

# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

## RESPUESTA DEL ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum* L.) A LA FERTILIZACIÓN DE AMONIO Y NITRATO EN HIDROPONÍA CON RAÍCES SEPARADAS

JIOSHELINE ELIZABETH GURROLA NIEBLAS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2020

La presente tesis titulada: "Respuesta del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) a la fertilización de amonio y nitrato en hidroponía con raíces separadas" realizada por la alumna: Jiosheline Elizabeth Garrola Nieblas, 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. MANUEL SANDOVAL VILLA

ASESOR



DR. PROMETEO SÁNCHEZ GARCÍA

ASESOR



DR. CARLOS TREJO LÓPEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, agosto de 2020

# RESPUESTA DEL ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum* L.) A LA FERTILIZACIÓN DE AMONIO Y NITRATO EN HIDROPONÍA CON RAÍCES SEPARADAS

Jiosheline Elizabeth Gurrola Nieblas, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2020

## RESUMEN

Con la técnica de raíz separada se han estudiado variantes en el suministro de macronutrientes para cuantificar la distribución de nutrimentos en la planta y determinar cómo es su absorción. La misma técnica a veces se utiliza para inducir estrés hídrico en una sección de las raíces. En arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) no existe información sobre la respuesta fisiológica, morfológica y productiva con esta técnica de raíz separada. El arándano absorbe el nitrógeno (N) preferentemente en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Sin embargo, se desconoce que ocurre cuando se suministra  $\text{NH}_4^+$ , nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o ambos en la condición de raíz separada. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es determinar la respuesta del arándano al suministro de diferentes relaciones de  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  con la técnica de raíz separada en una, o dos etapas fenológicas o en todo el ciclo, sobre su fisiología, rendimiento y calidad de fruto. Los tratamientos consistieron en la combinación de la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  (0:100, 50:50 y 100:0) con y sin raíz separada, aplicándose en diferente etapa fenológica (vegetativa, floración, fructificación y todo el ciclo). Las variables evaluadas fueron longitud de brotes, diámetro de tallo, lecturas SPAD, concentración de N foliar en hojas, intercambio de gases (asimilación de  $\text{CO}_2$ , conductancia estomática, transpiración y concentración intracelular de  $\text{CO}_2$ ), calidad de frutos y rendimiento. Los resultados indicaron que la técnica de raíz separada no afectó a las variables morfológicas y fisiológicas evaluadas. La longitud de brotes, lecturas SPAD, concentración de N foliar y asimilación de  $\text{CO}_2$  en hojas de arándano aumentaron cuando hubo  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva. El rendimiento de la planta de arándano aumentó cuando se aplicó la relación 50:50 durante la etapa vegetativa y floración en ambos lados de la raíz separada y cuando se aplicó 100% de N como  $\text{NO}_3^-$  en etapa de fructificación en sección de la raíz separada.

**Palabras clave:** arándano, relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ; asimilación de  $\text{CO}_2$ .

**BLUEBERRY RESPONSE (*Vaccinium corymbosum* L.) TO FERTILIZATION OF AMMONIUM AND NITRATE IN HYDROPONICS WITH SEPARATE ROOT**

**Jiosheline Elizabeth Gurrola Nieblas, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2020**

**ABSTRACT**

The split root technique is used to study the effect of macronutrients supply in order to quantify its distribution in the plant and determine how their uptake occurs. The same technique is sometimes used to induce water stress in a section of the roots. In blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) there is no information on the physiological, morphological and productive response with this separate root technique. Blueberry absorbs nitrogen (N) preferably in the form of ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). However, it is unknown what occurs when  $\text{NH}_4^+$ , nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) or both are supplied in the separate root condition. Therefore, the objective of this research was to determine the response of blueberry to the supply of different  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  ratios when using the separate root technique in one, or two phenological stages or throughout the cycle, on its physiology, yield and fruit quality. The treatments consisted of the combination of the relationship  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  (0:100, 50:50 and 100:0) with and without separated root, applying it in different phenological stages (vegetative, flowering, fruiting and the whole cycle). The variables evaluated were shoot length, stem diameter, SPAD readings, leaf N concentration, gas exchange ( $\text{CO}_2$  assimilation, stomatic conductance, respiration and intracellular  $\text{CO}_2$  concentration), fruit quality and yield. The results indicated that the separate root technique did not affect the morphological and physiological variables evaluated. The length of shoots, SPAD readings, foliar N concentration and  $\text{CO}_2$  assimilation in blueberry leaves increased when there was  $\text{NH}_4^+$  in the nutrient solution. The yield of the blueberry plants increased when the 50:50 ratio was applied during the vegetative and flowering stages on both sides of the root and also when 100% of the N was applied as  $\text{NO}_3^-$  in fruiting stage in a separated root section.

**Key words:** blueberry, relation  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_2$  assimilation.

## **DEDICATORIA**

A las mujeres de mi vida Silveria Nieblas Urias, Jeanine Guadalupe Gurrola Nieblas y Janelly Itzel Gurrola Nieblas, por su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Colegio de Postgraduados por el financiamiento y el apoyo educativo para poder realizar mi maestría.

A los integrantes de mi consejo particular, Dr. Manuel Sandoval Villa, Dr. Prometeo Sánchez García y Dr. Carlos Trejo López, por todo su apoyo durante los estudios de mi postgrado y por compartir sus conocimientos conmigo y permitirme aprender de ustedes.

A la Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza por su valioso apoyo motivacional.

A mis padres Silveria Nieblas Urias y José Antonio Gurrola Rubio, mis hermanas Jeanine Guadalupe Gurrola Nieblas y Janelly Itzel Gurrola Nieblas y mi cuñado Luis R. Gálvez que siempre estuvieron brindándome apoyo y soporte para no sentirme lejos de casa.

A quienes me adoptaron como parte de su familia en esta ciudad, en especial a la Sra. Guadalupe Campos Santoyo y toda su familia, les estaré agradecida siempre.

A mis amigos de postgrado Ernesto Galicia, Diego Orozco, Marco Mora y Luis Martínez que siempre estuvieron de principio a fin trabajando a mi lado en todo momento.

A mis amigos Erick Contreras y Luis Zepeda, gracias por su amistad.

A mis amigas Yolanda Martínez, Valeria Rivera, Teresa Alemán y Alejandra Ley que siempre han estado compartiendo conmigo todos mis logros y que a pesar de la distancia siempre estuvieron para motivarme y dándome su apoyo en todo momento.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE CUADROS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	3
2.1 Objetivo General .....	3
2.1.1 Objetivos Específicos .....	3
2.2 Hipótesis General .....	3
2.2.1 Hipótesis Específicas .....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
3.1. El cultivo de arándano ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.).....	5
3.1.1. Origen.....	5
3.1.2. Importancia Económica.....	5
3.1.3. Importancia nutricional.....	6
3.2. Requerimientos del arándano .....	6
3.2.1. Clima .....	6
3.2.2. Requerimientos de pH .....	7
3.2.3. Suelo.....	7
3.2.4. Conductividad Eléctrica (CE).....	8
3.3 Raíz dividida .....	9
3.4 Fertilización nitrogenada.....	10
3.5 Absorción de $\text{NH}_4^+$ y $\text{NO}_3^-$ .....	11
3.6 Relación amonio:nitrato .....	12
3.7 Análisis de tejido vegetal.....	13
3.8 Concentración de clorofila en las hojas.....	14
3.9 Relación entre fotosíntesis y nitrógeno foliar .....	15
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
5.1 Ubicación del experimento .....	16
5.2 Material Vegetal.....	16

5.3	Tratamientos y diseño experimental .....	16
5.4	VARIABLES EVALUADAS.....	18
5.4.1.	Longitud de brotes y diámetro de tallo .....	18
5.4.2.	Lecturas SPAD .....	18
5.4.3.	Intercambio de gases.....	18
5.4.4.	Nitrógeno total.....	18
5.4.5.	Rendimiento y calidad de fruto.....	19
5.5	Análisis estadístico.....	19
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
6.1	Longitud de brotes .....	20
6.2	Diámetro de tallo .....	21
6.3	Lecturas SPAD .....	21
6.4	Nitrógeno total.....	23
6.5	Asimilación de CO <sub>2</sub> .....	24
6.6	Conductancia estomática.....	25
6.7	Transpiración .....	26
6.8	Concentración intracelular de CO <sub>2</sub> .....	28
6.9	Calidad de frutos .....	29
6.10	Rendimiento .....	32
VII.	CONCLUSIONES.....	37
VIII.	LITERATURA CITADA .....	38



## LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1.** Suministro de las formas de nitrógeno en cada sección de la raíz dividida y las etapas fenológicas en que se aplicó cada una de las relaciones amonio:nitrato..... 17
- Cuadro 2.** Representación de las etapas fenológicas de las plantas de arándano y la forma en que fue suministrado el nitrógeno (amonio, nitrato o ambos) en plantas sin división de raíz. .... 17
- Cuadro 3.** Comparación de medias de la longitud de brotes por efecto de la relación amonio:nitrato (columnas) a través del tiempo, en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de raíz (hileras). .... 21
- Cuadro 4.** Diámetro de tallo (mm) por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo, en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de raíz (hileras). .... 22
- Cuadro 5.** Efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) sobre lecturas SPAD a través del tiempo, en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de raíz (hileras). .... 23
- Cuadro 6.** Concentración de nitrógeno total en hojas por efecto de la relación amonio:nitrato (columnas) en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de raíz (hileras) a los 110 días después del trasplante. .... 24
- Cuadro 7.** Asimilación de CO<sub>2</sub> en hojas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo con y sin división de raíz (hileras). .... 26
- Cuadro 8.** Conductancia estomática en hojas por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de raíz (hileras). .... 27
- Cuadro 9.** Transpiración de las hojas de (*Vaccinium corymbosum* L.) por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo con y sin división de raíz (hileras). .... 27
- Cuadro 10.** Concentración intracelular de CO<sub>2</sub> por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo, en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de raíz (hileras). .... 28

<b>Cuadro 11.</b> Variables relativas a los frutos por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo, en plantas de arándano ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.) con y sin división de raíz (hileras). .....	30
<b>Cuadro 12.</b> Variables relativas a fruto por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo, en plantas de arándano ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.) con y sin división de raíz (hileras). .....	31
<b>Cuadro 13.</b> Variables relativas a fruto por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo, en plantas de arándano ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.) con y sin división de la raíz (hileras) a los 341 días después de iniciados los tratamientos. ....	32
<b>Cuadro 14.</b> Variables relativas a fruto por efecto de la etapa de aplicación (columnas) de la relación amonio: nitrato, en plantas de arándano ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.) con y sin división de raíz (hileras) a los 341 días después de iniciados los tratamientos. ....	34
<b>Cuadro 15.</b> Variables relativas a fruto por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) en plantas de arándano ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.) con y sin división de la raíz (hileras) a los 379 días después de iniciados los tratamientos. ....	35
<b>Cuadro 16.</b> Variables relativas a fruto por efecto de la etapa fenológica de aplicación (columnas) de la relación amonio: nitrato, en plantas de arándano ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.) con y sin división de raíz (hileras) a los 379 días después de iniciados los tratamientos. ....	36

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Relación general entre el crecimiento y rendimiento y la concentración de nutrientes en tejido vegetal (Jones, 1998).....	13
<b>Figura 2.</b> Sistema de raíz separada (Celletti <i>et al.</i> , 2020).....	16

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el hombre ha generado nuevas alternativas de cultivo para satisfacer las necesidades alimenticias que se demandan por el aumento de población. Sin embargo, vemos cada vez más suelos erosionados y contaminados. La hidroponía es una técnica que nos permite tener nuevas posibilidades de producción de cultivos en regiones donde tradicionalmente ya no es alternativa, además que permite realizar una fertilización adecuada para mayores rendimientos en menores áreas de cultivo.

El nitrógeno (N) es un nutriente esencial para las plantas debido a sus funciones químicas y fisiológicas como la síntesis de proteínas, respiración y fotosíntesis. Las plantas tienen la capacidad de asimilar N inorgánico en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Uno de los temas importantes que se deben cuidar al usar el  $\text{NH}_4^+$  como fuente de N, es que el pH de la rizosfera se modifica, lo que causa que la composición iónica cambie al igual que la selección de cationes dentro y fuera del xilema (Walterbeek, 1987).

El arándano es una frutilla que a nivel nacional ha incrementado su producción en los últimos años, se han registrado hasta un 100% más de superficie sembrada con referencia al año anterior. En México se producen más de 40 mil toneladas de arándano, teniendo como los principales productores a Jalisco, Michoacán, Sinaloa y Baja California. A nivel mundial los campos mexicanos contribuyen con el 5.3% de su producción (SIAP, 2018).

Y aunque es un cultivo de gran importancia, no se ha generado información sobre el comportamiento nutrimental y sus requerimientos nutrimentales durante todo el ciclo del cultivo, específicamente en las etapas fenológicas más importantes para la planta como la fase vegetativa, de floración y fructificación, usando el método de raíces separadas.

Esta técnica de raíz separada se ha estado utilizando en diferentes investigaciones, por ejemplo, para economizar la irrigación en diferentes cultivos, técnica conocida como secado parcial de la zona radical, también se ha utilizado para medir el incremento de las concentraciones de C y N y así determinar la relación C/N y saber la translocación de N desde los brotes a la raíz, partiendo de esta técnica también se han estudiado diferentes variantes en suministro de  $\text{NO}_3^-$  y de otros macronutrientes para saber cómo es la distribución de estos nutrientes en la planta y saber cómo es su absorción, asimismo, se ha generado información de respuestas fisiológicas, rendimiento y calidad de fruto, aplicando diferentes relaciones de  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  en cultivos como tomate (Rivera-

Espejel *et al.*, 2012). Ahora nos interesa utilizar esta técnica en arándano suministrando  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NH}_4^+$  diferencialmente y determinar el efecto en el rendimiento, calidad del fruto y fisiología.

## II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

### 2.1 Objetivo General

Determinar el efecto del suministro y la forma del nitrógeno (amonio:nitrato) y etapa fenológica de aplicación (vegetativa, floración, fructificación y todo el ciclo) en la morfología, rendimiento y absorción nutrimental en el cultivo de arándano, utilizando la técnica de raíz separada.

#### 2.1.1 Objetivos Específicos

1. Evaluar el efecto de la forma de nitrógeno (amonio:nitrato) utilizando la técnica de raíz separada, aplicado en tres etapas fenológicas (vegetativa, floración y fructificación) en la morfología de la planta de arándano.
2. Determinar el efecto de la concentración y forma de nitrógeno (amonio:nitrato) utilizando la técnica de raíz separada, aplicado en tres etapas fenológicas (vegetativa, floración y fructificación) en el rendimiento y calidad de fruto de arándano.
3. Determinar el efecto en la concentración nutrimental foliar por la forma de nitrógeno (amonio:nitrato) aplicado en tres etapas fenológicas (vegetativo, floración, fructificación y todo el ciclo) utilizando la técnica de raíz separada.

### 2.2 Hipótesis General

La técnica de raíz separada permitirá identificar la absorción y preferencia de la forma de N ( $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ) aplicado en las diferentes etapas fenológicas (vegetativo, floración, fructificación y todo el ciclo) y su efecto en el crecimiento y rendimiento de la planta.

#### 2.2.1 Hipótesis Específicas

1. La forma del nitrógeno (amonio o nitrato) aplicado en plantas con raíz separada, en alguna de sus etapas fenológicas o en todo el ciclo, afecta la morfología de la planta de arándano.
2. El amonio y el nitrato en proporciones iguales y combinadas aplicados en raíces separadas, en alguna de sus etapas fenológicas o en todo el ciclo de la planta, aumentan el rendimiento y calidad de fruto de arándano y genera una mayor floración y crecimiento.

3. La concentración nutrimental de nitrógeno en las hojas del cultivo de arándano aumenta al aplicar  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva en un sistema de raíz separada en alguna etapa fenológica o en todo el ciclo del cultivo.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. El cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.)

##### 3.1.1. Origen

El arándano es nativo del hemisferio norte, pertenece la familia Ericaceae y se ubica en el género *Vaccinium*. Este género, al que pertenecen los arándanos, incluye alrededor de 400 especies, se caracterizan por crecer de forma silvestre en su mayoría en zonas frías.

El arándano es un arbusto perenne, longevo, de ramificación basitónica, generalmente de hoja caduca y con tallos leñosos, sus flores se presentan en racimos de color blanco, sus frutos son bayas, también llamadas “berries”, frutillas o frutos del bosque que tienden a ser pequeños, coloridos y de un sabor dulce acidulado (Eck, 1997).

##### 3.1.2. Importancia Económica

En Estados Unidos el arándano se consume abundantemente como una fruta tradicional, tanto en fresco como procesado. A nivel mundial, es líder en producción, abastecimiento y consumo, con un volumen de producción que representa hasta el 48% del total.

En México la producción de “berries” ha sido de gran importancia en especial en arándano, que es una especie de las más representativas de este grupo, en la actualidad existen 3,776 ha sembradas en modalidad riego y temporal, donde los principales productores son Jalisco, Michoacán, Sinaloa y Baja California con una superficie de 3,232 ha equivalente al 85% de la producción total con un rendimiento promedio de 11 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2018).

A partir de 2014 se registró un incremento en la producción de los arándanos (103.12%) llegando a un volumen de producción de 18,031 t y en los registros agrícolas del 2018 el incremento en la producción de arándano es de 227% llegando a 40,230 t.

El principal destino de las exportaciones mexicanas de “berries” son los Estados Unidos de América, ya que dicho mercado representa más del 90% de las exportaciones de fresas, frambuesas, arándanos, moras y zarzamoras, de nuestro país (SIAP, 2018).



### **3.1.3. Importancia nutricional**

En la alimentación humana el arándano es una fuente importante de antocianinas y carotenoides, que le dan propiedades antioxidantes. En general, los antioxidantes pueden ayudar a proteger de enfermedades como cáncer, cardiovasculares y arterioesclerosis (Ostrolucka *et al.*, 2007). Los frutos del arándano son una de las mejores fuentes de fenoles de distinta naturaleza; ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas y proantocianidinas (Vásquez-Castilla *et al.*, 2012). También es considerado como uno de los productos más saludables en la actualidad por su valor nutritivo pues contiene fibra que contribuye para evitar el estreñimiento, vitamina A y C que ayuda a mejorar el sistema inmunológico y reduce el riesgo de enfermedades degenerativas y es bajo en calorías (Sellapan *et al.*, 2002; Zheng *et al.*, 2003).

Además de esta gran importancia nutricional, las hojas de arándano tienen compuestos que son parte de algunos tratamientos de la diabetes y las vías urinarias. El fruto que es rico en taninos son utilizados como antidiarreicos, antiinflamatorios y astringentes. Además, por ser una fuente importante de antocianinas son utilizados para tratar venas varicosas, porque aumenta la resistencia de los vasos sanguíneos y reducen su permeabilidad, por lo que son buenos para problemas circulatorios (De Sebastián, 2010).

## **3.2. Requerimientos del arándano**

### **3.2.1. Clima**

El clima para las variedades de arándano puede variar, la variedad Biloxi se desarrolla en zonas templadas, caluroso en el verano e inviernos fríos, se debe tener adecuada temperatura, luminosidad, humedad relativa y algo muy importante son las horas frío, que son de 150 a 200 h. De Sebastian (2010) menciona que la flor de arándano puede soportar hasta -2 y -3 °C, pero por lo general, las plantas son sensibles a temperaturas bajas y pueden presentarse daños por frío. Por otro lado, la calidad del fruto es sensible a temperaturas altas (Retamales y Hancock, 2011).

Las plantas de arándano pueden producirse en invernaderos, malla sombra, tuneles y cielo abierto. En distintos trabajos realizados con arándano se ha encontrado que utilizar tuneles de polietileno con 35% de sombreado incrementa la floración, el peso del fruto y el rendimiento que en condiciones de cielo abierto (Santos y Salame, 2012). Retamal *et al.* (2015) trabajaron con arándano en cielo abierto y con tuneles de polietileno de alta densidad y demostraron que en los tuneles se incrementa la temperatura del aire y aumenta la precocidad, el rendimiento y la

conductancia estómatomica de la planta por la radiación fotosintética activa. Es muy común el uso de malla sombra negra en arándano y en otros cultivos como lechuga y calabacita ya que se ha demostrado que aumenta el índice de área foliar y rendimiento de fruto (Sales *et al.*, 2014; Angel-Hernandez, 2017).

### **3.2.2. Requerimientos de pH**

El cultivo del arándano se adapta a suelos con pH ácidos, entre 4.4 y 5.5. Se han realizado investigaciones donde se ha manejado el ajuste de pH de 4.5 hasta 6.5 aplicando solución nutritiva con N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> solo, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> solo y N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> donde las raíces de las plantas se ven afectadas por el pH y no por la fuente de N, teniendo un mejor crecimiento en el pH de 4.5 (Rosen *et al.*, 1990).

En investigaciones de fertilización se ha demostrado que los arándanos requieren un pH de suelo de 4.5 a 5, debido a que en suelos con pH arriba de este valor, puede ocasionar deficiencias en nutrientes, como el fierro, el cual causa un efecto negativo en la cosecha (Hayden, 2001). El arándano es comúnmente fertilizado con sulfato de amonio debido a que las plantas prefieren el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> que el NO<sub>3</sub><sup>-</sup> porque ayuda a mantener un pH apropiado en el intervalo de 4.0 a 5.2 (Harmer, 1944).

### **3.2.3. Suelo**

Se indica en la literatura que el arándano tiene raíces delicadas. Esto se debe a que sus raíces son fibrosas y carecen de pelos radicales, por esta razón son las raíces jóvenes las que absorben nutrimentos. Lo anterior, hace que este cultivo tenga baja capacidad de absorción (Bañados, 2005; Abbott y Gough, 1987).

El arándano necesita suelos ligeros, debido a las características de sus raíces, las cuales no pueden explorar suelos muy compactados o pesados, el contenido de materia orgánica debe estar en un intervalo del 3 a 5%, (Undurraga y Vargas, 2013). Otra característica importante del suelo es que debe tener buena aireación con porosidad de 40%, ya que el encharcamiento es un problema grave que puede afectar a las raíces (Gayol, 2012; Williamson *et al.*, 2006).

Los suelos con capas freáticas superficiales no son recomendables para este cultivo debido a que el sistema radical de estas especies no soporta el encharcamiento ni los excesos de humedad,

cuando se presenta algo similar puede causar asfixia radical y pudriciones, lo que provoca la muerte de la planta (De Sebastian, 2010).

#### **3.2.4. Conductividad Eléctrica (CE)**

La conductividad eléctrica (CE) permite estimar indirectamente la cantidad de sales que contiene el agua de riego o un suelo.

El arándano es considerado un cultivo sensible a CE mayores de  $2.0 \text{ dS m}^{-1}$  (Patten *et al.*, 1998). Bryla *et al.* (2012) observaron que las plantas de arándano cuando son fertilizadas con más de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  presentaban síntomas de estrés por salinidad. En una investigación generada por Machado *et al.* (2012) en plantas de arándano mencionan que las plantas que fueron fertilizadas con sulfato de amonio en concentraciones de  $0.75$  y  $1.5 \text{ g L}^{-1}$  que es correspondiente a  $1.5\text{-}3.0 \text{ dS m}^{-1}$  presentaron también síntomas de estrés por salinidad los cuales mostraron reducción en el tamaño de las hojas y senescencia y las hojas viejas se tornaron necróticas.

#### **3.2.5. Poda**

Como en todas las especies frutales la poda es importante en relación con el crecimiento vegetativo y la producción de fruta, se debe llevar de la mano con la fertilización nitrogenada y los riegos, debido a que son los que harán que tenga vigor la planta. Los primeros años después de la plantación se recomienda realizar poda en donde se eliminen los brotes débiles o pequeños y se dejen únicamente los vigorosos, en plantas menores a 2 años, no es recomendable dejar fruto, solo en las que tengan mayor vigor, la poda es importante para determinar el calibre del fruto (Bañados, 2005).

Para mejorar el vigor y la sobrevivencia de la planta se realiza una poda después de la plantación en donde se remueven yemas florales (Hanson *et al.*, 2000), a partir del número de yemas florales después de la poda se puede estimar el rendimiento de la planta. Salvo *et al.* (2011) mencionan que el número de frutos se pueden estimar a partir de la densidad de yemas por rama. La eliminación de brotes durante la poda puede aumentar la calidad de los frutos y también concentrar la maduración del fruto (Strik *et al.*, 2003).

La poda anual se recomienda para la estabilidad de rendimientos a largo plazo y así tener un balance entre ramas muy viejas y jóvenes. El realizar una poda de manera correcta genera planta de buen tamaño, frutos grandes, maduración temprana y estabilidad de los rendimientos.

En investigaciones donde se han generado podas de mayor intensidad se han tenido resultados donde los diámetros ecuatoriales de los frutos son mayores en comparación con podas de menor intensidad (Muños-Vega *et al.*, 2017).

### **3.3 Raíz dividida**

La técnica es utilizada principalmente para secado parcial de la zona radical, también es conocida como PRD (partial root zone drying, por sus siglas en inglés), es una tecnología que se emplea para economizar la irrigación en diferentes cultivos. Esta consiste en dividir la raíz de un cultivo y mientras una mitad recibe humedad, la otra mitad de la raíz se deja secar. Esta técnica se ha estudiado en uva, olivo, papa, y pimiento morrón (Antolín *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2006; Dbara *et al.*, 2016). El efecto del secado parcial de la zona radical se comprueba con el contenido de ácido abscísico que tiene relación directa con el cierre de estomas, el contenido de citocinina en las hojas, peso seco, área foliar, grados °Brix y pH, por otro lado, el PRD incrementa el crecimiento de la raíz, el contenido de antocianinas y polifenoles en “berries”.

Este método de raíz separada o dividida, se ha utilizado en diferentes investigaciones, por ejemplo en plantas de trigo, para medir el incremento de las concentraciones de C y N para después determinar la relación C/N y saber la translocación de N desde los brotes a la raíz, en tales investigaciones se aplicó  $\text{NO}_3^-$  a niveles óptimos por un lado y por el otro se privó de N, dando como resultado que tanto los suministros óptimos como el limitante de N aumentaron su translocación de los brotes a la raíz (Simpson *et al.*, 1982).

En maíz se utilizó este método para conocer como responde la raíz de una planta adulta al suministro de  $\text{NO}_3^-$  en concentraciones bajas y altas, Yu *et al.* (2014) encontró que las raíces del lado donde se aplicó mayor suministro de  $\text{NO}_3^-$  aumentaron en longitud y densidad y mostraron un visible ahorro de carbono.

Por otro lado también se ha utilizado este sistema para determinar como es la distribución de algunos nutrientes que son esenciales para las plantas y que influyen en el crecimiento de la planta, de la raíz y de los brotes, Shabnam y Lqbal (2016) trabajaron con trigo, aplicando diferentes concentraciones de P en cada lado de la raíz para determinar como era su absorción, lo que encontraron es que hubo un aumento en la translocación de P en las raíces y que este nutriente es eficiente para el crecimiento de raíz y para el aumento de desarrollo de brotes. Y en tomate, utilizando diferentes concentraciones de  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  aplicando los diferentes tratamientos a cada

lado, para medir diferentes respuestas fisiológicas, de rendimiento y de calidad de fruto, en esta investigación las relaciones 50%-50% ( $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ) fue donde se obtuvieron datos con mayor altura de planta y diámetro de tallo, el rendimiento de tomate se vio beneficiado con la relación 9:3 meq  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  y también fueron los frutos que tuvieron vida de anaquel mayor (Rivera-Espejel *et al.*, 2012).

### **3.4 Fertilización nitrogenada**

Para tener un crecimiento ideal, las aplicaciones de fertilizantes deben hacerse en el momento adecuado, de acuerdo a las necesidades específicas de la planta por etapas de crecimiento y fenología.

Uno de los elementos esenciales para las plantas es el nitrógeno, se encuentra en un 78% en la atmósfera como  $\text{N}_2$ . Sin embargo, las plantas no pueden abastecer sus necesidades nutricionales tomando nitrógeno atmosférico, para poder aprovecharlo tiene que estar fijado en el suelo, las plantas tienen la capacidad de asimilar N inorgánico en forma de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  (nitrato y amonio), y lo pueden obtener por medio de la mineralización de la materia orgánica y por la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

El nitrógeno (N) es el principal elemento absorbido por las plantas, interviene en procesos fisiológicos esenciales para su crecimiento y desarrollo. Las funciones del N son del tipo estructural, osmótico y enzimática. Es constituyente estructural de paredes celulares y se encuentra en moléculas esenciales para el crecimiento de las plantas como ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas, clorofilas y alcaloides. La función osmótica está asociada al efecto del ion nitrato y a otras formas reducidas del N dentro del proceso de osmoregulación en vacuola, esta función del N como agente osmótico, que permite retener al agua en las vacuolas, ha sido considerada tanto o más importante que su función nutrimental (McIntyre, 1997; Mengel y Kirkby, 2001; Fageria, 2009).

Las plantas pueden utilizar  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  como fuente de nitrógeno, sin embargo, diversos autores han reportado que las plantas tienen un mejor crecimiento cuando su fuente de nitrógeno es de  $\text{NO}_3^-$  que con sales de  $\text{NH}_4^+$  (Mengel y Kirkby 1987). Sin embargo, se conoce que esta preferencia depende de la especie de planta. Vázquez *et al.* (2000), reportaron que las plantas de nopal presentan tasas de absorción más altas y presentan un mejor crecimiento cuando son

suministradas con  $\text{NO}_3^-$ , de igual manera Gonzales *et al.* (2009) señalan que el cultivo de cebollín tuvo mayor rendimiento al ser fertilizada con  $\text{NO}_3^-$  y observaron que tenía poca tolerancia al  $\text{NH}_4^+$ .

Se ha observado que en algunos cultivos la combinación de  $\text{NO}_3^-$  con cantidades bajas de  $\text{NH}_4^+$  produce un crecimiento mayor; sin embargo, la proporción óptima es diferente entre las distintas especies y podría cambiar con la edad de la planta (Haynes, 1986). Gonzales *et al.* (2009) manejaron diferentes relaciones de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en albahaca, y observaron mejores resultados al usar ambas fuentes (20/80  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ). En plantas de arándano se evaluó la concentración de nutrientes, utilizando diferentes relaciones de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en soluciones nutritivas con diferente pH; se encontró que los tratamientos que tuvieron mayor crecimiento fueron los que tenían una proporción  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  50/50 (Crisóstomo *et al.*, 2014).

### 3.5 Absorción de $\text{NH}_4^+$ y $\text{NO}_3^-$

Para que las plantas utilicen el N disponible en el suelo o sustrato deben ocurrir los procesos de absorción, asimilación y translocación (Daubresse *et al.*, 2010). La disponibilidad del N en el suelo dependerá de las condiciones presentes como la precipitación, tipo de suelo, temperatura y pH; y la forma en la que se absorbe el N dependerá de la especie y de la adaptación de la planta a las condiciones del suelo (Kotsiras *et al.*, 2005). Las plantas adaptadas a pH alto, prefieren el  $\text{NO}_3^-$ , mientras que las adaptadas a pH bajo absorben N en forma de  $\text{NH}_4^+$  (Maathius, 2009).

El  $\text{NH}_4^+$  es absorbido más rápido debido a que la absorción y asimilación de  $\text{NO}_3^-$  requiere de gasto de energía extra para la reducción del  $\text{NO}_3^-$  antes de ser incorporado a compuestos orgánicos (Bloom *et al.*, 1992), sin embargo, el  $\text{NH}_4^+$  en concentraciones altas puede ser tóxico para algunas plantas. No todas las plantas presentan el mismo comportamiento cuando las dos fuentes de N están presentes en el medio de cultivo (Echeverría y Sainz, 2005).

Cuando los iones de  $\text{NH}_4^+$  predominan en la solución del suelo, estos son absorbidos por las raíces y son incorporados directamente en los compuestos orgánicos como los aminoácidos. Para que los iones de  $\text{NO}_3^-$  puedan ser asimilados por las plantas, este debe ser reducido a  $\text{NO}_2^-$  por la enzima nitrato reductasa y después reducido a  $\text{NH}_4^+$  mediante la nitrito reductasa (Vedele *et al.*, 1998).

Los estudios realizados por Alt *et al.* (2017) señalan que las plantas de arándano pueden adoptar ambas formas de N ya que las tasas de absorción de N en la raíz son similares en ambas formas de

suministro de N inorgánico, sin embargo, señalan que la absorción de  $\text{NH}_4^+$  es de 2 a 8 veces mayor que la absorción de  $\text{NO}_3^-$ .

### **3.6 Relación amonio:nitrato**

Las plantas son capaces de utilizar amonio y nitrato como fuente de nitrógeno, sin embargo, el  $\text{NO}_3^-$  es más común en el suelo, por el proceso de nitrificación el amonio es oxidado por microorganismos a nitrato. Cuando se incorpora nitrógeno al suelo se hace en estas dos formas.

La relación entre el amonio y nitrato es de gran importancia, y afecta tanto a las plantas y el suelo/medio. Algunas plantas que resultan susceptibles a la toxicidad por  $\text{NH}_4^+$  son tomate, papa, frijol, cebada, fresa, cítricos, entre otros cultivos y el arándano entra en el grupo de cultivos que son más tolerables al  $\text{NH}_4^+$  (Britto y Kronzucker, 2006).

El amonio es un catión (ion con carga positiva), por lo que compite con otros cationes (potasio, calcio, magnesio) para la absorción por las raíces. En arándano se han generado investigaciones en donde el K ha tenido una mayor asimilación por la planta cuando es nutrida con N en forma de  $\text{NO}_3^-$  y se ha visto también que el Mg con nutrición a base de  $\text{NH}_4^+$  ha tenido concentraciones en niveles óptimos (Crisóstomo *et al.*, 2014).

El pH en la zona de raíces es influenciado por la forma nitrogenada ( $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$ ) que se utiliza en la fertilización; con fertilización y absorción de  $\text{NO}_3^-$ , el pH se incrementa, mientras que con fertilización y absorción de  $\text{NH}_4^+$  el pH disminuye (Cao y Tibbitts 1994). Según Marschner (1995) el  $\text{NH}_4^+$  y el  $\text{NO}_3^-$  en la solución del suelo, comprenden el 80% de los cationes y aniones extraídos por las plantas por lo que la forma de suministro de N afecta la extracción de otros cationes y aniones por lo que se modifica el pH de la rizosfera. En el cultivo de arándano se ha mencionado que las diferencias en el crecimiento vegetativo no son debidas a la fuente de N sino al pH de la solución (Peterson *et al.*, 1988; Takamizo y Sugiyama, 1991).

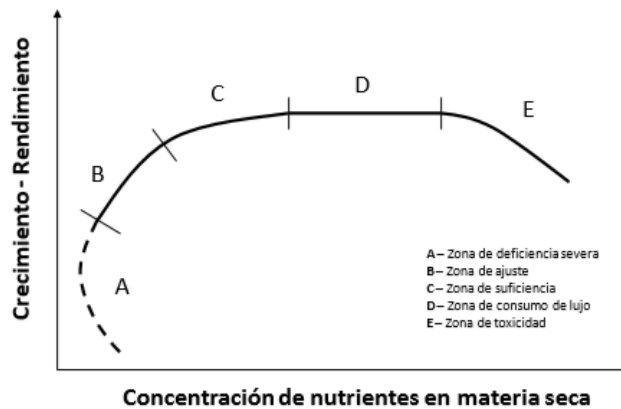
La relación amonio/nitrato puede cambiar el pH cercano a las raíces. Estos cambios en el pH pueden afectar a la solubilidad y la disponibilidad de otros nutrientes, por ejemplo, Crisóstomo (2014) menciona que para K, Ca, Mg, Mn y Zn una nutrición con  $\text{NH}_4^+$  y con pH ácidos entre 5 a 6, no genera deficiencias de estos nutrientes.

### 3.7 Análisis de tejido vegetal

Una de las herramientas más utilizadas para saber el estado nutricional de las plantas es el análisis de tejido vegetal, ya que sirven para monitorear la cantidad de nutrientes extraídos por la planta. Las hojas muestreadas para estos análisis son jóvenes, pero completamente desarrolladas, libre de plagas y enfermedades y sin residuos de algún producto aplicado foliarmente. Para que la muestra sea representativa, normalmente se toman hojas del tercio superior de la planta que estén por debajo de la última inflorescencia (Osorio, 2012).

La curva de absorción nutrimental, determina las cantidades extraídas por una planta a través de su ciclo de vida; con lo cual podemos saber o determinar que nutrientes está demandando más la planta y en que proporciones, con el fin de hacer un programa de fertilización para el cultivo y determinar en qué etapa fenológica hacer las aplicaciones (Molina *et al.*, 1993; Bertsch, 2003).

Los resultados de los análisis de macronutrientes se expresan, generalmente en  $\text{g kg}^{-1}$  de materia seca o en unidades de porcentaje relativas al peso seco, en tanto que los micronutrientes se expresan en  $\text{mg kg}^{-1}$  (equivalente a ppm), también en relación al peso seco.



**Figura 1.** Relación general entre el crecimiento y rendimiento y la concentración de nutrientes en tejido vegetal (Jones, 1998).

Hay diferentes categorías en el contenido de los nutrientes en el tejido vegetal (Figura 1), los análisis que están en los intervalos de deficiencia o bajos se asocian a síntomas visibles de deficiencias o rendimientos bajos y los que están en intervalos altos o exceso se asocian a toxicidad en la planta que producirá una mala calidad en producción (Correndo y García, 2012).



### 3.8 Concentración de clorofila en las hojas

El contenido de clorofila está asociado a las concentraciones de nitrógeno en las hojas. Evans (1989) evaluó los cambios en las particiones de N hacia la síntesis de clorofila en plantas sometidas a baja luminosidad, encontrando que la clorofila es una estimación indirecta del nitrógeno, esto ha hecho que se presente como una de las variables importantes al momento de evaluar el estatus fisiológico de las plantas (Amarante *et al.*, 2009).

En diversos estudios se ha demostrado que existe una relación directa entre el contenido de clorofila y la concentración de N en las hojas, ya que el N es necesario para la síntesis de la molécula de clorofila y además se encuentra ligado en la fase luminosa en la fotosíntesis (Salisbury y Ross, 1992).

Para realizar estas mediciones de contenido de clorofila existen diversos medidores portátiles los cuales están basados en mediciones de absorbancia con diferentes anchos de banda que varían entre el rojo y rojo lejano las cuales son utilizadas como una longitud de referencia y así crear un índice de clorofila (Markwell, 1995). El SPAD-502 es uno de los medidores portátiles más comunes, utiliza dos longitudes de onda central de 650 nm (rojo) y 940 nm (infrarrojo) (Kapotis *et al.*, 2003), la luz captada en su celda es inversamente proporcional a la luz utilizada por la clorofila, que es procesada y la absorbancia se cuantifica en valores adimensionales que van de 0 a 199 y las lecturas SPAD serán siempre las mismas, según el tono verde de las hojas (Krugh *et al.*, 1994). Callejas *et al.* (2013) realizaron una investigación donde confirma que los medidores portátiles como el SPAD-502 son eficientes y confiables para realizar mediciones de clorofila en las hojas.

En varias investigaciones se recomienda realizar el seguimiento al contenido de N y clorofila durante el desarrollo del cultivo ya que facilita el manejo nutricional de la planta (Padilla *et al.*, 2014), sin necesidad de destruir las muestras con resultados inmediatos (León *et al.*, 2007).

Hurtado *et al.* (2017) presentaron una propuesta metodológica para llevar a cabo las mediciones con el SPAD-502, mencionan que los horarios preferentes son de 10:00 am y 12:00 pm para asegurar que la hoja este expandida y sin el rocío de la mañana y para que las mediciones sean representativas tomar varias lecturas y tomar un promedio, seleccionando hojas de la parte media de la planta.

### 3.9 Relación entre fotosíntesis y nitrógeno foliar

El N es uno de los factores que generan estrés en las plantas ya sea por deficiencia o por exceso y es un factor limitante del crecimiento y de la eficiencia fotosintética de las plantas (Lamsfus *et al.*, 2003). La actividad fotosintética de las plantas se estima con la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, el cual es capturado por las plantas de manera natural ya que es necesario para cumplir ciclos fisiológicos.

En diversas investigaciones se confirma que hay una correlación entre la asimilación de CO<sub>2</sub> y la concentración de N foliar, al igual que con la conductancia estomática. La mayoría del N foliar se encuentra en los pigmentos fotosintéticos como la clorofila (Torres-Netto *et al.*, 2005) y a su vez la actividad de los pigmentos fotosintéticos puede ser considerados como un indicador de la fertilización inadecuada o un desbalance nutricional (Tanaka *et al.*, 2008). El N participa en reacciones enzimáticas, en procesos metabólicos, síntesis de proteínas, respiración, fotosíntesis y es uno de los nutrientes más demandante para el crecimiento de los cultivos, cuando la cantidad de N en el medio de cultivo no se encuentra en intervalos óptimos, el crecimiento se reduce e interfiere en estos procesos (Kraiser *et al.*, 2011). Se han realizado estudios donde se indica que las plantas con aportes de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> como fuente de N muestran una mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> y conductancia estomática que aquellas con nutrición exclusiva de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Geiger *et al.*, 1999; Guo *et al.*, 2002).

García *et al.* (1997) al trabajar con diferentes variedades de trigo y aplicando distintas dosis de N, encontraron que al haber una mayor concentración de N foliar la tasa de fotosíntesis fue mayor, encontrando valores de 10 a 48 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

Autores como Evans (1989) y Toth *et al.* (2002) mencionan que la correlación entre el contenido de N y la eficiencia fotosintética varía dependiendo del hábitat de la planta y de factores ambientales como la temperatura y la radiación.

En girasol la actividad fotosintética fue mejor a mayor concentración de N, relacionada a su vez con la acumulación de N en las hojas, cuando tuvieron una tasa fotosintética baja, las plantas estuvieron limitadas de N (Cechin y de Fátima-Fumis, 2004), lo que se le atribuye a una reducción en el contenido de clorofila y en la actividad de la enzima Rubisco, ya que el N es componente estructural de estas moléculas (Correia *et al.*, 2005).

## 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 Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México cuyas coordenadas geográficas son 19° 28' 05'' latitud norte y 98° 54' 09'' longitud oeste, a una altitud de 2,220 m.

### 5.2 Material Vegetal

Se utilizaron plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L. cv. Biloxi) con 2 años de edad, para cada unidad experimental se unieron 2 bolsas de plástico con capacidad de 16 L para crear una maceta con pared en medio para separar las raíces, estas fueron plantadas en tezontle con granulometría no mayor a 10 mm, después de ser plantadas se realizó una poda completa, dejando solamente los tallos principales sin follaje.



**Figura 2.** Sistema de raíz separada (Celletti *et al.*, 2020).

### 5.3 Tratamientos y diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar con nueve tratamientos y tres repeticiones, con un total de 27 unidades experimentales, todas las unidades experimentales presentaban raíces divididas, los tratamientos aplicados fueron tres soluciones nutritivas con diferente relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  (%): 100:0, 0:100 y 50:50, utilizando la solución nutritiva universal de Steiner al 50% de su concentración original equivalente a  $1.25 \text{ dS m}^{-1}$ , con un pH de 5.0 - 5.5, las cuales fueron cambiadas a través del tiempo, dependiendo de su etapa fenológica (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Suministro de las formas de nitrógeno en cada sección de la raíz dividida y las etapas fenológicas en que se aplicó cada una de las relaciones amonio:nitrato.

		Etapa fenológica de aplicación			
Vegetativa		Floración		Fructificación	
D1	D2	D1	D2	D1	D2
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>

D1: división 1, D2: división 2.

Además de estos tratamientos en plantas con raíz dividida, se creó otro grupo de tratamientos que se aplicaron a plantas sin división de raíz, en el cual se utilizó un diseño experimental completamente al azar con nueve tratamientos y tres repeticiones, con un total de 27 unidades experimentales y así poder comparar resultados entre ambas modalidades, los tratamientos aplicados fueron tres soluciones nutritivas con diferente relación NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (%): 100:0, 0:100 y 50:50, utilizando la solución nutritiva universal de Steiner al 50% de su concentración original equivalente a 1.25 dS m<sup>-1</sup>, con un pH de 5.0- 5.5, las cuales fueron cambiadas a través del tiempo, dependiendo de su etapa fenológica (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Representación de las etapas fenológicas de las plantas de arándano y la forma en que fue suministrado el nitrógeno (amonio, nitrato o ambos) en plantas sin división de raíz.

Descripción del tratamiento	Vegetativa	Floración	Fructificación
Testigo nitrato (100 %) todo el ciclo	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Nitrato (100 %) en EV y EF	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Nitrato (100 %) en EV	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Nitrato (50 %) y amonio (50 %) en todo el ciclo	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Nitrato (50 %) y amonio (50 %) en EV y EF	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Nitrato (50 %) y amonio (50 %) en EV	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Amonio (100 %) todo el ciclo	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Amonio (100 %) en EV y EF	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Amonio (100 %) en EV	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>

EV: etapa vegetativa, EF: etapa de floración.

## **5.4 Variables evaluadas**

### **5.4.1. Longitud de brotes y diámetro de tallo**

Se realizaron cuatro mediciones para determinar la longitud de los brotes después de iniciados los tratamientos (ddit) a través de los días, las mediciones se hicieron a los 30, 84, 124 y 169 respectivamente, para conocer el diámetro de tallo se hicieron dos mediciones a los 91 y 224 ddit.

### **5.4.2. Lecturas SPAD**

El SPAD-502, por sus siglas en inglés (Soil Plant Analysis Development), es un equipo portátil, no destructivo, que determina el verdor de las hojas y cuyas lecturas tienen una alta correlación con el contenido de N en la planta. Las lecturas se realizaron a los 76, 97, 139 y 170 ddit, para hacer estas lecturas se escogieron hojas recientemente maduras, se hicieron cuatro lecturas en diferentes puntos de la planta y se sacó un promedio para que los datos fueran representativos a toda la planta.

### **5.4.3. Intercambio de gases**

Se realizaron mediciones con un Analizador de Gases portátil y abierto en el espectro Infrarrojo (IRGA) por sus siglas en inglés (Infra Red Gas Analyzer) (PP Systems Inc.) para conocer la tasa fotosintética neta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), tasa de transpiración ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), concentración intercelular de  $\text{CO}_2$  (ppm) y conductancia estomática ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) en las hojas, se hicieron tres mediciones a los 117, 133 y 167 ddit.

### **5.4.4. Nitrógeno total**

Para determinar N total se utilizó la técnica de micro Kjeldahl (Kjeldahl, 1887), se pesó 0.1 g de muestra, se le agregaron 1.5 mL de ácido sulfúrico-salicílico y se hizo una pre-digestión por 24 h. Una vez pasado el tiempo se agregaron 0.2 mg mezcla catalizadora de sulfatos ( $\text{NaSO}_4$ , Se metálico y  $\text{CuSO}_4$ ) y se colocaron en una plancha de arena a una temperatura no mayor a  $360^\circ\text{C}$  para comenzar la digestión. Este proceso finalizó cuando la muestra tomó una coloración verde clara de aspecto acuoso. Posteriormente las muestras se dejaron enfriar y se les agregaron 10 mL de agua destilada. Después se inició la destilación, se pasaron las muestras al equipo de destilación agregando 10 mL de NaOH al 50%, el destilado se recogió en un matraz Erlenmeyer donde previamente se agregaron 20 mL de ácido bórico al 4%, más 0.2 mL de indicador verde de

bromocresol - rojo de metilo (4 gotas) hasta recibir un volumen de 50 mL. Para finalizar, la titulación se hizo con ácido sulfúrico al 0.05 N hasta que viró a una coloración ligeramente rosa. Se incluyeron 3 blancos y se realizaron los cálculos con la siguiente fórmula:

$$\text{Nitrógeno total (\%)} = \frac{(a-b) \times N \times 0.014}{P} \times 100$$

Donde:

a = mL de ácido sulfúrico al 0.05 N requerido para valorar la muestra.

b = mL de ácido sulfúrico al 0.05 N requerido para valorar el blanco.

P = peso (g) de muestra analizada.

0.014 = mili equivalente del nitrógeno (g).

N = normalidad del ácido sulfúrico.

#### **5.4.5. Rendimiento y calidad de fruto**

Para evaluar la calidad de fruto por efecto de los tratamientos, se realizaron mediciones de diámetro ecuatorial (De), diámetro polar (Dp), sólidos solubles totales (SST), peso de fruto en gramos y firmeza del fruto. Para medir diámetro se utilizó un vernier digital marca TRUPER, para SST un refractómetro marca ATAGO®, la determinación de firmeza se hizo con un penetrómetro marca WAGNER y el peso de los frutos se obtuvo con una balanza digital Scout Pro OHAUS®.

#### **5.5 Análisis estadístico**

Los datos obtenidos de las variables fueron sometidos a un análisis de varianza y a una prueba de comparación de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) mediante el programa R i386 3.6.1.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el apartado de Resultados y Discusión se hará referencia a la relación amonio:nitrato en este orden y refiriéndose a porcentajes. Asimismo, se sobrentiende que se discute sobre efectos significativos con base en la herramienta estadística utilizada.

### 6.1 Longitud de brotes

En la variable longitud de brotes no hubo diferencias significativas por efecto de la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  en plantas con raíz separada a través de los días. En el Cuadro 3 observamos que las plantas sin división de raíz tuvieron diferencias significativas a partir de los 84 DDIT; la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-100:0$  (N3) presentó los brotes más largos, y se mantuvo así hasta los 169 DDIT. La comparación de medias en referencia a la condición de raíz muestra que a los 84 DDIT los brotes de menor longitud se obtuvieron en la relación 0:100 (N1). Estos datos no coinciden con lo reportado por Crisóstomo *et al.* (2014) en donde también utilizaron proporciones  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ . Las plantas que tuvieron mayor longitud de brotes fueron los tratamientos donde se aplicaron las dos fuentes de N (50:50 y 67:33).

Las plantas con mayor crecimiento a través de los días de aplicación de los tratamientos, fueron las plantas con relación 100:0 (N3) en ambas condiciones de raíz, esto puede deberse a que el exceso de  $\text{NH}_4^+$  en etapa vegetativa-floración conduce a una producción alta de hojas, por lo tanto, un crecimiento vegetativo excesivo (Ganmore y Kafkafi, 1985). Por otro lado, la absorción de  $\text{NH}_4^+$  por las plantas de arándano es mayor que la absorción de  $\text{NO}_3^-$  (Alt *et al.*, 2017) y es asimilado de manera más rápida ayudando al crecimiento del cultivo, esto es debido a que los arándanos están adaptados a pH bajo lo que hace que prefieran el  $\text{NH}_4^+$  (Maathius, 2009). Las diferencias en el crecimiento vegetativo no son debidas a la fuente de N sino al pH de la solución y la rizósfera, en este caso los tratamientos con relación 100:0 (N3) mantuvieron un pH en solución de 5.0-5.5 y en la rizosfera se mantuvo el mismo pH, lo que no pasó con los tratamientos donde se utilizó la fuente de N como  $\text{NO}_3^-$ , ya que en la rizosfera se modificaba el pH hasta 7.6, lo que hace que otros nutrientes estén o no disponibles para la planta y se generen deficiencias nutrimentales que impidan un crecimiento óptimo Marschner (1995). El crecimiento del arándano es inhibido en pH mayor a 6.5 (Rosen y Luby 1990; Spiers *et al.*, 1992).

**Cuadro 3.** Comparación de medias de la longitud de brotes por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo, en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de raíz (hileras).

Relación Amonio: Nitrato (%)	Días después de iniciados los tratamientos				
	Raíz dividida (D)		Sin división de raíz (S)		DMSH <sub>D,S</sub>
	30				
	----- cm -----				
0:100 (N1)	9.16 a	A	8.97 a	A	1.41
50:50 (N2)	10.31 a	A	9.22 a	A	1.57
100:0 (N3)	9.48 a	A	8.59 a	A	2.05
DMSH	1.88		2.05		
	84				
0:100 (N1)	24.56 a	A	20.69 b	B	3.82
50:50 (N2)	21.83 a	A	23.40 ab	A	5.21
100:0 (N3)	24.55 a	A	26.24 a	A	3.93
DMSH	6.44		3.91		
	124				
0:100 (N1)	24.83 a	A	21.02 b	A	4.10
50:50 (N2)	21.95 a	A	24.29 b	A	5.32
100:0 (N3)	25.47 a	A	31.82 a	A	6.84
DMSH	6.90		6.63		
	169				
0:100 (N1)	26.21 a	A	22.75 c	A	4.14
50:50 (N2)	25.48 a	A	28.89 b	A	5.73
100:0 (N3)	30.09 a	B	36.99 a	A	6.59
DMSH	7.69		5.65		

DMSH (Diferencia mínima significativa), DMSH<sub>D,S</sub> (Diferencia mínima significativa por condición de raíz).

## 6.2 Diámetro de tallo

El diámetro de tallo de las plantas con raíz separada y sin división de raíz, no mostraron diferencias significativas por el efecto de la relación de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  (Cuadro 4), el valor más alto (7.33 mm) se obtuvo en las plantas con raíz separada a los 224 ddit. Sin embargo, estos datos son menores a los obtenidos por Galdamez (2005) quien obtuvo valores de 10.66 mm aplicando ambas fuentes de N (25:75 y 50:50).

## 6.3 Lecturas SPAD

En el Cuadro 5 se presentan los resultados para las lecturas SPAD con diferencias significativas en plantas con raíz separada en cada uno de los muestreos. A los 76 ddit las lecturas SPAD más



altas fueron las plantas con la relación 100:0 ( $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ) con 49.48 y a partir de la segunda toma de datos se observa que los tratamientos con las relaciones 50:50 y 100:0 no muestran diferencias significativas entre ambos. Sin embargo, se nota que a los 97 ddit los tratamientos con la relación 100:0 (N3) tienen el valor más alto (58.02) y a los 139 y 170 ddit las plantas fertilizadas con la relación 50:50 (N2) son las que tienen los índices de verdor más altos: 63.81 y 66.22 respectivamente.

**Cuadro 4.** Diámetro de tallo (mm) por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo, en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de raíz (hileras).

Relación Amonio: Nitrato (%)	Días después de iniciados los tratamientos				DMSH <sub>D-S</sub>
	Raíz dividida (D)		Sin división de raíz (S)		
	91				
0:100 (N1)	6.50 a	A	6.59 a	A	0.70
50:50 (N2)	6.34 a	A	6.54 a	A	0.54
100:0 (N3)	6.08 a	A	6.65 a	A	0.67
DMSH	0.75		0.87		
	224				
0:100 (N1)	7.24 a	A	7.04 a	A	0.85
50:50 (N2)	7.33 a	A	7.23 a	A	0.62
100:0 (N3)	7.14 a	A	7.27 a	A	0.80
DMSH	1.01		0.86		

DMSH (Diferencia mínima significativa), DMSH<sub>D-S</sub> (Diferencia mínima significativa por condición de raíz).

Por otro lado, en las plantas sin raíz separada también hubo diferencias significativas, en donde las plantas con una relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  de 100:0 fueron las que obtuvieron las lecturas más altas a los 76 y 97 hasta los 170 ddit. Los tratamientos con relación 50:50 y 100:0 son los que presentaron los índices de verdor más altos. En la comparación de medias por condición de raíz, las lecturas SPAD de la relación N1 en plantas con raíz separada a los 76 ddit presentan los valores más bajos (33.79).

Las lecturas SPAD se utilizan como indicador eficiente y rápido para estimar la concentración de clorofila y N foliar (Taiz y Zeiger, 2004). Castañeda *et al.* (2018) encontraron que el comportamiento de la clorofila de las hojas de vid se relaciona directamente con las lecturas SPAD.

En esta investigación las hojas de las plantas fertilizadas con  $\text{NH}_4^+$  al 100% (N3) fueron las plantas que tuvieron un color verde más intenso, seguidas de las plantas que fueron nutridas con la relación 50:50 (N2), esto se debe a que la absorción de  $\text{NH}_4^+$  es más rápida. Por lo tanto, la

planta puede metabolizar el N rápidamente para la síntesis de pigmentos fotosintéticos como clorofilas y carotenoides, que son las responsables de determinar el color verde que vemos en las hojas.

Comparando los resultados de la concentración de Nt en las hojas y las lecturas SPAD de esta investigación, inferimos que existe una relación directa con la concentración de N en las hojas representativas de la planta y su contenido de clorofila, coincidiendo con varias investigaciones en lechuga (León *et al.*, 2007), lisianthus (Cunha *et al.*, 2015), tomate (Hurtado *et al.*, 2017), donde se recomienda medir el contenido de clorofila para evaluar el estado nutricional de las plantas.

**Cuadro 5.** Efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) sobre lecturas SPAD a través del tiempo, en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de raíz (hileras).

Relación Amonio: Nitrato (%)	Días después de iniciados los tratamientos				
	Raíz dividida (D)		Sin división de raíz (S)		DMSH <sub>D-S</sub>
	76				
0:100 (N1)	33.79 c	B	38.87 c	A	3.23
50:50 (N2)	44.51 b	A	45.38 b	A	3.54
100:0 (N3)	49.48 a	A	51.63 a	A	3.67
DMSH	3.91		3.82		
	97				
0:100 (N1)	38.58 b	A	36.32 b	A	4.52
50:50 (N2)	54.94 a	A	56.76 a	A	5.21
100:0 (N3)	58.02 a	A	59.62 a	A	3.80
DMSH	5.47		4.93		
	139				
0:100 (N1)	39.80 b	A	40.57 b	A	6.20
50:50 (N2)	63.81 a	A	63.21 a	A	4.07
100:0 (N3)	63.69 a	A	65.99 a	A	3.18
DMSH	5.39		5.99		
	170				
0:100 (N1)	42.31 b	A	44.22 b	A	7.05
50:50 (N2)	66.22 a	A	65.49 a	A	3.30
100:0 (N3)	65.50 a	A	65.77 a	A	4.73
DMSH	6.75		7.05		

DMSH (Diferencia mínima significativa), DMSH<sub>D-S</sub> (Diferencia mínima significativa por condición de raíz).

#### 6.4 Nitrógeno total

Las concentraciones de Nt foliar encontrados en esta investigación variaron de 2.26 a 3.03%. Esta variable fue afectada por la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ . Los valores más altos se obtuvieron en la relación 50:50 (N2) en plantas con raíz separada y sin separación de la raíz, las cuales tuvieron

concentraciones de 2.86 y 3.03% de Nt respectivamente (Cuadro 6). Estos niveles de N se consideran altos según Hanson y Hancock (1996), quienes mencionan que los óptimos de N foliar deben estar entre 1.7 y 2.1%. También se ha mencionado que la concentración de N en hojas de plantas maduras de arándano deben ser mayores a 2.0% para que se considere una concentración normal, cuando son menores a 1.76% es considerada deficiente (Hart *et al.*, 2006).

Crisóstomo *et al.* (2014) observaron en su estudio concentraciones de 1.20 a 1.70%, los cuales también son considerados bajos de acuerdo a los óptimos. En la investigación realizada por Bryla *et al.* (2012), donde obtuvieron la concentración nutrimental en hojas de arándano aplicando distintas dosis de N, encontraron que a partir del primer año después de la siembra, cuando las plantas aún se encontraban jóvenes, tuvieron concentraciones más altas de las que se consideran normales. En plantas fertilizadas con 50 kg ha<sup>-1</sup> obtuvieron niveles de 2.82% y en las que se fertilizaron con 100 kg ha<sup>-1</sup> los valores fueron de 3.48%. Para el segundo año con una planta madura se obtuvieron niveles de 2.23 y 2.57% para las plantas fertilizadas con 50 y 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, estos niveles de Nt coinciden con los obtenidos en esta investigación los cuales están dentro de esos rangos en ambos muestreos. A los 110 DDIT el cultivo aún se encontraba en su etapa vegetativa y además por ser una planta joven es mayor la necesidad de N.

**Cuadro 6.** Concentración de nitrógeno total en hojas por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de raíz (hileras) a los 110 días después del trasplante.

Relación Amonio: Nitrato (%)	Raíz dividida (D)		Sin división de raíz (S)		DMSH <sub>D-S</sub>
	-----%-----				
0:100 (N1)	2.44	b A	2.26	b A	0.32
50:50 (N2)	2.86	a A	3.03	a A	0.41
100:0 (N3)	2.82	ab A	2.96	a A	0.68
DMSH	0.38		0.45		

DMSH (Diferencia mínima significativa), DMSH<sub>D-S</sub> (Diferencia mínima significativa por condición de raíz).

### 6.5 Asimilación de CO<sub>2</sub>

La asimilación de CO<sub>2</sub> en hojas de arándano fue afectada por la relación NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y la condición de raíz (separada o intacta) no tuvo un efecto en esta variable (Cuadro 7). Las plantas con raíz separada y sin dividir, fertilizadas con NO<sub>3</sub><sup>-</sup> al 100% fueron las que tuvieron menor asimilación de

CO<sub>2</sub> a través de los días, lo que se atribuye a la baja cantidad de pigmentos fotosintéticos que tuvieron, como la clorofila, que se relacionan con este comportamiento (Torres-Netto *et al.*, 2005), además que hubo una reducción en la conductancia estomática lo que ocasiona una disminución en la toma de CO<sub>2</sub> que hace que disminuya la tasa de fotosíntesis (Gouia *et al.*, 2003). Por el contrario, las plantas con una mayor asimilación de CO<sub>2</sub> se obtuvieron en la relación 50:50 (N2) y 100:0 (N3) en ambas condiciones de raíz.

A los 133 ddit en plantas con raíz dividida hubo un aumento en la tasa de fotosíntesis en las relaciones 50:50 (N2) y 100:0 (N3) con valores de 13.14 y 13.02  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  respectivamente, en este tiempo las plantas se encontraban en etapa de floración. En investigaciones realizadas en naranja y aguacate donde se evaluó la tasa de fotosíntesis, se observó una tendencia similar, encontrando que en etapa de floración la asimilación de CO<sub>2</sub> aumentó, esto en relación a que el cultivo requiere un mayor aporte de carbohidratos para satisfacer sus necesidades en esta etapa fenológica (Olarte-Ortiz *et al.*, 2001; Espíndola, 2007). A los 167 ddit la asimilación de CO<sub>2</sub> se redujo a  $<9.60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en las plantas con raíz separada y sin división de raíz, cuando las plantas se encontraban en fructificación. La disminución o reducción de asimilación de CO<sub>2</sub> según Escalante *et al.* (2008), Nava *et al.* (2009) y Vázquez (2017) es debido la cinética del intercambio de gases en la planta al transcurrir el estado de maduración del cultivo.

## 6.6 Conductancia estomática

La conductancia estomática ( $g_s$ ) de las hojas en arándano mostró una relación directa a la asimilación de CO<sub>2</sub>, las plantas fertilizadas con NO<sub>3</sub> al 100% fueron las que tuvieron una menor  $g_s$  a través de los días y las plantas con una relación 50:50 (N2) y 100:0 (N3) fueron las que tuvieron mayor  $g_s$  a partir de los 133 ddit (Cuadro 8). Está comprobado que una disminución de la  $g_s$  puede tener un efecto negativo en la asimilación de CO<sub>2</sub> y a su vez una  $g_s$  mayor con frecuencia genera una tasa de fotosíntesis mayor (Borrego *et al.*, 2001; Gilbert *et al.*, 2011; Daymond *et al.*, 2011), en esta investigación los resultados son de la misma manera, en las plantas donde las hojas tuvieron una  $g_s$  mayor, la tasa fotosintética también aumentó y viceversa.

En las medias por condición de raíz se observó que las plantas sin división de raíz con una relación 0:100 (N1) tuvieron la  $g_s$  ( $65.67 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) más baja a los 167 ddit.

**Cuadro 7.** Asimilación de CO<sub>2</sub> en hojas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo con y sin división de raíz (hileras).

Relación Amonio: Nitrato (%)	Días después de iniciados los tratamientos				
	Raíz dividida (D)		Sin división de raíz (S)		DMSH <sub>D-S</sub>
	117				
	-----μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> -----				
0:100 (N1)	4.06 b	A	5.73 b	A	2.03
50:50 (N2)	9.21 a	B	12.29 a	A	2.33
100:0 (N3)	10.78 a	A	11.03 a	A	3.01
DMSH	3.15		2.80		
	133				
0:100 (N1)	7.18 b	A	5.80 b	A	1.61
50:50 (N2)	13.14 a	A	11.28 a	A	2.66
100:0 (N3)	13.02 a	A	11.77 a	A	2.00
DMSH	2.36		3.11		
	167				
0:100 (N1)	6.81 a	A	4.21 b	B	1.66
50:50 (N2)	9.10 a	A	8.16 a	A	2.10
100:0 (N3)	8.06 a	A	9.60 a	A	2.92
DMSH	2.99		2.69		

DMSH (Diferencia mínima significativa), DMSH<sub>D-S</sub> (Diferencia mínima significativa por condición de raíz).

Los resultados mostrados en esta investigación concuerdan con Geiger *et al.* (1999) y Guo *et al.* (2002) los cuales mencionan que cuando las plantas tienen NH<sub>4</sub><sup>+</sup> como fuente de N, muestran una g<sub>s</sub> mayor que aquellas con nutrición exclusiva de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

## 6.7 Transpiración

La transpiración (T) en las plantas también se vio afectada por la relación NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, el comportamiento presentado a través del tiempo se relacionó con la asimilación de CO<sub>2</sub> y la g<sub>s</sub>. En el Cuadro 9 se observa que las plantas con la relación 50:50 (N2) y 100:0 (N3) fueron las que tuvieron mayor transpiración a través de los días y las plantas en donde la transpiración se redujo fueron las fertilizadas con NO<sub>3</sub><sup>-</sup> al 100% (N1).

Los resultados en esta investigación concuerdan con diferentes autores, los cuales mencionan que hay correlación entre funciones fisiológicas de las plantas como la g<sub>s</sub> y la T (Calderón *et al.*, 1997; Borrego *et al.*, 2001; Chavez *et al.*, 2004; Daymond *et al.*, 2011), ya que, al tener una apertura mayor de estomas, se tiene una g<sub>s</sub> mayor, lo que indica, que la tasa de fotosíntesis y la transpiración son más altas.

**Cuadro 8.** Conductancia estomática en hojas por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de raíz (hileras).

Relación Amonio: Nitrato (%)	Días después de iniciados los tratamientos				
	Raíz dividida (D)		Sin división de raíz (S)		DMSH <sub>D-S</sub>
	117				
	-----mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> -----				
0:100 (N1)	54.67 b	A	65.44 b	A	18.19
50:50 (N2)	93.67 ab	A	111.89 a	A	30.96
100:0 (N3)	125.78 a	A	91.44 ab	A	35.37
DMSH	43.66		28.07		
	133				
0:100 (N1)	65.67 b	A	72.89 b	A	22.87
50:50 (N2)	109.00 a	A	115.67 a	A	31.37
100:0 (N3)	106.56 a	A	132.67 a	A	26.40
DMSH	31.67		35.25		
	167				
0:100 (N1)	116.00 a	A	65.67 b	B	40.57
50:50 (N2)	163.44 a	A	130.22 a	A	47.37
100:0 (N3)	170.00 a	A	160.78 a	A	
DMSH	71.10		63.73		

DMSH (Diferencia mínima significativa), DMSH<sub>D-S</sub> (Diferencia mínima significativa por condición de raíz).

**Cuadro 9.** Transpiración de las hojas de (*Vaccinium corymbosum* L.) por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo con y sin división de raíz (hileras).

Relación Amonio: Nitrato (%)	Días después de iniciados los tratamientos				
	Raíz dividida (D)		Sin división de raíz (S)		DMSH <sub>D-S</sub>
	117				
	-----mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> -----				
0:100 (N1)	1.13 b	A	1.31 b	A	0.43
50:50 (N2)	1.63 ab	A	1.86 a	A	0.47
100:0 (N3)	2.27 a	A	1.57 ab	B	0.53
DMSH	0.67		0.46		
	133				
0:100 (N1)	0.90 b	A	1.08 b	A	0.31
50:50 (N2)	1.49 a	A	1.77 a	A	0.42
100:0 (N3)	1.42 a	B	1.89 a	A	0.30
DMSH	0.41		0.42		
	167				
0:100 (N1)	0.97 a	A	0.63 b	A	0.35
50:50 (N2)	1.18 a	A	1.36 a	A	0.39
100:0 (N3)	1.38 a	A	1.41 a	A	0.52
DMSH	0.51		0.45		

DMSH (Diferencia mínima significativa), DMSH<sub>D-S</sub> (Diferencia mínima significativa por condición de raíz).

## 6.8 Concentración intracelular de CO<sub>2</sub>

La concentración intracelular de CO<sub>2</sub> (Ci) únicamente mostró un efecto de la relación NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a los 117 ddit (Cuadro 10). La Ci mayor se obtuvo en las plantas fertilizadas con NO<sub>3</sub><sup>-</sup> al 100% (N1) en ambas condiciones de raíz, lo cual concuerda con los datos obtenidos de fijación de CO<sub>2</sub>, ya que al haber menor fijación de CO<sub>2</sub> en el tratamiento de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> la concentración intercelular de CO<sub>2</sub> es mayor. A partir de los 133 ddit no hubo diferencias significativas, sin embargo, hay un notorio aumento de la Ci de los 133 a los 167 ddit en ambas condiciones de raíz, esto coincide con Díaz (2002) y Chávez *et al.* (2004), quienes mencionan que cuando se incrementa la apertura de estomas y la transpiración, el contenido intercelular de CO<sub>2</sub> disminuye debido a una fijación de CO<sub>2</sub> mayor, lo cual ocurrió a los 133 ddit.

**Cuadro 10.** Concentración intracelular de CO<sub>2</sub> por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo, en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de raíz (hileras).

Relación Amonio: Nitrato (%)	Días después de iniciados los tratamientos				
	Raíz dividida (D)		Sin división de raíz (S)		DMSH <sub>D,S</sub>
117					
-----ppm-----					
0:100 (N1)	310.00 a	A	268.00 a	A	67.25
50:50 (N2)	260.00 b	A	225.67 ab	A	41.29
100:0 (N3)	272.33 b	A	215.78 b	B	26.89
DMSH	29.72		49.32		
133					
0:100 (N1)	234.78 a	B	291.67 a	A	43.73
50:50 (N2)	203.22 a	B	259.67 a	A	33.34
100:0 (N3)	221.67 a	B	263.56 a	A	35.60
DMSH	51.62		42.59		
167					
0:100 (N1)	318.00 a	A	329.33 a	A	23.39
50:50 (N2)	321.56 a	A	316.56 a	A	23.96
100:0 (N3)	340.11 a	A	317.67 a	A	23.12
DMSH	33.96		23.84		

DMSH (Diferencia mínima significativa), DMSH<sub>D,S</sub> (Diferencia mínima significativa por condición de raíz).

## 6.9 Calidad de frutos

En las variables relacionadas con el fruto hubo efecto significativo por la relación  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ . En el Cuadro 11 se observa que las plantas fertilizadas con 100%  $\text{N-NO}_3^-$  (N1) tuvieron un retraso en la maduración, por lo que en el primer corte no hubo frutos, sin embargo, las plantas a las que se le aplicó  $\text{NH}_4^+$  al 100% (N3) tuvieron frutos maduros a los 250 ddit en ambas condiciones de raíz.

El comportamiento observado en las plantas de  $\text{NO}_3^-$  al 100% se atribuye a la tasa de absorción y asimilación de este ion, ya que es más lenta que la absorción de los iones de  $\text{NH}_4^+$  (Vedele *et al.*, 1998; Alt *et al.*, 2017), además de la modificación de pH que se genera en la rizosfera por la absorción de  $\text{NO}_3^-$  (Peterson *et al.*, 1988; Marschner, 1995; Crisóstomo, 2014), ya que al encontrar un pH de 7.6 hay una disponibilidad de nutrientes baja que determinan el crecimiento correcto de la planta (Hayden, 2001; Crisóstomo, 2014) ocasionando un crecimiento lento y por lo tanto un retraso en sus etapas fenológicas.

El peso de los frutos no tuvo diferencias significativas por efecto de la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  (Cuadro 12). Los arándanos pesaron entre 0.60 a 0.77 g, Zee *et al.* (2006) reportan que ‘Biloxi’ produce frutas de tamaño mediano a pequeño con peso de 1.51 g. Sin embargo, Molina *et al.* (2008) mencionan que los arándanos deben pesar más de 0.75 g para ser aceptados en el mercado. Las plantas fertilizadas con  $\text{NH}_4^+$  produjeron frutos que están dentro de este margen.

El diámetro de los frutos de las plantas con raíz dividida no mostraron diferencias significativas, únicamente las plantas sin división de raíz, las fertilizadas con  $\text{NH}_4^+$  al 100% tuvieron un diámetro ecuatorial (De) mayor (12.28 mm). Buzeta (1997) mencionó que el De puede variar desde 0.7 a 1.5 cm, que coincide con los valores obtenidos en todos los tratamientos. En esta investigación el De varió de 10.89 a 12.28 mm que coincide con Cortés *et al.* (2016), quienes encontraron valores de 0.9 a 2.2 cm. El intervalo en el diámetro polar (Dp) fue de 8.51-9.01 mm, esta variable no se vio afectada por la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  o por la condición de raíz.

La firmeza de los frutos presentó diferencias significativas por la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ , las plantas fertilizadas con  $\text{NO}_3^-$  al 100% tuvieron menor firmeza en los frutos (2.0 lbf), mientras que donde hubo presencia de  $\text{NH}_4^+$  (N2 y N3) se presentaron frutos con mayor firmeza (2.40 a 2.95 lbf), observándose en ambas condiciones de raíz. Ehret *et al.* (2014) realizaron una investigación en donde se aplicaron distintas dosis de N utilizando sulfato de amonio y observaron que la firmeza



de los frutos aumentó en relación a la concentración de N en las hojas, en esta investigación hubo una tendencia similar, la presencia del  $\text{NH}_4^+$  generó mayor concentración de N foliar y además mayor firmeza en los frutos.

**Cuadro 11.** Variables relativas a los frutos por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo, en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de raíz (hileras).

Relación Amonio: Nitrato (%)	Días después de iniciados los tratamientos				
	Raíz dividida (D)		Sin división de raíz (S)		DMSH <sub>D-S</sub>
	250 días				
	Peso de frutos (g)				
0:100 (N1)	0 b	B	0 b	B	0
50:50 (N2)	0 b	B	0.69 a	A	9.1629e <sup>-17</sup>
100:0 (N3)	0.67 a	A	0.71 a	A	0.08
DMSH	0.07		0.03		
	Número de frutos				
0:100 (N1)	0 b	B	0 b	B	0
50:50 (N2)	0 b	B	8.00 b	A	1.14e <sup>-15</sup>
100:0 (N3)	11.11 a	A	12.11 a	A	6.26
DMSH	1.67		5.24		
	Diámetro polar (mm)				
0:100 (N1)	0 b	B	0 b	B	0
50:50 (N2)	0 b	B	8.64 b	A	8.65e <sup>-16</sup>
100:0 (N3)	8.98 a	A	9.27 a	A	0.58
DMSH	0.44		0.26		
	Diámetro ecuatorial (mm)				
0:100 (N1)	0 b	B	0 c	B	0
50:50 (N2)	0 b	B	11.34 b	A	1.95e <sup>-15</sup>
100:0 (N3)	11.77 a	B	12.29 a	A	0.39
DMSH	0.28		0.20		
	Firmeza de fruto (lbf)				
0:100 (N1)	0 b	B	0 c	B	0
50:50 (N2)	0 b	B	2.49 b	A	3.62e <sup>-16</sup>
100:0 (N3)	2.30 a	A	2.57 a	A	0.09
DMSH	0.07		0.07		
	Sólidos solubles totales (°Brix)				
0:100 (N1)	0 b	B	0 c	B	0
50:50 (N2)	0 b	B	13.09 a	A	1.48e <sup>-15</sup>
100:0 (N3)	12.33 a	A	11.97 b	A	0.42
DMSH	0.24		0.24		

.DMSH (Diferencia mínima significativa), DMSH<sub>D-S</sub> (Diferencia mínima significativa por condición de raíz).

**Cuadro 12.** Variables relativas a fruto por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo, en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de raíz (hileras).

Relación Amonio: Nitrato (%)	Días después de iniciados los tratamientos				DMSH <sub>D,S</sub>
	Raíz dividida (D)		Sin división de raíz (S)		
	254				
	Peso de frutos por planta (g)				
0:100 (N1)	0.60 a	A	0 b	B	5.07e <sup>-17</sup>
50:50 (N2)	0.53 a	A	0.70 a	A	0.18
100:0 (N3)	0.77 a	A	0.68 a	A	0.29
DMSH	0.27		0.20		
	Número de frutos				
0:100 (N1)	1.00 b	A	0 b	B	1.50e <sup>-16</sup>
50:50 (N2)	2.11 ab	B	4.66 b	A	2.10
100:0 (N3)	3.11 a	B	14.44 a	A	8.38
DMSH	1.76		7.55		
	Diámetro polar (mm)				
0:100 (N1)	8.83 a	A	0 b	B	1.55e <sup>-15</sup>
50:50 (N2)	8.51 a	A	8.69 a	A	0.62
100:0 (N3)	8.55 a	A	9.01 a	A	1.25
DMSH	1.05		0.85		
	Diámetro ecuatorial (mm)				
0:100 (N1)	11.14 a	A	0 c	B	8.22e <sup>-16</sup>
50:50 (N2)	10.89 a	A	10.93 b	A	0.71
100:0 (N3)	11.08 a	A	12.28 a	A	1.60
DMSH	1.04		1.14		
	Firmeza de fruto (lbf)				
0:100 (N1)	2.00 b	A	0 c	B	2.99e <sup>-16</sup>
50:50 (N2)	2.62 a	A	2.40 a	A	0.39
100:0 (N3)	2.95 a	A	2.72 a	A	0.42
DMSH	0.36		0.35		
	Sólidos solubles totales (°Brix)				
0:100 (N1)	11.30 a	A	0 b	B	1.34e <sup>-15</sup>
50:50 (N2)	10.49 a	A	11.77 a	A	1.76
100:0 (N3)	10.72 a	A	11.44 a	A	1.46
DMSH	1.55		1.30		

DMSH (Diferencia mínima significativa), DMSH<sub>D,S</sub> (Diferencia mínima significativa por condición de raíz).

Los SST no presentaron diferencias significativas, los frutos tuvieron niveles desde 10.49 a 11.77 °Brix. Estos resultados están por debajo de lo mencionado por autores como Zee *et al.* (2006) los cuales reportan para ‘Biloxi’ 12.27 °Brix mientras que Cortés-Rojas *et al.* (2016) reportaron 13.6 °Brix. Kushman y Ballinger (1968) propusieron un criterio de cosecha de niveles superiores a 10 °Brix y Kim *et al.* (2013) reportaron un rango desde 9.7 a 12.9 °Brix. Según Hernández *et al.* (2017) los niveles de SST encontrados en esta investigación están dentro del rango de esta variedad.

## 6.10 Rendimiento

El rendimiento que tuvieron las plantas a los 341 ddit mostró diferencias significativas por efecto de la relación de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  (Cuadro 13) y por etapa de aplicación (Cuadro 14).

Las plantas con raíz separada y con una fertilización 100%  $\text{NO}_3^-$  tuvieron menor número de frutos y rendimiento (Cuadro 13). Con únicamente  $\text{NO}_3^-$  disminuyó la concentración de N foliar, y generó un rendimiento menor, esto coincide con Hanson y Retamales (1992), Percival y Privé (2000), Hart *et al.* (2006) que observaron que el arándano fertilizado con amonio, aumenta la concentración de N foliar e incrementa el rendimiento.

**Cuadro 13.** Variables relativas a fruto por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) a través del tiempo, en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de la raíz (hileras) a los 341 días después de iniciados los tratamientos.

Relación Amonio: Nitrato (%)	Raíz dividida (D)		Sin división de raíz (S)		DMSH <sub>D,S</sub>
	Peso de fruto por planta (g)				
0:100 (N1)	1.73 a	A	1.75 a	A	0.10
50:50 (N2)	1.81 a	A	1.86 a	A	0.06
100:0 (N3)	1.75 a	A	1.77 a	A	0.15
DMSH	0.11		0.13		
Número de frutos					
0:100 (N1)	186.56 b	A	211.11 a	A	209.31
50:50 (N2)	508.44 a	A	400.56 a	A	199.82
100:0 (N3)	428.11 a	A	424.11 a	A	247.79
DMSH	227.67		232.90		
Rendimiento (g)					
0:100 (N1)	329.10 b	A	390.79 a	A	394.73
50:50 (N2)	921.57 a	A	739.69 a	A	359.12
100:0 (N3)	766.58 a	A	767.70 a	A	470.15
DMSH	428.41		417.11		

DMSH (Diferencia mínima significativa), DMSH<sub>D,S</sub> (Diferencia mínima significativa por condición de raíz).

En el Cuadro 14 se aprecia que hubo diferencias significativas por efecto de la etapa de aplicación de la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ , en ambas condiciones de raíz. La etapa de aplicación E3 fue donde se encontraron frutos de mayor peso. En los datos obtenidos en esta investigación se observa que cuando las plantas con raíz dividida tuvieron una nutrición con la relación 50:50 (N2) en etapa vegetativa y floración y un cambio a  $\text{NO}_3^-$  al 100% en etapa de fructificación, se encontraron frutos con mayor peso (1.82 g). Mientras que las plantas sin división de raíz donde se aplicó la relación 50:50 (N2) en etapa vegetativa y se cambió a  $\text{NO}_3^-$  al 100% en floración y fructificación tuvieron

frutos con mayor peso (1.87 g). En ambas condiciones de raíz el T6 fue el que tuvo frutos con mayor peso.

Los frutos alcanzaron un peso promedio de 1.72 a 1.87 g, estos valores son mayores a los reportados por Hernández *et al.* (2014) y Cortés-Rojas (2016) quienes obtuvieron un peso promedio en frutos de arándano ‘Biloxi’ de 1.55 y 1.36 g respectivamente, Ehlenfeldt y Prior (2001) señalan que el peso de los arándanos varía entre 0.7 y 2.1 g.

El número de frutos obtenidos no fue afectado por la etapa de aplicación en las plantas con raíz dividida, únicamente hubo diferencias significativas en las plantas sin división de raíz, cuando se aplicó  $\text{NH}_4^+$  al 100% en etapa vegetativa y se cambió a  $\text{NO}_3^-$  al 100% en etapa de floración y fructificación, tuvieron mayor número de frutos (T9).

La etapa de aplicación de la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  no afectó el rendimiento de las plantas con raíz dividida. Sin embargo, con la información recopilada se observa que al aplicar la relación 50:50 (N2) en etapa vegetativa y floración y  $\text{NO}_3^-$  al 100% en etapa de fructificación aumenta el rendimiento (T6). Por otro lado, las plantas sin división de raíz tuvieron mayor rendimiento cuando se fertilizó con  $\text{NH}_4^+$  al 100% en etapa vegetativa y se cambió a  $\text{NO}_3^-$  al 100% en etapa de floración y fructificación (T9).

Las plantas de arándano utilizan eficientemente ambas formas de N principalmente cuando estas se combinan (Galdamez, 2015). Cuando hay  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva, se incrementa la absorción de N hasta un 75%, contra lo que absorben cuando se fertiliza exclusivamente con  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$  (Antúnez-Ocampo *et al.*, 2014), y se genera mayor rendimiento (Hart *et al.*, 2006). Sandoval-Villa *et al.* (2001) reportaron que no hubo diferencias significativas en el rendimiento de tomate al utilizar diferentes relaciones de  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  en diferentes etapas fenológicas y en todo el ciclo del cultivo. Por otro lado, Romero *et al.* (2002) manejaron distintos porcentajes de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en tomate por etapas fenológicas y reportaron efectos positivos en el rendimiento cuando la proporción fue 75:25 en etapa vegetativa, 25:75 en fructificación y 25:75 en cosecha.

A los 379 ddit se realizó el último corte de frutos. Se encontraron diferencias significativas por efecto de la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ . Las plantas con raíz separada que tuvieron mayor número de frutos y rendimiento fueron las fertilizadas con la relación 50:50, mientras que las plantas fertilizadas con 100% de  $\text{NO}_3^-$  tuvieron menor número de frutos y un menor rendimiento en ambas condiciones de raíz (Cuadro 15). Las plantas sin división de raíz no presentaron diferencias significativas en el rendimiento por efecto de la relación de  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ .

**Cuadro 14.** Variables relativas a fruto por efecto de la etapa de aplicación (columnas) de la relación amonio: nitrato, en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de raíz (hileras) a los 341 días después de iniciados los tratamientos.

Etapa de aplicación	Raíz dividida (D)		Sin división de raíz (S)		DMSH <sub>D,S</sub>
	Peso de fruto por planta (g)				
TC (E1)	1.68 b	A	1.72 b	A	0.12
F (E2)	1.79 ab	A	1.79 ab	A	0.12
FR (E3)	1.82 a	A	1.87 a	A	0.06
DMSH	0.11		0.13		
Número de frutos					
TC (E1)	330.33 a	A	291.00 ab	A	280.28
F (E2)	347.67 a	A	240.00 b	A	182.48
FR (E3)	445.11 a	A	504.78 a	A	231.66
DMSH	227.67		232.90		
Rendimiento (g)					
TC (E1)	570.71 a	A	508.94 b	A	498.60
F (E2)	635.04 a	A	445.63 b	A	355.16
FR (E3)	811.49 a	A	943.60 a	A	432.06
DMSH	428.41		417.11		

TC (Todo el ciclo), F (Floración), FR (Fructificación).

DMSH (Diferencia mínima significativa), DMSH<sub>D,S</sub> (Diferencia mínima significativa por condición de raíz).

Las plantas utilizadas en esta investigación fueron de 2 años de edad, los resultados obtenidos en rendimiento son mayores que los reportados por Cortés-Rojas *et al.* (2016), quienes investigaron el efecto de la edad de las plantas de arándano ‘Biloxi’ en el rendimiento por planta, reportan que las plantas de 36 y 20 meses de edad tuvieron una producción de 1,531 g/planta y 737 g/planta respectivamente en 28 semanas, tomando en cuenta la edad de las plantas de esta investigación ambos valores son menores a los obtenidos a los 379 DDIT; el mayor rendimiento fue de 1,777 g/planta y el mínimo de 751 g/planta.

El rendimiento mayor en las plantas donde se aplicó la relación 50:50 se atribuye a que al coexistir ambas fuentes de N en la rizosfera se genera un mejor balance de absorción entre cationes y aniones. En fresa se realizó una investigación donde se evaluaron relaciones  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ , las plantas con ambas fuentes de N (25:75) incrementaron rendimiento, mientras que las plantas fertilizadas con  $\text{NO}_3^-$  (0:100) disminuyeron rendimiento (Tabatabaei *et al.*, 2006).

**Cuadro 15.** Variables relativas a fruto por efecto de la relación amonio: nitrato (columnas) en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de la raíz (hileras) a los 379 días después de iniciados los tratamientos.

Relación Amonio: Nitrato (%)	Raíz separada		Sin división de raíz		DMSH <sub>D-S</sub>
	Número de frutos por planta				
0:100 (N1)	459.22 b	A	416.33 b	A	278.17
50:50 (N2)	978.78 a	A	784.44 a	A	339.38
100:0 (N3)	774.44 ab	A	772.56 a	A	388.50
DMSH	428.88		315.79		
Rendimiento (g planta <sup>-1</sup> )					
0:100 (N1)	810.60 b	A	751.72 a	A	524.58
50:50 (N2)	1777.59 a	A	1451.99 a	A	615.60
100:0 (N3)	1390.06 ab	A	1398.32 a	A	763.31
DMSH	798.48		593.32		

DMSH (Diferencia mínima significativa), DMSH<sub>D-S</sub> (Diferencia mínima significativa por condición de raíz).

La etapa fenológica de aplicación de la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  no afectó el rendimiento para segundo corte (379 ddit), sin embargo, se observa que las plantas con la etapa de fructificación, en ambas condiciones de raíz, fueron las que tuvieron más frutos y mayor rendimiento (Cuadro 16).

Por lo tanto, hay consistencia, aunque sin diferencias significativas, en que cuando las plantas con raíz dividida son fertilizadas con la relación 50:50 en etapa vegetativa y floración y en etapa de fructificación con 100% de  $\text{NO}_3^-$  hay un aumento en el rendimiento. En contraste, las plantas sin división de raíz, con 50:50 durante la etapa vegetativa, floración y fructificación es  $\text{NO}_3^-$  al 100% cuando se tiene un mayor rendimiento.

En los últimos muestreos es evidente que la variabilidad en los datos es mayor y eso se refleja en que la DMSH en el último muestreo sea de magnitud considerable. Por lo cual, aunque las diferencias entre tratamientos en algunos casos sean notables, la herramienta utilizada (prueba de separación de medias de Tukey) genera DMSH de gran tamaño, lo que resulta en que con esta herramienta no se pueda decir con certeza absoluta que las diferencias se atribuyen totalmente a los tratamientos.

Para futuras investigaciones se recomienda cuidar este aspecto y dar seguimiento a este tipo de experimentos por más de un ciclo de producción.

**Cuadro 16.** Variables relativas a fruto por efecto de la etapa fenológica de aplicación (columnas) de la relación amonio: nitrato, en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) con y sin división de raíz (hileras) a los 379 días después de iniciados los tratamientos.

Etapa de aplicación	Raíz dividida (D)		Sin división de raíz (S)		DMSH <sub>D-S</sub>
	Número de frutos por planta				
TC (E1)	552.66 a	A	572.44 a	A	473.64
F (E2)	736.11 a	A	567.66 a	A	315.94
FR (E3)	923.66 a	A	833.22 a	A	284.37
DMSH	428.88		315.79		
Rendimiento (g planta <sup>-1</sup> )					
TC (E1)	952.92 a	A	1013.17 a	A	865.97
F (E2)	1343.45 a	A	1027.66 a	A	611.56
FR (E3)	1681.87 a	A	1561.20 a	A	539.02
DMSH	798.48		593.31		

TC (Todo el ciclo), F (Floración), FR (Fructificación).

DMSH (Diferencia mínima significativa), DMSH<sub>D,S</sub> (Diferencia mínima significativa por condición de raíz).

## VII. CONCLUSIONES

- La técnica de raíz separada no afectó a las variables morfológicas y fisiológicas evaluadas. En ambas condiciones de raíz hubo efectos significativos por la relación de  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ . La longitud de brotes, lecturas SPAD, concentración de N foliar y asimilación de  $\text{CO}_2$  en hojas de arándano aumenta cuando hay  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva.
- Ambas fuentes de N son utilizadas eficientemente por las plantas de arándano cuando son combinadas.
- La etapa de aplicación de la relación de  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  influye en el rendimiento. El rendimiento en la planta de arándano aumenta cuando se aplica la relación 50:50 durante la etapa vegetativa y floración en ambos lados de la raíz separada y en etapa de fructificación aplicar en una mitad  $\text{NO}_3^-$  al 100%.
- La aplicación de  $\text{NH}_4^+$  al 100% en etapa vegetativa y  $\text{NO}_3^-$  al 100% en etapa de floración y fructificación aumenta el número de frutos producidos por planta sin división de raíz.
- La concentración de N foliar en las hojas del cultivo de arándano aumenta al aplicar ambas fuentes de N en proporciones iguales. Al aplicar la relación 50:50 se obtuvo mayor concentración de N foliar que al aplicar  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$  individualmente.
- La fuente de N no afecta el crecimiento de los brotes ni el diámetro de tallo con la técnica de raíz separada. En plantas sin división de raíz la longitud de brotes es mayor al aplicar  $\text{NH}_4^+$  a la solución nutritiva.



## VIII. LITERATURA CITADA

- Abbott, J. E., and Gough, R. E. (1987). Seasonal development of highbush blueberry roots under sawdust mulch. *Journal of the America Society for Horticultural Science* 112: 60–62.
- Alt, D. S., Doyle, J. W., and Malladi, A. (2017). Nitrogen-source preference in blueberry (*Vaccinium* sp.): Enhanced shoot nitrogen assimilation in response to direct supply of nitrate. *Journal of Plant Physiology* 216: 79-87.
- Amarante, C. V. T. D., Zanardi, O. Z., Miqueloto, A., Steffens, C. A., Erhart, J., & Almeida, J. A. D. (2009). Quantificação da área e do teor de clorofilas em folhas de plantas jovens de videira 'Cabernet Sauvignon' mediante métodos não destrutivos. *Revista Brasileira de Fruticultura* 31(3), 680-686.
- Ángel-Hernández, M. D., Zermeño-Gonzalez, A., Melendres-Alvarez, A. I., Campos-Magaña, S. G., Cadena-Zapata, M., Bosque-Villarreal, D., & Arturo, G. (2017). Características de la cubierta de un túnel efecto en radiación, clorofila y rendimiento de calabacita. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(5): 1127-1142.
- Antolin, M. C., Ayari, M., and Sánchez-Díaz, M. (2006). Effects of partial rootzone drying on yield, ripening and berry ABA in potted Tempranillo grapevines with split roots. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 12(1): 13-20.
- Antúnez-Ocampo, O. M., Sandoval-Villa, M., Alcántar-González, G., & Solís-Martínez, M. (2014). Aplicación de amonio y nitrato en plantas de *Physalis peruviana* L. *Agrociencia* 48(8): 805-817.
- Bañados, P. (2005). Claves para la poda de arandano. *Revista Agronomía y Forestal UC*. 25: 28-31.
- Bertsch, F. (2003). Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 307 p.
- Bloom, A. J., Sukrapanna S. S., and Warner, R. L. (1992). Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. *Journals of Plant Physiology* 99: 1294- 1301.
- Borrego, F., López, A., Fernández, J. M., Murillo, M., Rodríguez, S. A., Reyes, A., & Martínez, J. M. (2001). Evaluación agronómica de tomate (*Lycopersicon esculentum* M.) en invernadero. *Agronomía Mesoamericana* 12:49-56.

- Britto, D., and Kronzucker, H. (2006).  $\text{NH}_4$  toxicity in higher plant, a critical review. *Journals of Plant Physiology* 159: 567-584.
- Bryla, D. R., Strik, B. C., Banados, M. P., and Righetti, T. L. (2012). Response of highbush blueberry to nitrogen fertilizer during field establishment—II plant nutrient requirements in relation to nitrogen fertilizer supply. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 47(7): 917-926.
- Buzeta, A. (1997). Chile: berries para el 2000. Fundación Chile, Santiago, Chile. 132 p.
- Calderon, Z. G., J. Rodríguez A. A., E. Becerril R., M. Livera M., & M. T. Colinas L. (1997). Fertilización foliar nitrogenada en la fotosíntesis y el desarrollo de durazno en producción forzada. *Agrociencia* 31:291-296.
- Callejas, R., Kania, E., Contreras, A., Peppi, C., & Morales, L. (2013). Evaluación de un método no destructivo para estimar las concentraciones de clorofila en hojas de variedades de uva de mesa. *Revista de Agricultura en Zonas Áridas* 31(4): 19-26.
- Cao, W., and T.W. Tibbitts. (1994). Responses of potatoes to solution pH levels with different form of nitrogen. *Journal of Plant Nutrition* 17: 109-126.
- Castañeda, C. S., Almanza-Merchán, P. J., Pinzón, E. H., Cely, G. E., & Serrano, P. A. (2018). Estimación de la concentración de clorofila mediante métodos no destructivos en vid (*Vitis vinifera* L.) cv. Riesling Becker. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 12(2): 329-337.
- Cechin, C., & de Fátoma-Fumis, T. (2004). Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the greenhouse. *Plant Science* 166:1379-1385.
- Celletti, S., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Tiziani, R., Fontanella, M. C., Beone, G. M., & Astolfi, S. (2020). Physiological responses to Fe deficiency in split-root tomato plants: possible roles of auxin and ethylene? *Agronomy*, 10(7), 1000.
- Chamú-Baranda, J. A., López-Ordaz, A., Ramírez-Ayala, C., Trejo-López, C., y Martínez-Villegas, E. (2011). Respuesta del pimiento morrón al secado parcial de la raíz en hidroponía e invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(1): 97-110.
- Chavez, M., Osorio, J. and Pereira, J. (2004). Water use efficiency and photosynthesis. In: Water use efficiency in plant biology (ed. Mark A. Bacon). Blackwell Publishing Ltd., London, UK. 42-74.

- Correira, C. M., Mouthino-Pereira J. M., Coutinho F. J., Bjorn L. O., and Torres-Pereira J. M. G. (2005). Ultraviolet-B radiation and nitrogen affect the photosynthesis of maize: a Mediterranean field study. *European Journal of Agronomy* 22:337-347.
- Correndo, A., & García, F. (2012). Alternativas de diagnóstico para el manejo nutricional en cultivos extensivos. *In: VI Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo*. 4-11 p.
- Cortés-Rojas, M. E., Mesa-Torres, P. A., Grijalba-Rativa, C. M., & Pérez-Trujillo, M. M. (2016). Yield and fruit quality of the blueberry cultivars Biloxi and Sharpblue in Guasca, Colombia. *Agronomía Colombiana* 34(1), 33-41.
- Cortés-Rojas, M. E., Mesa-Torres, P. A., Grijalba-Rativa, C. M., & Pérez-Trujillo, M. M. (2016). Yield and fruit quality of the blueberry cultivars Biloxi and Sharpblue in Guasca, Colombia. *Agronomía Colombiana* 34(1): 33-41.
- Crisóstomo, M. N., Hernández Rodríguez, O. A., López Medina, J., Manjarrez- Domínguez, C., & Pinedo-Alvárez, A. (2014). Relaciones amonio/nitrato en soluciones nutritivas ácidas y alcalinas para arándano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(3): 525-532.
- Cunha, A. R. D., Katz, I., Sousa, A. D. P., & Martinez Uribe, R. A. (2015). Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de lisanthus en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. *Revista de Agricultura en Zonas Áridas* 33(2): 97-105.
- 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 agriculture. *Jornaul of the Annals of Botany* 105: 1141-1157.
- Daymond, A. J., P. J. Tricker, and P. Hadley. (2011). Genotypic variation in photosynthesis in cacao is correlated with stomatal conductance and leaf nitrogen. *Biologia Plantharum* 55:99-104.
- Dbara, S., Haworth, M., Emiliani, G., Mimoun, M. B., Gómez-Cadenas, A., and Centritto, M. (2016). Partial root-zone drying of olive (*Olea europaea* var.'Chetoui') induces reduced yield under field conditions. *Public Library of Science One* 11(6): 4-11.
- De Sebastian I. (2010). Los frutos del bosque o pequeños frutos en la Cornisa Cantábrica: El Arándano. Gobierno de Cantabria. Consejería de Desarrollo Rural, Ganadería, Pesca y Biodiversidad. 58-60 p.
- Díaz, M. (2002). Fisiología de árboles frutales. (Primera ed.). AGT editor, S. A. México. 390 p.

- Echeverría, H., E., & H. R. Sainz. (2005). Nitrógeno en el suelo. *In*: Echeverría, H. E., y F. García (eds). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. 69-97 p.
- Eck, P. (1977). Nitrogen requirement of the highbush blueberry, *Vaccinium corymbosum* L. *Journal of de American Society for Horticultural Science* 102: 816-818.
- Ehret, D. L., Frey, B., Forge, T., Helmer, T., Bryla, D. R., & Zebarth, B. J. (2014). Effects of nitrogen rate and application method on early production and fruit quality in highbush blueberry. *Canadian Journal of Plant Science* 94(7), 1165-1179.
- Escalante-Cardenas L., R. Trejo-Calzada, O. Esquivel-Arriaga, J. G. Arreola-Avila & A. Flores-Hernández. (2018). Comparación de tasas fotosintéticas en algunas plantas cultivadas y malezas. *Revista Chapingo. Serie Zonas Áridas* 7: 165-172.
- Espíndola B. M. (2007). Nitrógeno reducido, AG<sub>3</sub> y carbohidratos solubles en el amarre de frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.) 'Hass'. Tesis de Doctorado. Recursos Genéticos y Productividad Fruticultura. Colegio de Postgraduados. 3-54.
- Evans, J. R. (1989). Photosynthesis and nitrogen relationship in leaves of C3 plants. *Oecologia* 78: 9-19.
- Fageria N. K. (2009). *The use of nutrients in crops plants*. CRS Press. Boca Raton, FL, USA. 31-76 p.
- Galdamez, F. A. (2015). Respuesta del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) a la aplicación de soluciones nutritivas con diferente relación NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Tesis de maestría, Programa en Edafología, Colegio de Postgraduados. 28-40 p.
- Ganmore, N. R., and Kafkafi, U. (1985). The effect of root temperature and nitrate/ammonium ratio on strawberry plants. II. nitrogen uptake, mineral ions, and carboxylate concentrations. *Agronomy Journal* 77(6): 835-840.
- García, D., Rodríguez-Sánchez, J. D. G. P., Panadero, P., Marañón, T., & Villar Montero, R. (1997). Tasas de crecimiento en 21 especies de trigo silvestre y su relación con la tasa de fotosíntesis y la concentración de nitrógeno foliar. Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Sevilla. 83-89 p.
- Gayol, J. C. (2012). Manual práctico para la creación y desarrollo de plantaciones de arándanos en Asturias. CEDER Navia-Porcía. 9-21 p.

- Geiger, M., Haake, V., Ludewig, F., Sonnewald, U., and Stitt, M. (1999). The nitrate and ammonium nitrate supply has a major influence on the response of photosynthesis, carbon metabolism and growth to elevated carbon dioxide in tobacco. *Plant, Cell and Environment* 22:1177–99.
- Gilbert, M. E., N. M. Holbrook, M. A. Zwieniecki, W. Sadok, and T. R. Sinclair. (2011). Field confirmation of genetic variation in soybean transpiration response to vapor pressure deficit and photosynthetic compensation. *Field Crops Research* 124:85-92.
- González García, J. L., Mendoza, R., de las Nieves, M., Sánchez García, P., & Gaytán Acuña, E. A. (2009). Relación amonio/nitrato en la producción de hierbas aromáticas en hidroponía. *Agricultura Técnica en México* 35(1): 5-11.
- Gouia, H., Suzuki, A., Brulfert, J. and Habib, G. (2003). Effects of cadmium on the coordination of nitrogen and carbon metabolism in bean seedlings. *Journal of Plant Physiology* 160: 67-376.
- Guo, S., Brueck, H. and Sattelmacher, B. (2002). Effects of supplied nitrogen form on growth and water uptake of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. *Plant and Soil* 239:267– 275.
- Hanson E., and J. Hancock. (1996). Managing the nutrition of highbush blueberry. Michigan State University, Extension Bulletin E-2011, 46 p.
- Hanson E., J. Hancock, D. C. Ramsdell, A. Schilder, G. VanEe and R. Ledebuhr. (2000). Sprayer type and pruning affect the incidence of blueberry fruit roots. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 35(2): 235-238.
- Hanson, E., Retamales, J.B., (1992). Effect of nitrogen source and timing on highbush blueberry performance. *American Society for Horticultural Science* 27, 1265–1267.
- Harmer, P. (1944). The effect of varying the reaction of organic soil on the growth and production of the domesticated blueberry. *Soil Science Society of American Proceeding* 9: 133-141.
- Hart J., Strik B., White L., and Yang W. (2006). Nutrient management for blueberries in Oregon. Oregon State University Extension Service. 4-13 p.
- Hayden, R. A. (2001). Fertilizing Bluberries. Department of Horticulture. Purdue University Cooperative Extension Service. West Lafayette, IN. Fruit. *HO-65-W*, 1-2.
- Haynes, R. J. (1986). Uptake and assimilation of mineral nitrogen by plants, *In: Mineral Nitrogen in the Soil Plant System*. Haynes, R. J., Cameron, K. C., Goh, K. M., Sherlock, R. R. (eds.). Academic Press. Florida, USA. 303–358 p.

- Hernández, I. H., Bautista, P. B., & Juárez, N. A. (2017). Evaluación de calidad del fruto de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) var. Biloxi, en dos regiones del estado de Oaxaca. *Universidad&Ciencia* 6: 256-273.
- Hurtado, E., González-Vallejos, F., Roper, C., Bastías, E., & Mazuela, P. (2017). Propuesta para la determinación del contenido de clorofila en hojas de tomate. *Revista de Agricultura en Zonas Áridas* 35(4): 129-130.
- Jones Jr. J. B. (1998). Plant Nutrition Manual. CRC Press. Boca Raton. Florida. USA. 149 p.
- Kapotis, G., G. Zervoudakis, T. Veltsistas, and G. Salahas. (2003). Comparison of chlorophyll meter readings with leaf chlorophyll concentration in *Amaranthus vlitus*: correlation with physiological processes. *Russian Journal of Plant Physiology* 50 (3): 395-397.
- Kjeldahl, J., (1883). Neue Methods zur Bestimmung des Stickstoffs in Organischen Korpern, *Z. Analytical Chemistry* 22: 366–382.
- Kim, J. G.; Kim, H. L.; Kim, S. J. & Park, K. (2013). Fruit quality, anthocyanin and total phenolic contents, and antioxidant activities of 45 blueberry cultivars grown in Suwon, Korea. *Journal of Zhejiang University Science B* 14(9): 793-799.
- Kotsiras, A., Olympios, C. M., and Passam, H. C. (2005). Effects of nitrogen form and concentration on yield and quality of cucumbers grown on rockwool during spring and winter in southern Greece. *Journal of Plant Nutrition* 28: 2027-2035.
- Kraiser. T., Gras, D. E., Gutiérrez, A. G., González, B., Gutiérrez, R. A. (2011). A holistic view of nitrogen acquisition in plants. *Journal of Experimental Botany* 62: 1455-1466.
- Krugh, B., Bickham, 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 Newsletter* 68: 25-25.
- Kushman L., and W. Ballinger (1968). Acid and sugar changes during ripening in Wolcott Blueberries. *Proceeding of the American Society for Horticultural Science* 2: 290-295.
- Lamsfus, C., Lasa, B., Aparicio, P. M., & Irigoyen, I. (2003). Implicaciones ecofisiológicas y agronómicas de la nutrición nitrogenada. In: Reigosa, M.J., Pedrol, N., SanchesMoreiras, A., editores. La ecofisiología vegetal: Una ciencia de síntesis. España. Paraninfo S.A. 361-386 p.

- León, A. P., Viña, S. Z., Frezza, D., Chaves, A., and Chiesa, A. (2007). Estimation of chlorophyll contents by correlations between SPAD-502 meter and chroma meter in butterhead lettuce. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38(19-20): 2877-2885.
- Liu F., Shahnazari, A., Andersen, M. N., Jacobsen, S. E., and Jensen, C. R. (2006). Physiological responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) to partial root-zone drying: ABA signalling, leaf gas exchange, and water use efficiency. *Journal of Experimental Botany* 57(14): 3727–35.
- Maathius, F. (2009). Physiological functions of mineral nutrients. *Current Opinion in Plant Biology* 12: 250-258.
- Machado, R. M., Bryla, D. R., and Vargas, O. (2012). Effects of salinity induced by ammonium sulfate fertilizer on root and shoot growth of highbush blueberry. *In: X International Symposium on Vaccinium and Other Superfruits* 101(7): 407-414.
- Markwell, J., Osterman, J. C., and Mitchell, J. L. (1995). Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. *Photosynthesis Research* 46(3): 467-472.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London, U. K. 242-268 p.
- McIntyre, G. I. (1997). The role of nitrate in the osmotic and nutritional control of plant development. *Australian Journal of Plant Physiology* 68: 107-112
- Mengel, K. and E. A. Kirkby. (1987). *Principles of plant nutrition*. 4th ed. International Potash Institute, Bern. 397-434 p.
- Mengel, K., and Kirkby, A. (2001). *Principles of Plant Nutrition*. 5th Edition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht the Netherlands. 849 p.
- Molina, E., Salas, R., & Castro, A. (1993). Curva de crecimiento y absorción de nutrimentos en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch. Cv. Chandler) en Alajuela. *Agronomía Costarricense* 17(1): 63-67.
- Molina, J. M., D. Calvo, J. J. Medina, C. Barrau, and F. Romero. (2008). Fruit quality parameters of some southern highbush blueberries (*Vaccinium x corymbosum* L.) grown in Andalucía (Spain). *Spanish Journal Agricultural Research* 6: 671-676.
- Muñoz-Vega, P., Serri, H., López, M. D., Faundez, M., & Palma, P. (2017). Efecto de diferentes intensidades de poda sobre el rendimiento y calidad de fruta en arándano

- (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 33(3): 285-303.
- Nava D. A., I. Ramírez, C. B. Peña Valdivia, G. Díaz Villaseñor & V. A. González Hernández. (2009). Características del intercambio de gases en hojas de guayabo (*Psidium guajava* L.). *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 15(2): 119-126.
- Olarte-Ortiz, O., G. Almaguer-Vargas & J. R. Espinoza-Espinoza, (2001). Efecto de la fertilización foliar en el estado nutrimental, la fotosíntesis, la concentración de carbohidratos y el rendimiento en naranjo 'Valencia Late'. *Agrociencia* 340-347.
- Osorio, N. (2012). El análisis foliar: una poderosa herramienta para diagnosticar el estado nutricional de los cultivos, pasturas y plantaciones. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín 1(3): 2-4.
- Ostrolucka, M., Gajdosova, A., Libiakova, G., Hrubikova, K., and Bezo, M. (2007). Protocol for micropropagation of selected *Vaccinium* spp. In: Jain, S.M., Haggman, H. (ed.). *Protocols for micropropagation of Woody Trees and Fruits*. Springer, 445-455 p.
- Padilla, F. M., Peña-Fleitas, M. T., Gallardo, M., and Thompson, R. B. (2014). Threshold values of canopy reflectance indices and chlorophyll meter readings for optimal nitrogen nutrition of tomato. *Annals of Applied Biology* 166(2): 271-285.
- 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. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 113: 4-8.
- Peterson, L. A., Stang, E. J., and Dana, M. N. (1988). Blueberry response to  $\text{NH}_4\text{-N}$  and  $\text{NO}_3\text{-N}$ . *Journal of the American Society for Horticultural Science* 113: 9-12.
- Retamal, J., Bastías, M., Wilckens, R., and Paulino, L. (2015). Influence of microclimatic conditions under high tunnels on the physiological and productive responses in Blueberry O Neal. *Chilean Journal of Agricultural Research* 75(3): 291-297.
- Retamales, J., & Hancock, J. (2011). Blueberry. *Crop production science in horticulture blueberries. Holly Beaumont, Cabi, N° 21*, 18-393.
- Rivera, E., Sandoval Villa, M., Rodriguez-Mendoza, M., Trejo-Lopez, C., & Gasca-Peña, R. (2012). Fertilización de tomate con nitrato y amonio en raíces separadas en hidroponía. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 20(1): 57-70.



- Romero, M. V., Estrada, R. S. G., Enciso, T. O., & Bojorquez, A. D. A. (2002). Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad postcosecha de tomate en fertirriego. *Terra Latinoamericana* 20(3): 311-320.
- Rosen, C., Allan, D., and Luby, J. (1990). Nitrogen Form and Solution pH Influence Growth and Nutrition of Two Vaccinium Clones. *Scientific Journal Serie* 115(1), 84-88.
- Sales, A., Barbosa, J., Barbosa, P., Viana, V., and Freitas, A. (2014). Agricultural nets as undercover in hydroponic cultivation of lettuce (*Lactuca sativa*). *Journal of Rural Studies* 44(10): 1755-1760.
- Salisbury, F., & C. Ross. (1992). Fisiología vegetal. Editorial Iberoamerica, México D.F. 241-226 p.
- Salvo, S., C. Muñoz, J. Ávila, J. Bustos, E. Cariaga, and C. Silva. (2011). Sensitivity in the estimation of parameters fitted by simple linear regression models in the ratio of blueberry buds to fruits in Chile using percentage counting. *Journal Scientia Horticulturae* 130(2): 404-409.
- Sandoval-Villa, M., E. A. Guertal, and C. W. Wood. (2001). Greenhouse tomato response to low ammonium-nitrogen concentrations and duration of ammonium-nitrogen supply. *Journal of Plant Nutrition* 24: 1787-1798.
- Santos, M., & Salame, P. (2012). Performance of southern highbush blueberry cultivars under high tunnels in Florida. *American Society for Horticultural Science* 22(5): 700-704.
- Sellappan, S, C. Akoh, and G. Krewer. (2002). Phenolic compounds and antioxidant capacity of Georgia-grown blueberries and blackberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 519-525.
- Shabnam, R., & Lqbal, T. (2016). Understanding phosphorus dynamics on wheat plant under split-root system in alkaline soil. *Brazilian Journal of Science and Technology* 3: 3-16.
- SIAP. (2018). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola [En línea]. Disponible en <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola> (revisado el 17 de febrero de 2020).
- Simpson, R., Lambers, H., and Dalling, M. (1982). Kinetin application to roots and its effect on uptake, translocation and distribution of nitrogen in wheat (*Triticum aestivum*) grown with a split root system. *Journals for Plant Biology Physiologia Plantarum* 56(4): 430-435.

- Spiers, J. M., & Braswell, J. H. (1992). Soil-applied sulfur affects elemental leaf content and growth of 'Tifblue' rabbiteye blueberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117(2), 230-233.
- Strik, B., G. Buller, and E. Hellman. (2003). Pruning severity affects yield, berry weight, and hand harvest efficiency of highbush blueberry. *American Society for Horticultural Science* 38(2): 196-199.
- Tabatabaei, S. J., Fatemi, L. S., & Fallahi, E. (2006). Effect of ammonium: nitrate ratio on yield, calcium concentration, and photosynthesis rate in strawberry. *Journal of Plant Nutrition* 29(7): 1273-1285.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2004). *Fisiología Vegetal*. 3 ed. Porto Alegre: Artmed. 719 pp.
- Takamizo, T., & Sugiyama, N. (1991). Growth responses to N forms in rabbit eye and high bush blueberries. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 60(1): 41-45.
- Tanaka, Y., Sasaki, N., Ohmiya, A. (2008). Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *The Plant Journal* 54: 733-749.
- Torres-Netto, A., Campostrini, E., Goncalves de Oliveira, J., Bressan-Smith, R. E. (2005). Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae* 104: 199-209.
- Toth, V. R., Meszaros, I., Veres, S., and Nagy, J. (2002). Effects of the available nitrogen on the photosynthetic activity and xanthophyll cycle pool of maize in field. *Journal Plant Physiology* 159: 627-634.
- Townsend, L. R. (1967). Effect of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen, separately and in combination, on the growth of the highbush blueberry. *Canadian Journal of Plant Science* 47(5): 555-562.
- Undurraga Diaz, P., & Vargas Schuldes, S. (2013). Manual del Arandano. Boletín INIA N°263. Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillan, Chile : Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. 120 p.
- Vasquez-Castilla, S., Guillén-Bejarano, R., Jaramillo-Carmona, S., & Jimenez-Araujo, A. (2012). Funcionalidad de distintas variedades de arándanos. Instituto de la Grasa. Sevilla. Departamento de Biotecnología de los Alimentos. 11 p.
- Vázquez R. E. (2017). Efectos de extractos fúlvicos derivados de leonardita sobre la biomasa, variables fisiológicas y concentración de potasio en tomate de cascara (*Physalis ixocarpa*

- Brot. ex Horm.). Tesis de Maestría. Programa en Edafología. Colegio de Postgraduados. 32-59.
- Vázquez, C. G., Sáenz, E. O., Alvarado, R. V., & García, F. Z. (2000). Absorción de nitrato y amonio por plantas de nopal en hidroponía. *Terra Latinoamericana* 18(2): 133- 139.
- Vedele, F. D., Filleur, S., and Caboche, M. (1998). Nitrate transport: a key step in nitrate assimilation. *Current Opinion in Plant Biology* 1: 235-239.
- Walterbeek, H. T. (1987). Cation exchange in isolated xylem cell walls of tomato 1. Cd and Rb exchange in adsorption experiments. *Plant Cell and Environment* 10: 39-44.
- Williamson, J., Krewer, G., Pavlis, G., Mainland, C. (2006). Blueberry soil management, nutrition and irrigation. In: Childers, N., Lyrena, P. (Eds.), *Blueberries*. Dr. Childers Horticultural Publications, Gainseville, Florida, USA, 60–74 p.
- Yu, P., Li, X., Yuan, L., and Li, C. (2014). A novel morphological response of maize (*Zea mays*) adult roots to heterogeneous nitrate supply revealed by a split-root experiment. *Physiologia Plantarum, Journal for Plant Biology* 150(1): 133-144.
- Zee, F., K. Hummer, W. Nishijima, R. Kai, A. Strauss, M. Yamasaki, and R. Hamasaki. (2006). Preliminary yields of Southern highbush blueberry in Waimea, Hawai'i. *Fruits and Nuts*. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawai'i at Mānoa, Honolulu, Hawaii. 2-8 p.
- Zheng Y., C. Wang, S. Wang, and W. Zheng. (2003). Effect of high – oxygen atmospheres on blueberry phenolics, anthocyanins and antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 (24): 7162-7169.