacta en la extracción de otros cationes y aniones y consecuentemente modifica el pH de la rizósfera. La disponibilidad de una u otra forma de N es afectada por factores climáticos y edáficos y en aplicaciones comerciales se estima que una tercera parte no es absorbida por las plantas (Stevenson, 1986).

El nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es considerado la principal fuente de nitrógeno accesible para la mayoría de las plantas que crecen en suelos bien aireados, donde el amonio es generalmente mucho menor en su concentración. El nitrato es absorbido por la raíz (Marquez *et al.*, 2004). Una vez capturado en las raíces, el nitrato puede ser reducido en las raíces o traslocado a las hojas para su reducción.

Hart *et al.* (2006) señalan que fertilizantes que contienen solo nitrato como el nitrato de calcio, pueden causar daños al cultivo de arándano o reducir su crecimiento. Adicionalmente, estos autores recomiendan no utilizar solo amonio si el pH del suelo es menor a 5, ya que esta forma nitrogenada contribuye a reducir aun más el pH.

Por otra parte, si bien el  $\text{NH}_4^+$  elimina el proceso de reducción en las células de las plantas y participa como intermediario en muchas reacciones metabólicas (Salsac *et al.*, 1987), puede causar toxicidad en muchas especies de plantas cuando se utiliza solo esta forma de N (Gerendas *et al.*, 1997).

El amonio por su parte, está más disponible para plantas adaptadas a suelos ácidos y lo utilizan como fuente de N, mediante la absorción en los espacios radiculares libres cargados negativamente (Marschner, 1995). Sin embargo, la nutrición exclusiva con esta forma de N puede inducir flacidez y hojas menos expandidas (Marquez *et al.*, 2004).

Las especies vegetales varían en su sensibilidad a la nutrición con  $\text{NH}_4^+$  y muchas de las especies crecen mejor cuando se utilizan proporciones de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  (Errebi y Wilcox, 1990). De manera que el grado de respuesta de crecimiento de la planta y el grado de absorción depende en parte de la proporción de  $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_3$ . (Errebi y Wilcox, 1990). El pH en la rizósfera puede modificarse por la absorción de cationes o aniones. Por ejemplo, cuando las plantas son suplementadas predominantemente  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$ , respectivamente. En general, el crecimiento de la raíz es influenciado por el pH del suelo (Marschner, 1995). El crecimiento de las plantas es severamente limitado cuando el pH es menor o igual a 4 (Tolley y Rapper, 1986). La acidificación de la rizósfera afecta a nivel de plasmalema de las células de la raíz; desplazando el  $\text{Ca}^{2+}$  y limitando la expulsión de  $\text{H}^+$  en la membrana celular, además de limitar la disponibilidad de nutrientes y su absorción (Yan *et al.*, 1992; Delhaize y Ryan, 1995).

#### **4.3.2 Absorción y asimilación del $\text{NH}_4^+$ por las plantas**

El  $\text{NH}_4^+$  es una fuente importante de N para las plantas. Cuando las plantas se suministran en concentraciones similares de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , este último es absorbido más rápidamente que el  $\text{NO}_3^-$  (Macduff y Jackson 1991). La preferencia de las plantas por el  $\text{NH}_4^+$ , se explica porque para la absorción y asimilación de  $\text{NO}_3^-$ , gasta energía extra en la reducción del  $\text{NO}_3^-$ , antes de que sea incorporado a los compuestos orgánicos (Bloom *et al.*, 1992). No obstante, la nutrición exclusiva con  $\text{NH}_4^+$  afecta negativamente el desarrollo de raíces y tallos, debido a la liberación de  $\text{H}^+$  por la actividad de la ATP-asa que acidifica la rizósfera y limita la absorción de cationes. También se sabe que el suministro de  $\text{NH}_4^+$  incrementa en el xilema la

concentración de ácido abscísico que limita el desarrollo de las plantas (Von Wirén *et al.*, 2000). El  $\text{NO}_3^-$  es un ion esencial para la translocación de iones en el xilema, la expresión de genes para la absorción del  $\text{NO}_3^-$  y para la síntesis de carbohidratos (Stitt, 1999).

El  $\text{NH}_4^+$  es importado del ambiente externo, que incluye la rizósfera y la atmosfera, vía transportadores de  $\text{NH}_4^+$ , proceso que ocurre en la membrana plasmática de las células radiculares (Forde y Clarkson, 1999) y células de la hoja (Yin *et al.*, 1996).

La absorción neta de  $\text{NH}_4^+$  por las raíces de las plantas es la diferencia entre la entrada y salida de este ion (Morgan y Jackson, 1988). Se tiene documentado que hay dos sistemas de absorción de  $\text{NH}_4^+$ , uno de alta afinidad que es responsable de la absorción de  $\text{NH}_4^+$  cuando este nutriente se encuentra en baja concentración externa y el de baja afinidad que es el responsable de la absorción de  $\text{NH}_4^+$  cuando este se encuentra a alta concentración externa. Estos sistemas de transporte varían en su cinética y dependen del estatus nutricional de la planta, temperatura, luz y de la disponibilidad del nutriente en el sustrato externo (von Wirén, 2000). La absorción de  $\text{NH}_4^+$  se realiza vía transportadores de  $\text{NH}_4^+$ , en la membrana plasmática. El proceso inicia con el transporte de  $\text{NH}_4^+$  dentro del citoplasma (vía glutamina sintetasa o pastidios) y posiblemente en la mitocondria. Para esta actividad metabólica la glutamina representa el producto primario y la glutamina sintetasa, glutamato y ATP los sustratos. Luego, el glutamato es producido de la glutamina y del ácido  $\alpha$ -cetoglutárico vía glutamato sintetasa, resultando en una ganancia neta de una molécula de glutamato y el consumo de una molécula de ácido  $\alpha$ -cetoglutárico por cada vez que se repite el ciclo. También, se puede acumular en la vacuola donde se almacena temporalmente (Bloom *et al.*, 1992). Otra posible reacción por la cual el  $\text{NH}_4^+$  puede ser asimilado involucra a la enzima glutamato deshidrogenasa, NADH o NADPH como coenzimas,  $\text{NH}_4^+$  y ácido  $\alpha$ -cetoglutárico con glutamato como producto primario.



Ya absorbido el  $\text{NH}_4^+$ , en el interior de la célula, se distribuye en estructuras como el cloroplasto y mitocondrias por transportadores de diferentes vías. Este nutriente no es transportado a gran distancia, sino que es localmente asimilado a través de la glutamina sintetasa en el citoplasma y plástidos. El  $\text{NH}_4^+$  puede ser generado de nuevo a partir de nitrógeno molecular mediante las bacterias fijadoras de N en algunas células de las plantas como el *Bradyrhizobium* (Howitt y Udvardi, 2000).

### 4.3.3 Absorción y asimilación del $\text{NO}_3^-$ por las plantas

La absorción de N por las plantas depende del ambiente y de la especie (Hodge *et al.*, 2000), además de la disponibilidad de N en el suelo. La utilización de N por las plantas involucra varios pasos desde la absorción, asimilación y translocación, hasta el reciclamiento y removilización cuando las plantas llegan a su madurez fisiológica (Daubresse *et al.*, 2010).

La disponibilidad de N en el suelo es baja, ésta varía en el espacio y el tiempo, debido a la precipitación, temperatura, viento, tipo de suelo y pH. La forma en que el N se absorbe depende de la adaptación de la planta a las condiciones de suelo. Por ejemplo, las plantas adaptadas a bajo pH absorben N en forma de  $\text{NH}_4^+$ . Contrariamente, las plantas adaptadas a pH alto, prefieren el  $\text{NO}_3^-$  como fuente de N (Maathius, 2009).

Las raíces cuentan con tres cinéticas en el transporte del  $\text{NO}_3^-$ . Uno de ellos es el sistema constitutivo de alta afinidad (CHATS, por sus siglas en inglés), otro son los transportadores de alta afinidad (iHATS) y el tercero son los transportadores constitutivos de baja afinidad (LATS). El sistema CHATS permite la absorción de  $\text{NO}_3^-$  a baja concentración, mientras que para iHATS, el rango de absorción de  $\text{NO}_3^-$  es bajo las primeras horas después de la primer exposición al  $\text{NO}_3^-$  y después la absorción se incrementa rápidamente (Glass *et al.*, 2002). Para el sistema LATS, la absorción se activa a concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  arriba de 200  $\mu\text{M}$  (Touraine *et al.*, 2001).

Por otra parte, Vedele *et al.* (1998) menciona que los sistemas de absorción CHATS y iHATS son regulados en respuesta al  $\text{NO}_3^-$ , es decir, si este ion se encuentra en altas o bajas concentraciones. Por lo tanto, el  $\text{NO}_3^-$  se constituye en una señal para la regulación de su propia absorción y de otros procesos metabólicos. Por ejemplo, uno de los procesos metabólicos que regula es el balance de crecimiento tallo-raíz. Esto significa que el  $\text{NO}_3^-$  tiene dualidad, como señal y como nutriente. Finalmente, la absorción de  $\text{NO}_3^-$  es la diferencia entre lo que entra y lo que sale a través de la membrana del plasma regulado por los sistemas de absorción.

#### 4.3.3.1 Reducción del nitrato

El  $\text{NO}_3^-$  es la principal fuente de N para la gran mayoría de las plantas. Una vez absorbido el nitrato puede ser reducido ya sea en las raíces, traslocado a las hojas para su reducción o almacenado en las vacuolas de las células radicales (Sivasankar y Oaks, 1996). El proceso de reducción del  $\text{NO}_3^-$  produce nitrógeno reducido, forma en la que es asimilado por las células.

El ion  $\text{NO}_3^-$  induce la actividad de la nitrato reductasa y nitrito reductasa, para el proceso de reducción, mientras que el amonio inhibe la actividad de estas enzimas (Le Bot *et al.*, 1994). El  $\text{NO}_3^-$ , en el citoplasma es primero reducido a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) mediante la enzima nitrato reductasa. Enseguida, el  $\text{NO}_2^-$  es reducido a  $\text{NH}_4^+$  en los cloroplastos de las hojas o plastidios de las raíces, mediante la nitrito reductasa, usualmente con ferredoxina reducida como reductante (Vedele *et al.*, 1998). Ya en forma de  $\text{NH}_4^+$  puede ser absorbido por las plantas, por microorganismos o ser convertido a  $\text{NO}_3^-$  por bacterias nitrificantes (Kowlozky y Pallardy, 1997). Indirectamente la determinación del nivel de la enzima nitrato reductasa puede ser un indicador del estatus del N en la planta (Srivastava, 1980) y el potencial productivo (Touraine *et al.*, 2001). Esta enzima se encuentra en el plasma de la membrana, en las células epidermales y corticales y en el mesófilo de los tallos (Berczi y Moller, 2000).

La reducción del  $\text{NO}_3^-$  puede ocurrir en hojas o en raíces o en ambos, dependiendo de la concentración de  $\text{NO}_3^-$  y de la especie de planta (Black *et al.*, 2002). En bajas concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  la reducción ocurre en las raíces y en altas concentraciones es transportado por el xilema y la reducción ocurre en las hojas (Gojon *et al.*, 1991). Por ello, se asume que en cultivos apropiadamente fertilizados, la reducción del  $\text{NO}_3^-$  sucede en hojas (Beevers y Hageman, 1969), siendo estos trasladados de las raíces a las hojas, en el xilema (Shaner y Boyer, 1976). Cuando los iones de  $\text{NH}_4^+$  predominan en la solución del suelo, estos son absorbidos por las raíces y directamente incorporados en los compuestos orgánicos, especialmente aminoácidos.

El costo energético del proceso de reducción del  $\text{NO}_3^-$  en raíces es mayor que en hojas, ya que los carbohidratos deben ser transportados del floema tan larga sea la planta y luego oxidados para proveer de la energía. Contrariamente, el exceso de NADPH y ATP producidos en los procesos de la fotosíntesis pueden ser utilizados en la reducción del  $\text{NO}_3^-$  en las hojas, lo que hace que el costo energético sea menor. Hasta un 25% de la energía producida en la fotosíntesis puede ser consumida en la asimilación del  $\text{NO}_3^-$  (Chapin *et al.*, 1987).

La energía de la reducción del  $\text{NO}_3^-$  se deriva de la oxidación de carbohidratos o directamente de productos de las reacciones de la fotosíntesis y el  $\text{NH}_4^+$  producido y este se combina finalmente con ácidos orgánicos para formar aminoácidos. El  $\text{NO}_2^-$  suele ser tóxico en concentraciones moderadas pero generalmente no se acumula en cantidades suficientes para causar daño (Kowlozky y Pallardy, 1997).

#### **4.4 Uso de sustratos en la producción de arándano**

Las plantas jóvenes de arándano tienen poco sistema radicular superficial, de manera que es común el estrés por sequía. En estas condiciones la incorporación de sustratos como la turba (peatmoss en términos comerciales) incrementa la

capacidad de retención de agua y el agua disponible para la planta (Albert *et al.*, 2010).

De acuerdo con Yeager *et al.* (2007) los sustratos deben garantizar la estabilidad de la planta cuando esta se cultiva en macetas, asimismo permitirá la distribución constante de aire (oxígeno) y el agua y contribuye a la disponibilidad de nutrientes. En este sentido Albert *et al.* (2010) señalan que la incorporación o aplicación superficial de sustratos en plantaciones comerciales establecidas en el suelo, permiten reducir el crecimiento de maleza, conservar la humedad, al reducir la evaporación, incrementa la infiltración del agua y reduce las fluctuaciones de temperatura del suelo. Además, mejora la nutrición mineral y la estructura del suelo y favorece una distribución uniforme del sistema radicular de la planta.

Además de la turba y aserrín utilizado por Albert *et al.* (2010), Clark y Moore (1991), mencionan a la corteza de pino como un sustrato ideal para ser utilizado en arándano, ya que provee de 40-45% de espacio poroso, tiene un espacio intrapartícula de 40% por lo que tiene gran capacidad de aireación. De 70 a 80% de sus partículas son pequeñas (0.6 a 9.5 mm de diámetro), el resto de partículas tienen 0.6 mm de diámetro lo que lo hace ideal para retener agua. La corteza de pino fresco tiene una capacidad de retención de agua en volumen de 13% y nutrientes. El aserrín es adecuado para el arándano porque solo el 20% del sustrato es materia sólida. Por el tamaño de las partículas de la corteza de pino esta favorece la capacidad de intercambio catiónico y tiene un pH entre 4.0 y 5.0, condición que promueve el desarrollo del cultivo (Krewer y Ruter, 2012). Heiberg y Lunde (2006) adicionaron 60% de composta con 35% de cáscara de pino, obtuvieron una alta densidad radicular en plantas de arándano.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

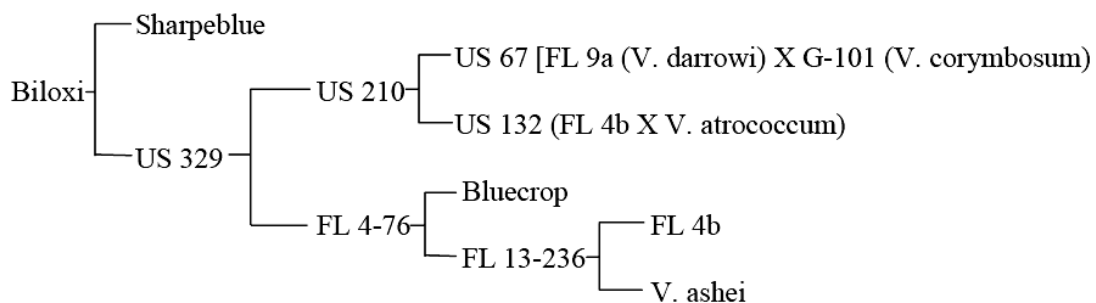
### 5.1 Ubicación del experimento

El experimento se realizó en un invernadero del Área de Nutrición Vegetal del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, localizado en el km 36.5 de la carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México; las coordenadas geográficas son 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste y 2240 m de altitud. El invernadero utilizado es de tipo “dos aguas” con ventilación cenital, estructura de metal y cubierta de plástico.

### 5.2 Material vegetal

Se utilizaron plantas in vitro de arándano de la variedad ‘Biloxi’ de 12 meses de edad, estas plantas fueron producidas en vivero por la empresa Vitalos Agro Vivero S. A. de C. V. Se seleccionó esta variedad porque actualmente se cultiva en las principales regiones productoras de arándano en México, debido a la calidad de la fruta, su rendimiento y bajo requerimiento de acumulación de horas frío durante el reposo invernal.

La variedad Biloxi es un arándano tetraploide, denominado arbusto alto del sur (southern highbush) y fue desarrollado por el Departamento de Agricultura, del Servicio de Investigación Agrícola de EE.UU de la cruce entre Sharpeblue y US329 como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Pedigrí del arándano cv. Biloxi (Spiers y Stringer, 2002).

### 5.3 Sustrato

Las plantas se establecieron en bolsas blancas de polietileno calibre 600 con capacidad de 20 L. El sustrato utilizado fue tezontle rojo con diferente diámetro de partícula (25% 1-10 mm y 75% 12-40 mm), el cual fue tamizado previamente y colocado cuidadosa y homogéneamente en los contenedores.

### 5.4 Tratamientos

Los tratamientos consistieron en 5 relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  (%): 0/100, 25/75, 50/50, 75/25 y 100/0 (Cuadro 1). Las soluciones nutritivas (SN) resultantes conservaron los niveles óptimos de macro y micronutrientes y variaron únicamente en su porcentaje y fuente de nitrógeno. La SN universal de Steiner (1984) fue la referencia para la formulación de las soluciones nutritivas de cada tratamiento.

**Cuadro 1.** Tratamientos a partir de las diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ .

Tratamientos	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$
$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	----- meq L <sup>-1</sup> -----						
0/100	0	6	4.5	3.5	2	3.5	0.5
25/75	1.5	4.5	4.5	3.5	2	3.5	0.5
50/50	3	3	4.5	3.5	2	3.5	0.5
75/25	4.5	1.5	4.5	3.5	2	3.5	0.5
100/0	6	0	4.5	3.5	2	3.5	0.5

Solución nutritiva universal de Steiner al 50% modificada (CE = 1 dS m<sup>-1</sup>)

### 5.5 Solución nutritiva

Se utilizó la SN universal Steiner modificada para la formulación de las soluciones nutritivas de cada tratamiento (Cuadro 2). Para la preparación de las SN se utilizó agua de pozo y previamente se determinaron los iones contenidos en ésta para ajustar la conductividad eléctrica (CE) de la solución a 1 dS m<sup>-1</sup>. En las soluciones nutritivas únicamente se modificaron los porcentajes y fuentes de nitrógeno. El pH

de las soluciones nutritivas se ajustó todo el tiempo a 4.5 con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con un potenciómetro marca Hanna® modelo HI98129.

**Cuadro 2.** Formulación de soluciones nutritivas en gL<sup>-1</sup> modificando la solución universal Steiner al 50% (Steiner, 1984).

Fuente fertilizante	Relación NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> / NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>				
	0/100	25/75	50/50	75/25	100/0
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	0.360	0.360	0.273	0.125	0
KNO <sub>3</sub>	0.213	0.066	0	0	0
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	0.091	0.191	0.291	0.375
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.074	0.173	0.219	0.219	0.219
CaSO <sub>4</sub>	0	0	0.070	0.190	0.291
MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067

### 5.5.1 Aplicación de la solución nutritiva

Durante el establecimiento de las plantas de arándano en el invernadero, estas se regaron con agua de pozo, la cual se acidificó a pH 4.5 para su adaptación, posteriormente, se aplicó una solución nutritiva con un potencial osmótico ( $\Psi^o$ ) de -0.0288 MPa (CE 0.8 dS m<sup>-1</sup>) y éste se incrementó gradualmente hasta alcanzar un  $\Psi^o$  igual a -0.036 MPa (1.0 dS m<sup>-1</sup>). A partir de este momento (15 de junio 2014) se inició la aplicación de tratamientos. Las plantas se regaron dos veces por semana con agua acidulada (pH 4) para evitar la acumulación de sales en el sustrato mediante riego por goteo. La cantidad de agua aplicada o solución nutritiva fue de 600 mL por día.

## **5.6 Muestreo y variables evaluadas**

### **5.6.1 Altura de planta y diámetro de tallo**

Se realizaron 5 muestreos para determinar el grosor de la base del tallo y su crecimiento longitudinal respectivo. Para medir el diámetro de tallo se utilizó un vernier digital que se colocó en la base del mismo. Para determinar la altura de planta se usó un flexómetro, las medidas se tomaron a partir de la base del tallo hasta el meristemo apical.

### **5.6.2 Lecturas SPAD**

Se realizaron tres muestreos a los 30, 60 y 90 días después de iniciados los tratamientos (DDIT). Se seleccionaron hojas de arándano recientemente maduras fisiológicamente asintomáticas y libres de daños. Para las lecturas se utilizó el SPAD-502 (Minolta Camera Co., Ltd., Japan) en tres distintos puntos de la planta: proximal, medio y distal, y se obtuvo un promedio. Las mismas hojas en las que se tomaron lecturas SPAD se cortaron y se procesaron para cuantificar nitrógeno total por el método microkjeldahl (Bremmer y Mulvaney, 1982).

### **5.6.3 Área foliar**

El área foliar se determinó durante los tres muestreos destructivos realizados a los 30, 60 y 90 DDIT. En cada muestreo se ocuparon 3 plantas por repetición. Se utilizó un lector óptico marca LI-COR, modelo LI-3000A.

### **5.6.4 Peso de materia fresca y seca**

Para conocer la relación entre el peso de biomasa fresca y seca de las hojas de arándano, se realizaron tres muestreos destructivos (30, 60 y 90 DDIT); en el último muestreo (90 DDIT), también se determinó el peso de materia fresca y seca de tallos y raíces. En cada muestreo se tomaron tres plantas por tratamiento y se



separaron los órganos de interés, luego se etiquetaron en bolsas de papel. El mismo día se pesaron las muestras en una balanza analítica para determinar el peso de materia fresca y en seguida, éstas se llevaron a una estufa con circulación de aire forzado por 48 horas a una temperatura de 70 °C, tiempo en que las muestras alcanzaron su peso constante. Finalmente, las muestras se pesaron nuevamente para conocer el peso de materia seca.

### 5.6.5 Nitrógeno total (método micro Kjeldahl)

Se pesó 0.1 g de tejido vegetal seco y molido. Se agregaron 2 mL de la mezcla de los ácidos sulfúrico-salicílico y 0.2 g de la mezcla catalizadora de sulfatos (CuSO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y selenio metálico). Las muestras se llevaron a una temperatura de 360 °C en una plancha de arena para iniciar su digestión. Una vez que las muestras tomaron un aspecto acuoso y una coloración verde clara, la digestión finalizó. Cuando las muestras estuvieron a temperatura ambiente, se adicionaron 10 mL de agua destilada. Las muestras se llevaron al equipo de destilación, al que se le agregaron 10 mL de NaOH al 50% y se inició el calentamiento. El destilado se recibió en 20 mL de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> al 4% más 0.2 mL del indicador (verde de bromocresol + rojo de metilo), se aforó a 50 mL. La titulación se realizó con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.05 N hasta que el extracto se tornó ligeramente rosa. Se utilizaron 3 blancos. El porcentaje de N en las muestras se determinó con la siguiente fórmula:

$$N (\%) = \frac{( \text{volumen de muestra} - \text{volumen blanco} ) \cdot \text{normalidad } H_2SO_4 \cdot 14}{\text{Peso de muestra} \cdot 10}$$

donde:

14: peso mili equivalente del nitrógeno (mg)

10: factor para convertir en porcentaje (1000/100)

### 5.6.6 Nitrógeno reducido (método Nessler)

Se pesó 0.1 g de tejido vegetal seco y molido en tubos de 30 mL, se adicionaron 10 mL de buffer fosfato (fosfato de potasio 0.1 M pH 7.4), se agitó 1 hora en un vortex (Barnstead Thermolyne Type 37600 Mixer®, a intervalos de 15 minutos y se filtró. Posteriormente, se tomó una alícuota de 0.2 mL de este filtrado y se llevó a un volumen de 9 mL con agua destilada añadiendo 2 mL del reactivo Nessler (NaOH y de ioduro de potasio y mercurio), y se dejó reposar el contenido por 10 minutos. Finalmente, se leyó la absorbancia a 420 nm de las muestras en un espectrofotómetro marca Spectronic 20 Milton Roy®. La reacción colorimétrica que ocurre al mezclar la muestra con el reactivo Nessler resulta en una coloración amarillo-café cuya intensidad es proporcional a la cantidad de amonio en la muestra. Para realizar la curva de calibración se preparó una solución estándar de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  a  $10 \text{ mg N mL}^{-1}$  (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Curva de calibración para la determinación de N-reducido.

mL de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	mL de agua destilada	mL reactivo Nessler	$\mu\text{g N/tubo}$
0	7	2	0
0.2	6.8	2	2
0.5	6.5	2	5
1.0	6.0	2	10
1.5	5.5	2	15
2.0	5.0	2	20
3.0	4.0	2	30
4.0	3.0	2	40
5.0	2.0	2	50

La concentración de N-NH<sub>4</sub> se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{mg L}^{-1} \text{ N-NH}_4 = \frac{\text{Absorbancia} * \text{volumen de extracción} * \text{volumen de dilución (9mL)}}{\text{Pendiente Curva} * \text{peso muestra (g)} * \text{alícuota (0.2 mL)}}$$

Los resultados de todas las muestras se transformaron a porcentaje con la fórmula:  
 $\% = (\text{mg L}^{-1}/10,000)$ .

### 5.6.7 Nitratos (método Cataldo)

Se pesó 0.1 g de tejido vegetal seco y molido por muestra, y se suspendieron en 10 mL de agua desionizada incubándose por 1 hora a 45 °C (Single-Wall Transite Oven Blue M®). Luego se homogenizaron las muestras y centrifugaron a 5000 rpm durante 15 minutos (Eppendor centrifuge 5804 R®). Enseguida, las muestras se filtraron, de este extracto se tomaron 0.2 mL de alícuotas en matraces Erlenmeyer y se adicionaron 0.8 mL de ácido salicílico y sulfúrico para desarrollo del color. Por último, se agregaron 19 mL de NaOH 2N para incrementar el pH a 12 y se leyó la absorbancia a 410 nm en un espectrofotómetro (Espectronic 20 Milton Roy®). Para realizar la curva de calibración se preparó una solución patrón con KNO<sub>3</sub> (Cuadro 4). Se realizaron 2 blancos con 0.2 mL de agua destilada y reactivos, ya que se utilizó material vegetal seco.

**Cuadro 4.** Curva de calibración para la determinación de N-NO<sub>3</sub>.

Alícuota <sup>1</sup>	N-NO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	µg/0.2 mL
0	0	0
10	50	10
20	100	20
30	150	30
40	200	40
50	250	50

<sup>1</sup> Alícuota en mL a partir de la solución madre de 500 mg L<sup>-1</sup> de N-NO<sub>3</sub>.

La concentración de N-NO<sub>3</sub> se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{mg L}^{-1} \text{ N- NO}_3 = \frac{\text{Absorbancia} * \text{volumen extracción} * \text{volumen dilución}(20 \text{ mL})}{\text{Pendiente de la curva} * \text{peso muestra (g)} * \text{alícuota (0.2 mL)}}$$

Los resultados de todas las muestras se transformaron a porcentaje con la fórmula:  
 $\% = (\text{mg L}^{-1} / 10,000)$ .

### 5.6.8 Concentración nutrimental

Se determinó la concentración de macronutrientes (P, K, Ca y Mg) y micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn y Zn) en muestras de hojas, tallos y raíces. En el caso de las muestras de hojas, las determinaciones se realizaron para tres muestreos destructivos a los 30, 60 y 90 DDIT. Para tallo y raíz, únicamente se analizaron las muestras del tercer muestreo destructivo realizado a los 90 DDIT. Las determinaciones de la concentración de nutrientes en tejido vegetal se realizaron en un espectrómetro de emisión atómica AES-ICP.

Para realizar este análisis, se pesó 0.5 g de tejido vegetal seco y molido, luego se adicionaron 10 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado para la pre-oxidación. Posteriormente se agregaron 2 mL de HClO<sub>4</sub> más 1.5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrados y se inició la digestión en una plancha de arena. La temperatura durante el proceso de digestión se incrementó gradualmente hasta alcanzar 200 °C. La digestión finalizó cuando el extracto se tornó transparente y su volumen fue de 2 mL. La muestra se vertió en matraces volumétricos y se aforó a 25 mL con agua desionizada, finalmente se filtró para su análisis en el AES-ICP.

### 5.6.9 Tasa de asimilación neta

La TAN se obtiene cuantitativamente a partir del peso seco el resultado de la ganancia de carbono (fotosíntesis) y la pérdida de carbono (respiración, exudación, volatilización) expresado por unidad de área (Poorter y Remkes, 1990) medido en acumulación de peso seco.

La tasa de asimilación neta se calculó con la fórmula:

$$\text{TAN} = \left| \frac{(\text{Ps}_2 - \text{Ps}_1)}{(\text{Af}_2 - \text{Af}_1)} \right| * \left| \frac{(\ln \text{Af}_2 - \ln \text{Af}_1)}{(\text{T}_2 - \text{T}_1)} \right|$$

dónde:

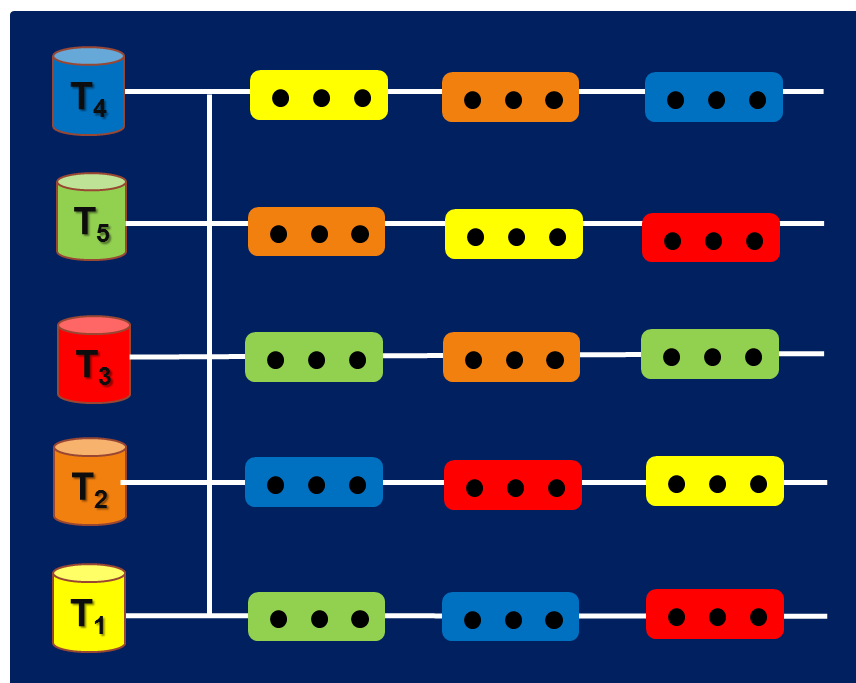
- a)  $\ln$ : logaritmo natural
- b)  $Af_{1,2}$ : área foliar al inicio y final del intervalo de tiempo
- c)  $Ps_{1,2}$ : peso seco al inicio y final del intervalo de tiempo
- d)  $T_{1,2}$ : tiempo inicial y final del intervalo de tiempo.

### 5.6.10 Extracción nutrimental

Con los datos de materia seca y concentración nutrimental se determinó la extracción de nutrientes por órganos y planta completa, por efecto de tratamientos y los resultados se expresaron en mg de nutriente extraído por planta.

### 5.7 Diseño experimental

El diseño experimental fue de bloques al azar con 5 tratamientos y 3 repeticiones y 3 plantas por repetición, obteniendo un total de 45 unidades experimentales (Figura 2).



**Figura 2.** Distribución de los tratamientos en un diseño de bloques al azar.

## **5.8 Análisis estadístico**

Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza y se realizó la comparación de medias por Tukey con un nivel de significancia de 0.05 con el programa estadístico SAS versión 9 (SAS Institute, 1999).

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Altura de planta

En la variable altura de planta, las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  tuvieron efecto significativo en todos los muestreos. En los cinco muestreos, la altura de las plantas de arándano se incrementó conforme se adiciono  $\text{NH}_4^+$  a los tratamientos. En todos los muestreos, las plantas tratadas con la relación 100/0 presentaron mayor altura de planta, seguida por las plantas adicionadas con ambas formas de N. En general, el tratamiento 0/100 tuvo la menor altura de planta en todos los muestreos (Cuadro 5). Es probable que la mayor altura de planta se explique en parte por los efectos adversos de la nutrición con  $\text{NH}_4^+$  pueden causar exceso de crecimiento vegetativo, lo que retrasa la maduración de tejidos de la planta, tal y como lo establece Hranova (2006). Los resultados de este estudio contrastan con lo reportado por Merhaut y Darnell (1996) que al utilizar la solución nutritiva de Hoagland y adicionar el N como  $\text{NH}_4^+$  o como  $\text{NO}_3^-$ , encontraron que la longitud de los tallos de arándano fue significativamente mayor cuando se adicionó  $\text{NO}_3^-$  como única fuente de N comparación con el  $\text{NH}_4^+$ .

**Cuadro 5.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la altura de planta de arándano var. Biloxi.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Días después de iniciados los tratamientos				
	30	45	60	75	90
	----- cm -----				
0/100	76.26 d <sup>z</sup>	78.16 d	81.33 c	84.77 c	88.66 c
25/75	79.41 c	84.83 c	88.88 b	94.88 b	97.00 b
50/50	83.16 b	87.00 bc	91.00 ab	93.22 b	99.33 ab
75/25	83.00 b	88.25 ab	90.66 ab	94.88 b	100.00 ab
100/0	86.40 a	91.00 a	93.50 a	97.66 a	102.33 a
DMS	2.77	2.81	3.66	2.35	3.90
CV (%)	2.94	2.85	3.05	1.88	1.52

<sup>z</sup>Medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ); DMS= diferencia mínima significativa; CV= coeficiente de variación.

## 6.2 Diámetro de tallo

El diámetro de tallo tuvo un incremento significativo en las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . El mayor diámetro de tallo (10.66 mm) se obtuvo a los 90 ddit con la relación 25/75. A diferencia de altura de planta, los mejores resultados para diámetro de tallo se obtuvieron cuando se combinaron ambas formas de N, particularmente con las relaciones 25/75 y 50/50. En contraste, las plantas tratadas con las relaciones 0/100 y 100/0 tuvieron los menores valores para esta variable (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en el diámetro de tallo en plantas de arándano var. Biloxi.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Días después de iniciados los tratamientos				
	30	45	60	75	90
	----- mm -----				
0/100	7.33 b <sup>z</sup>	7.70 c	8.55 b	9.25 c	9.03 b
25/75	8.41 a	8.91 a	9.46 a	10.36 a	10.66 a
50/50	7.88ab	8.52 ab	9.43 a	10.05ab	10.16 a
75/25	8.00 ab	8.32 b	9.33 ab	9.64 bc	8.44 bc
100/0	6.55 c	6.78 d	7.09 c	7.68 d	8.07 c
DMS	0.74	0.49	0.53	0.46	0.76
CV (%)	8.44	5.36	4.56	3.69	3.08

<sup>z</sup>Medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ); DMS= diferencia mínima significativa; CV= coeficiente de variación.

## 6.3 Peso de biomasa fresco y seco de hojas

A los 30 ddit el mayor peso fresco de las hojas de arándano se tuvo cuando se adicionó solo  $\text{NH}_4^+$  o cuando se combinó  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  (Cuadro 7). Durante los muestreos, si bien se observa que las plantas responden con un incremento de peso fresco durante los primeros 30 ddit, se observa que a partir de los 60 ddit, las plantas suministradas con  $\text{NH}_4^+$  tuvieron el menor peso fresco y seco (Cuadro 7). Este resultado puede interpretarse como la respuesta de la planta al estrés salino, ya que el  $\text{NH}_4^+$  tiene un índice elevado de sal (3.25) con respecto a otras fuentes



de N (Bunt, 1988). Altas concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  pueden tener efectos daños para las plantas (Caruso y Ramsdell, 1995) como limitar la absorción de agua por las raíces como resultado de una disminución del potencial hídrico del medio.

La acumulación de peso fresco y seco total, fue mayor en los tratamientos en los que se combinaron  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva, sobre todo en las relaciones 25/75 y 75/25. Este mismo comportamiento fue observado por Rosen *et al.* (1990), quienes al evaluar el efecto del pH y de la forma de N en el crecimiento de arándano, determinaron que no hubo diferencia significativa en el peso seco de plantas suministradas con  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  o la combinación de estos. Sin embargo, numéricamente, el mayor valor fue para el tratamiento donde se combinó  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ .

Después de realizar el muestreo a los 60 ddit se realizó una defoliación en las plantas del experimento para estimular rebrotes. Posiblemente esta práctica afectó los resultados del muestreo realizado a los 90 ddit donde se observó un menor peso seco respecto al muestreo realizado a los 60 ddit en todos los tratamientos. Por lo tanto, los valores más bajos en peso se deben a esta práctica y no estrictamente a un efecto de los tratamientos.

**Cuadro 7.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en el peso fresco (g) y peso seco (g) de hoja de arándano var. Biloxi.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Peso de biomasa fresca			Peso de biomasa seca		
	Días después de iniciados los tratamientos					
	30	60	90	30	60	90
<b>0/100</b>	6.48 c <sup>z</sup>	10.81 b	15.92 b	3.07 b	5.56 b	4.20 b
<b>25/75</b>	8.35 ab	11.93 a	17.61 a	3.96 ab	6.59 a	5.00 a
<b>50/50</b>	7.38 bc	11.61 a	16.76 ab	3.68 ab	6.58 a	4.11 b
<b>75/25</b>	9.68 a	12.05 a	17.37 ab	4.82 a	6.01 ab	5.18 a
<b>100/0</b>	8.72 ab	8.97 c	10.07 c	2.69 b	3.48 c	3.32 c
<b>DMS<sup>y</sup></b>	1.54	1.57	0.50	1.42	0.99	0.59
<b>CV (%)<sup>x</sup></b>	7.07	3.76	1.70	14.54	6.55	5.06

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P>0.05$ ), <sup>y</sup>DMS; diferencia mínima significativa, <sup>x</sup>CV; coeficiente de variación.

## 6.4 Área foliar

Se observó que el área foliar fue afectada significativamente en todos los muestreos (Cuadro 8). En el primer muestreo (30 ddit) el área foliar se incrementó conforme se adiciono  $\text{NH}_4^+$  a los tratamientos. Sin embargo, a los 60 y 90 ddit se observa que los valores más altos se registran para los tratamientos en los que se combinaron  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en las relaciones ( $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ) 25/75 y 75/25 en los que no se observa diferencia estadística (Cuadro 8). Aparentemente, las plantas de arándano pueden utilizar indistintamente ambas formas de N, en especial cuando se combinan. Los valores más bajos se obtuvieron cuando se adicionó  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$  solos o en el tratamiento 50/50. Merhaut y Darnell (1996) al evaluar la absorción de N y C en los arándanos arbusto sureño "Sharpblue" encontraron una mayor área foliar cuando las plantas se fertilizaron solo con  $\text{NO}_3^-$ ; estos autores indican que es posible que las plantas de arándano puedan utilizar eficientemente el  $\text{NO}_3^-$ , siempre que el pH este dentro de un rango apropiado (para este estudio el pH utilizado para  $\text{NO}_3^-$  fue 3). Por otro lado, en relación al efecto del  $\text{NH}_4^+$ , Raab y Terry (1994) afirman que en plantas fertilizadas con  $\text{NH}_4^+$  en lugar de  $\text{NO}_3^-$  la superficie de las hojas es más pequeña. Esto se debe a que después de la absorción de  $\text{NH}_4^+$  es necesario combinarlo orgánicamente para prevenir su toxicidad, grandes cantidades de carbohidratos se inmovilizan en la producción de compuestos de N, tales como glutamina y asparagina. A altos niveles de nutrición de  $\text{NH}_4^+$ , esto puede restringir severamente la cantidad de material disponible para fines estructurales (Lewis, 1986).

**Cuadro 8.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en el área foliar ( $\text{cm}^2$ ) en hojas de arándano var. Biloxi.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Días después de iniciados los tratamientos		
	30	60	90
0/100	485.33 c <sup>z</sup>	594.48 b	672.12 c
25/75	507.13 b	617.08 a	708.63 a
50/50	517.06 b	592.75 b	696.76 b
75/25	565.33 a	622.66 a	703.00 ab
100/0	556.00 a	557.00 c	664.07 d
DMS <sup>y</sup>	16.87	14.57	6.25
CV <sup>x</sup> (%)	1.19	0.90	0.33

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P>0.05$ ), DMS<sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV<sup>x</sup>; coeficiente de variación.

### 6.5 Peso fresco y seco de tallos

El peso fresco fue afectado significativamente durante los tres muestreos por el tratamiento ( $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ) 100/0 que tuvo los mayores valores, seguido estadísticamente por los tratamiento donde se combinaron ambas formas de N. El valor más bajo para peso fresco se observó en plantas suministradas con  $\text{NO}_3^-$  como única fuente de N (Cuadro 9). Este mismo resultado fue reportado por Townsend (1967) al evaluar el efecto del  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^++\text{NO}_3^-$  en el crecimiento de plantas de arándano.

Por otra parte, en los muestreos realizados a los 30 y 90 ddit el tratamiento 25/75 tuvo el mayor peso seco (16.68 g y 28.76), seguido de los tratamientos en los que se combinó  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  o solamente  $\text{NO}_3^-$ . El peso más bajo fue para el tratamiento donde solo se aplicó  $\text{NH}_4^+$ . En el muestreo realizado a los 60 ddit, los tratamientos en los que se combinó  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  tuvieron los valores más altos de peso seco y fueron estadísticamente significativos. Los tratamientos con solo  $\text{NH}_4^+$  o solo  $\text{NO}_3^-$  fueron menores. En un estudio realizado por Rosen *et al.* (1990) para determinar el efecto del pH y las formas de N en plantas de arándano, encontraron que no hubo diferencia significativa entre plantas tratadas con  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  o la

combinación ambas formas de N. Sin embargo, el tratamiento donde se combinaron  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  fue numéricamente mayor. Es posible que condiciones ácidas en el rizósfera pueden aumentar la absorción  $\text{NO}_3^-$  debido al aumento del transporte simporte activo  $\text{H}^+/\text{NO}_3^-$  a través de la membrana (McClure *et al.*, 1990a, 1990b). Finalmente, en este estudio se observó que durante los tres muestreos, los tratamientos en los que se aplicó  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$  fueron los más bajos (0/100) y (100/0), respectivamente.

**Cuadro 9.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en el peso fresco (g) y peso seco (g) de tallos de plantas de arándano var. Biloxi.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Peso fresco			Peso seco		
	Días después de iniciados los tratamientos					
	30	60	90	30	60	90
<b>0/100</b>	27.07 $c^z$	39.45 c	41.20 c	15.56 b	16.01 b	23.23 c
<b>25/75</b>	31.44 b	42.62 b	54.53 b	16.68 a	21.56 a	28.76 a
<b>50/50</b>	31.57 b	42.40 b	52.76 b	15.38 b	20.22 a	26.56 b
<b>75/25</b>	31.68 b	44.03 a	60.10 a	14.93 b	21.15 a	26.74 b
<b>100/0</b>	34.28 a	44.03 a	57.87 a	13.78 c	17.14 b	22.80 c
<b>DMS<sup>y</sup></b>	1.27	1.20	2.37	1.90	1.40	1.02
<b>CV<sup>x</sup> (%)</b>	1.50	1.05	1.72	0.78	2.71	1.48

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P>0.05$ ), DMS<sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV<sup>x</sup>; coeficiente de variación.

## 6.6 Peso fresco y seco de raíz

Se observó un incremento de peso fresco y seco en todos los tratamientos durante los muestreos realizados (30, 60 y 90 ddit) (Cuadro 10), el tratamiento ( $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ) (0/100) tuvo los valores más bajos para peso seco y fresco. Al respecto, Finn *et al.* (1990) mencionan que el  $\text{NO}_3^-$  como única fuente de N, parece atrofiar el crecimiento de tallos y raíces en arándano en comparación con  $\text{NH}_4^+$ . La forma de N suministrada tuvo un efecto en el crecimiento de la zona radicular de las plantas de arándano. A los 30 ddit, las plantas expuestas a tratamientos con  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$  mostraron un menor peso fresco y seco. Los tratamientos en los que se combinó  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  fueron claramente superiores a las aplicaciones individuales de  $\text{NH}_4^+$  o

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Cuadro 10). Esto indica que el arándano responde a la fertilización con NO<sub>3</sub><sup>-</sup> cuando es combinado con NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Esto coincide con Ruan, *et al* (2007) quienes reportaron que para especies de la familia *Theaceae* (plantas adaptadas a pH's ácidos), el peso de las raíces se redujo en los tratamientos con NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pero este no se vio afectado cuando se adiciono NH<sub>4</sub><sup>+</sup> o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a un pH de 4. En parte esto se explica porque la oferta combinada de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> logran estabilizar el pH del medio al mantener tasas similares de producción de H<sup>+</sup> (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + asimilación) y H<sup>+</sup> consumo (asimilación NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y por lo tanto tiene un requisito muy baja energía (Allen *et al.*, 1988). Estos resultados coinciden con Rosen *et al.*, (1990), las formas de N (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> o NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en individual no tuvieron efecto significativo en el peso seco de raíz a un pH de 4.5, aunque el crecimiento fue numéricamente mayor con la combinación de ambas formas de N.

**Cuadro 10.** Efecto de la relación NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el peso fresco (g) y peso seco (g) de raíces de plantas de arándano var. Biloxi.

NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Peso fresco			Peso seco		
	Días después de iniciados los tratamientos					
	30	60	90	30	60	90
<b>0/100</b>	48.46 c <sup>z</sup>	50.40 d	64.21 b	17.93 b	48.75 b	62.10 c
<b>25/75</b>	54.72 a	78.69 a	103.48 a	19.97 a	51.45 a	66.06 b
<b>50/50</b>	54.58 a	74.74 b	106.81 a	20.52 a	48.45 b	61.23 c
<b>75/25</b>	55.20 a	79.37 a	110.03 a	20.35 a	52.94 a	67.83 a
<b>100/0</b>	50.46 b	72.55 c	103.83 a	18.67 b	52.76 a	66.99 ab
<b>DMS<sup>y</sup></b>	1.37	1.06	6.55	0.91	1.63	1.64
<b>CV<sup>x</sup> (%)</b>	0.97	0.55	2.49	1.74	1.19	0.94

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P > 0.05$ ), DMS <sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV <sup>x</sup>; coeficiente de variación.

## 6.7 Nitrógeno total

Los resultados del experimento indican que existe diferencia significativa en la concentración de N total en función de las relaciones NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Estas diferencias se mostraron en cada fecha de observación; a los 30 y 90 ddit se registró una mayor absorción de N en los tratamientos 75/25 y 100/0, el menor valor se tuvo

con la relación 50/50. A los 60 ddit el mayor porcentaje de N total se observó en los tratamientos en los que solo se suministró  $\text{NH}_4^+$  o solo  $\text{NO}_3^-$  (Cuadro 11), lo que se explica porque este intervalo comprende la etapa vegetativa del cultivo de arándano. En el muestreo realizado a los 90 ddit, la concentración de N total disminuyó ligeramente en las hojas de arándano en todos los tratamientos. En los tres muestreos se observa que con excepción del tratamiento 50/50, en general, la concentración de N total en el tejido foliar de todos los tratamientos, corresponde con los rangos óptimos reportados por la literatura, mismos que van de 1.70 a 2.10 (Hanson y Hancock, 2006). Al parecer hubo un efecto de dilución o efecto Steenbjerg (Correndo y García, 2014) ya que los tratamientos en los que se combinó 75/25 y 25/75 tuvieron una mayor tasa de producción de materia seca que de concentración de N en el tejido foliar. La mayor concentración de N total en hoja no corresponde con los valores de peso seco. Esto coincide con lo reportado por Merhaut y Darnell (1996) al encontrar que el aumento de la concentración de N total en la hoja no corresponde con el aumento del crecimiento vegetativo. Estos estudios y el presente experimento indican que las concentraciones de N en tejido foliar no se corresponden necesariamente con el aumento de crecimiento vegetativo.

**Cuadro 11.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la concentración de N-total (%) en hoja, tallo y raíz de plantas de arándano.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Hojas			Tallo	Raíz
	Días después de iniciados los tratamientos				
	30	60	90	90	90
0/100	1.71 b <sup>z</sup>	2.41 a	1.71 b	1.16 a	0.85 ab
25/75	1.70 b	1.77 b	1.72 b	0.95 ab	1.17 a
50/50	1.53 c	1.66 c	1.63 c	0.93 ab	0.85 ab
75/25	2.13 a	1.79 b	2.17 a	0.83 bc	0.93 ab
100/0	2.15 a	2.65 a	2.15 a	0.55 c	0.75 b
DMS	0.27	0.28	0.07	0.27	0.36
CV (%)	5.7	5.19	1.49	11.69	15.03

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P>0.05$ ), DMS <sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV <sup>x</sup>; coeficiente de variación.

## 6.8 Lecturas SPAD

Los tratamientos evaluados tuvieron un efecto significativo en las lecturas SPAD tomadas en hojas de arándano. En el Cuadro 12 se observa que durante los tres muestreos realizados, los valores más altos fueron para los tratamientos con  $\text{NH}_4^+$  ( $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ) 100/0 aunque en el muestreo realizado a los 30 ddit se observa que no hubo diferencia estadística significativa en los tratamientos 75/25 y 50/50. Al comparar estos resultados con la concentración de N en tejido foliar, se muestra que existe una relación directa entre las lecturas SPAD, el contenido de clorofila y el contenido de nitrógeno en la planta (Villar y Ortega, 2003). Los valores SPAD se basan en el principio de que parte de la luz que llega a la hoja es absorbida por la clorofila y el resto que se refleja entra en contacto con la celda detectora del SPAD-502 y es convertida en una señal eléctrica. La cantidad de luz captada por la celda es inversamente proporcional a la cantidad de luz utilizada por la clorofila, la señal es procesada, y la absorbancia es cuantificada en valores dimensionales que van de 0 a 199, por lo que las lecturas SPAD serán siempre las mismas de acuerdo con el tono verde de las hojas (Krugh *et al.*, 1994). Esto se debe a que el N es necesario para la síntesis de clorofila y, por lo tanto, determina el nivel de verdor en las hojas. Los datos presentados en este estudio coinciden con los reportados por Molina (2010) que al determinar el contenido de clorofila y nitrógeno mediante un lector SPAD, en tres variedades de arándanos obtuvo una alta correlación entre clorofila total contra lectura SPAD en las variedades Duke, Brigitta y Elliott. Por lo tanto, el SPAD es un indicador eficiente y rápido de niveles de clorofila y de nitrógeno.

**Cuadro 12.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en las lecturas SPAD-502 en plantas de arándano.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Días después de iniciados los tratamientos		
	30	60	90
0/100	48.05 c <sup>z</sup>	42.38 d	51.28 d
25/75	49.23 bc	45.99 c	53.45 c
50/50	50.95 ab	45.01 c	53.42 c
75/25	52.16 a	48.62 b	55.22 b
100/0	53.03 a	50.58 a	57.10 a
DMS <sup>y</sup>	2.48	1.09	0.89
CV <sup>x</sup> (%)	4.25	2.03	1.22

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P > 0.05$ ), DMS<sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV<sup>x</sup>; coeficiente de variación.

## 6.9 Nitrógeno nítrico

En los tres muestreos, la mayor concentración de  $\text{NO}_3^-$  se presentó en el tratamiento ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ ) 25/75, estos resultados seguidos de los tratamientos en los que se combinó 50/50 y 75/25. En general, la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en las hojas estuvo influenciada por la combinación de ambas formas de N. En todos los tratamientos hubo mayor acumulación de  $\text{NO}_3^-$  en las hojas en relación al tallo y la raíz (Cuadro 13). Esto se debe a que el incremento en el suministro de  $\text{NO}_3^-$ , estimula su transporte al citoplasma de las células de las hojas (Black *et al.*, 2002) Por otra parte, se encontró que la absorción de  $\text{NO}_3^-$  en raíz y tallo se incrementó proporcionalmente con el aumento de la concentración externa. La tasa de absorción de  $\text{NO}_3^-$  se basa en la actividad de los sistemas de transporte de  $\text{NO}_3^-$  en la membrana plasmática de células de la raíz. Factores externos, como la concentración de  $\text{NO}_3^-$ , así como factores internos tales como metabolitos de N ( $\text{NH}_4^+$  y glutamina) todas regulan la velocidad de absorción de  $\text{NO}_3^-$  (Miller *et al.*, 2007).



**Cuadro 13.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$  en la concentración de  $\text{NO}_3^-$  (%) en plantas de arándano.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Hojas			Tallo	Raíz
	Días después de iniciados los tratamientos				
	30	60	90	90	90
<b>0/100</b>	0.060 c <sup>z</sup>	0.070 c	0.106 d	0.043 a	0.040 a
<b>25/75</b>	0.123 a	0.136 a	0.133 ab	0.033 ab	0.030 b
<b>50/50</b>	0.086 b	0.100 b	0.146 a	0.026 bc	0.026 bc
<b>75/25</b>	0.050 c	0.070 c	0.126 bc	0.020 c	0.020 c
<b>100/0</b>	0.050 c	0.050 c	0.113 cd	0.020 c	0.020 c
<b>DMS<sup>y</sup></b>	0.023	0.027	0.01	0.012	0.006
<b>CV<sup>x</sup> (%)</b>	11.57	12.10	5.82	15.60	8.80

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P > 0.05$ ), DMS<sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV<sup>x</sup>; coeficiente de variación.

## 6.10 Nitrógeno reducido

El tratamiento 50/50 tuvo la mayor concentración de  $\text{NH}_4^+$  a lo largo de los muestreos. Takamizo y Sugiyama (1991) encontraron que en *Vaccinium ashei* y *V. corymbosum*, la concentración de  $\text{NH}_4^+$  en las hojas fue mayor en el tratamiento en el que se adiciono  $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$  (Cuadro 14). En este estudio *Vaccinium corymbosum* tuvo la menor concentración de  $\text{NH}_4^+$  a diferencia de *Vaccinium ashei* cuando fue suministrado como única fuente de N. Estos autores concluyen que *Vaccinium corymbosum* es menos tolerante a la oferta excesiva de  $\text{NH}_4^+$  comparado con *Vaccinium ashei*. Tanto en tallo y raíz, la concentración se incrementó conforme se aumentó la proporción de  $\text{NH}_4^+$  a la solución nutritiva.

**Cuadro 14.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la concentración de  $\text{NH}_4^+$  (%) en plantas de arándano.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Hojas			Tallo	Raíz
	Días después de iniciados los tratamientos				
	30	60	90	90	90
<b>0/100</b>	0.76 c <sup>z</sup>	1.03 b	0.83 c	0.57 c	0.35 b
<b>25/75</b>	0.82 b	1.04 a	0.87 c	0.58 c	0.36 b
<b>50/50</b>	0.93 a	1.03 a	1.05 a	0.64 b	0.45 b
<b>75/25</b>	0.94 a	1.09 a	0.96 b	0.74 a	0.43 a
<b>100/0</b>	0.83 b	1.04 a	1.05 a	0.72 a	0.44 a
<b>DMS<sup>y</sup></b>	0.04	0.19	0.07	0.03	0.06
<b>CV<sup>x</sup> (%)</b>	2.14	7.01	2.97	2.27	6.35

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P>0.05$ ), DMS<sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV<sup>x</sup>; coeficiente de variación.

### 6.11 Extracción nutrimental

Al realizar la extracción nutrimental en hojas de arándano, se observó que en general y a lo largo de los tres muestreos realizados, en toda relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  se tuvo un incremento en los valores nutrimentales del primer al segundo muestreo y los valores de este parámetro se redujeron en el tercer muestreo, con excepción del tratamiento 75/25 que mantuvo el valor más alto y estadísticamente diferente al resto de los tratamientos (Cuadro 15). Esta variación durante los muestreos se explica porque la concentración nutrimental en los diferentes órganos de la planta varía de acuerdo a la etapa fenológica. En frutales perennes como el arándano, los requerimientos nutrimentales están en función de la producción de biomasa para mantenimiento de tejidos vegetativos y reproductivos, la producción de nuevos tejidos y de la cantidad de nutrientes reasignados (Bryla, 2012). La reasignación de los nutrientes en las plantas leñosas se produce internamente, sobre todo en primavera temprana de los tejidos de almacenamiento, tales como la corona y los tallos leñosos y en el otoño de hojas senescentes (Strik *et al.*, 2004)

Para el primer muestreo, el tratamiento 75/25, mostró significativamente el mayor valor de extracción nutrimental con respecto a los demás tratamientos. Para el segundo muestreo, se advierte que en general todos los tratamientos tuvieron valores de extracción nutrimental estadísticamente similares, pero esta tendencia no se mantuvo para el tercer muestreo donde las plantas tratadas solo con  $\text{NH}_4^+$  o solo con  $\text{NO}_3^-$  o bien con relaciones 25/75 o 50/50 en general mostraron una reducción en los valores de este parámetro, en algunos casos de hasta 50%, con excepción de plantas tratadas con 75/25.

En el tercer muestreo se observó adicionalmente que plantas tratadas solo con  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$ , presentaron valores de extracción nutrimental estadísticamente similares y fueron los más bajos, lo que confirma una vez más que la aplicación de estos iones de manera individual no favorece una mayor extracción nutrimental en las plantas de arándano. De acuerdo con los datos del Cuadro 15, el tratamiento 75/25, fue consistente del primer al tercer muestreo, lo que sugiere que una mayor proporción de  $\text{NH}_4^+$ , permite incrementar los nutrientes en hojas de plantas de arándano que se cultivaron en condiciones de invernadero.

Los tallos de plantas de arándano tratadas con  $\text{NO}_3^-$  o con diferentes relaciones de  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  mostraron valores de extracción nutrimental significativamente más altos que al ser tratadas solo  $\text{NH}_4^+$ . De hecho, las plantas tratadas solo con  $\text{NH}_4^+$  o solo con  $\text{NO}_3^-$ , presentaron el menor valor de la extracción nutrimental con respecto a las demás relaciones. Se deduce, con base en los datos referidos en el Cuadro 15 que hay mejor respuesta de la planta de arándano, en particular del tallo de ésta cuando se suministra solo  $\text{NO}_3^-$  o relaciones con  $\text{NH}_4^+$ .

Por otra parte, al evaluar la concentración nutrimental en raíces de plantas de arándano tratadas, se observó que no se tuvo la misma tendencia al ser comparado con la concentración nutrimental en tallos. En raíces de plantas tratadas con las relaciones 25/75 y 75/25 se presentaron valores significativamente más altos de extracción nutrimental con respecto a plantas tratadas solo con  $\text{NO}_3^-$ , 50/50 o  $\text{NH}_4^+$ .

En general se observó que ocurre menos concentración de nutrientes en raíces cuando las plantas de arándano son solo tratadas con  $\text{NH}_4^+$  o solo con  $\text{NO}_3^-$ . Esto es, la combinación de ambos iones de manera no proporcional, favorece una mayor concentración de nutrientes en raíces, mientras que la aplicación de manera individual de  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$  reduce la concentración nutrimental en raíces de esta planta.

Se advierte que los tratamientos donde se tuvo relaciones similares de  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  tuvieron los valores significativamente más altos de extracción nutrimental. Este mismo comportamiento se observó con el tratamiento 75/25, lo que sugiere que el balance  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  con una mayor proporción de  $\text{NH}_4^+$  favorece una mayor extracción nutrimental en las plantas de arándano. No obstante, es importante observar que las plantas tratadas con solo  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$ , presentaron valores similares estadísticamente, de extracción nutrimental, a lo largo de los tres muestreos aunque dichos valores fueron relativamente menores comparados con las relaciones 50/50 y 75/25, lo que también indica que las plantas de arándano que se cultivaron en condiciones de invernadero, pueden crecer y desarrollarse en ambientes donde existen iones  $\text{NH}_4^+$  o iones  $\text{NO}_3^-$ . Esto difiere de lo mencionado por Finn *et al.* (1991) quienes indican que especies *Vaccinium* suministrados con  $\text{NO}_3^-$  como única fuente de N a menudo muestran una disminución en el crecimiento y rendimiento en comparación con las plantas suministradas con  $\text{NH}_4^+$  como fuente de N.

**Cuadro 15.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la extracción nutrimental (%) en hojas, tallo y raíz de plantas de arándano var. Bilóxi.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Hojas			Tallo	Raíz
	Días después de iniciados los tratamientos				
	30	60	90	90	90
<b>0/100</b>	5.25 b <sup>z</sup>	13.42 a	7.10 c	26.99 a	53.23 b
<b>25/75</b>	6.57 b	11.70 ab	8.61 b	27.42 a	66.07 a
<b>50/50</b>	5.65 b	11.00 ab	6.75 c	24.87 a	52.28 b
<b>75/25</b>	10.29 a	10.76 ab	11.19 a	22.35 a	63.33 a
<b>100/0</b>	5.48 b	9.22 b	7.14 c	12.61 b	50.78 b
<b>DMS<sup>y</sup></b>	2.66	2.79	1.21	5.99	6.74
<b>CV<sup>x</sup> (%)</b>	14.93	9.26	5.52	9.75	4.39

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P>0.05$ ), DMS<sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV<sup>x</sup>; coeficiente de variación.

## 6.12 Tasa de asimilación neta

Se encontró que la tasa de asimilación neta (TAN) registrada entre los 30 y 60 ddit fue estadísticamente similar en todos los tratamientos, independientemente de la forma o relación de nitrógeno aquí evaluadas, todos los tratamientos promovieron la acumulación de biomasa en hojas de plantas de arándano (Cuadro 16). Según Barraza *et al.*, (2004), los mayores valores de TAN indican mayor ganancia de materia seca por unidad de tejido asimilatorio y por unidad de tiempo, lo cual indica una mayor eficiencia fotosintética promedio. Por otro lado, contrario a los resultados obtenidos en el primer cálculo de la TAN (entre los 30 y 60 ddit), en el registro entre los 60 y 90 ddit se encontró una disminución en la producción de materia seca por unidad de área fotosintética y por unidad de tiempo en todas las relaciones de  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  aquí evaluadas, incluyendo a las plantas de arándano suministradas con solo  $\text{NH}_4^+$  o solo  $\text{NO}_3^-$ . Este resultado se explica porque la TAN es un parámetro cuantitativo que se calcula a partir del peso seco, mismo que durante el muestreo realizado a los 90 ddit mostró una disminución (Cuadro 7). Además, es posible que la disminución en la velocidad de asimilación neta de fotoasimilados en el muestreo realizado a los 90 ddit sea consecuencia del sombreado de hojas jóvenes a hojas viejas, lo que disminuye la disponibilidad de

radiación solar y por lo tanto la fotosíntesis (Gil y Miranda, 2007). No obstante, existieron diferencias significativas en la TAN entre los tratamientos evaluados.

El tratamiento 50/50 fue el que generó más pérdida de asimilación neta ( $-0.000295 \text{ g/cm}^2/\text{día}$ ). Para el resto de tratamientos, la TAN presentó diferencias significativas dependientes de las relaciones de  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  de los tratamientos con solo  $\text{NH}_4^+$  o solo  $\text{NO}_3^-$  y, en general, propiciaron la menor pérdida de asimilación neta en hojas de plantas de arándano. Esto indica de alguna manera que la aplicación de N suministrado como  $\text{NH}_4^+$  o como  $\text{NO}_3^-$  (Cuadro 16), limita la expansión foliar y consecuentemente redujo la intercepción de radiación limitando a su vez la elaboración de fotosintatos y reduciendo la materia seca. Así, en la segunda fecha de muestreo, parece que el suministro de ambas forma de N al menos reduce la pérdida de biomasa seca.

Para el caso de la biomasa acumulada en tallos de planta de arándano, se encontró una dinámica diferente con respecto a lo observado en hojas. En tallos, para la primera fecha de cálculo de la TAN (30 y 60 ddit), se advierten diferencias significativas dependientes de las relaciones de  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . Se observó que hubo una relación de producción de materia seca significativamente mayor en todas las relaciones de  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  aquí evaluadas. Los valores más bajos de asimilación neta para esta fecha de muestreo se obtuvieron cuando plantas de arándano fueron tratadas con solo  $\text{NH}_4^+$  o solo  $\text{NO}_3^-$ . Este comportamiento observado en tallos fue diferente para la segunda fecha de muestreo (60 a 90 ddit), donde todos los tratamientos independientemente de la forma o relación de nitrógeno promovieron la asimilación neta en hojas de plantas de arándano y estos tratamientos fueron estadísticamente similares, incluyendo  $\text{NH}_4^+$  solo o  $\text{NO}_3^-$  solo (Cuadro 16).

Es claro que un incremento en la tasa de asimilación neta involucra un aumento en la fotosíntesis (Poorter y Remkes, 1990) alternativamente se dice que el balance entre la cantidad de raíces y la cantidad de área foliar puede influir en la absorción

de agua y por lo tanto en la tasa de la fotosíntesis. Sin embargo, en el presente experimento se observa claramente en efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ , ya que la combinación de estos favoreció en general, una mayor TAN. A la fecha, no se ha documentado el efecto de las formas de N en la TAN, por lo que este hallazgo representa una primera aproximación del efecto de las formas de N en la asimilación neta en arándano.

Al respecto, Pearcy *et al.*, (1994) señalaron que la TAN es una medida de la eficiencia de las hojas para producir nuevo crecimiento vegetal y tiene mayor importancia que otras variables fisiológicas, como la tasa de crecimiento relativo (TCR). Así, Flores *et al.* (2009) mostraron que tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.) para semilla alcanzaron un valor máximo de TAN ( $10 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), a pesar de ser una especie con metabolismo C3, cuando crecieron con 100% de la radiación durante todo el ciclo de cultivo, y disminuyó en las plantas que crecieron con 40 y 70% de radiación incidente.

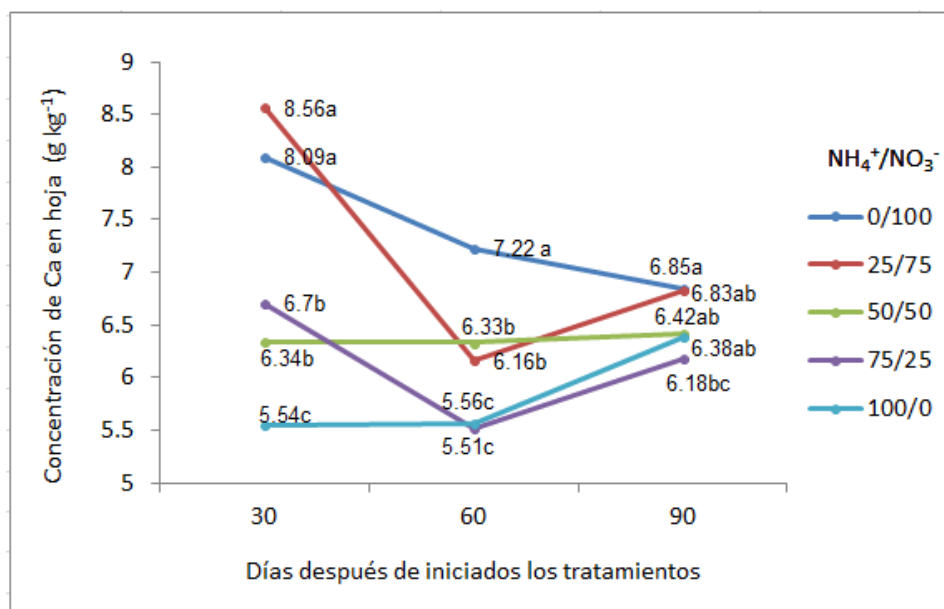
**Cuadro 16.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la tasa de asimilación neta ( $\text{g/cm}^2/\text{día}$ ) en hojas, tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Hojas		Tallo		Raíz	
	Días después de iniciados los tratamientos					
	30 a 60	60 a 90	30 a 60	60 a 90	30 a 60	60 a 90
<b>0/100</b>	0.001493 a <sup>z</sup>	-0.000129 ab	0.000027 c	0.0006871 a	0.001882 a	0.001289 a
<b>25/75</b>	0.001788 a	-0.000196 bc	0.000277 ab	0.0007781 a	0.001787 a	0.001592 a
<b>50/50</b>	0.001897 a	-0.000295 c	0.000302 ab	0.0007549 a	0.001735 a	0.001520 a
<b>75/25</b>	0.003281 a	-0.000092 ab	0.000341 a	0.0005918 a	0.001780 a	0.001588 a
<b>100/0</b>	0.001910 a	-0.000018 a	0.000179 b	0.0006493 a	0.001818 a	0.001633 a
<b>DMS<sup>y</sup></b>	0.006	0.0002	0.0001	0.0004	0.0003	0.0009
<b>CV<sup>x</sup> (%)</b>	108.35	-40.66	21.97	20.94	6.28	20.85

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P>0.05$ ), DMS<sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV<sup>x</sup>; coeficiente de variación.

### 6.13 Concentración de Ca en hojas, tallo y raíz

Las concentraciones de Ca encontradas en el presente experimento coinciden con lo reportado por Van Beusichem *et al.*, (1988), al señalar que el  $\text{NO}_3^-$  favorece la absorción de Ca en comparación con  $\text{NH}_4^+$ . A lo largo de los tres muestreos el tratamiento consistente de solo la aplicación de  $\text{NO}_3^-$ , tuvo los valores numéricos más altos y significativamente diferentes, con respecto a los demás tratamientos (Figura 5). En contraste, se observó en el tratamiento donde solo se aplicó  $\text{NH}_4^+$  tuvo los valores más bajos de concentración de Ca. En el tercer muestreo los tratamientos donde se tuvo alguna proporción de  $\text{NO}_3^-$  las hojas de arándano tuvieron una mejor concentración de Ca con relación al tratamiento donde solo se aplicó  $\text{NH}_4^+$ .



**Figura 3.** Concentración de Ca en hojas de arándano tratadas con diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (*Tukey* < 0.05).

Esta misma tendencia se observó para el tercer muestreo en el caso de la concentración de Ca en tallo y raíz. Una mayor concentración de Ca se relacionó con el suministro de  $\text{NO}_3^-$  y a medida que la proporción de  $\text{NH}_4^+$  se fue



incrementando hasta llegar solo a  $\text{NH}_4^+$ , la concentración de Ca disminuyó (Cuadro 17).

Desde la perspectiva del Ca, Kirkpatrick y Bailey (2006) indican que los iones de Ca contrarrestan los efectos perjudiciales de las altas concentraciones de iones  $\text{H}^+$  en la membrana de la célula. En este estudio, los tratamientos con mayor proporción de  $\text{NO}_3^-$  favorecieron una mayor concentración de Ca.

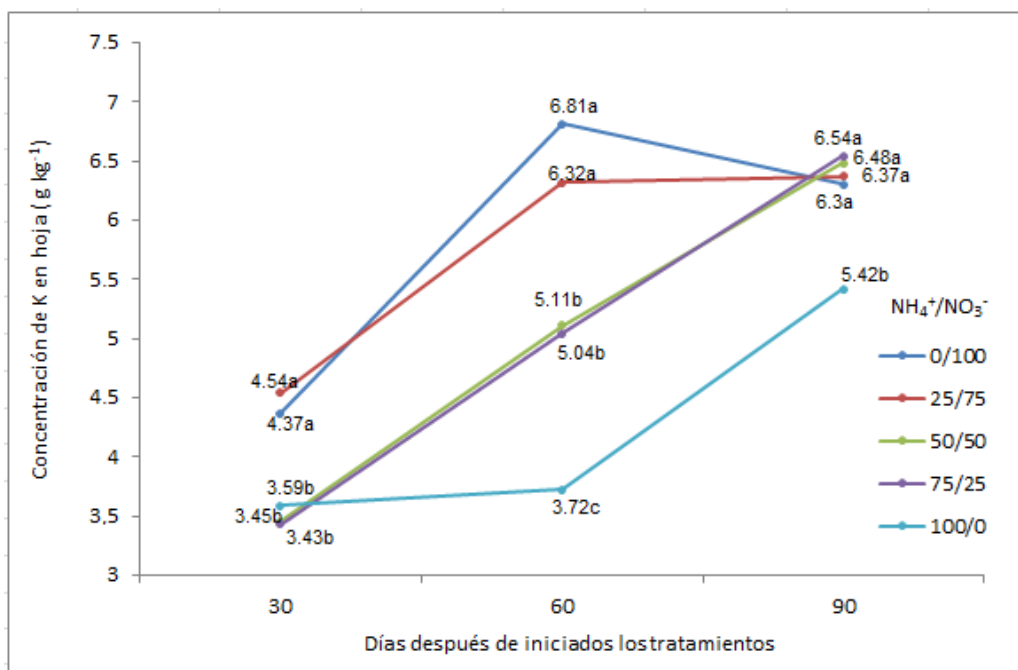
**Cuadro 17.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$  en la concentración de Ca ( $\text{g kg}^{-1}$ ) en tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Tallo	Raíz
	Días después de iniciados los tratamientos	
	90	90
0/100	1.82 a <sup>z</sup>	7.12 a
25/75	1.47 b	7.68 a
50/50	1.38 bc	5.17 b
75/25	1.36 c	4.57 b
100/0	1.38 bc	3.66 c
DMS <sup>y</sup>	0.10	0.87
CV <sup>x</sup> (%)	0.002	0.005

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P>0.05$ ), DMS<sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV<sup>x</sup>; coeficiente de variación.

#### 6.14 Concentración de K en hojas, tallo y raíz

Las concentraciones de K en hojas de arándano fueron significativamente mayores en los dos primeros muestreos para los tratamientos donde se aplicó  $\text{NO}_3^-$  o en la relación 25/75, mientras que en los tratamientos donde se igualó la relación o se incrementó el  $\text{NH}_4^+$ , la concentración de K disminuyó. En el tercer muestreo todos los tratamientos, con excepción del  $\text{NH}_4^+$  mostraron los valores más altos de concentración de K tanto en hojas (Figura 4), como en tallo y raíz (Cuadro 18). La concentración de K fue relativamente más alta en hojas en comparación a tallo y raíz.



**Figura 4.** Concentración de K en hojas de arándano tratadas con diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (*Tukey* < 0.05).

**Cuadro 18.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la concentración de K ( $\text{g kg}^{-1}$ ) en tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi.

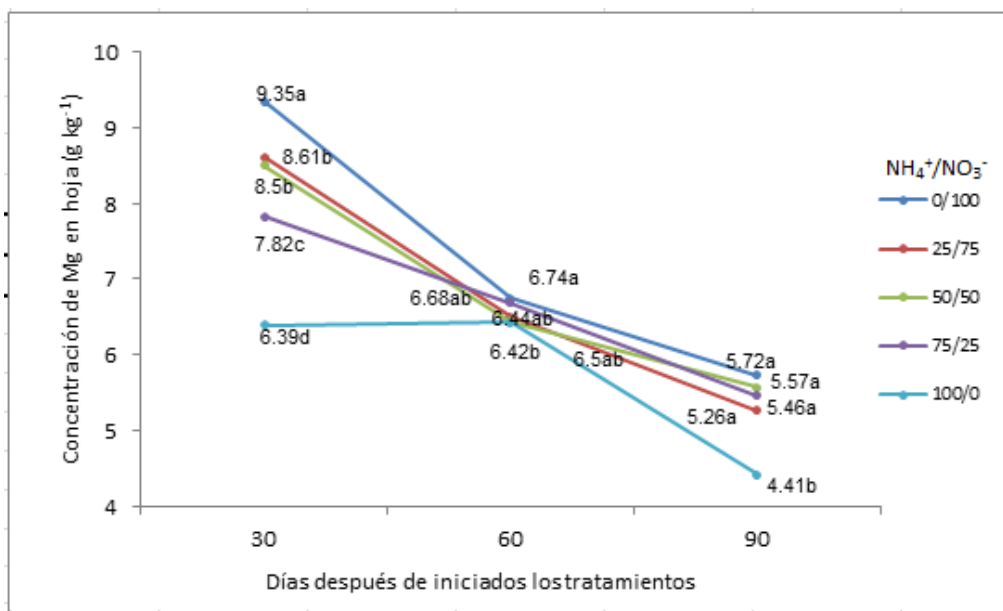
$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Días después de iniciados los tratamientos	
	Tallo	Raíz
	90 ddit	90 ddit
<b>0/100</b>	1.44 a <sup>z</sup>	0.56 b
<b>25/75</b>	1.16 b	0.64 a
<b>50/50</b>	1.07 b	0.47 c
<b>75/25</b>	1.07 b	0.54 b
<b>100/0</b>	0.74 c	0.46 c
<b>DMS<sup>y</sup></b>	0.20	0.06
<b>CV<sup>x</sup> (%)</b>	0.006	0.004

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P > 0.05$ ), *DMS<sup>y</sup>*; diferencia mínima significativa, *CV<sup>x</sup>*; coeficiente de variación.

En general, se observa que hubo una mayor concentración de K, la cual fue favorecida por el  $\text{NO}_3^-$ , lo que concuerda con Van Beusichem *et al.* (1988), al señalar que la absorción de K es favorecida por el  $\text{NO}_3^-$  comparada con el  $\text{NH}_4^+$ .

## 6.15 Concentración de Mg en hojas, tallo y raíz

En el primer muestreo, la concentración de Mg en hojas de arándano fue significativamente mayor cuando el  $\text{NO}_3^-$  constituyó la fuente de N y a medida que se fue incorporando el  $\text{NH}_4^+$  en la relación esta disminuyó significativamente, fue inversamente proporcional (Figura 5). Esta misma tendencia fue apreciada para la concentración de Mg en tallo (Cuadro 19), pero no para raíz, en donde se presentó una mayor concentración de Mg en presencia de  $\text{NH}_4^+$  y en la relación 75/25 y ésta disminuyó conforme se incorporó  $\text{NO}_3^-$ . Para los muestreos subsecuentes, se observó menor concentración de Mg el tratamiento donde solo se utilizó el  $\text{NH}_4^+$  (Figura 5). La tendencia en la concentración de Mg en hojas de arándano coincide con lo que menciona Serna *et al.*, (1992), quienes establecen que la aplicación de  $\text{NH}_4^+$  resulta en baja concentración de Mg. Lang y Kaiser, (1994), por su parte indican también que cuando el  $\text{NH}_4^+$  se constituye en la fuente de N, ocurre una reducción en la absorción del Mg que puede afectar el crecimiento de algunas plantas, aunque esta reducción depende de la especie y de las condiciones de cultivo. No obstante en la mayoría de los casos la absorción del Mg es afectada negativamente por la presencia de  $\text{NH}_4^+$  en la solución del suelo (Smart y Bloom, 1993).



**Figura 5.** Concentración de Mg en hojas de arándano tratadas con diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (*Tukey* < 0.05).

**Cuadro 19.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la concentración de Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ ) en tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi.

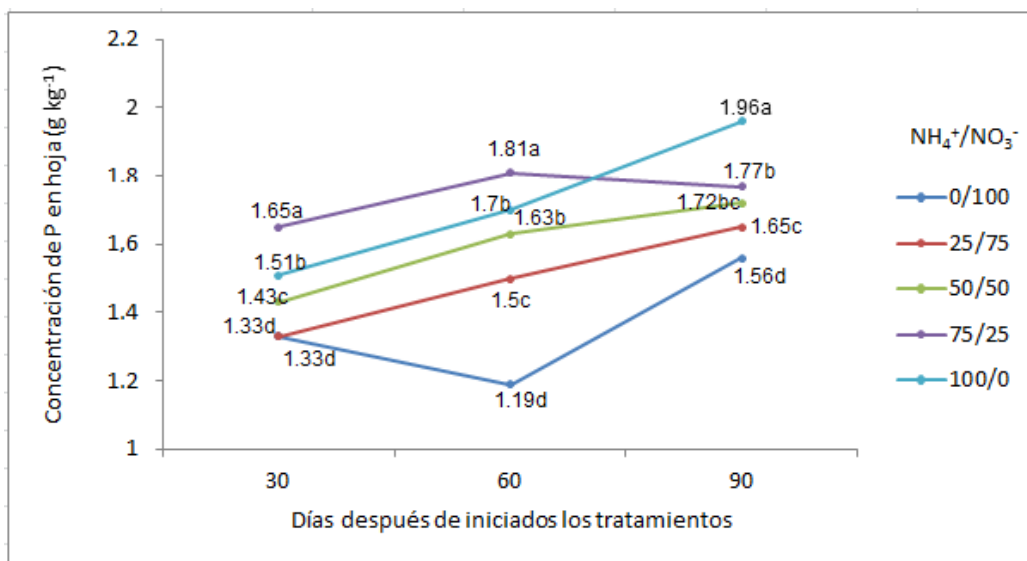
$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Tallo		Raíz
	Días después de iniciados los tratamientos		
	90	90	90
<b>0/100</b>	1.42 ab <sup>z</sup>		2.80 b
<b>25/75</b>	1.27 ab		2.47 b
<b>50/50</b>	1.41 ab		2.40 b
<b>75/25</b>	1.51 a		4.51 a
<b>100/0</b>	1.18 b		4.03 a
<b>DMS<sup>y</sup></b>	0.31		0.59
<b>CV<sup>x</sup> (%)</b>	0.008		0.006

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P > 0.05$ ), DMS<sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV<sup>x</sup>; coeficiente de variación.

## 6.16 Concentración de P en hojas, tallo y raíz

El N y el P son macronutrientes y están involucrados en el metabolismo de las plantas y en su crecimiento e interaccionan en numerosos procesos (Rufy *et al.*, 1990).

Los datos mostrados en la Figura 6 indican que en el tratamiento con  $\text{NH}_4^+$ , la concentración de P en hojas de arándano aumentó significativamente respecto a los demás tratamientos. A medida que en los tratamientos se incorporó  $\text{NO}_3^-$ , la concentración de P disminuyó significativamente de manera proporcional. Riley y Barber (1971) encontraron resultados similares en experimentos realizados con *Glycine max* encontraron que las plantas absorbieron más P y hubo mayor concentración cuando las plantas se trataron con  $\text{NH}_4^+$  comparado con el  $\text{NO}_3^-$ . Por su parte, Lee (1982) señala que en condiciones de deficiencia de P la asimilación de N se altera significativamente, en particular ocurre cuando se suministra N en forma de  $\text{NO}_3^-$ . Para el caso de la concentración de P en tallo y raíz, no se advierte una tendencia marcada por la forma de N. Los valores más altos de P en tallo se encontraron en la relación 75/25 y 50/50, mientras que para el caso de la raíz las más altas concentraciones de P se encontraron tanto en  $\text{NH}_4^+$  como en  $\text{NO}_3^-$ .



**Figura 6.** Concentración de P en hojas de arándano tratadas con diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (*Tukey* < 0.05).

**Cuadro 20.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la concentración de P ( $\text{g kg}^{-1}$ ) en tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Tallo		Raíz
	Días después de iniciados los tratamientos		
	90	90	90
0/100	1.34 bc <sup>z</sup>		1.66 a
25/75	1.24 c		1.53 b
50/50	1.42 ab		1.20 d
75/25	1.45 a		1.41 c
100/0	1.33 bc		1.77 a
DMS <sup>y</sup>	0.10		0.10
CV <sup>x</sup> (%)	0.003		0.002

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P > 0.05$ ), DMS<sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV<sup>x</sup>; coeficiente de variación.

### 6.17 Concentración de B en hojas, tallo y raíz

Inal y Tarakcioglu (2006) encontraron que en plantas de ajo (*Allium cepa* L. var. Radar) la concentración de B disminuye si las plantas son suministradas solo con

$\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$ , pero ocurre lo contrario si ambas formas de N se combinan. No se tiene documentada la relación del B en plantas de arándano con respecto a las relaciones de N, por lo que los datos aquí mostrados sugieren la misma tendencia encontrada por los autores previamente mencionados, en el sentido de que cuando se utilizó solamente  $\text{NO}_3^-$  o solamente  $\text{NH}_4^+$  las concentraciones de B mostraron los valores más bajos, mientras en las diferentes combinaciones de las formas de N aquí evaluadas las concentraciones se incrementaron significativamente, tendencias observadas para el segundo y tercer muestreo (90 ddit) (Cuadro 21).

El B es un elemento esencial que permite obtener altos rendimientos y mejorar la calidad de los cultivos. El B juega un papel en la utilización del N y por lo tanto en el metabolismo del RNA. En plantas con deficiencia de B, el  $\text{NO}_3^-$  se acumula en raíces, hojas y tallos debido a que se inhibe la reducción  $\text{NO}_3^-$  y la síntesis de aminoácidos (Inal y Tarakcioglu, 2006.).

**Cuadro 21.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la concentración de B ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en hojas, tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Hoja			Tallo	Raíz
	Días después de iniciados los tratamientos				
	30	60	90	90	90
<b>0/100</b>	80.56 a <sup>z</sup>	92.98 b	136.27 b	44.02 a	43.90 a
<b>25/75</b>	78.43 a	108.90 ab	188.21 a	39.43 ab	34.60 b
<b>50/50</b>	86.41 a	115.21 ab	247.57 a	32.21 b	42.84 a
<b>75/25</b>	90.05 a	121.86 a	214.08 a	40.34 ab	31.95 b
<b>100/0</b>	87.59 a	105.03 ab	187.12 ab	41.66 a	34.15 b
<b>DMS<sup>y</sup></b>	17.25	25.99	63.78	9.26	6.47
<b>CV<sup>x</sup> (%)</b>	7.58	8.89	13.95	8.72	6.42

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P>0.05$ ), DMS<sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV<sup>x</sup>; coeficiente de variación.

### 6.18 Concentración de Fe en hojas, tallo y raíz

Las especies del género *Vaccinium* crecen en suelos con pH ácidos (4-5.5) (Poonnachit y Darnell, 2004), con alto contenido de materia orgánica, donde el Fe

es disponible y el  $\text{NH}_4^+$  es la forma de N predominante (Williamson y Lyrene, 1998). Cuando las plantas se cultivan en suelos con pH alcalinos, con baja disponibilidad de Fe se requiere adicionar sulfuro, turba (peat moss) o acolchado (mulch) de pino, con lo que se logra incrementar la disponibilidad de Fe y de  $\text{NH}_4^+$  para mejorar el crecimiento de la planta (Korcak, 1986).

La deficiencia de Fe es caracterizada por una clorosis intervenal en hojas jóvenes, mientras que las venas permanecen verdes (Korcak, 1987). Por su parte la deficiencia de N se caracteriza por una clorosis de las hojas maduras, mientras que las jóvenes permanecen verdes. En un estudio realizado por Korcak (1988), encontró que la clorosis en hojas de *Vaccinium* incrementó y el crecimiento decreció cuando se suministra N en forma de nitrato y ocurre lo opuesto cuando se aplica  $\text{NH}_4^+$ .

Estos síntomas se asocian a la disminución de la absorción del  $\text{NO}_3^-$  comparado con el  $\text{NH}_4^+$  (Merhaut y Darnell, 1995). Sin embargo, Ponnachit y Darnell 2004 encontraron que *V. arboretum* es una especie silvestre que tiene mayor eficiencia de asimilación de Fe y de  $\text{NO}_3^-$  en suelos alcalinos comparado con *V. corymbosum*, de manera que la concentración de Fe en las plantas de arándano puede depender en parte por la especie de la que se trate. Aunque en el presente estudio se utilizó el quelato de Fe (TRADECORP® AZ), con Fe-EDTA (Fe) 7.5%. Los resultados aquí obtenidos coinciden con lo obtenido por Korcak (1988), quien encontró que el  $\text{NH}_4^+$  favoreció una mayor disponibilidad de Fe en hojas de *Vaccinium*, ya que los datos obtenidos del presente estudio advierten significativamente una mayor concentración del ion Fe. A lo largo de las tres fechas de muestreo, se encontró en los tratamientos donde se aplicó solamente  $\text{NH}_4^+$  o para el segundo muestreo donde se tuvo la relación 75/25 (Cuadro 22), presumiblemente por la condición de acidez que se generó en la rizósfera de las plantas de arándano permitiendo una mayor disponibilidad de Fe, mientras que en los demás tratamientos, la concentración de este micronutriente fue relativamente menor, tendencia que se acentuó cuando se aplicó solamente  $\text{NO}_3^-$  como una forma de N (Cuadro 22). García *et al.* (2007), señalan que la capacidad de los



compuestos de Fe para corregir deficiencias en plantas cultivadas depende de la capacidad de los compuestos de Fe para mantener su solubilidad en la solución del suelo y de la capacidad de las raíces de las plantas para asimilar este ion.

**Cuadro 22.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la concentración de Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Hoja			Tallo	Raíz
	Días después de iniciados los tratamientos				
	30	60	90	90	90
<b>0/100</b>	209.40 b <sup>z</sup>	238.14 b	314.67 c	77.22 a	1200.9 d
<b>25/75</b>	218.84 b	232.27 b	315.08 c	59.99 b	2465.2 c
<b>50/50</b>	213.76 b	241.18 b	353.54 b	53.56 b	1494.4 d
<b>75/25</b>	216.63 b	266.17 a	354.28 b	75.57 a	7776.1 a
<b>100/0</b>	239.44 a	265.82 a	426.81 a	72.37 a	6450.2 b
<b>DMS<sup>y</sup></b>	10.29	10.56	18.16	7.94	842.17
<b>CV<sup>x</sup> (%)</b>	1.74	1.58	1.91	4.36	8.08

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P>0.05$ ), DMS<sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV<sup>x</sup>; coeficiente de variación.

### 6.19 Concentración de Mn en hojas, tallo y raíz

En el primer muestreo la concentración de Mn fue mayor en los tratamientos donde solo se aplicó  $\text{NH}_4^+$  y en la relación 75/25. Esta tendencia se mantuvo para el segundo muestreo aunque también se tuvieron valores similares para las relaciones 50/50 y 25/75. Para el tercer muestreo se tuvo un comportamiento similar con relación a la concentración de Mn y, en general, a lo largo de los tres muestreos se encontró que las concentraciones significativamente menores, se presentaron en el tratamiento donde solo se aplicó  $\text{NO}_3^-$  (Cuadro 23). Se observó que las mayores concentraciones de Mn parecen ser favorecidas por el N en forma de  $\text{NH}_4^+$  utilizada en este experimento. En este sentido, los resultados aquí encontrados parecen coincidir con el hecho de que la solubilidad, la concentración en la solución del suelo, la movilidad y la disponibilidad del Mn es afectada por el pH del suelo, condición que se ve favorecida al utilizar  $\text{NH}_4^+$ , ya que a medida que

el pH del suelo se incrementa, el Mn es menos disponible para la planta (Kaur y Sadana, 2010). Además, Rollwagen y Zasoski (1988) señalan que la forma de N aplicada al suelo afecta la absorción de Mn.

**Cuadro 23.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la concentración de Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Hoja			Tallo	Raíz
	Días después de iniciados los tratamientos				
	30	60	90	90	90
<b>0/100</b>	136.48 b <sup>z</sup>	176.48 b	141.74 b	85.48 b	106.69 c
<b>25/75</b>	134.38 b	205.43 ab	131.14 b	86.38 b	150.37 ab
<b>50/50</b>	141.35 b	198.06 ab	215.34 a	92.40 b	144.14 b
<b>75/25</b>	148.14 ab	228.54 a	237.93 a	134.82 a	166.59 a
<b>100/0</b>	175.76 a	222.56 a	240.37 a	134.63 a	167.42 a
<b>DMS<sup>y</sup></b>	30.27	35.14	34.84	15.44	18.48
<b>CV<sup>x</sup> (%)</b>	7.65	6.34	6.70	5.38	4.67

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P>0.05$ ), DMS<sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV<sup>x</sup>; coeficiente de variación.

## 6.20 Concentración de Cu en hojas, tallo y raíz

Los datos aquí mostrados indican claramente que la concentración de Cu fue significativamente mayor tanto en hoja como en tallo como en raíz en tratamientos donde se aplicó  $\text{NH}_4^+$  y esta disminuyó a medida que se incrementó el suministro de  $\text{NO}_3^-$ , hasta llegar a tener los valores de concentración de este elemento en el tratamiento donde solo se utilizó  $\text{NO}_3^-$ . Para el caso de la concentración de Cu en tallos, no se advierte ninguna diferencia estadística en los tratamientos aquí evaluados (Cuadro 24). Tills y Alloway (1981) informan lo contrario en plantas de trigo, en donde la concentración de cobre disminuyó en el orden  $\text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ \text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+$ . Es decir, el Cu es afectado por altas concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  y las plantas donde se suministra  $\text{NH}_4^+$  como fuente de nitrógeno, señalan pueden tener deficiencia. Savvas, *et al*, (2003), también encontraron que la concentración de Cu en hojas de gerbera disminuye con bajo suplemento de  $\text{NH}_4^+$  y un pH alto suprime

el Cu. Por otra parte, se dice que el requerimiento de Cu de un cultivo incrementa cuando se aplica N (Mulder, 1950), pero la alta disponibilidad de N puede inducir a deficiencia de Cu. Marschner. Sonneveld y Voogt (1997) encontraron que un pH elevado en la rizósfera restringe significativamente el rendimiento y la absorción de Cu.

**Cuadro 24.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la concentración de Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Hoja			Tallo	Raíz
	Días después de iniciados los tratamientos				
	30	60	90	90	90
<b>0/100</b>	24.65 d <sup>z</sup>	37.47 bc	15.77 b	12.79 a	15.00 c
<b>25/75</b>	24.85 cd	38.52 bc	14.91 b	14.59 a	20.84 bc
<b>50/50</b>	30.14 bc	33.32 c	13.92 b	11.25 a	22.52 bc
<b>75/25</b>	34.98 b	42.86 b	23.24 a	15.88 a	29.01 ab
<b>100/0</b>	43.34 a	49.45 a	23.48 a	13.13 a	33.34 a
<b>DMS<sup>y</sup></b>	5.35	5.93	5.48	5.86	10.69
<b>CV<sup>x</sup> (%)</b>	6.31	5.47	11.16	16.13	16.48

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P>0.05$ ), DMS <sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV <sup>x</sup>; coeficiente de variación.

### 6.21 Concentración de Zn en hojas, tallo y raíz

El Zn es el segundo microelemento más abundante en los organismos, después del Fe (Broadley *et al*, 2007), sin embargo, en los cultivos, constituye uno de los micronutrientes más deficientes, particularmente en suelos con pH alcalinos. Los datos mostrados en el Cuadro 25, indican que la mayor concentración de este elemento en hojas de arándano, en el primer muestreo, ocurrió con el tratamiento donde solo se utilizó el  $\text{NH}_4^+$ , mientras que en el resto de los tratamientos su concentración fue más baja y las diferencias no fueron significativas. Para el segundo muestreo, no hubo diferencia entre las relaciones de  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en relación a la concentración de Zn en hojas y, en general, esta tendencia se mantuvo hasta el tercer muestreo excepto que la concentración más baja se

mostró en plantas de arándano tratadas solamente con  $\text{NO}_3^-$ . Por otra parte, en tallo y raíz de arándano, la concentración de Zn estuvo influenciada por la presencia de  $\text{NH}_4^+$  toda vez que las concentraciones más altas se presentaron en aquellas plantas tratadas con esta forma de N o en las relaciones 75/25, 50/50, mientras en la relación 25/75 o donde solo se suministró  $\text{NO}_3^-$  la concentración fue significativamente menor. Moraghan y Mascagni (1991), señalan que en suelos alcalinos o con alto pH se reduce la solubilidad del Zn y por lo tanto su disponibilidad ya que existe una alta adsorción del Zn por elementos constituyentes del suelo. Al igual que el Fe, el Zn, posee alta afinidad con quelatos orgánicos, de manera que la presencia quelatos naturales o sintéticos puede mejorar considerablemente la concentración de este elemento en la solución del suelo (Norvell, 1991). En hojas de arándano no se advierte un efecto de las formas de N con relación a la asimilación del Zn, pero si existe un efecto claro para su asimilación de tallos y raíz.

**Cuadro 25.** Efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la concentración de Zn ( $\text{mg}/\text{kg}^{-1}$ ) en tallo y raíz de plantas de arándano var. Biloxi.

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Hojas			Tallo	Raíz
	Días después de iniciados los tratamientos				
	30	60	90	90	90
<b>0/100</b>	93.77 b <sup>z</sup>	139.48 a	63.78 b	14.19 c	18.35 b
<b>25/75</b>	95.22 b	128.70 a	67.87 ab	17.26 bc	17.12 b
<b>50/50</b>	95.08 b	127.64 a	68.41 ab	18.58 ab	18.83 ab
<b>75/25</b>	92.98 b	131.50 a	67.15 ab	17.95 ab	22.79 a
<b>100/0</b>	109.48 a	131.07 a	71.70 a	20.86 a	22.78 a
<b>DMS<sup>y</sup></b>	7.06	15.03	6.56	3.35	4.28
<b>CV<sup>x</sup> (%)</b>	2.70	4.24	3.60	7.97	7.97

<sup>z</sup>; medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes ( $P>0.05$ ), DMS <sup>y</sup>; diferencia mínima significativa, CV <sup>x</sup>; coeficiente de variación.

## VII. CONCLUSIONES

- La altura de planta, peso fresco de tallo, lecturas SPAD y el porcentaje de nitrógeno total en hojas se incrementan conforme se adiciona  $\text{NH}_4^+$  a la solución nutritiva. El  $\text{NH}_4^+$  favorece una mayor disponibilidad de Fe y Mn en las hojas.
- La mayor tasa de asimilación neta se tuvo con los tratamientos  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y 75/25. Lo que indica que ambas formas de N estimulan eficientemente la capacidad de la planta para captura de la luz, asimilar  $\text{CO}_2$  y almacenar fotoasimilados.
- La relación 25/75 incrementa el peso seco y el diámetro de tallo.
- El área foliar, la acumulación de peso fresco y seco de raíz y la concentración de Boro en hoja, tallo y raíz, fue significativamente mejor, cuando se combinaron ambas formas de N.
- Todos los tratamientos incrementaron la acumulación de biomasa fresca y seca y la extracción nutrimental en hojas de arándano lo que sugiere que no hay un efecto marcado sobre el la fuente de N utilizado.
- La variable N-nítrico fue mayor para hojas, tallo y raíz en plantas tratadas con  $\text{NO}_3^-$ . El N-reducido fue mayor con las relaciones 25/75, 50/50 y  $\text{NH}_4^+$  en hojas y solo con  $\text{NH}_4^+$  para tallo y raíz.
- Las plantas tratadas con las relaciones 75/25 y 25/75 tuvieron mayor superficie foliar y presentaron valores significativamente más altos de extracción nutrimental.
- En este estudio se ha demostrado que las plantas de arándano utilizan eficientemente ambas formas de N principalmente cuando estas se combinan.
- Para la mayoría de los tratamientos las tasas máximas de extracción nutrimental se presentaron a los 60 ddit, durante el crecimiento vegetativo. En esta etapa el mayor porcentaje de N total se observó en los tratamientos

$\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$ . El tratamiento 75/25 acumuló la mayor cantidad de nutrientes sin diferenciar la etapa fenológica. Bajo las condiciones de este experimento, el N se trasloca principalmente hacia la raíz.

- La concentración de Ca y K en hojas, en tallos y raíces y Mg en hojas y tallo de arándano se vio favorecida por el  $\text{NO}_3^-$ .
- La concentración de P en hojas, y Cu, B en hojas, tallo y raíz, se vio favorecida por el  $\text{NH}_4^+$ . Aparentemente, otro elemento que parece ser favorecido por el  $\text{NH}_4^+$ , es el Zn.
- los tratamientos  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y 75/25 favorecen una mayor tasa de asimilación neta se tuvo. Lo que indica que ambas formas de N estimulan eficientemente la capacidad de la planta para captura de la luz, asimilar  $\text{CO}_2$  y almacenar fotoasimilados.

## VIII. LITERATURA CITADA

Albert, T., Karp, K., Starast, M. and Paal, T. 2010. The effect of mulching and pruning on the vegetative growth and yield of the half-high blueberry. *Agron. Res.* 8: 759–769.

Allen, S., Raven, J. A. and Sprent, J. I. 1988. The role of long-distance transport in intracellular pH regulation in *Phaseolus vulgaris* grown with ammonium or nitrate as nitrogen source or nodulated. *J. Exp. Bot.* 39: 513-528.

Barraza, F., Fischer, G. y Cardona, C. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el valle del Sinú medio, Colombia. *Agron. Colomb.* 22: 81-90.

Bascope, J. A. 2013. Realidad productiva del arándano en EE. UU. y México. Oficina de Estudio y Políticas Agrarias. Santiago de Chile. 30p.

Beevers, L. and Hageman, R. H. 1969. Nitrate reduction in higher plants. *An. Rev. Plant Physiol.* 20:495-522.

Berczi, A. and Moller, I. M. 2000. Redox enzymes in the plant plasma membrane and their possible roles. *Plant. Cell Env.* 23:1287-1302.

Bernal, A. A. 2010. Arándano Perfil Comercial. Secretaría de Desarrollo Rural. Dirección de Comercialización y Planeación. Colima, Colima. 43p.

Black, B. L., Fuchigami, L. H. and Coleman, G. D. 2002. Partitioning of nitrate assimilation among leaves, stems and roots of poplar. *Tree Physiol.* 22:717-724.

Bloom, A. J., Sukrapanna, S. S. and Warner, R. L. 1992. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. *Plant Physiol.* 99:1294-1301.

Brazelton, C. 2011. 2010 World blueberry acreage and production. U.S. Highbush Blueberry Council, Folsom, CA. 51p.

Bremner, L. M. and Mulvaney, C. S. 1982. Total nitrogen. pp. 595- 634. *In: Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties Agronomy 9.* Page, R., H. Miller and D.R. Keeney (eds). ASA, S. SA. A. Madison, Wisconsin, USA.

Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I. and Lux, A. 2007. Zinc in plants. *New Phytol.* 173: 677- 702.

Bryla, D. R., Shireman, A. D. and Machado, R. M. A. 2010. Effects of method and level of nitrogen fertilizer application on soil pH, electrical conductivity, and availability of ammonium and nitrate in blueberry. *Acta Hort.* 868:95–102

Bryla, R. D. 2012. Response of highbush blueberry to nitrogen fertilizer during field establishment. *Plant nutrient requirements in relation to nitrogen fertilizer supply. HortScience* 47: 917- 926.

Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. Unwin Hyman. London, Great Britain.

Burt, C., O'connor, K. and Ruehr, T. 1998. Fertigation. Irrigation Training and Research Center. CPSU. San Luis Obispo. CA. USA. 295 p.

Caruso, F. L. and Ramsdell, D.C. 1995. Compendium of blueberry and cranberry diseases. APS Press, St. Paul, MN USA.

Chapin, F. S., Bloom, A. J., Field, C. B., and Waring, R. H. 1987. Interaction of environmental factors in controlling plant growth. *BioScience* 37: 49-57.

Clark, J. R. and Moore, J. N. 1991. Southern highbush blueberry response to mulch. *HorTechnology* 1:52–54.

Correndo, A. A. y García, F. O. 2012. Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico: cultivos extensivos. *International Plant Nutrition Institute.* 8 p.

Darnell, R. L. and Hiss, S. A. 2006. Uptake and assimilation of nitrate and iron in two *Vaccinium* species as affected by external nitrate concentration. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 131:5-10.

Daubresse, M. C., Vedele, F. D., Dechorgnat, J., Chardon, F., Gaufichon, L. and Suzuki, A. 2010. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agricultura. *Ann. Bot.* 105: 1141-1157.

De Valencia, M. y Ramírez, F. 1993. Notas sobre la morfología, anatomía y germinación del agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Agron. Colomb.* 10: 151-159.

Delhaize, E. and Ryan, P. R. 1995. Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiol.* 107:315–32.

Eck, P. 1977. Nitrogen requirement of the highbush blueberry, *Vaccinium corymbosum* L. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 102:816-818.

Errebi, M. and Wilcox, G. E. 1990. Plant species response to ammonium–nitrate concentration ratios. *J. Plant Nutr.* 13: 1017–1029.



Fageria, N. K. 2009. The use of nutrients in crops plants. CRS Press. Boca Raton, FL, USA.

Finn, C. E., Rosen, C. J. and Luby, J. J. 1990. Nitrogen form and solution pH effects on root anatomy of cranberry. *HortScience* 25:1419-1421.

Flores, L. R., Sánchez, C. F., Rodríguez, P. J. E., Mora, A. R., Colinas, L. M. T. y Lozaya, S. H. 2009. Influencia de la radiación solar en la producción de semilla — tubérculo de papa bajo cultivo sin suelo. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 15: 25–30.

Forde, B. G. and Clarkson, D. T. 1999. Nitrate and ammonium nutrition of plants: Physiological and Molecular Perspectives. *Adv. Bot. Res.* 30: 1–90.

Freeman, B. 1983. Blueberry production, Agfact H3 1.4. Department of Agriculture, NSW, Australia.

García, M. J., Cantera, G. R. and Zamarreño, A. 2007. Interaction of different iron chelates with an alkaline and calcareous soil: a complementary methodology to evaluate the performance of iron compounds in the correction of iron chlorosis. *J. Plant Nutr.* 26: 1943-1954.

Gerendas, J., Zhu, Z., Bendixen, R., Ratcliffe, R.G. and Sattelmacher, B. 1997. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. *Z Pflanzenernaehr Bodenkd.* 160: 239–251.

Gil, A. I. y Miranda, D. 2007. Efecto de cinco sustratos sobre índices de crecimiento de plantas de papaya (*Carica papaya* L.) bajo invernadero. *Rev. Colomb. Cienc. Hort.* 1: 142-153.

Gil, G. 2000. Fruticultura. El potencial productivo, crecimiento vegetativo y diseño de huertos y viñedos. Colección en agricultura. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Ediciones Universidad Católica de Chile.

Glass, A. D. M., Britto, D. T., Kaiser, B. N., Jinghorn, J. R., Kronzucker, H. J., Kumar, A. Okamoto, M., Siddiqui, M. Y., Unkles, S. E. and Vidmar J.J. 2002. The regulation of nitrate and ammonium transport systems in plants. *J. Exp. Bot.* 53:855-864.

Gojon, A., Bussi, C., Grignon, C. and Salsac, L. 1991. Distribution of  $\text{NO}_3^-$  reduction between roots and shoots of peach tree seedlings as affected by  $\text{NO}_3^-$  uptake rate. *Physiol. Plant.* 82:505-512.

Good, A. G., Shrawat, A. K. and Muench, D. G. 2004. Can less yield more? Is reducing. *Trends Plant Sci.* 12:597-605.

Greidanus, T., Peterson, L. A., Schrader, L. E. and Dana, M. N. 1972. Essentiality of ammonium for cranberry nutrition. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 97:272- 277.

Hanan, J. J. 1998. *Advanced Technology for Protected Horticulture*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. p. 684.

Hanson, E. and Hancock, J. 2006. *Managing the nutrition of highbush blueberry*. Michigan State University, Extension Bulletin E-2011, 46 p.

Hart, J., Strik, B., White, L., and Yang W. 2006. *Nutrient management for blueberries in Oregon*. Oregon State University. Extension Service. EM 8918.

Heiberg, N. and Lunde, R. 2006. Effect of growth media on highbush blueberries grown in pots. *Acta Hort.* 715:219–223.

Hewitt, E. J. 1965. Sand and water culture methods used in the study of plant International Potash Institute. Florence, Italy. pp: 324-341.

Hewitt, E. J. 1966. The composition of the nutrient solution. En: Hewitt E.J. (Ed) *Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition*. Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham UK. pp. 187-246.

Hodge, A., Robinson, D. and Fitter, A. 2000. Are microorganisms more effective than plants at competing for nitrogen? *Trends in Plant Sci.* 5: 304-308.

Howard, L., Clark J. and Brownmiller, C. 2003. Antioxidant capacity and phenolic content in blueberries as affected by genotype and growing season. *J. of the Sci. Food Agri.* 83:1238-1247.

Howitt, S. M. and Udvardi, M. K. 2000. Structure, function and regulation of ammonium transporters in plants. *Biochimica et Biophysica Acta* 1465: 152–170.

Inal, A. and Tarakcioglu, C. 2006. Effects of nitrogen forms on growth, nitrate accumulation, membrane permeability, and nitrogen use efficiency of hydroponically grown bunch onion under boron deficiency and toxicity. *J. Plant Nutr.* 24: 1521-1534.

Kalt, W., Forney, C. F., Martin, A. and Prior, R. L. 1999. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *J. Agric. Food Chem.* 47: 4638-4644.

Kamei, H., Kojima, T., Hasegawa, M., Koide T., Umeda, T., Yukawa, T. and Terabe, K. 1995. Suppression of tumor cell growth by anthocyanins in vitro. *Cancer Investigation* 13: 590-594.

Kaur, A. J. and Sadana, S. U. 2010. Nitrogen source and manganese application effects on manganese dynamics in the rhizosphere of wheat cultivars grown on manganese-deficient soils. *J. Plant Nutr.* 33: 831-845.

Kirkpatrick, T. and Bailey, J. S. 2006. Calcium Sulfate versus lime as fertilizer filler: Effects on ammonium and nitrate uptake by perennial ryegrass. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 37: 733–750.

Korcak, R. F. 1986. Adaptability of blueberry species to various soil types: I. Growth and initial fruiting. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 111:816- 821.

Korcak, R. F. 1987. Iron deficiency chlorosis. *Hortic. Rev.* 9: 133-185.

Korcak, R. F. 1988. Nutrition of blueberry and other calcifuges. *Hort. Sci.* 107: 1153-1160.

Korcak, R. F., 1988. Nutrition on blueberry and other calcifuges. *Hort. Rev.* 10, 183–227.

Kowlozky, T. T. and Pallardy, S. G. 1997. Physiology of woody plants. School of Natural Resources. 377 p.

Krewer, G. and Ruter, J. 2012. Fertilizing highbush blueberries in pine bark beds. The University of Georgia. Cooperative Extension Service. College of Agricultural and Environmental Sciences. College of Family and Consumer Sciences 972:385-386.

Krugh, B., Bichham, L. and Miles, D. 1994. The solid-state chlorophyll meter, a novel instrument for rapidly and accurately determining the chlorophyll concentrations in seedling leaves. *Maize genetics cooperation. News Letter* 68: 25-27.

Lang, B. and Kaiser, W. N. 1994. Solute content and energy status of roots of barley plants cultivated at different pH on nitrate or ammonium nitrogen. *New Phytol.* 128: 451–459.

Le Bot, J., Pilbeam, D. J. and Kirkby, E. A. 1994. Plant mineral nutrition in crop production, p. 33-72. *In: A. S. Basra. (ed). Mechanisms of plant growth and improved productivity. Modern Approaches.* Marcel Dekker, New York, NY.

Lee, R. B. 1982. Selectivity and kinetics of ion uptake by barley plants following nutrient deficiency. *An. Bot.* 50: 429-449.

Lewis, O.A. M. 1986. *Plant and nitrogen Studies in Biology.* London: Edward Arnold. 100 p.

Ligarreto, M. G. A., Smith, W., Torres, A. C. A. and Ariza, C. 2013. Propagación del frutal neotropical *Vaccinium meridionale* Swartz por acodos aéreos. *Agron. Colomb.* 31: 169-175.

Maathuis, F. 2009. Physiological functions of mineral nutrients. *Curr. Op. in Plant Biol.* 12:250-258.

Macduff, J. H., and Jackson, S. B. 1991. Growth and preferences for ammonium or nitrate uptake by barley in relation to root temperature. *J. Exper. Bot.* 4: 521-53.

Marquez, A., Galvan A. and Fernandez, E. 2004. Absorción y reducción de nitrato, en el metabolismo del nitrógeno en las plantas. Almuzara Estudios, S.A. Córdoba, Argentina.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London, U. K.

Martin, I. 2003. Optimización de la nutrición nitrogenada para la aplicación a la fertirrigación de arbustos ornamentales. Tesis doctoral: Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias. Departamento de Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Madrid, España.

McClure, P. R., Kochian, L. V., Spanswick, R. M. and Shaff, J. E. 1990b. Evidence for cotransport of nitrate and protons in maize roots. II. Measurement of  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{H}^+$  fluxes with ion-selective microelectrodes. *Plant Physiol.* 93:290–2904.

McClure, P. R., Kochian, L.V., Spanswick, R. M. and Shaff, J. E. 1990a. Evidence for cotransport of nitrate and protons with ion-selective microelectrodes. *Plant Physiol.* 93:290–294.

McGregor, S. E. 1976. Insect pollination of cultivated crop plants. USDA. Washington, D.C. 411 p.

Merhaut, D. J. and Darnell, R. L. 1995. Ammonium and nitrate accumulation containerized southern highbush blueberry plants. *HortScience* 30: 1378-1381.

Merhaut, D., J and Darnell, R. L. 1996. Vegetative growth and nitrogen/carbon partitioning in blueberry as influenced by nitrogen fertilization. *J. Am. Soc. Hort.* 121:875–879.

Miller, A.J., Fan, X., Orse, M., Smith, S. J. and Well, D. M. 2007. Amino acids and nitrate as signals for the regulation of nitrogen acquisition. *J. Exp. Bot.* 59:111-119.

Molina J., V. P. 2010. Determinación del contenido de clorofila y nitrógeno foliar mediante Spad en *Vaccinium corymbosum* L. Universidad de Talca, Chile. Memoria de pregrado en Agronomía. DSpace Biblioteca de la Universidad de Talca p 43. Universidad de Talca, Chile. Disponible en <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/8151>.

Moore, J. N. and Ballington, J. R. 1990. Genetic resources of temperate fruit and nut crops. *Acta Hort.* 290: 1-974.

Moraghan, J. T. and H. J, Mascagni. 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. *In:* J.J. Mortvedt, F.R. Cox, L.M. Shuman,

R. M. Welch, eds. Micronutrients in Agriculture, book series 4. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp 371-425.

Morgan, M. A. and Jackson, W. A. 1988. Inward and outward movement of ammonium in root systems: transient responses during recovery from nitrogen deprivation in presence of ammonium. *J Exp Bot.* 39:179-191.

Norvell, W. A. 1991. Reactions of metal chelates in soils and nutrient solutions. *In:* J.J. Mortvedt, F.R. Cox, L.M. Shuman, R. M. Welch eds. Micronutrients in Agriculture, book series 4. Soil Science Society of America, Madison, WI 187-227pp.

OEIDRUS (Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable). 2011. Disponible en: <http://www.oeidrus-jalisco.gob.mx/>.

Patten, K. D., Neuendorff, E. W., Leonard, A. T. and Haby, V. 1988. Mulch and irrigation placement effects on soil chemistry properties and rabbiteye blueberry plants irrigated with sodic water. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 113:4-8.

Peterson, L. A., Stang, E. J. and Dana, M. N. 1988. Blueberry response to  $\text{NH}_4^+$ -N and  $\text{NO}_3^-$ -N. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 113:9-12.

Poonnachit, U. and Darnell, R. 2004. Effect of ammonium and nitrate on ferric chelate reductase and nitrate reductase in *Vaccinium* species. *An. Bot.* 93: 399-405.

Poorter, H. and Remkes, C. 1990. Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. *Oecologia* 83: 553-559.

Prior, R. L., Cao, G., Martin, A., Sofic, M. J., O'Brien, C., Lischner, N., Ehlenfeldt, M., Kalt, W., Kremer, J. and Mainland, M. C. 1998. Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity and variety of *Vaccinium* species. *J. Agric. Food Chem.* 46: 2686-2693.

Raab, T. K. and Terry, N. 1994. Nitrogen source regulation of growth and photosynthesis in *Beta vulgaris* L. *Plant Physiol.* 105: 1159-1166.

Riley, D. and Barber, S. A. 1971. Effect of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related to root-induced pH changes at the root-soil interface. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 35:301-306.

Rollwagen, B. A. and Zasoski, R. J. 1988. Nitrogen source effects on rhizosphere pH and nutrient accumulation by Pacific Northwest conifers. *Plant and Soil* 105: 79-86.

Rosen, C. J., Allan, D. L. and Luby, J. J. 1990. Influence of nitrogen form and solution pH on growth and nutrition of two *Vaccinium* clones. J. Am. Soc. Hort. Sci. 115:83-89.

Ruan, J., Gerenda, J., Hardter, R. and Sattelmacher, B. 2007. Effect of nitrogen form and root-zone pH on growth and nitrogen uptake of tea (*Camellia sinensis*) Plants. An. Bot. 99: 301–310.

Rufty, W. T. Jr., MacKown, T. C. and Israel, W. D. 1990. Phosphorus stress effects on assimilation of nitrate. Plant Physiol. 94: 328-333.

Salsac, L., Chaillou, S., Morot-Gaudry, J. F., Lesaint, C. and Jolivet, E. 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants. Plant Physiol. Biochem. 25:805-812.

Savvas, D., Karagianni, V., Kotsiras, A., Demopoulos, V., Karkamisi, I. and Pakou, P. 2003. Interactions between ammonium and pH of the nutrient solution supplied to gerbera (*Gerbera jamesonii*) grown in pumice. Plant and Soil. 254:393–402.

Serna, M. D., Borrás, R., Legaz, F. and Primo, M. E. 1992. The influence of nitrogen concentration and ammonium/nitrate ratio on N-uptake, mineral composition and yield of citrus. Plant and Soil. 147: 13-23.

Shaner, D. L. and Boyer, J. S. 1976. Nitrate reductase activity in maize (*Zea mays* L.) leaves. Plant Physiol. 58:499-504.

Sivasankar, S. and Oaks, A. 1996. Nitrate assimilation in higher plants: The effect of metabolites and light. Plant Physiol. Biochem. 34:609-620.

Smart, D. R. and Bloom, A. J. 1993. Relationships between the kinetics of  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  absorption and growth in the cultivated tomato *Lycopersicon esculentum* Mill. cv T-5. Plant Cell Env. 16: 259–267.

Smith, G. S., Johnston, C. M. and Cornforth, I. S. 1983. Comparison of nutrient solutions for growth of plants in sand culture. New Phytol. 94: 537-548.

Sonneveld, C. and Voogt, W. 1997. Effects of pH value and Mn application on yield and nutrient absorption with rockwool grown gerbera. Acta Hort. 450: 139–147.

Spiers, J. 1995. Substrate temperature influence root and shoot growth of southern highbush and rabbiteye blueberries. HorScience. 30: 1029-1030.

Spiers, J. M. and Stringer, S. J. 2002. `Biloxi` Southern highbush blueberry. Acta Hort. 574.

Srivastava, H. S. 1980. Regulation of nitrate reductase activity in higher plants. Phytochemistry 19:725-733.

Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15: 134-154.

Steiner, A. A. 1966. The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. *Plant Soil* 24: 434-466.

Steiner, A. A. 1968. Soilless culture. In Proc. 6th Colloq. Int. Potash Inst. Florence, Italy. pp. 324-341.

Steiner, A. A. 1980. The selective capacity of plants for ions and its importance for the composition and treatment of the nutrient solution. In Proc. 5th Int. Cong. Soilless Cult. Wageningen, The Netherlands. pp. 83-94.

Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution, proceedings of IWOSC. 1984 6th International Congress on Soilless Culture, pp. 633-650, Wageningen, The Netherlands, Apr 29-May 5, 1984.

Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. In Proc. 6th Int. Cong. Soilless Cult. pp. 633-649.

Stevenson, F. 1986. *Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*. Ed. John Wiley & Sons New York. 380 p.

Stitt, M. 1999. Nitrate regulation of metabolism and growth. *Curr Opin. Plant Biol.* 2:178-186.

Strik, B. and Yarborough, D. 2005. Blueberry production trends in North America, 1992 to 2003 and predictions for growth. *HortTechnology* 15:8-391.

Strik, B., Buller, G. and Righetti, T. 2004. Influence of rate, timing and method of nitrogen fertilizer application on uptake and use of fertilizer nitrogen, growth, and yield of June bearing strawberry. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 129:165–174.

Takamizo, T. and Sugiyama, N. 1991. Growth responses to N forms in rabbit eye and high bush blueberries. *J. Japanese Soc. Hortic. Sci.* 60:41-45.

Tasa, T., Starast, M., Vool, E., Moor, U. and Karp, K. 2012. Influence of soil type on half-highbush blueberry productivity. *Agric. Food Sci.* 21:409-420.

Tills, A. R. and Alloway, B. J. 1981. The effect of ammonium and nitrate nitrogen sources on copper uptake and amino acid status of cereals. *Plant and Soil* 62:279-290.

Tolley, H. and Rapper, R. 1986. Utilization of ammonium as a nitrogen source. Effects of ambient acidity on growth and nitrogen accumulation by soybean. *Plant Physiol.* 82:54–60.

Touraine, B., Vedele, D. F. and Forde, B. G. 2001. Nitrate uptake and its regulation, p. 1-36. In: P. J. Lea and J-F. Morot-Gaudry (eds). Plant Nitrogen. Springer-Verlag, Berlin.

Townsend, L. R. 1967. Effect of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen, separately and in combination, on the growth of the highbush blueberry. Can. J. Plant Sci. 47: 555-562.

U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 2005. Genetic Resources Information Network. [WWW.ars-grin.gov/cor/vaccin/blueberry-loci-05.xls](http://www.ars-grin.gov/cor/vaccin/blueberry-loci-05.xls).

USDA, 2010 Disponible en:

<http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1765>

Van Beusichem, M. L., Kirkby, E. A. and Bass, R. 1988. Influence of nitrate and ammonium nutrition on the uptake, assimilation and distribution of nutrients in *Ricinus communis*. Plant Physiol. 86: 914–921.

Vedele, F. D., Filleur, S. and Caboche, M. 1998. Nitrate transport: a key step in nitrate assimilation. Curr. Op. in Plant Biol. 1:235-239.

Villar, D. and Ortega, R. 2003. Medidor de clorofila. Bases teóricas y su aplicación para la fertilización nitrogenada en cultivos. Agronomía y Forestal UC. 18:4-8.

Von Wirén, N., Gazzarrini, S., Gojon, A. and Frommer, W. B. 2000. The molecular physiology of ammonium uptake and retrieval. Plant Biol. 3:254–261.

Williamson, J. G. and Miller, P. 2009. Growth and yield of southern highbush blueberry in pine bark culture under varying fertilizer regimes. Proc. Fla. State Hort. Soc. 122:14–16.

Williamson, J. W. and Lyrene, P. M. 1998. Florida's commercial blueberry industry. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Publication HS 742.

Yan, F., Schubert, S. S. and Mengel, K. 1992. Effect of low root medium pH on net proton release, root respiration, and root growth of corn (*Zea mays* L.) and broad bean (*Vicia faba* L.). Plant Physiol. 99:415–421.

Yeager, T. H., Fare, D., Lea-Cox, J., Ruter, J., Bilderback, T. E., Gilliam, C.H., Niemiera, S.L. Warren, T. E. Whitwell, R.D. Wright, and K.M. Tilt. 2007. Best management practices: guide for producing container-grown plants. Southern Nurserymen's Assoc., Marietta, G. A, USA.



Yin, Z. H. , Kaiser, W.M., Heber, U. and Raven, J. A. 1996. Acquisition and assimilation of gaseous ammonia as revealed by intracellular pH changes in leaves of higher plants. *Planta* 200: 380-387.

Le Bot, J., Pilbeam, D. J. and Kirkby, E. A. 1994. Plant mineral nutrition in crop production, p. 33-72. *In*: A. S. Basra. (ed). *Mechanisms of plant growth and improved productivity. Modern Approaches*. Marcel Dekker, New York, NY.