



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES.**

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN  
AGROPECUARIA OPCIÓN: AGRÍCOLA**

**Relación nitrato: amonio en el cultivo del arándano en condiciones  
hidropónicas.**

**TESIS**

**Que para obtener el grado de:**

**Maestro en Producción Agropecuaria  
(Opción Agrícola)**

**Presenta:**

**Ing. Jesús Alonso Luna Béjar**

**Director de tesis:**

**Dr. Raúl Cárdenas Navarro  
Profesor e Investigador Titular "C"**

**Co-asessor:**

**Dr. José López Medina  
Profesor e Investigador Titular "B"**

**Agosto del 2015, Morelia, Michoacán México.**





**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO**



**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES.**

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN**

**AGROPECUARIA OPCIÓN: AGRÍCOLA**

**Relación nitrato: amonio en el cultivo del arándano en condiciones  
hidropónicas.**

**TESIS**

**Que para obtener el grado de:**

**Maestro en Producción Agropecuaria  
(Opción Agrícola)**

**Presenta:**

**Ing. Jesús Alonso Luna Béjar**

**Director de tesis:**

**Dr. Raúl Cárdenas Navarro**

**Profesor e Investigador Titular "C"**

**Comité tutelar:**

**Dra. Vilma Guadalupe Castellanos Morales**

**Dra. María Luisa España Boquera**

**Dr. José López Medina**

**Dr. Luis López Pérez**

**Agosto del 2015, Morelia, Michoacán México.**

# Nota al Lector

El Programa de Maestría en Producción Agropecuaria, sancionado por el H. Consejo Universitario con fecha 15 de Marzo de 2013; establece los lineamientos para su operación en su plan de estudios. Determinando en el artículo 28 de las reglas complementarias los requisitos para la obtención del grado que a la letra dice:

*Artículo 28. Requisitos para la obtención del grado. Se otorgará el grado de “Maestría en Producción Agropecuaria”, con cualquiera de las siguientes opciones: “Agrícola”, “Pecuaria”, “Forestal”, “Acuícola” o “Agronegocios” al alumno que cumpla con lo establecido en el artículo 71 del Reglamento General de Estudios de Posgrado y con los siguientes requisitos:*

*a) Haber cubierto la totalidad de los créditos.*

*b) Haber entregado y defendido el proyecto de Tesis el cual se define de la siguiente manera:*

*PROYECTO TERMINAL (TESIS). Es un informe académico que se deriva de los estudios realizados y, de acuerdo con el CONACYT (2006), es de carácter profesional, docente o empresarial, en el que el estudiante debe demostrar el dominio de las competencias adquiridas. Es un informe producto del trabajo que puede ser de carácter profesional, experimental o empresarial, según la modalidad escogida por el estudiante (ver Anexo 2), donde tiene que demostrar el dominio de las competencias adquiridas en el programa de la maestría y deberá responder a una problemática relacionada con el área y relevante en nuestro contexto a la cual contribuya a solucionar.*

A su vez el anexo 2 de dicho plan de estudios es más específico al explicar las alternativas para la realización del proyecto de tesis, como a continuación se describe:

## ANEXO 2

### *Alternativas para la realización del proyecto de tesis del PMPA*

*Debido a la diversidad de opciones y a los requerimientos de flexibilización de los planes de estudios de esta maestría, se plantean diferentes modalidades para el desarrollo del Proyecto de Tesis, el cual busca dar respuesta a las demandas del campo productivo, así como a los intereses y aptitudes del estudiante.*

*El objetivo de este anexo es clarificar las características generales de cada modalidad que sirvan de guía para a los Comités Revisores, conformados ad-hoc, quienes delimitarán los requisitos, exigencias, aspectos a abordar y los estándares mínimos de calidad requeridos. El proyecto de tesis podrá realizarse a través de alguna de las siguientes opciones:*

#### 1. ESTUDIO DE CASOS

*Es un análisis de una entidad, fenómeno o unidad social de naturaleza particularista, descriptiva y heurística, basada en el razonamiento inductivo. Es particularista porque se centra en una situación, evento o fenómeno específico, el cual en sí mismo es importante por lo que revela del fenómeno y lo que pueda representar. Es descriptivo, porque el producto final es una representación rica y densa del fenómeno a investigar y es heurística, porque ilumina la comprensión del lector del fenómeno objeto de estudio, lo que puede llevar a descubrir nuevos significados, ampliar la experiencia o confirmar lo que se sabe (Pérez, 2001). El estudio de casos puede ser de una empresa, de una actividad productiva, etc.*

*Los estudios de casos cualitativos son estudios que involucran la exploración detallada a lo largo de un período de tiempo, lo suficientemente extenso, que permita el entendimiento profundo del objeto de estudio y del contexto en que éste se ubica, por medio de métodos múltiples de recolección de datos y múltiples fuentes de información altamente contextualizadas (Cresswell, 1998). Es aplicable en innumerables campos donde se trate de combinar eficazmente la teoría y la práctica.*

## 2. ESTUDIOS ECONÓMICOS

Los estudios de este tipo son componentes importantes de la investigación acerca de la efectividad y establecimiento de políticas en los niveles federal, estatal y local en diversos tipos de sistemas educativos. Su propósito es entender los efectos de reformas o políticas en relación con sus costos, contribuciones de la educación al crecimiento económico y al desarrollo, así como acerca del entorno no monetario en educación (Coomb's, 1994).

## 3. PROYECTOS DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

Estos proyectos involucran un proceso de cambio, por medio del cual se intenta alcanzar los objetivos de la actividad productiva con los más altos niveles de logro. Se caracterizan por realizar una descripción especializada de un caso, organizado de acuerdo con las líneas del posgrado. Los aspectos básicos que debe contener el análisis serán: describir el contexto situacional del caso, los principales factores involucrados, los conceptos que se aplican con base en las perspectivas disciplinares actuales, la explicación de los elementos que justifiquen el qué, cómo y cuándo de la problemática, la delimitación de la problemática analizada donde se deben definir sus fronteras e identificar los factores o variables que ocasionan obstáculos en el desarrollo de la institución; así como el análisis de las interrelaciones de los factores o variables seleccionadas.

## 4. DISEÑO, DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN Y MEDICIÓN PRODUCTIVA

Consiste en el diseño, desarrollo y/o validación de un instrumento, técnica o estrategia de evaluación y/o medición, con sus propiedades, limitaciones y fortalezas reportadas; así como sus indicadores de confiabilidad y validez.

## 5. PROGRAMAS DE PREVENCIÓN Y/O INTERVENCIÓN

Consisten en el proyecto de atención, solución y/o prevención de problemas productivos, documentados a través de acciones que evidencien la adquisición de conocimientos, habilidades y actitudes durante el programa de estudio. Será necesario implementar el proyecto (aún en fases piloto o preliminares) y evaluar sus resultados.

## 6. OTROS

Cualquier otro proyecto propuesto del estudiante por el visto bueno de su asesor, aprobado por el Comité tutorial.

Por tanto este documento podrá ser de la naturaleza descrita con antelación y con ello cumplir con el objetivo y el enfoque profesionalizante del programa.

**La Coordinación Académica del Programa de Maestría en Producción Agropecuaria con opción terminal en la Áreas: Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola y Agronegocios.**

## **AGRADECIMIENTOS:**

Mis más sincero agradecimiento al Dr. Raúl Cárdenas Navarro por su apoyo, paciencia y tutoría en el desarrollo del trabajo de investigación.

A los miembros del comité

Dra. María Luisa España Boquera

Dr. Luis López Pérez

Dra. Vilma del Carmen Castellanos Morales

Dr. José López Medina

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales por brindarme la oportunidad para realizar mis estudios.

Al Conacyt por el financiamiento de la beca, con la cual me fue posible concluir mis estudios.

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, a San Judas Tadeo, por ser la luz que alumbra mi camino y terminar la Maestría en Producción Agropecuaria con opción Agrícola.

A mis padres por su amor, trabajo y sacrificio durante todos estos años. Que gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí.

A mis hermanas, gracias por preocuparse por su hermano mayor.

Al Dr. Raúl Cárdenas Navarro, por compartir sus conocimientos, consejos para no rendirme y concluir el trabajo de esta investigación. Gracias por atreverse a confiar en mí. Es obvio que sin su apoyo y acompañamiento no hubiera sido posible esta alegría.

A Dinorah por su apoyo, ánimo y compañía en todo momento, quiero darle las gracias por formar parte de mi vida.

A mis amigos que se han ido y a los que se han quedado, gracias por haber estado conmigo, agradezco su amistad, consejo y apoyo en especial a Noerto Almanza y Néstor Govea.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>Generalidades .....</b>	<b>3</b>
<b>Producción del arándano .....</b>	<b>4</b>
<b>Fertilización del arándano .....</b>	<b>8</b>
<b>Calidad de fruto .....</b>	<b>11</b>
<b>HIPÓTESIS .....</b>	<b>14</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>Objetivo general.....</b>	<b>15</b>
<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>15</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
<b>Plantas.....</b>	<b>16</b>
<b>Manejo inicial .....</b>	<b>17</b>
<b>Tratamientos .....</b>	<b>20</b>
<b>Muestreos.....</b>	<b>24</b>
<b>Etapa vegetativa .....</b>	<b>24</b>
<b>Etapa productiva .....</b>	<b>27</b>

<b>Análisis de los datos .....</b>	<b>29</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
<b>Etapa vegetativa .....</b>	<b>30</b>
<b>Etapa productiva.....</b>	<b>36</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>42</b>
<b>Efecto de la disponibilidad del nitrógeno .....</b>	<b>42</b>
<b>Efecto de las formas iónicas del nitrógeno .....</b>	<b>44</b>
<b>Interacción concentración –forma de N.....</b>	<b>45</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS.....</b>	<b>48</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>49</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Cierre de la producción de arándano en México del 2006 al 2014 Fuente: SIAP, 2015.....	7
<b>Tabla 2</b> Cierre de la producción 2014 por estados en México Fuente: SIAP, 2015 .....	7
<b>Tabla 3</b> Cierre de la producción 2013 en el estado de Michoacán Fuente: SIAP 2015 .....	8
<b>Tabla 4</b> Tratamientos evaluados .....	20
<b>Tabla 5</b> Solución de cultivo NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0 : NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 6.....	21
<b>Tabla 6</b> Solución de cultivo NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 3 : NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 3.....	21
<b>Tabla 7</b> Solución de cultivo NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 6 : NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0.....	21
<b>Tabla 8</b> Solución de cultivo NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0 : NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0.6.....	22
<b>Tabla 9</b> Solución de cultivo NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0.3 : NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0.3.....	22
<b>Tabla 10</b> Solución de cultivo NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0.6 : NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0.....	22
<b>Tabla 11</b> Efecto de la disponibilidad de N, de su forma iónica y de la interacción entre ambos factores sobre la altura de planta (AP), el número de hojas (NH) y número de brotes (NB) en arándano 'Biloxi' en etapa vegetativa a los 29, 40 y 52 días después de la aplicación de los tratamientos (DDT).....	32
<b>Tabla 12</b> Efecto de la disponibilidad de N, de su forma iónica y de la interacción entre ambos factores sobre el número de hojas (NH), número de brotes (NB), área foliar (AF), materia fresca de hojas (MFH), tallos (MFT) y raíz (MFR ) de plantas de arándano en etapa vegetativa a los 72 y 270 días después de la aplicación de los tratamientos (DDT)34	
<b>Tabla 13</b> Efecto de la disponibilidad de N, de su forma iónica y de la interacción entre ambos factores sobre el número de racimos (NR), peso de frutos maduros (PFM), peso de frutos verdes (PFV), rendimiento (R), y grados Brix (°Brix ) de frutos en la producción de arándano 'Biloxi' a los 243 días después de la aplicación de los tratamientos (DDT) .....	36

**Tabla 14** Efecto de la disponibilidad de N, de su forma iónica y de su interacción sobre el número de racimos (NR), número de flores (NFL) y número de frutos(NF) de la producción en plantas de arándano a los 183 días después de la aplicación de los tratamientos (DDT).  
..... 38

**Tabla 15** Efecto de la disponibilidad de N, de su forma iónica y de la interacción entre ambos factores sobre el contenido de grados Brix (°Brix), número de frutos (NF), peso promedio de frutos (PPF), diámetro promedio de frutos (DPF) y rendimiento (R) de la recolección de frutos maduros en cuatro fechas (Días) después de la aplicación de los tratamientos (DDT)..... 39

**Tabla 16** Efecto de la disponibilidad de N, de su forma iónica y de la interacción entre ambos factores sobre el contenido de grados Brix (°Brix), número de frutos (NF), peso promedio de frutos (PPF), diámetro promedio de frutos (DPF) y rendimiento (R) de la suma y promedios totales de la recolección de frutos maduros en plantas de arándano en etapa productiva 200, 214, 233 y 270 días después de la aplicación de los tratamientos (DDT) ..... 41

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Producción Mundial del Arándano <b>Fuente:</b> adaptado de (FAOSTAT, 2015) .....	5
<b>Figura 2</b> Producción de Arándanos en EEUU. <b>Fuente:</b> adaptado de (FAOSTAT, 2015)	6
<b>Figura 3</b> Curva de respuesta a la aplicación de fertilizantes (A, B, C, D) .....	9
<b>Figura 4</b> Proceso de asimilación del nitrógeno en la planta .....	10
<b>Figura 5</b> Plantas de arándano 'Biloxi' seleccionadas para la plantación.....	16
<b>Figura 6</b> Establecimiento del cultivo en arándano 'Biloxi' .....	17
<b>Figura 7</b> Aclareo y tutoreo de plantas en arándano 'Biloxi' .....	18
<b>Figura 8</b> Poda de las plantas a 10 yemas viables en arándano 'Biloxi' .....	18
<b>Figura 9</b> Eliminación de brotes basales en arándano 'Biloxi' .....	19
<b>Figura 10</b> Eliminación de brotes en arándano 'Biloxi' .....	19
<b>Figura 11</b> Esquema del diseño experimental. Cada color correspondió a un tratamiento	23
<b>Figura 12</b> Medición del pH y C.E. de la solución de riego en arándano 'Biloxi' .....	23
<b>Figura 13</b> Medición de la altura de las plantas en arándano 'Biloxi' .....	24
<b>Figura 14</b> Lavado de raíces en plantas de arándano 'Biloxi' .....	25
<b>Figura 15</b> Separación de las partes de la planta de arándano 'Biloxi' .....	26
<b>Figura 16</b> Pesado de las partes frescas de la planta .....	26
<b>Figura 17</b> Recolección de frutos de arándano 'Biloxi' .....	27
<b>Figura 18</b> Medición de diámetro de frutos.....	28

<b>Figura 19</b> Medición de grados Brix .....	28
<b>Figura 20</b> Separación y medición de las partes de la planta .....	29
<b>Figura 21</b> Aspecto de las plantas de arándano 'Biloxi' en la etapa vegetativa, 54 días después de la aplicación de los tratamientos: 1) 6.0 mM de N: 100% NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , 2) 6.0 mM de N: 50% NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - 50% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , 3) 6.0 mM N: 100% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , 4) 0.6 mM de N: 100% NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , 5) 0.6 mM de N: 50% NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 50% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> y 6) 0.6 mM N: 100% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	30
<b>Figura 22</b> Aspecto de las plantas de arándano 'Biloxi' en la etapa productiva 270 días después de la aplicación de los tratamientos: 1) 6.0 mM de N: 100% NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , 2) 6.0 mM de N: 50% NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 50% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , 3) 6.0 mM N: 100% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , 4) 0.6 mM de N: 100% NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , 5) 0.6 mM de N: 50% NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 50% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> y 6) 0.6 mM N: 100% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	37

## RESUMEN

El arándano es una frutilla con propiedades saludables. En los últimos años el consumo de este frutal se ha incrementado significativamente, lo que, unido a su alto precio, ha incentivado la producción en diferentes estados de México, como Michoacán, donde se cultiva principalmente la variedad Biloxi. Sin embargo, hay poca información con respecto a cuáles son las mejores prácticas agrícolas ante las prevalecientes condiciones del país, en particular de fertilización nitrogenada. Se ha observado que, por ser una planta que ha evolucionado en suelos que de forma natural no contienen una cantidad significativa de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), está más adaptada a la utilización de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la disponibilidad y la forma de nitrógeno sobre el crecimiento, la producción y la calidad de los frutos en arándanos. Se realizó un ensayo experimental en condiciones hidropónicas, bajo invernadero, con riego por goteo, en sustrato inerte (tezontle y arena de río). El experimento se estableció en un diseño completamente al azar y en arreglo factorial, con dos factores de estudio: (F1) la disponibilidad de nitrógeno en la solución de riego (0.6 mM y 6.0 mM), y (F2) las formas de N (proporción de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ : 100%  $\text{NO}_3^-$ , 50%  $\text{NO}_3^-$  : 50%  $\text{NH}_4^+$ , 100%  $\text{NH}_4^+$ ). En total se tuvieron 6 tratamientos, con 4 repeticiones; cada unidad experimental estuvo constituida por 4 plantas. Durante la etapa vegetativa de las plantas se realizaron tres muestreos no destructivos y uno destructivo; en la etapa productiva se realizaron recolecciones periódicas de frutos y un muestreo destructivo. Las variables medidas fueron: número de hojas y brotes, área foliar y materia fresca y seca de la parte aérea y la raíz, así como número, peso, diámetro y grados Brix de los frutos. Los resultados mostraron que, con una concentración 6.0 mM de N, las plantas tuvieron mayor crecimiento y producción de frutos, en particular con la forma  $\text{NH}_4^+$ . El  $\text{NO}_3^-$ , ya sea solo o en combinación con amonio, resultó perjudicial para tener una buena producción de arándano. Se concluye que es preferible hacer una aplicación baja con amonio que una aplicación con nitrato.

**Palabras clave:** Arándano, cultivo hidropónico, disponibilidad de nitrógeno, proporción de nitrato y amonio, etapa vegetativa, fruta.

## ABSTRACT

Blueberry is a small fruit crop rich in healthy properties. In the last years, consumption of this crop has been significantly increased and, along with its high prices, production has been expanded in different States of Mexico, with Michoacán among them and where Biloxi is the main cultivar being planted. However, there is still little information available regarding the best management practices needed to be implement under the prevailing conditions of the Country, particularly on nitrogen fertilization. It has been shown that, since it is a plant that has naturally evolved on soils lacking nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), blueberry has been adapted to the use of ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) as a nitrogen source. Therefore, the main objective of the present work was to evaluate the effect on growth, yield, and fruit quality of 'Biloxi' blueberry. Under both hydroponic and greenhouse conditions, with drip irrigation and an inert substrate (tezontle and river sand), an experiment was carried out under a completely randomized design and a factorial arrangement; the two studied factors were: (F1) nitrogen disposition in the irrigation solution (0.6 mM and 6.0 mM), and (F2) nitrogen form ( $\text{NO}_3^-$ - $\text{NH}_4^+$  proportion: 100%-0, 50%-50%, and 0-100%). Six treatments were implemented; each treatment was replicated four times and each experimental unit had four plants. During the vegetative stage of plants, three non-destructive and one destructive sampling were taken; once production took place, fruits were frequently collected and a destructive sampling was taken. The evaluated variables were: leaf and shoot number, foliar area, fresh and dry matter of aerial and root parts; number, weight, diameter and °Brix of fruits. It was observed that N, at a concentration of 6.0 mM and particularly when  $\text{NH}_4^+$  was used, plant growth and fruit yield were higher than those that received N at 0.6 mM.  $\text{NO}_3^-$ , either alone or in combination with  $\text{NH}_4^+$ , turned out to be harmful for blueberry production. Therefore, we conclude that it is better to apply ammonium at a low rate than to use nitrate at any rate.

**Key words:** Blueberry, hydroponic culture, nitrogen availability, nitrate and ammonium rate, vegetative stage, fruit.

# INTRODUCCIÓN

## **Generalidades**

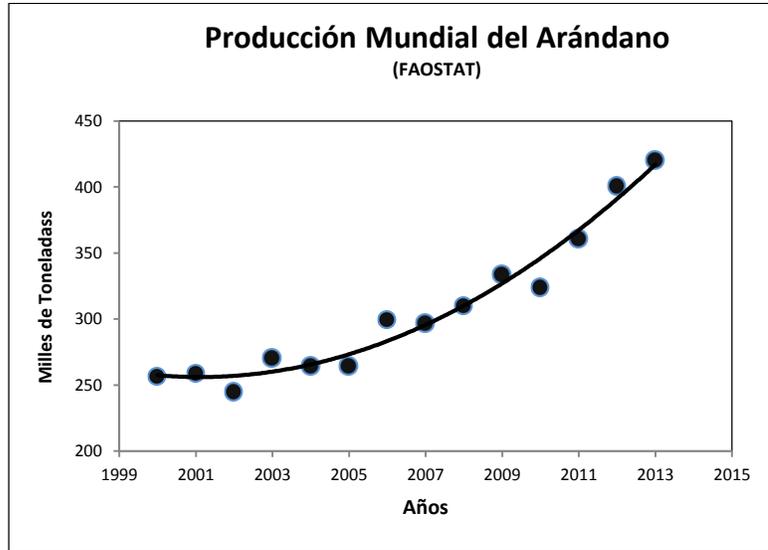
Las "frutillas del bosque", tales como fresas, frambuesas y arándanos, son pequeñas bayas comestibles que crecen como arbustos silvestres en zonas boscosas y templadas (Ilse, 2015). Anteriormente no se cultivaban, ni comercializaban; sin embargo, en los últimos años se ha incrementado el interés por estas frutas debido a su alto contenido en antioxidantes (Fernández-Panchon *et al.*, 2008). Las propiedades saludables de los antioxidantes se deben a su impedir el proceso de oxidación celular, que es la etapa inicial de desarrollo de enfermedades degenerativas, como el cáncer y el Parkinson (Paredes-López *et al.*, 2010).

Los arándanos son frutillas que pertenecen al orden Ericales, familia Ericacea, subfamilia Vaccinoideae, tribu Vaccinieae y género *Vaccinium*, que cuenta con 150 a 450 especies (Retamales y Hancock, 2012). Las plantas más pequeñas pueden medir 20 cm y son conocidas con el nombre de "arándanos de matorral" ("lowbush blueberry") y corresponden a especies de tipo silvestre, como *V. angustifolium* las plantas altas o arbustivas ("highbush blueberry") alcanzan de 2.0 a 2.5 m, como son los arándanos *V. corymbosum* L. y hasta más de 3.0 m, como los *V. ashei* Reade; también existen arándanos "medio-altos" ("Half-high blueberries") y éstos se han originado entre especies de matorral y arbustivas (Galletta y Ballington, 1996; Luby *et al.*, 1990).

Muchos de los arándanos arbustivos actualmente cultivados son híbridos complejos. Por ejemplo, el cultivar Biloxi contiene los genes de cuatro especies: *V. Corymbosum*, *V. angustifolium* (tetraploides), *V. Darrowii* (diploide) y *V. ashei* (hexaploide) (Retamales y Hancock, 2012). Biloxi fue generado en 1998 en Mississippi, EE.UU. y es una planta con un hábito de crecimiento rastrero y de abundante follaje; los frutos son de tamaño pequeño a mediano, de color azul, muy firmes y de precocidad media; sus necesidades de frío son bajas (-400 horas) y requiere polinización cruzada para su fecundación y floración (Lyrene y Ehlenfeldt, 1999; Spiers *et al.*, 2002)

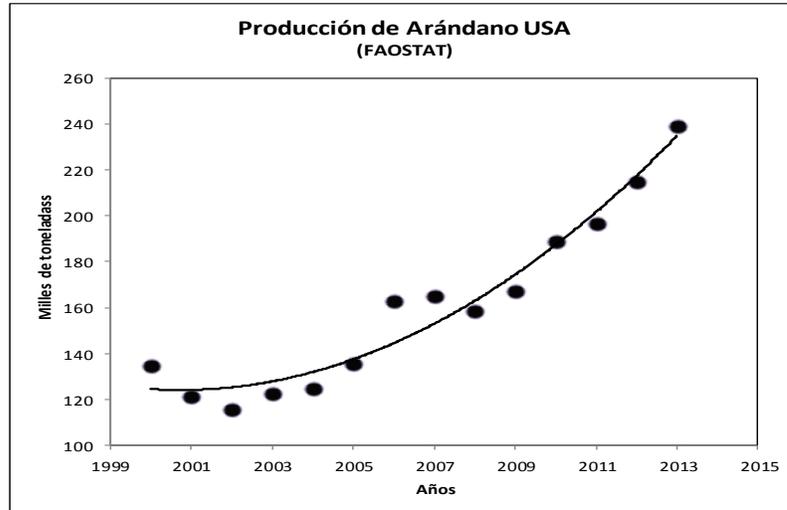
### ***Producción del arándano***

El arándano tipo arbustivo y el arándano “ojo de conejo” (*V. ashei*) comenzaron a ser domesticados en 1900 en EE.UU, iniciando con ello su cultivo. La producción del arándano para el año 2000 fue de 256 millones de toneladas a nivel mundial; del 2000 al 2013 prácticamente se duplicó, pasando a 420 millones de toneladas (Fig. 1).



**Figura 1** Producción Mundial del Arándano **Fuente:** adaptado de (FAOSTAT, 2015)

El principal país productor de arándano es EE.UU, con más del 56% de la producción mundial; en el año 2013 llegó a las 239 mil toneladas (Fig. 2). Las regiones más sobresalientes fueron Michigan, New Jersey y Carolina del Norte. La mayoría de los productores de arándano estadounidenses cultivan entre 8 y 12 hectáreas, bajo la figura de empresas familiares. Otros productores de arándano importantes son Europa, Australia y Nueva Zelanda (Prance y Nesbitt, 2012).



**Figura 2** Producción de Arándanos en EEUU. **Fuente:** adaptado de (FAOSTAT, 2015)

La tendencia de consumo del arándano es creciente en Estados Unidos, Canadá y algunos países europeos, por lo que la producción nacional no cubre la demanda. Esta situación, aunada a la alta rentabilidad del cultivo, incentivó que en México se empezara a cultivar el arándano a partir del año 2000, con 28 ha de acuerdo con los primeros registros (Childers y Lyrene, 2006). En el año 2006 se registró una superficie sembrada con este cultivo de 56 hectáreas, con una producción de 264 toneladas; para 2014 se contaba con una superficie de 1,843 hectáreas y una producción de 18,031 toneladas (Tabla 1); se prevé un incremento para los siguientes años (SIAP, 2015).

**Tabla 1** Cierre de la producción de arándano en México del 2006 al 2014 **Fuente:** SIAP, 2015

Ubicación	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)	PMR (pesos/ton)	Valor de la producción (Miles de pesos)
2014	1,843.07	1,803.07	18,031.41	10.00	51,966.57	937,030.46
2013	1,517.50	1,290.00	10,160.32	7.88	45,887.91	466,235.84
2012	1,153.00	884.50	7,190.60	8.13	44,356.33	318,948.59
2011	783.00	636.00	6,704.07	10.54	23,296.09	156,178.60
2010	402.00	106.00	1,059.37	9.99	19,568.14	20,729.90
2009	196.00	190.00	1,595.00	8.40	6,737.30	10,746.00
2008	190.00	62.00	150.00	2.42	20,100.00	3,015.00
2007	191.00	14.00	123.50	8.82	20,283.40	2,505.00
2006	56.00	56.00	264.00	4.71	20,000.00	5,280.00

Los estados con mayor producción de arándano en México son Jalisco (7,834.Ton), Colima (4,960. Ton), Baja California (2,328 Ton) y Michoacán (1,351 Ton) (Tabla 2).

**Tabla 2** Cierre de la producción 2014 por estados en México **Fuente:** SIAP, 2015

Ubicación	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
B. California	193.00	192.00	2,328.24	12.13	92,717.35	215,868.24
Colima	406.00	406.00	4,960.00	12.22	69,054.28	342,509.22
Jalisco	835.00	835.00	7,834.07	9.38	32,047.77	251,064.51
Michoacán	150.07	131.07	1,351.20	10.31	67,409.79	91,084.10
México	15.00	11.00	34.50	3.14	44,278.26	1,527.60
Puebla	113.00	97.00	441.10	4.55	18,232.04	8,042.16
Sinaloa	97.00	97.00	1,067.00	11.00	24,238.00	25,861.95
Sonora	34.00	34.00	15.30	0.45	70,110.00	1,072.68
	1,843.07	1,803.07	18,031.41	10	51,966.57	937,030.46

En Michoacán el rendimiento promedio de arándano es de 10.31 ton/ha; los municipios con mayor registro de producción de arándano son: Los Reyes y Tangancícuaro, siendo este último el que presenta los mayores rendimientos (Tabla 3).

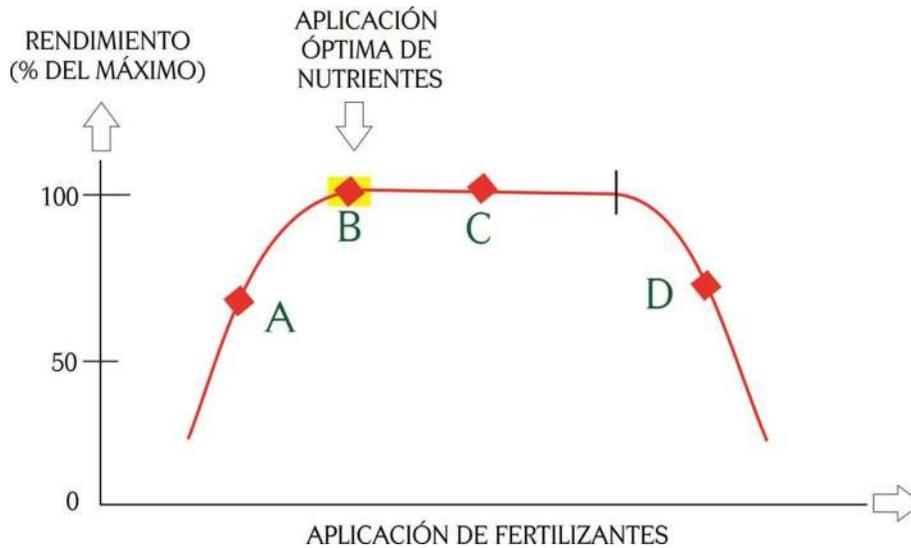
**Tabla 3** Cierre de la producción 2013 en el estado de Michoacán **Fuente:** SIAP 2015

<b>Municipio</b>	<b>Sup. Sembrada (Ha)</b>	<b>Sup. Cosechada (Ha)</b>	<b>Producción (Ton)</b>	<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>PMR (\$/Ton)</b>	<b>Valor Producción (Miles de Pesos)</b>
Chilchota	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Los Reyes	104.07	104.07	1,040.70	10.00	65,175.03	67,827.65
Tangancícuaro	38.00	27.00	310.50	11.50	74,900.00	23,256.45

### ***Fertilización del arándano***

Como para cualquier cultivo, el éxito en la producción del arándano depende de muchos factores, como son : las propiedades del suelo, el riego, la genética de la planta, el clima, las prácticas culturales, el control de plagas y enfermedades y la aplicación de fertilizantes (Retamales y Hancock, 2012). Las investigaciones demuestran que entre el 30 y el 50% del rendimiento de un cultivo es atribuido a la aplicación de fertilizantes, lo que explica que muchos agricultores apliquen más fertilizante del necesario, esperando obtener mayores rendimientos (Trejo-Téllez, 2007). De manera general, al principio el rendimiento del cultivo aumenta con el uso de fertilizantes, hasta que alcanza el nivel máximo; a partir del cual cualquier adición de fertilizante no aumentará la producción. Cuando las tasas de

aplicación de fertilizantes son demasiado altas, disminuye el rendimiento debido a daños por salinidad, así como a un efecto de toxicidad en la planta. La curva de respuesta de rendimiento (Fig. 3) muestra cómo las tasas de aplicación de fertilizantes afectan el rendimiento de los cultivos.



**Figura 3** Curva de respuesta a la aplicación de fertilizantes (A, B, C, D)

La aplicación de fertilizantes en diferentes dosis generalmente es específica para cada nutriente, así como de la especie o genotipo; en cualquier caso, es necesario que exista un adecuado balance de todos los elementos indispensables para la planta (Trejo-Téllez, 2007). El nitrógeno (N) es uno de los elementos esenciales para las plantas, ya que este elemento forma parte de las proteínas, aminoácidos, enzimas, clorofila, alcaloides y ácidos nucleicos. Por esta razón, las plantas lo necesitan en proporciones mayores a otros elementos, por lo que han desarrollado mecanismos para absorber el N en sus formas de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Errebhi y Wilcox, 1990). El N absorbido bajo la forma de nitrato no puede ser utilizado de manera directa por la planta, por lo que es necesaria su reducción a la forma amónica mediante dos enzimas: nitrato reductasa y nitrito reductasa, lo



reportan una reducción en la producción de materia seca y la fertilidad al aumentar la proporción de  $\text{NH}_4^+$  por encima del 50% (Cárdenas-Navarro *et al.*, 2006).

El arándano es una planta de bajos requerimientos nutrimentales, en particular de N; este cultivo a menudo presenta problemas por exceso de fertilizante, más que por carencias (Rubio y Ara, 2006). El exceso de nitrógeno puede reducir la producción de frutos en número y tamaño; retrasar la maduración, al disminuir la resistencia al frío y aumentar la mortalidad de las plantas (Childers y Lyrene, 2006). Esta planta ha evolucionado en suelos que de forma natural no contienen una cantidad significativa de  $\text{NO}_3^-$ , por lo que se ha adaptado más a la utilización del  $\text{NH}_4^+$ . De hecho, en los arándanos la enzima nitrato-reductasa presenta una actividad limitada, por lo que las formas de nitrato no se pueden utilizar eficientemente (Poonnachit y Darnell, 2004). Se ha observado que el arándano presenta una mayor tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$ , área foliar, fotosíntesis neta y producción de biomasa cuando se suministra amonio como fuente nitrogenada que cuando se utiliza nitrato (Claussen y Lenz, 1999); sin embargo, se desconoce el efecto de la disponibilidad y la forma de N ( $\text{NO}_3^-$ : $\text{NH}_4^+$ ) sobre la calidad de los frutos, específicamente en cuanto al contenido de antioxidantes y el sabor.

### ***Calidad de fruto***

La calidad es una percepción sensorial compleja de muchos atributos de una fruta, que son evaluados simultáneamente en forma objetiva o subjetiva por el consumidor y determinan su aceptación de la fruta. El tamaño, la forma, el color, la frescura, la madurez y la ausencia de daños, así como la uniformidad en estos aspectos, son los principales

componentes de la apariencia y determinan la decisión primaria de compra de fruta (Aguayo Giménez *et al.*, 2014). En el arándano fresco los estándares de calidad fueron reglamentados por la Fresh Products Branco, dependiente del USDA, en 1996, quien definió las categorías U.S. N° 1, 2, 3 y no clasificada. Los calibres varían en función de la variedad y se determinan como pequeño (<10mm), mediano (10 a 15mm), grande (15 a 19) y muy grande (>19mm) (Frutimaq., 2011; Molina *et al.*, 2010). La variedad Biloxi corresponde a la categoría mediano (Agrimundo, 2013).

La frescura y la madurez de la fruta dependen en buena medida del momento de la cosecha (Aguayo Gimenez *et al.*, 2014). En el caso del arándano azul, la cosecha se realiza una vez que los frutos han adquirido al 95% este color (Vuarant, 2010) o bien 6 días después de su maduración, para que ganen más tamaño (Shoemaker, 1975). Se recomienda cosechar en horas frescas y refrigerar lo antes posible (Figueroa, Guerrero, y Bensch, 2010) para garantizar una vida de anaquel de al menos 57 días (Mendoza, 2012). La cosecha debe realizarse con cierto cuidado para no remover la cera que cubre el fruto, que le confiere protección y un aspecto más natural (Anderson *et al.*, 2006).

El sabor de las frutas depende del gusto (balance entre el dulzor y la acidez, con baja o ninguna astringencia) y el aroma. El sabor dulce está determinado por las concentraciones de los azúcares predominantes, con relación a la sacarosa (Kader, 2009) y se mide en grados Brix (°Brix) con técnicas colorimétricas. Los °Brix equivalen al porcentaje de peso de la sacarosa en una solución a la temperatura de 20°C (Moreno, 2003). En el arándano existe una relación positiva entre el tamaño de la baya y el contenido de azúcar las bayas más dulces son las recogidas al final de la temporada (Uhe, 1957).

Debido a que el arándano es un cultivo de reciente introducción en México, se desconocen varios aspectos de su manejo, por lo que es necesario realizar trabajos de investigación que conlleven hacia una mejora eficiente de la producción de esta frutilla.

## **HIPÓTESIS**

El crecimiento y la producción de plantas de arándano se ven incrementados por la aportación de N al cultivo, en forma de amonio, en alta concentración.

# OBJETIVOS

## ***Objetivo general***

Evaluar el efecto de la disponibilidad y la forma de nitrógeno sobre el crecimiento, la producción y la calidad de los frutos en arándanos cultivados en condiciones hidropónicas.

## ***Objetivos específicos***

- Evaluar el efecto de la concentración de N en la solución de riego sobre el crecimiento, la producción y la calidad del fruto de arándanos cultivados en condiciones hidropónicas en invernadero.
- Evaluar el efecto de la relación  $N\text{-NO}_3^-:N\text{-NH}_4^+$  sobre el crecimiento, la producción y la calidad del fruto de arándanos cultivados en condiciones hidropónicas en invernadero.
- Evaluar el efecto de la interacción de la concentración N y la relación  $N\text{-NO}_3^-:N\text{-NH}_4^+$  sobre el crecimiento, la producción y la calidad del fruto de arándanos cultivados en condiciones hidropónicas en invernadero.

# MATERIALES Y MÉTODOS

## *Plantas*

El material vegetal utilizado consistió en 96 plantas de arándano de la variedad Biloxi endurecidas en invernadero, que se propagaron en cultivo de tejidos y se obtuvieron en el laboratorio de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, en la ciudad de Uruapan, Michoacán. Las plantas se seleccionaron tomando como característica una altura de 30 cm y con el menor número de brotes y ramificaciones. Las plantas fueron sacadas con cepellón y puestas en macetas de plástico de 7.5 L de capacidad. Como sustrato se utilizó una mezcla de tezontle (0.5-0.7 cm de diámetro) y arena de río en una proporción 1:2. El cultivo se realizó en sistema hidropónico abierto.



**Figura 5** Plantas de arándano 'Biloxi' seleccionadas para la plantación

Las macetas se llevaron a un invernadero tipo cenital, con dimensiones de 9 m x 12 m, en Tarímbaro, Michoacán, México, el 5 de julio de 2014 (Fig. 6).



**Figura 6** Establecimiento del cultivo en arándano 'Biloxi'

### ***Manejo inicial***

Durante los primeros siete días después del traslado al invernadero, todas las plantas recibieron un riego de 30 minutos con agua desionizada una vez al día, con el fin de lograr su aclimatación antes de iniciar los tratamientos. Se realizó un aclareo a los 3 días (8 de julio) para eliminar las ramas laterales y chupones y dejar un solo tallo por planta. Las plantas se tutoraron con estacas de plástico.

A los siete días (12 de Julio) se cortó el tallo principal con un corte perpendicular, para dejar en cada planta diez yemas viables. Las plantas podadas se regaron con agua desionizada durante 15 días.



**Figura 7** Aclareo y tutoreo de plantas en arándano 'Biloxi'



**Figura 8** Poda de las plantas a 10 yemas viables en arándano 'Biloxi'

Con la finalidad homogeneizar las plantas, se dejó un solo brote (correspondiente a una de las 10 yemas que se habían dejado en cada planta), cuya longitud era la más

cercana a la longitud media de todos los brotes de todas las plantas (Fig. 10). La aplicación de los tratamientos se inició el día 27 de Julio del 2014. Los brotes del tallo basal se cortaron cada 15 días durante el tiempo que duró el experimento (Fig. 9)



**Figura 9** Eliminación de brotes basales en arándano 'Biloxi'



**Figura 10** Eliminación de brotes en arándano 'Biloxi'

## Tratamientos

El experimento se estableció con un diseño completamente al azar y en un arreglo bifactorial, siendo los factores: la disponibilidad de nitrógeno en la solución de riego (0.6 mM y 6.0 mM) y las formas de nitrógeno [proporción  $\text{NO}_3^-$  (0, 50 y 100 %) -  $\text{NH}_4^+$ : ( 0, 50 y 100 %)] (Tabla 5). En total se tuvieron 6 tratamientos repetidos cuatro veces; cada unidad experimental estuvo conformada por 4 plantas (Fig. 11).

**Tabla 4** Tratamientos evaluados

Trat. #	[N] mM	$\text{NO}_3^-$ %	$\text{NH}_4^+$ %
1	6	100	0
2	6	50	50
3	6	0	100
4	0.6	100	0
5	0.6	50	50
6	0.6	0	100

Se fertilizó con una solución completa:  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  1.0 mM,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  1.0 mM,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  1.5 mM,  $\text{CaSO}_4$  2.0 mM,  $\text{MgSO}_4$  1.5 mM, preparada con agua destilada (Cárdenas *et al* 1998). Los tratamientos se prepararon de acuerdo a las tablas 5 a 10. El pH de las seis soluciones se ajustó a 5.0 y la conductividad eléctrica a 1.80 mS/cm; estos valores se verificaron una vez por semana (Fig. 12). Los microelementos se adicionaron a todas las soluciones y reaccionaron a la concentración de cada una de ellas.

**Tabla 5** Solución de cultivo NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 0 : NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 6

<b>Meq L<sup>-1</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>=</sup></b>	<b>Σ</b>
<b>K<sup>+</sup></b>	♦	1.00	3.00	4.00
<b>Ca<sup>++</sup></b>	6.00	♦	2.00	8.00
<b>Mg<sup>++</sup></b>	♦	♦	4.00	4.00
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	♦	♦	♦	0.00
<b>Σ</b>	6.00	1.00	9.00	16.00

**Tabla 6** Solución de cultivo NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 3 : NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 3

<b>Meq L<sup>-1</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>=</sup></b>	<b>Σ</b>
<b>K<sup>+</sup></b>	♦	1.00	2.25	3.25
<b>Ca<sup>++</sup></b>	3.00	♦	3.50	6.50
<b>Mg<sup>++</sup></b>	♦	♦	3.25	3.25
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	♦	♦	3.00	3.00
<b>Σ</b>	3.00	1.00	12.00	16.00

**Tabla 7** Solución de cultivo NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 6 : NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 0

<b>Meq L<sup>-1</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>=</sup></b>	<b>Σ</b>
<b>K<sup>+</sup></b>	♦	1.00	1.50	2.50
<b>Ca<sup>++</sup></b>	♦	♦	5.00	5.00
<b>Mg<sup>++</sup></b>	♦	♦	2.50	2.50
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	♦	♦	6.00	6.00
<b>Σ</b>	0.00	1.00	15.00	16.00

**Tabla 8** Solución de cultivo NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 0 : NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 0.6

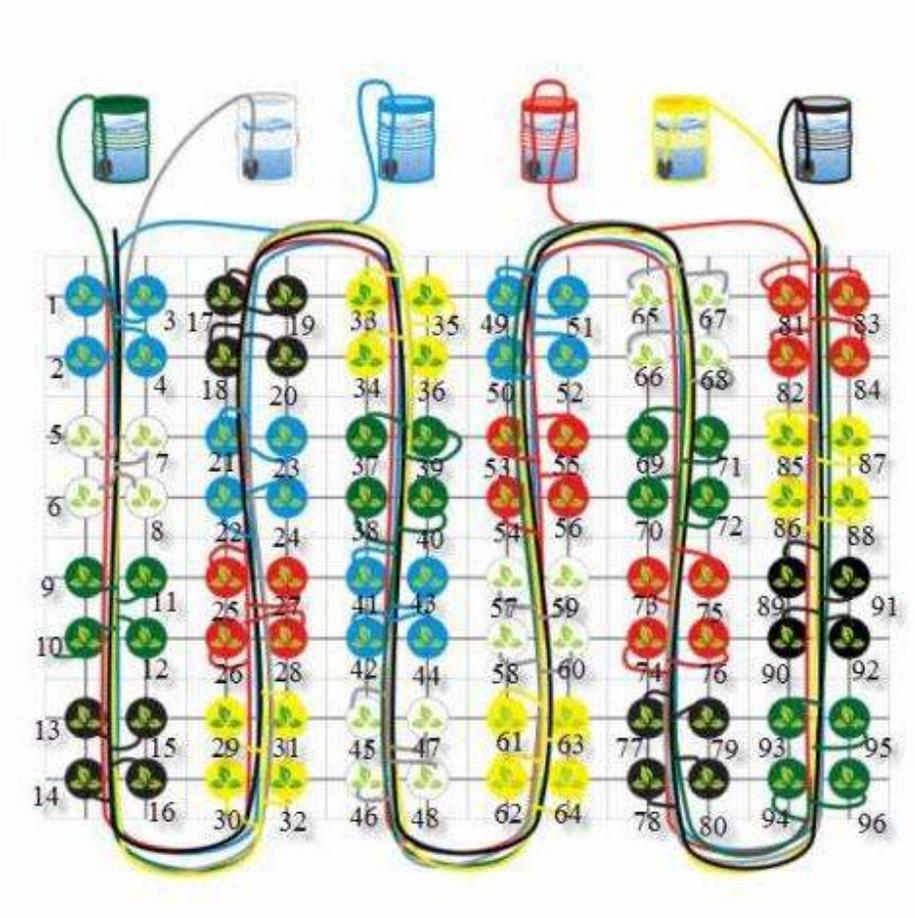
Meq L <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Σ
K <sup>+</sup>	◆	1.00	3.00	4.00
Ca <sup>++</sup>	0.60	◆	7.40	8.00
Mg <sup>++</sup>	◆	◆	4.00	4.00
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	◆	◆	◆	0.00
Σ	0.60	1.00	14.40	16.00

**Tabla 9** Solución de cultivo NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 0.3 : NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 0.3

Meq L <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Σ
K <sup>+</sup>	◆	1.00	2.93	3.93
Ca <sup>++</sup>	0.30	◆	7.55	7.85
Mg <sup>++</sup>	◆	◆	3.93	3.93
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	◆	◆	0.30	0.30
Σ	0.30	1.00	14.71	16.00

**Tabla 10** Solución de cultivo NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 0.6 : NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 0

Meq L <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Σ
K <sup>+</sup>	◆	1.00	2.85	3.85
Ca <sup>++</sup>	◆	◆	7.70	7.70
Mg <sup>++</sup>	◆	◆	3.85	3.85
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	◆	◆	0.60	0.60
Σ	0.00	1.00	15.00	16.00



**Figura 11** Esquema del diseño experimental. Cada color correspondió a un tratamiento



**Figura 12** Medición del pH y C.E. de la solución de riego en arándano 'Biloxi'

## ***Muestreos***

### **Etapa vegetativa**

#### **Muestreos no destructivos**

En la etapa vegetativa se contó el número de hojas (NH) y brotes (NB) de cada planta, y se midió la altura de ésta a partir del brote (Fig. 13).



**Figura 13** Medición de la altura de las plantas en arándano 'Biloxi'

El primer muestreo se realizó a los 29 días desde la instalación del experimento (25 de agosto del 2014); el segundo muestreo se hizo a los 40 días desde la instalación del experimento (5 de septiembre del 2014) y el tercer muestreo se realizó a los 54 días desde la instalación del experimento (19 de septiembre del 2014).

## Muestreos destructivos

Se realizó un muestreo destructivo a los 72 días desde el inicio de los tratamientos (27-jul-14), en el que se midieron el número de hojas (NH), el número de brotes (NB), el área foliar (AF), la materia fresca de las hojas (MFH), la materia fresca de los tallos (MFT) y la materia fresca de la raíz (MFR) de una planta de cada unidad experimental.

### *Determinación del peso fresco*

- a) Se tomó una planta de cada unidad experimental que estuviera únicamente en la etapa vegetativa (sin flores ni frutos).
- b) Se realizó un corte en la base del tallo, se sacó la raíz de la maceta, se vertió el sustrato de la maceta sobre un hule en el suelo con el debido cuidado de no destruir las raíces.
- c) Se lavaron las raíces en una cubeta con agua desionizada, se enjuagaron y se secaron con papel absorbente y se metieron en bolsas etiquetadas.



**Figura 14** Lavado de raíces en plantas de arándano 'Biloxi'

d) Posteriormente se separaron y guardaron en bolsas etiquetadas el tallo principal, los tallos secundarios y las hojas.



**Figura 15** Separación de las partes de la planta de arándano 'Biloxi'

e) Con la ayuda de una balanza de precisión (METTLER TOLEDO PR8002), se hicieron las mediciones de la materia fresca de raíz, tallos hojas en cada planta (Fig.16).



**Figura 16** Pesado de las partes frescas de la planta

### ***Determinación del área foliar***

Se midió el área foliar (AF) de cada planta muestreada en un planímetro electrónico digital (Li-cor 21 2001, LICOR, Licoan NE).

### **Etapa productiva**

#### **Muestreo no destructivo**

#### ***Muestreo de frutos***

Se realizó un muestreo del número de racimos (NR), número de flores (NFL) y número de frutos (NF) de dos plantas de cada unidad experimental. Este muestreo se realizó antes de la maduración de frutos, a los 183 días después de la aplicación de los tratamientos. También se realizaron 4 cortes de frutos maduros, cada 15 días aproximadamente. Los frutos se pusieron en bolsas de plástico (Fig. 17), se pesaron en una balanza analítica, se contabilizaron y se midió diámetro de ellos con un vernier (Fig.18).



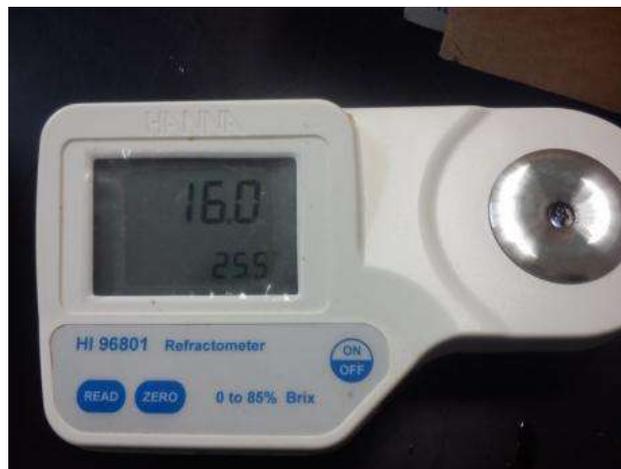
**Figura 17** Recolección de frutos de arándano 'Biloxi'



**Figura 18** Medición de diámetro de frutos

### ***Determinación de los azúcares***

Con el apoyo de un refractómetro digital (HI 96801), se midió el contenido de azúcares ( $^{\circ}$ Brix) en un fruto de cada planta (Fig. 19).



**Figura 19** Medición de grados Brix

## Muestreo destructivo

En la etapa productiva (a los 234 días de haberse iniciado de los tratamientos 27-jul-14) se realizó un muestreo destructivo tomando una planta de cada unidad experimental. Además de las variables consideradas en el muestreo destructivo realizado de la etapa vegetativa, se midieron el número de racimos (NR), el peso de los frutos maduros (PFM) el peso de los frutos verdes (PFV), el rendimiento (R) y los grados Brix ( $^{\circ}$ Brix)..



**Figura 20** Separación y medición de las partes de la planta

## Análisis de los datos

Todos los datos capturados en el presente trabajo cada variable fue sometida a un análisis factorial ANOVA de dos vías por fecha de muestreo y cuando se encontraron diferencias estadísticas significativas se aplicó la prueba de medias Tukey ( $P \leq 0.05$ ). mediante el procedimiento Systat (Systat for Windows, versión 11.1).

## RESULTADOS

### *Etapa vegetativa*

En la Figura 24 se ilustra el aspecto del cultivo en la etapa vegetativa, en donde se aprecia una diferencia entre algunos de los tratamientos. Las plantas que recibieron 6 mM de N fueron ligeramente más altas que las que recibieron 0.6 mM de este elemento. También se observó que las plantas que recibieron sólo  $\text{NO}_3^-$  como fuente nitrogenada presentaron un menor número de brotes que la que recibieron  $\text{NH}_4^+$  ó  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ .



**Figura 21** Aspecto de las plantas de arándano 'Biloxi' en la etapa vegetativa, 54 días después de la aplicación de los tratamientos: 1) 6.0 mM de N: 100%  $\text{NO}_3^-$ , 2) 6.0 mM de N: 50%  $\text{NO}_3^-$  - 50%  $\text{NH}_4^+$ , 3) 6.0 mM N: 100%  $\text{NH}_4^+$ , 4) 0.6 mM de N: 100%  $\text{NO}_3^-$ , 5) 0.6 mM de N: 50%  $\text{NO}_3^-$  50%  $\text{NH}_4^+$  y 6) 0.6 mM N: 100%  $\text{NH}_4^+$ .

En la Tabla 5 se muestran los resultados de los tres muestreos no destructivos realizados en la etapa vegetativa del cultivo. A los 29 días de haber iniciado los tratamientos, se observó un efecto significativo de la interacción entre la concentración y la forma del N en la altura de las plantas, obteniéndose la mayor altura (16.41 cm) con 6.0 mM de  $\text{NH}_4^+$  y la menor (12.49 cm) con 0.6 mM de  $\text{NO}_3^-$ . No se observaron diferencias estadísticamente significativas en esta variable en las siguientes dos fechas de muestreo. En las tres fechas, las plantas fertirrigadas solamente con  $\text{NH}_4^+$  presentaron un número de hojas significativamente mayor que aquellas que recibieron  $\text{NO}_3^-$  ó  $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ . En cuanto al número de brotes, se observaron diferencias significativas de esta variable solamente a los 54 días, con los valores más altos (4.17 y 3.97) para aquellas plantas que recibieron 6.0 mM de N y en las que este elemento se suministró en forma de amonio, respectivamente.

Las tablas 6 y 7 muestran los resultados de los muestreos destructivos realizados en las etapas vegetativa y productiva, a los 72 y 243 días después de la aplicación de los tratamientos.

**Tabla 11** Efecto de la disponibilidad de N, de su forma iónica y de la interacción entre ambos factores sobre la altura de planta (AP), el número de hojas (NH) y número de brotes (NB) en arándano 'Biloxi' en etapa vegetativa a los 29, 40 y 52 días después de la aplicación de los tratamientos (DDT).

(DDT)	Factor	AP (cm)	NH	NB
29	<b>[N]</b>	NS	NS	NS
	0.6 mM	13.80 a	13.40 a	2.30 a
	6.0 mM	14.55 a	13.65 a	2.18 a
	<b>Forma</b>	NS	*	NS
	Amonio	14.98 a	<b>14.69 a</b>	2.70 a
	Nitrato:Amonio	14.18 a	12.81 b	1.78 a
	Nitrato	13.35 a	13.65 ab	2.00 a
	<b>Interacción [N]*forma</b>	*	NS	NS
	0.6 mM Amonio	13.54 ab	14.00 a	2.50 a
	0.6 mM Nitrato:Amonio	15.34 ab	13.69 a	2.20 a
	0.6 mM Nitrato	12.49 b	12.50 a	2.00 a
	6.0 mM Amonio	<b>16.41 a</b>	15.38 a	2.83 a
	6.0 mM Nitrato:Amonio	13.03 ab	11.94 a	1.25 a
6.0 mM Nitrato	14.21 ab	13.63 a	2.00 a	
40	<b>[N]</b>	NS	NS	NS
	0.6 mM	16.92 a	19.59 a	2.17 a
	6.0 mM	16.60 a	19.76 a	2.31 a
	<b>Forma</b>	NS	*	NS
	Amonio	17.69 a	<b>21.28 a</b>	2.75 a
	Nitrato:Amonio	16.47 a	19.03 ab	1.73 a
	Nitrato	16.13 a	18.72 b	2.00 a
	<b>Interacción [N]*forma</b>	NS	NS	NS
	0.6 mM Amonio	17.69 a	20.84 a	2.20 a
	0.6 mM Nitrato:Amonio	16.88 a	19.78 a	2.17 a
	0.6 mM Nitrato	16.19 a	18.16 a	2.00 a
	6.0 mM Amonio	17.69 a	21.71 a	3.14 a
	6.0 mM Nitrato:Amonio	16.06 a	18.28 a	1.20 a
6.0 mM Nitrato	16.06 a	19.28 a	2.00 a	
54	<b>[N]</b>	NS	NS	*
	0.6 mM	20.13 a	26.48 a	2.66 b
	6.0 mM	19.67 a	27.33 a	<b>4.17 a</b>
	<b>Forma</b>	NS	**	*
	Amonio	21.03 a	<b>29.83 a</b>	<b>3.97 a</b>
	Nitrato:Amonio	19.41 a	25.58 b	3.43 ab
	Nitrato	19.25 a	25.30 b	2.00 b
	<b>Interacción [N]*forma</b>	NS	NS	NS
	0.6 mM Amonio	21.44 a	28.48 a	3.13 a
	0.6 mM Nitrato:Amonio	19.88 a	25.87 a	2.50 a
	0.6 mM Nitrato	19.06 a	25.09 a	1.83 a
	6.0 mM Amonio	20.63 a	31.18 a	4.75 a
	6.0 mM Nitrato:Amonio	18.94 a	25.30 a	4.36 a
6.0 mM Nitrato	19.44 a	25.51 a	2.17 a	

Cada valor representa la media de cuatro repeticiones. Medias con las misma letra no son estadísticamente significativas (Tukey,  $P > 0.05$ ).

En la Tabla 6 se observan las variables asociadas al crecimiento de la planta. Tanto a los 72 como a los 243 días de la aplicación de los tratamientos, las plantas que recibieron 6.0 mM de N presentaron un mayor número de hojas que las que recibieron 0.6 mM. Por otra parte, las plantas que recibieron este elemento en forma de  $\text{NH}_4^+$  ó  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  mostraron un mayor valor de esta variable que las que recibieron sólo  $\text{NO}_3^-$ . Se tuvo efecto de interacción entre ambas factores de estudio: a los 72 días las plantas fertirrigadas con 6.0 mM de N en forma de  $\text{NH}_4^+$  produjeron el mayor número de hojas, mientras que aquellas plantas que recibieron 0.6 mM de N en forma de  $\text{NO}_3^-$  tuvieron el menor. No hubo efecto de interacción para ninguna de las variables evaluadas a los 243 días.

**Tabla 12** Efecto de la disponibilidad de N, de su forma iónica y de la interacción entre ambos factores sobre el número de hojas (NH), número de brotes (NB), área foliar (AF), materia fresca de hojas (MFH), tallos (MFT) y raíz (MFR ) de plantas de arándano en etapa vegetativa a los 72 y 270 días después de la aplicación de los tratamientos (DDT)

DDT	Factor	NH	NB	AF (cm <sup>2</sup> )	MFH (g)	MFT (g)	MFR (g)
72	<b>[N]</b>	**	*	**	**	**	NS
	0.6 mM	42 b	3.17 b	365.54 b	11.10 b	5.05 b	10.63 a
	6.0 mM	<b>59.67 a</b>	<b>5.25 a</b>	<b>529.51 a</b>	<b>14.51 a</b>	<b>6.24 a</b>	11.76 a
	<b>Forma</b>	**	**	**	**	**	**
	Amonio	<b>65.63 a</b>	<b>5.50 a</b>	<b>622.68 a</b>	<b>16.61 a</b>	<b>7.12 a</b>	<b>14.80 a</b>
	Nitrato:Amonio	<b>58.00 a</b>	<b>5.38 a</b>	448.50 b	12.70 b	5.61 b	10.15 b
	Nitrato	28.88 b	1.75 b	271.40 c	9.10 b	4.21 c	8.63 b
	<b>Interacción [N]*forma</b>	*	NS	NS	NS	NS	NS
	0.6 mM Amonio	43.75 bc	3.25 a	477.42 a	13.86 a	5.93a	14.79 a
	0.6 mM Nitrato:Amonio	56 bc	4.75 a	385.05 a	11.15 a	5.19 a	9.38 a
	0.6 mM Nitrato	26.25 c	1.50 a	234.14 a	8.30 a	4.03 a	7.73 a
	6.0 mM Amonio	<b>87.50 a</b>	7.75 a	767.94 a	19.37 a	8.30 a	14.81 a
6.0 mM Nitrato:Amonio	60.00 ab	6.00 a	511.94 a	14.26 a	6.03 a	10.93 a	
6.0 mM Nitrato	31.50 bc	2.00 a	308.66 a	9.90 a	4.38 a	9.54 a	
243	<b>[N]</b>	*	NS	NS	NS	*	NS
	0.6 mM	63.92 b	3.67 a	501.24 a	15.17 a	16.06 b	34.26 a
	6.0 mM	<b>117.25 a</b>	3.50 a	848.98 a	21.45 a	<b>26.05 a</b>	36.82 a
	<b>Forma</b>	**	NS	*	*	**	NS
	Amonio	<b>141.50 a</b>	4.88 a	<b>1054.00 a</b>	<b>27.01 a</b>	<b>31.51 a</b>	44.73 a
	Nitrato:Amonio	<b>95.75 a</b>	4.13 a	700.32 ab	19.15 ab	20.77 b	34.33 a
	Nitrato	34.50 b	1.75 a	271.01 b	8.78 b	10.90 c	27.57 a
	<b>Interacción [N]*forma</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	0.6 mM Amonio	83.25 a	2.50 a	620.98 a	18.39 a	21.79 a	39.07 a
	0.6 mM Nitrato:Amonio	69.50 a	5.00 a	538.38 a	15.99 a	14.35 a	30.32 a
	0.6 mM Nitrato	39.00 a	3.50 a	344.35 a	11.14 a	12.06 a	33.40 a
	6.0 mM Amonio	199.75 a	7.25 a	1487.02 a	35.63 a	41.22 a	50.38 a
6.0 mM Nitrato:Amonio	122.00 a	3.25 a	862.26 a	22.31 a	27.19 a	38.35 a	
6.0 mM Nitrato	30.00 a	0.00 a	197.66 a	6.42 a	9.73 a	21.73 a	

Cada valor representa la media de cuatro repeticiones. Medias con las misma letra no son estadísticamente significativas (Tukey,  $P > 0.05$ )

A los 72 días de haber iniciado los tratamientos se observó un efecto significativo de la concentración del N sobre el área foliar, con una mayor superficie en aquellas plantas que recibieron 6.0 mM de este elemento. Tanto a los 72 como a los 243 días, las plantas que recibieron N en forma de  $\text{NH}_4^+$  presentaron mayor área foliar que las que recibieron sólo  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ . En cuanto al contenido de materia fresca de hojas y tallos, los valores más altos fueron para las plantas que recibieron 6.0 mM de N y en las que este elemento se suministró en forma de amonio. No se tuvo efecto de interacción entre ambos factores en las dos fechas evaluadas. Lo mismo ocurrió para el contenido de materia fresca de raíz, pero solamente en aquellas plantas que fueron suministradas con amonio.

En la Tabla 7 se observan las variables asociadas a la producción de frutos de la planta a los 243 días de la aplicación de los tratamientos. Las plantas que recibieron N en forma de  $\text{NH}_4^+$  mostraron un mayor número de racimos, y peso de frutos maduros y peso de frutos verdes que las que recibieron sólo  $\text{NO}_3^-$ . En esta última variable, los valores más altos fueron también para las plantas que recibieron 6.0 mM de N. En cuanto al rendimiento, hubo efecto de interacción entre los factores de estudio, con los valores más altos para aquellas plantas que recibieron tanto 0.6 como 6.0 mM de N en forma de amonio, así como en las que se suministró 6.0 mM de amonio y nitrato. No se observaron diferencias significativas en los grados Brix en este muestreo destructivo.

**Tabla 13** Efecto de la disponibilidad de N, de su forma iónica y de la interacción entre ambos factores sobre el número de racimos (NR), peso de frutos maduros (PFM), peso de frutos verdes (PFV), rendimiento (R), y grados Brix (°Brix ) de frutos en la producción de arándano 'Biloxi' a los 243 días después de la aplicación de los tratamientos (DDT)

DDT	Factor	NR	PFM (g)	PFV (g)	R (g)	°Brix
	<b>[N]</b>	NS	NS	**	*	NS
	0.6 mM	7.67 a	61.40 a	32.84 b	94.24 b	12.67 a
	6.0 mM	8.50 a	73.50 a	<b>62.17 a</b>	<b>135.67 a</b>	12.65 a
	<b>Forma</b>	*	*	**	**	NS
	Amonio	<b>10.13 a</b>	<b>93.04 a</b>	<b>83.02 a</b>	<b>176.06 a</b>	11.76 a
	Nitrato:Amonio	8.63 ab	74.90 ab	38.98 b	113.88 b	12.62 a
<b>243</b>	Nitrato	5.50 b	34.42 b	20.51 b	54.93 c	13.60 a
	<b>Interacción [N]*forma</b>	NS	NS	NS	*	NS
	0.6 mM Amonio	10.75 a	96.09 a	63.01 a	<b>159.10 a</b>	11.98 a
	0.6 mM Nitrato:Amonio	6.00 a	47.43 a	15.96 a	63.39 b	12.78 a
	0.6 mM Nitrato	6.25 a	40.70 a	19.55 a	60.24b	13.25 a
	6.0 mM Amonio	9.50 a	89.99 a	103.04 a	<b>193.032 a</b>	11.55 a
	6.0 mM Nitrato:Amonio	11.25 a	102.37 a	62.00 a	<b>164.37 a</b>	12.46 a
	6.0 mM ol Nitrato	4.75 a	28.14 a	21.48 a	49.62 b	13.95 a

Cada valor representa la media de cuatro repeticiones. Medias con las misma letra no son estadísticamente significativas (Tukey,  $P > 0.05$ ).

## ***Etapa productiva***

En la Figura 25 se ilustra el aspecto del cultivo en la etapa productiva, en donde se observa una diferencia entre algunos de los tratamientos. Las plantas que recibieron 6 mM de N en forma de  $\text{NO}_3^-$  fueron las más bajas. También se observa que las plantas que recibieron sólo  $\text{NH}_4^+$  como fuente nitrogenada presentan un mayor número de racimos y frutos que las que recibieron solo  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ .



**Figura 22** Aspecto de las plantas de arándano 'Biloxi' en la etapa productiva 270 días después de la aplicación de los tratamientos: 1) 6.0 mM de N: 100%  $\text{NO}_3^-$ , 2) 6.0 mM de N: 50%  $\text{NO}_3^-$  50%  $\text{NH}_4^+$ , 3) 6.0 mM N: 100%  $\text{NH}_4^+$ , 4) 0.6 mM de N: 100%  $\text{NO}_3^-$ , 5) 0.6 mM de N: 50%  $\text{NO}_3^-$  50%  $\text{NH}_4^+$  y 6) 0.6 mM N: 100%  $\text{NH}_4^+$ .

En la Tabla 8 se observan las variables asociadas a la producción de frutos de la planta a los 183 días después de iniciado el tratamiento. Las plantas que recibieron 6.0 mM de N y en las que este elemento se suministró en forma de amonio o nitrato+amonio presentaron el mayor número de racimos. La concentración de 6.0 mM de N también favoreció el mayor número de frutos por planta, se tuvo efecto significativo de la interacción entre la concentración y la forma del N, con los valores más altos para aquellas plantas en las que se suministró 6.0 mM de N en forma de  $\text{NH}_4^+$  o en la mezcla  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , mientras que los valores más bajos fueron para las plantas que recibieron 0.6 mM de  $\text{NO}_3^-$ .

**Tabla 14** Efecto de la disponibilidad de N, de su forma iónica y de su interacción sobre el número de racimos (NR), número de flores (NFL) y número de frutos(NF) de la producción en plantas de arándano a los 183 días después de la aplicación de los tratamientos (DDT).

(DDT)	Factor	NR	NFL	NF
183	<b>Nitrógeno (N)</b>	**	*	**
	0.6 mM	3.083 b	27.33 b	108.13 b
	6.0 mM	<b>5.50 a</b>	<b>52.46 a</b>	<b>189.30 a</b>
	<b>Forma de N (F)</b>	**		**
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<b>5.31 a</b>	51.44 a	<b>221.53 a</b>
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> :NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<b>4.56 a</b>	42.63 a	162.44 b
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3.00 b	25.63 a	64.19 c
	<b>N*F</b>			**
	0.6 mM Amonio	4.63 a	37.13 a	179.63 b
	0.6 mM Nitrato:Amonio	2.63 a	22.50 a	83.25 c
	0.6 mM Nitrato	2.00 a	22.38 a	61.50 c
	6.0 mM Amonio	6.00 a	65.75 a	<b>269.43 a</b>
	6.0 mM Nitrato:Amonio	6.50 a	62.75 a	<b>241.63 a</b>
6.0 mM Nitrato	4.00 a	28.88 a	66.88 c	

Cada valor representa la media de cuatro repeticiones. Medias con las misma letra no son estadísticamente significativas (Tukey,  $P > 0.05$ ).

En la Tabla 9 se muestran los resultados de 4 muestreos cosecha de frutos realizados en la etapa productiva del cultivo. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en grados Brix en ninguna de las fechas muestreadas.

**Tabla 15** Efecto de la disponibilidad de N, de su forma iónica y de la interacción entre ambos factores sobre el contenido de grados Brix (°Brix), número de frutos (NF), peso promedio de frutos (PPF), diámetro promedio de frutos (DPF) y rendimiento (R) de la recolección de frutos maduros en cuatro fechas (Días) después de la aplicación de los tratamientos (DDT)

Días de tratamiento	Factor	Grados brix	NF	PPF (g)	DPF (mm)	R (g)
200	<b>[N]</b>	NS	NS	NS	NS	NS
	0.6 mM	13.73 a	11.42 a	1.00 a	12.91 a	13.25 a
	6.0 mM	13.42 a	9.67 a	0.98 a	12.58 a	10.42 a
	<b>Forma</b>	NS	NS	*	NS	NS
	Amonio	13.25 a	11.50 a	1.07 ab	12.88 a	14.25 a
	Nitrato:Amonio	13.63 a	6.88 a	<b>1.20 a</b>	13.00 a	8.00 a
	Nitrato	13.86 a	13.25 a	0.90 b	12.28 a	13.25 a
	<b>Interacción [N]*forma</b>	NS	NS	NS	NS	NS
	0.6 mM Amonio	13.25 a	14.50 a	1.23 a	13.50 a	18.00 a
	0.6 mM Nitrato:Amonio	13.75 a	8.50 a	1.15 a	12.75 a	9.75 a
	0.6 mM Nitrato	14.33 a	11.25 a	0.92 a	12.33 a	12.00 a
	6.0 mM Amonio	13.25 a	8.50 a	0.90 a	12.25 a	10.50 a
	6.0 mM Nitrato:Amonio	13.50 a	5.25 a	1.26 a	13.25 a	6.25 a
	6.0 mM Nitrato	13.50 a	15.25 a	0.88 a	12.23 a	14.50 a
214	<b>[N]</b>	NS	NS	NS	NS	NS
	0.6 mM	12.92 a	16.17 a	0.91 a	12.17 a	15.25 a
	6.0 mM	12.17 a	21.67 a	0.93 a	12.05 a	21.25 a
	<b>Forma</b>	NS	*	**	**	*
	Amonio	12.25 a	<b>27.38 a</b>	<b>0.97 a</b>	<b>12.50 a</b>	<b>26.88 a</b>
	Nitrato:Amonio	13.00 a	17.75 ab	<b>1.03 a</b>	<b>12.63 a</b>	18.75 ab
	Nitrato	12.38 a	11.63 b	0.76 b	11.19 b	9.13 b
	<b>Interacción [N]*forma</b>	NS	NS	NS	NS	NS
	0.6 mM Amonio	12.00 a	25.25 a	1.02 a	12.75 a	25.00 a
	0.6 mM Nitrato:Amonio	13.25 a	14.75 a	0.94 a	12.50 a	14.00 a
	0.6 mM Nitrato	13.50 a	8.50 a	0.75 a	11.25 a	6.75 a
	6.0 mM Amonio	12.50 a	29.50 a	0.92 a	12.25 a	28.75 a
	6.0 mM Nitrato:Amonio	12.75 a	20.75 a	1.11 a	12.75 a	23.5 a
	6.0 mM Nitrato	11.25 a	14.75 a	0.76 a	11.14 a	11.5 a
233	<b>[N]</b>	NS	*	NS	NS	NS
	0.6 mM	12.40 a	15.17 b	0.90 a	12.10 a	14.83 a
	6.0 mM	11.92 a	<b>25.58 a</b>	0.93 a	11.92 a	24.42 a
	<b>Forma</b>	NS	**	**	**	**
	Amonio	11.38 a	<b>38.25 a</b>	<b>0.96 a</b>	<b>12.38 a</b>	<b>36.13 a</b>
	Nitrato:Amonio	12.29 a	16.38 b	<b>1.06 a</b>	<b>12.57 a</b>	17.63 b
	Nitrato	12.86 a	6.50 b	0.73 b	11.00 b	5.13 b
	<b>Interacción [N]*forma</b>	NS	NS	NS	NS	NS
	0.6 mM Amonio	11.50 a	31.25 a	1.00 a	12.50 a	31.00 a
	0.6 mM Nitrato:Amonio	13.67 a	10.00 a	1.00 a	12.67 a	10.00 a
	0.6 mM Nitrato	12.33 a	4.25 a	0.70 a	11.00 a	3.50
	6.0 mM Amonio	11.25 a	45.25 a	0.92 a	12.25 a	41.25 a
	6.0 mM Nitrato:Amonio	11.25 a	22.75 a	1.12 a	12.50 a	25.25 a
	6.0 mM Nitrato	13.25 a	8.75 a	0.76 a	11.00 a	6.75 a
270	<b>[N]</b>	NS	**	NS	NS	**
	0.6 mM	14.70 a	44.58 b	0.87 a	14.70 a	37.92 b
	6.0 mM	13.33 a	<b>118.42 a</b>	0.83 a	13.33 a	<b>93.50 a</b>
	<b>Forma</b>	NS	**	NS	NS	**
	Amonio	13.00 a	<b>133.75 a</b>	0.84 a	13.00 a	<b>104.13 a</b>
	Nitrato:Amonio	14.43 a	81.25 ab	0.90 a	14.43 a	69.25 ab
	Nitrato	14.57 a	29.50 b	0.80 a	14.57 a	23.75 b
	<b>Interacción [N]*forma</b>	NS	NS	NS	NS	NS
	0.6 mM Amonio	13.75 a	84.75 a	0.92 a	13.75 a	73.25 a
	0.6 mM Nitrato:Amonio	14.67 a	24.00 a	0.86 a	14.67 a	20.50 a
	0.6 mM Nitrato	16.00 a	25.00 a	0.83 a	16.00 a	20.00 a
	6.0 mM Amonio	12.25 a	182.75 a	0.77 a	12.25 a	135.00 a
	6.0 mM Nitrato:Amonio	14.25 a	138.50 a	0.93 a	14.25 a	118.00 a
	6.0 mM Nitrato	13.50 a	34.00 a	0.78 a	13.50 a	27.50 a

Medias con las misma letra no son estadísticamente significativas (Tukey,  $P > 0.05$ ).

A los 233 y a los 270 días después de la aplicación de los tratamientos, las plantas que recibieron 6.0 mM de N y a las que este elemento se suministró como  $\text{NH}_4^+$  presentaron un mayor número de frutos que las que recibieron 0.6 mM o a las que el N se suministró como  $\text{NO}_3^-$ . En cuanto al peso promedio y diámetro de frutos, los valores más altos se observaron en las plantas que recibieron  $\text{NH}_4^+$  ó  $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ , mientras que los más bajos fueron para aquellas que recibieron únicamente  $\text{NO}_3^-$ . En cuanto al rendimiento, éste fue mayor en aquellas plantas que recibieron N en forma de  $\text{NH}_4^+$  y a una concentración de 6.0 mM lo cual fue más evidente a partir de los 214 días después de iniciados los tratamientos; por el contrario, los menores rendimientos se observaron en las plantas que recibieron N en forma de  $\text{NO}_3^-$ .

En la Tabla 10 se presentan los valores de las variables asociadas a la suma y promedios de frutos cosechados desde los 200 a los 270 días de la aplicación de los tratamientos. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en los grados Brix. Tanto el número de frutos como el rendimiento total fue para las plantas que recibieron 6.0 mM de N, principalmente cuando este elemento se suministró en forma de amonio. Por otro lado, el peso promedio y el diámetro promedio de frutos fueron significativamente mayores tanto en aquellas plantas que recibieron N en forma de amonio como en la mezcla de éste con nitrato.

**Tabla 16** Efecto de la disponibilidad de N, de su forma iónica y de la interacción entre ambos factores sobre el contenido de grados Brix ( $^{\circ}$ Brix), número de frutos (NF), peso promedio de frutos (PPF), diámetro promedio de frutos (DPF) y rendimiento (R) de la suma y promedios totales de la recolección de frutos maduros en plantas de arándano en etapa productiva 200, 214, 233 y 270 días después de la aplicación de los tratamientos (DDT)

Días de tratamiento	Factor	$^{\circ}$ Brix	NF	PPF (g)	DPF (mm)	R (g)
	<b>[N]</b>	NS	**	NS	NS	**
	0.6 mM	13.33	87.33 b	0.94 a	11.98 a	81.10 b
	6.0 mM	12.73	<b>175.33 a</b>	0.93 a	12.01 a	<b>149.79 a</b>
	<b>Forma</b>	NS	**	**	**	**
	Amonio	12.39	<b>210.88 a</b>	<b>0.96 a</b>	<b>12.20 a</b>	<b>181.44 a</b>
	Nitrato:Amonio	13.22	122.25 b	<b>1.04 a</b>	<b>12.44 a</b>	113.64 b
	Nitrato	13.48	60.88 b	0.79 b	11.35 b	51.25 c
<b>200 a 270</b>	<b>Interacción [N]*forma</b>	NS	NS	NS	NS	NS
	0.6 mM Amonio	12.44	155.75 a	1.04 a	12.44 a	147.15 a
	0.6 mM Nitrato:Amonio	13.49	57.25 a	0.99 a	12.15 a	54.07 a
	0.6 mM Nitrato	14.06	49.00 a	0.79 a	11.37 a	42.07
	6.0 mM Amonio	12.33	266.00 a	0.88 a	11.97 a	215.73 a
	6.0 mM Nitrato:Amonio	12.96	187.25 a	1.10 a	12.74 a	173.19 a
	6.0 mM Nitrato	12.90	72.75 a	0.80 a	11.33 a	60.43 a

Cada valor representa la media de cuatro repeticiones. Medias con las misma letra no presentan diferencias estadísticamente significativas (Tukey,  $P > 0.05$ ).

# DISCUSIÓN

## Efecto de la disponibilidad del nitrógeno

En el presente trabajo, en la etapa vegetativa, a los 54 días después de la aplicación de los tratamientos, se observó un incremento significativo en el número de brotes en las plantas irrigadas con soluciones con 6.0 mM de N (Tabla 5); a los 72 días después de la aplicación de los tratamientos se tuvo un aumento en la biomasa fresca de tallos y hojas con la misma concentración de N (Tabla 8). El N es el principal responsable del crecimiento del tallo, hojas, ramas y vigor en general de las plantas (Trejo-Téllez, 2007).

Se sabe que el arándano es una planta de bajos requerimientos nutrimentales, en particular de N, y que a menudo presenta problemas por exceso de fertilizante, más que por carencias (Rubio y Ara, 2006). Durante los dos primeros años del cultivo obtuvieron un mayor crecimiento y producción con la aplicación de 50 N kg/ha, que con aplicaciones más elevadas, de 100 ó 150 Kg/ha. (Banados, *et al*, 2012) Sin embargo, el crecimiento se puede ver favorecido con la aplicación de N, dependiendo de la forma del N utilizada, y con algunas diferencias con respecto a la especie o variedad cultivada (Hanson, 2004).

En la etapa productiva, se observó un incremento en la producción de frutos, dependiendo de la concentración de N en la solución de riego (Tabla 8). Las plantas fertirrigadas con soluciones con 6.0 mM de N presentaron un mayor número de racimos, flores y frutos que las que recibieron 0.6 mM de este elemento en la solución de riego (Tabla 9 y 10). Esto coincide con lo señalado por Retamales y Hancock (2012) en cuanto al

aumento en rendimiento y calidad de fruto que se puede tener al aumentar la disponibilidad de N.

Llama la atención la alta cantidad de frutos verdes (Tabla 9). Se ha comprobado que al aplicar nitrógeno al arándano la madurez del fruto puede retrasarse (Agronómicas, 1969), además de que se puede presentar una reducción en el tamaño del mismo (Childers y Lyrene, 2006). En el presente trabajo, no hubo una reducción en el tamaño del fruto con la concentración más alta (6.0 mM) de N.

En cuanto al contenido de azúcares (°Brix), no hubo diferencias significativas en los tratamientos; sin embargo, con la concentración más baja de N (0.6mM) hubo una tendencia hacia el aumento de este factor. Esto concuerda con lo señalado por Uhe (1957) en cuanto a que las plantas de arándano que reciben una menor cantidad de nitrógeno tienden a aumentar ligeramente el contenido de azúcar de los frutos.

El muestreo destructivo evidenció un mayor número de tallos y hojas con la mayor concentración (6.0 mM), tanto en la etapa vegetativa como en la productiva. Esto concuerda con lo publicado por Hanson y Hancock (1996), en el sentido de que en el arándano aumentan los brotes y hojas cuando hay un incremento del N.

El arándano requiere el N todos los años. Las cantidades a aplicar dependen de la edad de la planta y del tipo del suelo (Retamales, 1988), por lo que cambia según la región. Por ejemplo, en Michigan se sugiere una aportación de 16.8 Kg N/ha en el segundo año (Hanson y Hancock, 1996), mientras que en Oregon (Hart *et al.*, 2006) y Asturias (Rubio *et al.*, 2013) se recomiendan 68 y 15 Kg N/ha, respectivamente, para el primer año.

## Efecto de las formas iónicas del nitrógeno

En los primeros muestreos realizados durante la etapa vegetativa (Tabla 5) el número de hojas y brotes fue significativamente mayor con amonio que con nitrato o nitrato:amonio. Este efecto del amonio en el crecimiento se observó también a los 72 días (Tabla 6), siendo significativo para número de hojas, área foliar, número de brotes, materia fresca de tallos, hojas y raíz con respecto a los tratamientos que solo llevaron nitrato (Tabla 7). En el presente trabajo el amonio produjo un crecimiento significativamente mayor que la combinación nitrato: amonio para área foliar, materia fresca de hojas, tallos y raíces. Estas plantas han evolucionado en condiciones de suelo que no contienen de forma natural una cantidad significativa de NO<sub>3</sub>-N y dependen más del amonio (Spectrum., 2013).

Estos resultados concuerdan con lo señalado por Claussen y Lenz (1999) en cuanto a que el arándano incrementa la producción de biomasa con la aplicación de amonio y la disminuye con la aplicación de solo nitrato. También concuerda con Poonnachit y Darnell (2004), quienes indican que al aplicar una baja concentración de nitrato en *V. corymbosum* hubo una disminución de biomasa en las plantas . A este respecto, Hanson y Hancock (1996) mencionan que el nitrato puede causar daño a los arándanos, por lo que recomienda que se suministre amonio como fuente nitrogenada y evitar el uso de nitrato.

En la etapa productiva (Tabla 6, 7,9) permaneció la significancia en el número y área foliar de las hojas, así como materia fresca de tallos, siendo en todos los casos mayor el amonio respecto al nitrato, mientras que la combinación nitrato - amonio fue significativamente menor que el amonio en cuanto a materia fresca de tallos. Estos resultados concuerdan con lo dicho por Retamales (1988) en relación a un sustrato con pH controlado, el amonio favorece el crecimiento de las plantas.

Tanto el amonio como la combinación nitrato:amonio favorecieron un mayor número de racimos respecto al tratamiento que solo llevó nitrato (Tabla 10). En cuanto al número de frutos, éste se favoreció con el amonio con respecto a la combinación nitrato:amonio y solo nitrato. Esto mismo se observó para el rendimiento total (Tabla 9 y 12). Por tanto, en el cultivo de arándano (Bryla y Machado, 2011).

También se presentaron diferencias para la calidad de la fruta (peso y diámetro promedio de frutos); los valores más altos se lograron tanto con el amonio como con la combinación nitrato:amonio, así como con los valores más bajos para el tratamiento solo a base de nitrato.

## **Interacción concentración –forma de N**

Durante la etapa vegetativa solamente se presentó un efecto combinado significativo en la altura de la planta (a los 29 y 72 días): el amonio a la mayor concentración (6.0 mM) produjo plantas más altas que el nitrato a la menor concentración (0.6 mM). También en el número de hojas hubo significancia: con amonio a 6.0 mM fue mayor que para todas las demás aplicaciones de 0.6 mM y para el nitrato a 6.0 mM .

En la etapa productiva hubo diferencias significativas en el número de frutos (Tabla 12) y el rendimiento (Tabla 11). En ambos casos, los tratamientos a base de nitrato, junto con la combinación nitrato:amonio a 0.6 mM fueron significativamente inferiores respecto al amonio en sus dos concentraciones y el nitrato:amonio a 6.0 mM. Esto puede ser debido a que especies como *V corymbosum*, debido a la baja actividad de la enzima nitrato reductasa, no son muy eficientes en la absorción de nitrato (Poonnachit y Darnell, 2004). La actividad de

las enzimas en el arándano puede reflejar la adaptación de la planta a cierta condición de pH y forma de nitrógeno (Claussen y Lenz, 1999).

En cuanto a la calidad de la fruta, no se presentaron efectos significativos para esta variable. Sin embargo, los tratamientos con 0.6 y 6.0 mM de  $\text{NO}_3^-$  estuvieron respectivamente por debajo y en el límite del intervalo, considerado óptimo para la variedad Biloxi, que es de 0.8-3.9 g (Hernández Hernández, 2014).

## CONCLUSIONES

Finalmente tomando en cuenta los resultados obtenidos, llegamos a la conclusión de aceptar la hipótesis objeto de nuestro estudio, es decir que el crecimiento y la producción de plantas de arándano se ven incrementados por la aportación de N al cultivo, en forma de amonio, en alta concentración.

La mayor concentración de nitrógeno en la etapa vegetativa incrementó el número de hojas y de brotes de las plantas de arándano.

En la etapa productiva, el incremento en la concentración de nitrógeno aumento la producción de frutos.

El nitrógeno en la forma de amonio durante la etapa vegetativa incremento la biomasa general de la planta.

Al aplicar únicamente amonio como fuente nitrogenada, la producción de frutos aumentó significativamente.

La aplicación de nitrato, ya sea solo o en combinación con amonio, es perjudicial para la producción del arándano.

La aplicación de N en forma de nitrato, afecta de manera negativa la calidad de la fruta (el peso y el tamaño son bajos). No obstante, la aplicación de amonio o de la combinación nitrato:amonio favoreció un incremento en peso y tamaño de la fruta.

Para tener una buena producción de arándano, es mejor hacer una aplicación baja con solo amonio que una aplicación alta con nitrato.

## **RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS**

Con base a los resultados obtenidos de este trabajo, se sugiere lo siguiente:

- 1) Continuar con este estudio con los mismos tratamientos, pero ahora con enfoque hacia la cantidad de antioxidantes en los frutos; esto con el propósito de saber si existe una relación entre la concentración de N o su forma con respecto a la cantidad de antioxidantes en el fruto.
- 2) Determinar, mediante un mayor número de tratamientos y distintas concentraciones, la concentración más adecuada de amonio, así como hasta qué punto este compuesto resulta tóxico o deficiente a la planta.
- 3) Mejorar la capilaridad del sustrato mediante la adición de lana de roca u otro material al sustrato que se empleó (Tezontle: Arena de río) en el presente trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agrimundo. (2013). Realidad productiva del arándano en EE.UU. y México. Fecha de consulta 23/12/14 <http://www.agrimundo.cl/?publicacion=realidad-productiva-del-arandano-en-ee-uu-y-mexico>
- Agronómicas, I.N.d.I. (1969) Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas Universidad de California: Madrid, 388 , 90'.
- Aguayo Giménez, E., Alegre Castellví, S., Artés Calero, F., Artés Hernández, F., da Costa, B. S., Bitencourt de Almeida, G., . . . Escalona Contreras, V. H. (2014). Evaluación no destructiva de la calidad e implementación en la industria frutícola.
- Anderson, A. C., Kulczycki, C., Vergara, A, y Tejedor M. (2006). Cosecha de arándano buenas practicas agrícolas. (pp 22) EEA INTA.
- Banados, M. P., Strik, B. C., Bryla, D. R., y Righetti, T. L. (2012). Response of highbush blueberry to nitrogen fertilizer during field establishment, I: accumulation and allocation of fertilizer nitrogen and biomass. *HortScience*, 47(5), 648-655.
- Blaya, S. N., y García, G. N. (2003). *Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*: 2da edición Mundi-Prensa.
- Bryla, D. R., y Machado, R. M. (2011). Comparative effects of nitrogen fertigation and granular fertlizer application on growth and availability of soil nitrogen during Establishment of Highbush Blueberry. *Frointiers in Plant Science*, 2 (46), 1-8.
- Cárdenas-Navarro, R., López-Pérez, L., Lobit, P., Ruiz-Corro, R., y Castellanos-Morales, V. (2006). Effects of nitrogen source on growth and development of strawberry plants. *Journal of plant nutrition*, 29(9), 1699-1707.
- Claussen, W., y Lenz, F. (1999). Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth, and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry. *Plant and Soil*, 208(1), 95-102.
- Childers, N. F., y Lyrene, P. M. (2006). *Blueberries for growers, gardeners, and promoters*. pp. 169-176 in: Norman F. Childers (ed). Horticultural Publications, Gainesville, Fla. 266 p.
- Errebhi, M., y Wilcox, G. (1990). Plant species response to ammonium-nitrate concentration ratios. *Journal of Plant Nutrition*, 13(8), 1017-1029.
- FAOSTAT. (2015). Food and Agriculture Organization of the United Nations Fecha de consulta: 01/06, 2015, Disponible en: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S>

- Fernandez-Panchon, M., Villano, D., Troncoso, A., y Garcia-Parrilla, M. (2008). Antioxidant activity of phenolic compounds: from in vitro results to in vivo evidence. *Critical reviews in food science and nutrition*, 48(7), 649-671.
- Figueroa, D., Guerrero, J., y Bensch, E. (2010). Efecto de momento de cosecha y permanencia en huerto sobre la incidencia de hongos de poscosecha en arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.), cvs. berkeley, brigitta y eliott durante la temporada 2005-2006 *Idesia (Arica)*, 28(2), 9-19.
- Frutimaq. (2011). Seleccionadora de arándanos Fecha de consulta: 06/07, 2015, Disponible en: <http://sites.google.com/site/frutimaq/seleccionadora-de-arandanos>
- Galletta, G. J. y Ballington, J. R. (1996). Blueberries, cranberries, and lingonberries. pp. 1-108. In: Janick, J. y Moore, J. N. (eds). Fruit breeding, vol. II: vine and small fruits. John Willey y Sons, Inc., New York. 477 p.
- Hanson, E.J. (2006). Nitrogen fertilization of highbush blueberry. *Acta Horticulturae*, 715, 347-352.
- Hanson, E., y Hancock, J. F. (1996). *Managing the nutrition of highbush blueberries: N°8918* (Folleto) Michigan State University Extension educacional programs and materials. Michigan. 8 p
- Hernández Hernández, D. (2014). *Estudio nutrimental de arándano azul (Vaccinium corymbosum L.) cv. Biloxi en Los Reyes, Michoacán*. Doctorado, Colegio de Postgraduados.
- Ilse, F. M. (2015). Caracterización físico-química y sistema de producción del arándano (*Vaccinium myrtillus* L.) en Jalisco.
- Kader, A. A. (2009). La calidad del sabor de frutas y hortalizas. *Horticultura internacional*(69), 6-7.
- Lobit, P., López-Pérez, L., Cárdenas-Navarro, R., Castellanos-Morales, V., y Ruiz-Corro, R. (2007). Effect of ammonium/nitrate ratio on growth and development of avocado plants under hydroponic conditions. *Canadian journal of plant science*, 87(1), 99-103.
- Luby, J. J.; Ballington, J. R.; Draper, A. D.; Pliszka, K. y Austin, M. E. (1990). Blueberries and cranberries. pp. 393-456. In: Moore, J. N. y Ballington, J. R. (eds.). Genetic resources of temperate fruit and nut crops. International Society for Horticultural Science, The Netherlands. 974 p.
- Lyrene, P.M.y Ehlenfeldt, M. (1999). Blueberry. p. 184. In: W.R. Ockie (ed.). Register of new fruit and nut varieties, list 39. *HortScience* 34(2): 181-205.
- Mendoza, B. H. (2012). Factores nutricionales en la calidad y condición de los berries. Fecha de consulta: 06/07/2015 Disponible en: <http://www.blueberrieschile.cl/paper/paper26.pdf>

- Molina, N, Taiariol, D, Delssin, E, y Cartiel, s. (2010). Producción de Arándanos en Corrientes Análisis técnico y económico. EEA Bella Vista, 38, 20.
- Moreno, D. X. S. (2003). *Guía de procesos para la elaboración de néctares, mermeladas, uvas pasas y vinos*: (ed) 1ª Siglo Del Hombre Editores S.A. Bogotá . 40 p
- Paredes-López, O., Cervantes-Ceja, M. L., Vigna-Pérez, M., y Hernández-Pérez, T. (2010). Berries: improving human health and healthy aging, and promoting quality lifea review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(3), 299-308.
- Poonnachit, U., y Darnell, R. (2004). Effect of ammonium and nitrate on ferric chelate reductase and nitrate reductase in *Vaccinium* species. *Annals of Botany*, 93(4), 399-405.
- Prance, G., y Nesbitt, M. (2012). *Cultural History of Plants*: (ed) 1ª Taylor y Francis. New York. 464 p.
- Retamales, J. (1988). Fisiología y nutrición de arándanos. *Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria* 21.
- Retamales, J., y Hancock, J. (2012). *Blueberries*: CABI. Cambridge, Massachusetts, USA. 323 p.
- Rubio, J. C. G., y Ara, M. C. (2006). Estudio económico del cultivo del arándano. *Tecnología Agroalimentaria: Boletín informativo del SERIDA*(3), 14-22.
- Shoemaker, J. S. (1975). *Small fruit culture* (4, illustrated ed.): AVI Pub. Co.
- SIAP. (2015). Agricultura Producción Anual Fecha de consulta 08/08/2015, Disponible en: [www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/](http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/)
- Spectrum. (2013). Fertilizing ..... blueberries. ....Fecha de consulta 27/02/2015 <http://www.spectrumanalytic.com/support/library/pdf/Fertilizing%20Blueberries.pdf>
- Spiers, J.M., Stringer, S.J., Draper, A.D. y Gupton, C.L. (2002). 'Biloxi' southern highbush blueberry. *Acta Horticulturae*, 574, 153-155.
- Trejo-Téllez, L. I. (2007). *Nutrición de cultivos*: Ediciones Mundi-Prensa. México D. F. 454 p.
- Uhe, G. (1957). The influence of certain factors on the acidity and sugar content of the Jersey blueberry. *Economic Botany*, 11(4), 331-343.
- Vuarant, C. O. (2010). *Arandanos: Fac. de Ciencias de la Alimentacion*: Vuarant Carlos Omar.

