

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



NUTRICIÓN DE ARÁNDANO AZUL (*Vaccinium corybosum*) CON NITRATO Y
AMONIO EN SISTEMA DE RAÍCES DIVIDIDAS EN HIDROPONÍA

Tesis

Que presenta OLIVER GABRIEL LEAL AYALA
como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN AGRICULTURA PROTEGIDA

Saltillo, Coahuila

Junio 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



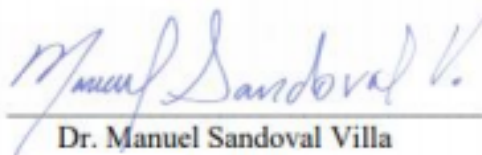
NUTRICIÓN DE ARÁNDANO AZUL (*Vaccinium corybosum*) CON NITRATO Y
AMONIO EN SISTEMA DE RAÍCES DIVIDIDAS EN HIDROPONÍA

Tesis

Que presenta OLIVER GABRIEL LEAL AYALA
como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN AGRICULTURA PROTEGIDA



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Director UAAAN



Dr. Manuel Sandoval Villa
Director Externo

Saltillo, Coahuila

Junio 2021

NUTRICIÓN DE ARÁNDANO AZUL (*Vaccinium corybosum*) CON NITRATO Y AMONIO EN SISTEMA DE RAÍCES DIVIDIDAS EN HIDROPONÍA

Tesis

Elaborada por OLIVER GABRIEL LEAL AYALA como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Agricultura Protegida con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría

Dr. Alberto Sandoval Rangel
Asesor Principal

Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente
Asesor

Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Asesor

Dra. Libia Iris Trejo Téllez
Asesor

Dr. Manuel Sandoval Villa
Asesor

Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente
Subdirector de Postgrado UAAAN

Saltillo, Coahuila

Junio 2021

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios de postgrado.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y en especial al programa de Doctorado en Agricultura Protegida, por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación académica y fomentar en mí siempre el interés por la investigación científica.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa, por su continuo apoyo durante mis estudios de postgrado.

Al Dr. Alberto Sandoval Rangel, por su apoyo, consejos brindados y amistad durante el desarrollo del proyecto de investigación.

Al Dr. Manuel Sandoval Villa, por brindarme su confianza, amistad, sus consejos, enseñanzas y por el apoyo continuo durante mi desarrollo académico.

Al Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente, por siempre contar con su apoyo y amistad durante mi desarrollo académico doctoral.

A la Dra. Libia Iris Tejo Téllez, por su apoyo continuo en mi formación científica y ver en ella un ejemplo a seguir, así como también, por haberme facilitado sus instalaciones de laboratorio para llevar a cabo esta investigación.

Al Dr. Adalberto Benavides Mendoza, por su apoyo durante el desarrollo del proyecto de investigación.

A mi familia, por todo su apoyo otorgado para concluir con esta meta.

DEDICATORIA

A mis padres:

Dr. Víctor Manuel Leal León y Sra. Alma Lorena Ayala Soto

Por su amor, apoyo, consejos, valores y la motivación constante que me han permitido alcanzar mis metas.

A mis hermanos:

Alma y Víctor

Por estar conmigo y apoyarme siempre.

A mis abuelos:

Eleazar Ayala Urías y Gloria Irma Soto Padilla

David Leal (†) y Rosario León Rendón (†)

Por la confianza, consejos y amor brindado en toda mi vida.

A mi hijo:

Amado Leal Verdugo

Para que vea en mí un ejemplo a seguir

A mi esposa:

Dulce Anahy Verdugo Escárcega

Quien me brindo su amor y apoyo constante.

CARTAS DE ACEPTACION DE ARTÍCULOS



Roxana L. STOIAN 12 ene



para Manuel, yo, Alberto, Libia, Marcelli... ▾

Dear Dr. Manuel Sandoval-Villa, Oliver Leal, Alberto Sandoval-Rangel, Libia Trejo-Téllez, Marcelino Cabrera-de la Fuente, Adalberto Benavides-Mendoza,

It is our great pleasure to inform you that your manuscript entitled "Nitrogen form and root division modifies the nutrimental and biomolecules concentration in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.)" has been accepted to be published in our journal, *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*.

Congratulations for your work and achievement, and thank you for your contribution!

Your submission now needs to be proofread by following steps:

1. Download the attached *.pdf file.
2. Please be sure to carefully verify again each section of the article, starting with title, author(s), institutions, corresponding author, institutional e-mails for all authors, abstract, keywords, chapters' contents, tables and figures, references list. Check the citations and references list, including journals titles (full title, not abbreviated!). Please ensure that every reference cited in the text is also present in the references list (and vice versa).

Texcoco, Estado de México, 20 de mayo de 2021
Núm. Ref: 2841-21

Oliver Gabriel Leal-Ayala
Colegio de Postgraduados
Presente

Por este medio le agradezco y acuso de recibido su manuscrito titulado: '**Concentración nutrimental y calidad de frutos de arándano en condición de raíz dividida**', cuyos autores (as) son **Oliver Gabriel Leal-Ayala, Alberto Sandoval-Rangel, Manuel Sandoval-Villa, Libia Iris Trejo-Téllez, Marcelino Cabrera-De la Fuente y Adalberto Benavides-Mendoza**, que fue enviado para su posible publicación a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Le notificamos que el texto inicial del manuscrito, autor(a) principal y los coautores(as) y autor(a) para correspondencia no podrán alterarse y quedarán como se envía en esta versión.

Asimismo, me permito informarle que es responsabilidad del autor(a) dar seguimiento en el proceso de posible publicación, en la petición que se realizará a los dictaminadores(as) en los términos que requiere la revista. Agradezco su colaboración y le envío un cordial saludo.

Atentamente

JSAPlhPWpRZ6tXw+VhUyyg==EN0Xfy6BnNRYwviTqOd3FD5IFPo=

Dra. Dora Ma. Sangerman-Jarquín
Editora en Jefa de la Revista
Mexicana de Ciencias Agrícolas

ccp *Archivo
DMSJ/dmsj

Índice

INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Origen y proceso de domesticación	3
Producción a nivel mundial	4
Producción nacional	5
Suelo	8
Clima	9
Requerimientos nutrimentales	9
Capacidad productiva	10
Propiedades nutricionales y nutraceuticas	10
Variedades	12
Métodos de cultivo	13
Mecanismos fisiológicos y bioquímicos detonados por el nitrato y el amonio	14
Principales problemas que aquejan la producción	16
PRIMER ARTÍCULO	19
Nitrogen form and root division modifies the nutrimental and biomolecules concentration in blueberry (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.)	19
SEGUNDO ARTÍCULO	33
Concentración nutrimental y calidad de frutos de arándano en condición de raíz dividida	33
CONCLUSIONES GENERALES	52
REFERENCIAS	53

INTRODUCCIÓN

El arándano azul (*Vaccinium corymbosum*) es un arbusto perenne perteneciente al género *Vaccinium* en la familia Ericaceae (Jiang *et al.*, 2019), el cual ha sido estudiado a profundidad apenas en los últimos 100 años, pudiéndose decir que es un lapso muy corto en la historia (Nishiyama *et al.*, 2020).

Este fruto ha generado gran importancia económica a nivel mundial debido a su alto contenido en antioxidantes (Howard *et al.*, 2003; You *et al.*, 2011); ocupa el primer lugar de 15 tipos de alimentos saludables a nivel mundial, enumerados por los nutricionistas británicos, y también representa una de las cinco categorías amplias de suplementos dietéticos humanos enumerados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Kay y Holub, 2002).

Estados Unidos es el mercado más grande de consumo de arándano en el mundo, asimismo, el país más grande productor e importador. El volumen de sus importaciones ha crecido a una tasa promedio anual de 17.5%, en el 2015 registró el mayor volumen de importación con 187.2 mil toneladas, representando el 51% de las importaciones mundiales. De la misma manera, en los últimos 10 años, el consumo *per cápita* de arándanos en Estados Unidos aumentó en casi un 200% (800 g/persona) (Romero, 2016).

En México en 2017, el volumen nacional exportado registró un máximo histórico de 26 mil toneladas, de las cuales el 95.4% se vendió al mercado estadounidense (SIAP, 2018). En la última década, ha tenido un crecimiento de más de 800% en su producción, debido entre otros factores a la demanda del producto (Pérez-Cruz, 2018).

El estudio de los requerimientos nutricionales nos permite tomar decisiones sobre el proceso de producción del cultivo y establecer una relación entre el requerimiento nutrimental y la calidad del fruto (Castillo *et al.*, 2016). Respecto al N, el NH_4^+ y NO_3^- representan el 80% del total de cationes y aniones respectivamente, absorbidos por las plantas, por lo que la forma de N tiene un gran impacto en la absorción del resto de elementos (Marschner, 2012). Las deficiencias nutrimentales en cultivos en etapa vegetativa se reflejan en trastornos fisiológicos; lo que posteriormente se traduce en bajos rendimientos, calibres pequeños y mala calidad nutricional del fruto (Mancera *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2008).

El arándano como muchas plantas calcífugas, está adaptado a suelos ácidos (pH 4.0-5.5), con alto contenido de materia orgánica, con hierro (Fe) fácilmente disponible y altas concentraciones de N-NH₄⁺, relativo a N-NO₃⁻ (Darnell y Hiss, 2006; Bryla *et al.*, 2008). Es bien sabido que NH₄⁺ y NO₃⁻ se utilizan por separado como una fuente única de N para beneficiar el desarrollo y el rendimiento según la especie, ya que generalmente las plantas adaptadas en ambientes ácidos prefieren NH₄⁺; de lo contrario, las adaptadas en ambientes alcalinos prefieren NO₃⁻ (Marschner, 2012).

Algunos autores han tratado de explicar el efecto de las diferentes fuentes de N en variables vegetativas y fisiológicas en arándanos; sin embargo, todavía no existe un acuerdo claro entre las conclusiones resultantes de cada experimento. En este sentido, algunos investigadores indican que el arándano se comporta mejor al NH₄⁺ como fuente principal de N en el suelo o en hidroponía (Osorio *et al.*, 2019; Tamir *et al.*, 2020). Por el contrario, otros autores han informado que el crecimiento de yemas y raíces, así como la actividad fotosintética están influenciados positivamente por la aplicación de NO₃⁻ comparado con el NH₄⁺ (Crisóstomo *et al.*, 2014), incluso que existen cultivares que pudieran ser abastecidos con el 100% de N-NO₃⁻ (Nunez, *et al.*, 2015). Asimismo, la respuesta de las plantas de arándanos al estado nutrimental de N también está influenciada en la disponibilidad de este elemento por el método de aplicación (Bryla y Strik, 2015).

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del aporte de nitrato (NO₃⁻) y amonio (NH₄⁺), al exponer la mitad de las raíces a NO₃⁻ y la otra mitad a NH₄⁺ simultáneamente, y su efecto en la fisiología, el estatus nutrimental y la calidad de frutos de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.).

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen y proceso de domesticación

El arándano azul (*Vaccinium corymbosum* L.) es una baya originaria de América del Norte donde crece de forma silvestre, ésta ha sido estudiada a profundidad apenas en los últimos 100 años, pudiéndose decir que es un lapso muy corto en la historia, considerando que las especies silvestres comestibles de *Vaccinium* han sido cosechadas y consumidas por los humanos durante miles de años en América del Norte (Nishiyama *et al.*, 2020).

El desarrollo en el mejoramiento genético del arándano azul inicio en el siglo XX en Estados Unidos y los primeros intentos de selección desde el medio silvestre las realizó Frederick Coville a partir de 1911, las cuales mejoraron notablemente a través de programas de cruzamiento. Coville comenzó este trabajo pionero en el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) al que posteriormente se agregaron varias universidades en diferentes estados (Michigan, Nueva Jersey, Wisconsin, Carolina del Norte, Georgia, Florida, Arkansas), así como también, otras oficinas del USDA en diferentes estados formando una red que contribuyó a extender el cultivo comercial de arándanos y su adaptación a diferentes ambientes (suelo y clima) a la vez que se incrementaba la productividad y la calidad de fruto. La hibridación interespecífica fue una de las técnicas de mayor relevancia en especies del género *Vaccinium* (Nishiyama *et al.*, 2020). Después de múltiples cruzamientos entre diferentes especies se generó una planta tetraploide, la cual, luego de varios trabajos de mejoramiento dio origen al “arándano highbush” actual (Medel, 1982). La poliploidía es un fenómeno común en especies vegetales, incluyendo el arándano azul. Este fenómeno genera diversidad tanto genotípica como fenotípica, con una consecuente aparición de fenotipos élite que pueden presentar mejoras en calibre de los frutos, como resultado de la duplicación de genes. **(Figura 1)** (Comai, 2005).

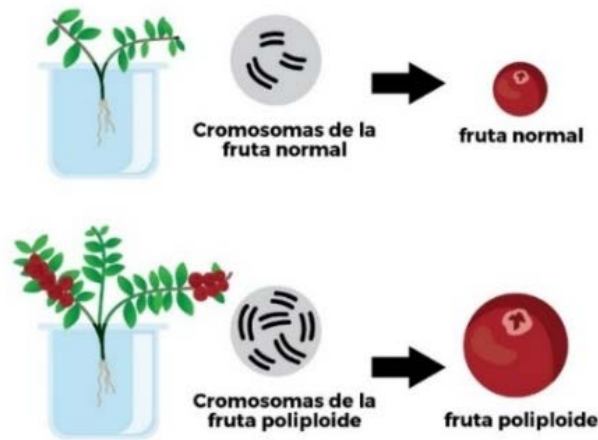


Figura 1. Mejoramiento de arándano silvestre (Brenes, 2017).

De dichos cruzamientos, se derivan los cultivares Highbush, Norteño y Sureño, según su requerimiento de horas frío y resistencia al invierno (Retamales y Hancock, 2018). Los Norteños son nativos del subtrópico con temperaturas templadas de América del Norte y fueron los primeros en programas de domesticación de arándano azul conocidos como “Northern highbush” (NHB) iniciados por Frederick Coville del Departamento de Agricultura (USDA). Mientras que, el arándano Sureño Highbush (SHB) es un grupo de cultivares que se adaptan mejor a los climas cálidos debido a que este es derivado de la cruce de arándanos tetraploides NHB y especies nativas bajas en frío de Florida, Estados Unidos. Lo anterior, resultó en una diversidad fenotípica muy amplia debido a que contienen segmentos genómicos de muchas especies del género *Vaccinium* (Nishiyama *et al.*, 2020). El cultivo hoy en día ha traspasado fronteras de su lugar de origen y está siendo cultivado en otras regiones del mundo: Europa, Sudamérica, Asia y Oceanía. Esta dispersión mundial de la especie ha planteado nuevos desafíos a la adaptación y nuevos métodos de cultivo (Undurraga y Vargas, 2013).

Producción a nivel mundial

En el año 2019, la producción mundial de esta fruta fue de 808,478 t, siendo Estados Unidos (308,760 t), Canadá (176,127 t), Perú (142,427 t), Chile, España (53,380 t), México (48,999 t), Polonia (34,770 t), Alemania (14,850 t), Países Bajos (11,060 t) los principales países productores (FAOSTAT, 2020). Es importante señalar que las estadísticas de FAOSTAT no

consideran las cifras de producción del más importante productor de arándano de América del Sur, Chile. Este país en 2019 produjo 166 mil toneladas, de los cuales 111.86 toneladas corresponden a arándanos frescos, se estima que es el tercero en el ranking mundial de producción (ODEPA, 2020).

Estados Unidos es el mercado más grande de consumo de arándano en el mundo, así mismo, el país más grande productor e importador. El volumen de sus importaciones ha crecido a una tasa promedio anual de 17.5%, en el 2015 se registró el mayor volumen de importación con 187.2 mil toneladas, representando el 51% de las importaciones mundiales (Romero, 2016). De la misma manera, en los últimos 10 años, el consumo *per cápita* de arándanos en Estados Unidos aumentó en casi un 200% (800 g/persona). Los mayores mercados locales para este fruto son los estados de California, Texas, New York, Florida e Illinois, representando en su conjunto el 37% del total de este gran mercado (Romero, 2016).

América del Norte (Estados Unidos y Canadá) es el mayor productor mundial de arándanos cultivados, con 223 millones de kg sobre una superficie de casi 44,000 ha. En segundo lugar está Chile, donde a pesar de ser un cultivo que se introdujo a principios de los 80, se ha situado en poco tiempo como segundo productor mundial, con algo más de 13,000 ha y una producción en torno a los 50 millones de kg, que represente el 90% de la producción de América del Sur (García *et al.*, 2013).

Producción nacional

El interés de los comerciantes por mantener e incrementar su oferta de frutillas desencadenó, en el occidente de México, una conversión productiva hacia el cultivo de frutillas. Prueba de ello es que, en 2017, la región occidental (Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Michoacán, Jalisco, Nayarit, Querétaro y Zacatecas) comprendía el 89% de las 36,135 ha que cultivaban frutillas en el país, en las cuales se obtuvo el 88% de la producción nacional (González-Ramírez *et al.*, 2020).

La producción y consumo de arándanos en México se inició en 1996, siendo los cultivares "Biloxi", "Ventura" y "Victoria" los más populares (Díaz-Lara *et al.*, 2019). En la última década, ha tenido un crecimiento de más de 800% en su producción, debido entre otros factores a la demanda del producto en Europa, Asia y Norteamérica (Pérez-Cruz, 2018). El arándano se consume en fresco y se utiliza como insumo para gran variedad de productos

como mermeladas, purés, jugos, vinos e ingredientes para pastelería y cereales; en algunos lugares también se vende congelado (SADER, 2019).

En México casi no se consume esta fruta, pues se consume en promedio 98 g *per cápita* de arándano al año, por lo que, en México, el 90% de la producción nacional de este fruto se exporta al mercado de Estados Unidos, lo que posiciona al país como un fuerte competidor en la carrera para abastecer la demanda del vecino país del norte (SADER, 2019). México trabaja en otros acuerdos con países como Qatar, Emiratos Árabes, Kuwait, Arabia Saudita y algunos más, con la finalidad de que los productores mexicanos puedan extender sus exportaciones de berries hacia estas naciones, según informes de SAGARPA (Hernández, 2017).

La **Figura 2** muestra los principales estados productores de arándanos en México, los cuales son: Jalisco con 43.4%, Colima con 27.5%, Baja California 12.9%, Michoacán con 7.5%, y Puebla con 2.4%. Cabe señalar que la producción incrementó en Jalisco en alta medida en el 2014 respecto a 2013 (50.9%), mientras que Colima lo hizo en un porcentaje histórico de 185.7, Baja California incrementó su producción en 93% y Michoacán 48.2% (FIRA, 2016).

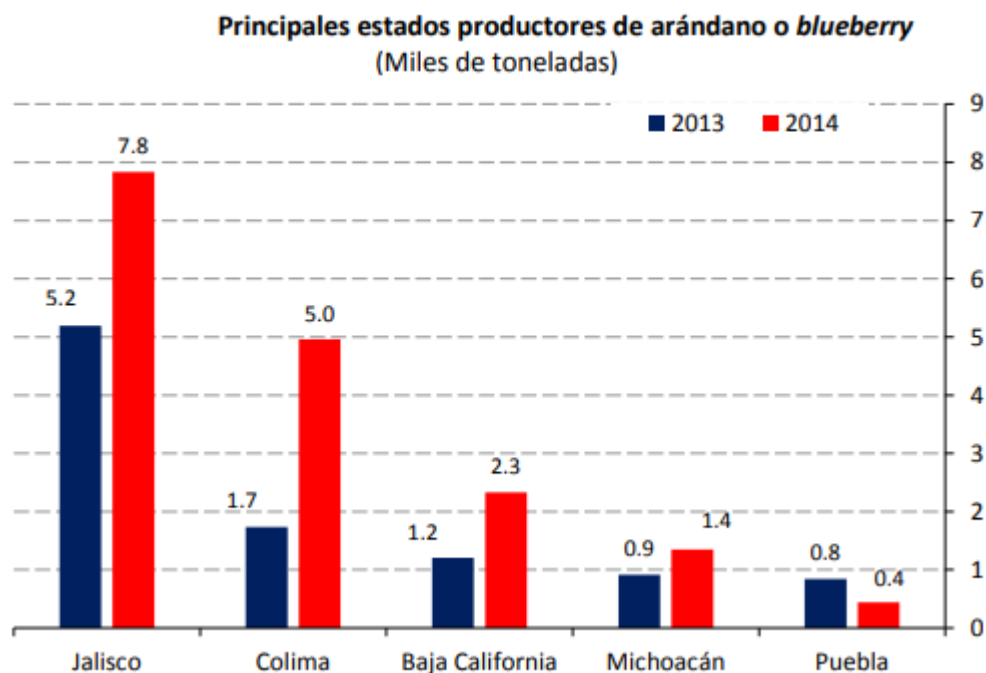


Figura 2. Principales productores de arándano (FIRA, 2016).

Un dato contundente en cuanto a este incremento de la producción en México se debe a que el vecino país del norte es el principal productor y consumidor a nivel mundial, con un consumo anual *per cápita* de aproximadamente 720 g, de los cuales, 270 son congelados y 550 arándanos frescos, Ante esta demanda del mercado, en los últimos años el crecimiento ha contribuido al desarrollo de numerosas inversiones implementadas en este rubro (Pérez-Cruz, 2018).

La producción de arándano en México concentra a más de 20 empresas exportadoras, que en su mayoría son transnacionales que contratan arriba de cuatro mil pequeños productores (ANABERRIES, 2017). Un importante porcentaje de la producción mexicana se da por contrato para empresas con alianzas comerciales entre Chile y México, como: Agroberries, Hortifrut, Driscoll's y North Bay Produce, entre otras (Pérez-Cruz, 2018). Tal ha sido el beneficio de las alianzas estratégicas de ambos países que, recientemente, los gobiernos de éstos oficializaron la colaboración para potenciar la capacidad exportadora de productos agrícolas a través del proyecto de cooperación técnica bilateral (SAGARPA, 2017) y del Programa México de la Asociación de Exportadores de Frutas de Chile, A. C. (ASOEX, 2017). De este modo, por su ubicación geográfica, los dos países se conectan con las aguas del Océano Pacífico, lo que les permite tener acceso a un amplio mercado de consumidores de este producto agrícola, tanto en la parte de Norte América, como de Asia y Oceanía.

De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de México (SIAP), durante el 2019 se reportó una superficie total sembrada de arándanos en México de poco más de 3.786 ha, localizadas en los estados de Jalisco, Michoacán, Sinaloa y Puebla; aunque el 50% de la superficie sembrada de arándanos, se encuentra en el estado de Jalisco, específicamente en los municipios de Zapotlán el Grande, Zalpoltictic, Tuxpan y Tala (Carrillo, 2020). El estado de Michoacán tiene una superficie sembrada de arándanos de 603 ha, lo que equivale a un 16% del total de la superficie, y se encuentra en los municipios de Los Reyes, Tangancícuaro y Salvador Escalante. Respecto a Sinaloa, este estado posee 450 ha, equivalente a un 12% del total de arándano azul en México. La mayoría de las hectáreas sembradas en este estado se encuentran en el municipio de El Fuerte. Finalmente, en el estado de Baja California existen 285 ha, representando un 7.5% del total, muy similar a la superficie de Puebla, con 233 ha y de Colima, con 239 ha de arándanos sembrados. Del total de

superficie que abarca la producción de arándanos en México, menos de la mitad (43%) se cultiva a cielo abierto. Luego, alrededor de un 6% se cultiva bajo mallas sombra y el 50% restante se cultiva bajo cobertura o macrotúneles (Carrillo, 2020).

De acuerdo con datos de FAOSTAT, en el año 2015 el monto que generó este sector en el país fue de \$6'593,000.30 dólares. Estas cifras han tenido un comportamiento constante desde el año 2010 a la fecha. En 2014, existían en México 2,625 ha sembradas (SIAP, 2015) que generaban entre 100 y 110 mil empleos directos e indirectos, lo que constituye 2% del monto de empleos generados en la agroindustria de alimentos en dicho año (FAOSTAT, 2015). En 2016, las exportaciones aumentaron 64% respecto al año anterior, de acuerdo con datos del Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI, 2017), año en el cual las exportaciones reportaron utilidades por el valor de 187'007,000 dólares. De acuerdo con el SIAP, en 2018 se obtuvieron en México más de 40 mil toneladas de arándano y, en 2019, más de 48 mil toneladas, colocándose como el tercer productor a nivel mundial, superando el valor de la producción, en ese año, los 2 700 millones de dólares.

Suelo

El sistema radical del arándano está compuesto principalmente por raíces finas y fibrosas que se concentran en un 80% a 50 cm de profundidad del suelo, es decir, muy cerca de la superficie. Estas raíces fibrosas carecen de pelos radicales y tienen relativamente baja capacidad de absorción, por ende, son muy sensibles al estrés hídrico. Las raíces del arándano no son capaces de atravesar superficies de suelo compactas y requieren de suelos sueltos y bien drenados, con buen contenido de materia orgánica (3 a 5%) (Undurraga y Vargas, 2013). El pH es uno de los parámetros más críticos para este cultivo, que crece bien en suelos con pH entre 4.4 y 5.5, aunque en Sudamérica se ven huertos creciendo bien con pH de 5.8 a 6.0. De aquí la importancia de conocer la condición química del suelo antes del establecimiento; por tanto, se recomienda realizar un análisis completo de macro y micronutrientes, salinidad (conductividad eléctrica), materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y pH (González *et al.*, 2017).

Si el pH es alto, es vital la determinación de la cantidad de azufre elemental necesario para acercarse a la acidez requerida. Es preferible comenzar a aplicar el azufre el año anterior a la plantación, incorporándolo superficialmente a toda la superficie a plantar. Si no se alcanzó a

acidificar el suelo antes de plantar, el azufre debe mezclarse muy bien con el suelo que se sacará del hoyo de plantación. La acidez del suelo debe ser verificada anualmente para asegurar el desarrollo normal de las plantas de arándano (Undurraga y Vargas, 2013).

Por otro lado, en un sistema hidropónico se busca mantener estas mismas condiciones de acidez en el sustrato, bajo un riego con solución nutritiva donde el pH, conductividad y concentración de nutrimentos están estrictamente monitoreados, lo cual facilita mantener al cultivo en óptimos escenarios.

Clima

Los arándanos crecen mejor en climas moderados y dependiendo de la variedad, se requiere entre 200 y 1,200 horas frío con un umbral de 7 °C para cumplir su receso invernal, una vez que las plantas rompen la latencia se vuelven muy sensibles a las bajas temperaturas (Undurraga y Vargas, 2013; González *et al.*, 2017). Para realizar una correcta elección de las variedades a plantar es necesario conocer el período de ocurrencia de heladas del sector, de tal manera que estos eventos no coincidan con el período de floración. La flor se hiela a -2 °C (Undurraga y Vargas, 2013). Por otro lado, la temperatura óptima de crecimiento de raíces va el rango de 18 a 22 °C, de brotes, hojas y frutos entre 20 a 26 °C (González *et al.*, 2017).

Requerimientos nutrimentales

Es importante mencionar que los requerimientos nutrimentales van de la mano de la variedad a utilizar y la zona donde se establecerá, ya que, estos factores afectan directamente la dinámica de absorción nutrimental en cada predio (Fang *et al.*, 2020). Una herramienta muy acertada es la elaboración de planes de fertilización es a través de curvas de absorción basados en las etapas fenológicas, para cada campo específicamente (González, 2016).

En el caso específico de cultivos anuales como hortalizas y granos, la fertilización se hace con base al “requerimiento interno” de cada elemento por planta por ciclo (nutrimento/planta/año) (Macías *et al.*, 2010); sin embargo, el arándano con manejo hidropónico no es del todo diferente ya que no podemos incorporar las podas para la reutilización de los elementos, por tanto, la cantidad por semana de cada elemento deberá ser tomada en cuenta en cada una de las etapas fenológicas para su fertilización.

Por otro lado, es importante monitorear la relación $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ y modificarla periódicamente, ya que existe una correlación positiva con la forma del N absorbido y el pH de la rizófora que afecta negativamente en la absorción de otros nutrientes (Voogt, *et al.*, 2014).

Capacidad productiva

La capacidad productiva es muy alentadora ahora que se cuenta con variedades licenciadas por parte de comercializadoras, esto ha generado una amplia diferencia entre productores con variedades libres y con licencia, hablando de 3.75 t ha^{-1} hasta de 13.57 t ha^{-1} (SIAP, 2017).

En la actualidad, el arándano representa uno de los frutales con mayor proyección; sin embargo, su producción depende de la capacidad de su potencial genético, áreas de cultivo y manejo (Robledo, 2020).

Propiedades nutricionales y nutracéuticas

Hoy en día, la conciencia de los consumidores sobre los alimentos funcionales y la importancia de los polifenoles y antioxidantes en la dieta, aumentaron la demanda de alimentos de calidad (Lončarić *et al.*, 2020). El arándano es un tipo de fruta de amplia distribución rica en minerales, azúcares, proteínas, vitaminas, y ácidos grasos insaturados y es muy recomendado por la Organización Mundial de Alimentos como una de las frutas saludables (Lin *et al.*, 2020). Además, es un cultivo de bayas de importancia económica, tanto la producción como el consumo de arándanos han aumentado drásticamente en todo el mundo en los últimos años, al menos en parte debido a sus conocidos beneficios para la salud (Qi *et al.*, 2019). Dicho efecto beneficioso está asociado en gran medida a la capacidad antioxidante de distintos fotoquímicos capaces de prevenir o ralentizar los procesos oxidativos que intervienen en numerosas patologías (Arteaga y Arteaga, 2016).

El agridulce es el sabor más importante de los arándanos donde la glucosa y la fructosa son los azúcares principales, y el ácido cítrico y quínico son los principales ácidos orgánicos (Zhang *et al.*, 2020). Los arándanos tienen una alta función antioxidante para una variedad de radicales libres de oxígeno, principalmente porque son ricos en polifenoles; en particular, los flavonoides que juegan el papel crucial (Granato *et al.*, 2016). Además, los flavonoles, proantocianidinas y antocianinas son las principales sustancias flavonoides que se encuentran en los arándanos y son los principales compuestos bioactivos de la fruta (Yang *et al.*, 2019;

Sun *et al.*, 2020). Incluso se han identificados 44 flavonoles diferentes en frutas de arándano (Becker *et al.*, 2021). Las antocianinas son el principal compuesto bioactivo del arándano, se ha utilizado tradicionalmente como fitofármaco, estimulante del apetito, agente colerético y para el tratamiento de enfermedades, estos pigmentos coloreados son potentes ingredientes nutracéuticos y farmacéuticos (Khoo *et al.*, 2017).

El consumo de arándanos se ha asociado con efectos promotores de la salud, como la reducción de la incidencia de enfermedades degenerativas y crónicas (enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2 y ciertos tipos de cáncer, entre otros), principalmente por la presencia de compuestos bioactivos (Baenas *et al.*, 2020). Se ha demostrado que el extracto de antocianina de arándano, así como el componente principal malvidina y sus derivados [malvidina-3-glucósido (Mv-3-glc) y malvidina-3-galactósido (Mv-3-gal)], son un nutracéutico potencial que podría mejorar eficazmente las funciones endoteliales y mejorar la salud vascular (Huang *et al.*, 2020). Incluso la malvidina-3-galactósido (Mv-3-gac) de arándano tiene el potencial de ser un regulador de la microbiota intestinal y un adyuvante de la terapia del carcinoma hepatocelular, el cual es un problema de salud crítico en todo el mundo (Lin *et al.*, 2020). Además, se ha estudiado la capacidad de las proantocianidinas de arándano para mitigar los efectos deletéreos inducidos por *Porphyromonas gingivalis* en las células de la mucosa oral, mostrando efectos beneficiosos (Ben *et al.*, 2020).

El consumo de arándano ha sido recomendado para todo tipo de personas, por las razones siguientes (Romero, 2016):

- Tienen un gran contenido de fibra, vitamina C y vitamina K,
- El jugo de arándano protege contra el daño al ADN, una causa principal del envejecimiento y el cáncer.
- El consumo regular de arándanos disminuye la presión sanguínea. Comer este fruto de manera regular puede ayudar a prevenir ataques cardíacos.
- El arándano tiene efectos protectores contra la diabetes, ayuda a bajar los niveles de azúcar en la sangre.

Los beneficios del arándano a la salud son debidos a su composición (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Composición nutricional del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) (USDA, 2002).

	Componente	/100g
	Energía	56 kcal
	Proteína	0.67 g
	Lípidos totales	0.38 g
	Carbohidratos	14.13 g
	Fibra dietética	2.70 g
	Cenizas	0.21 g
	Agua	84.61 mg
Minerales	Calcio	6.00mg
	Cobre	0.06 mg
	Hierro	0.17 mg
	Magnesio	5.00 mg
	Manganeso	0.28 mg
	Fósforo	10.0 mg
	Potasio	89.0 mg
	Selenio	0.60 µm
	Sodio	6.0 mg
	Zinc	0.11 mg
Vitaminas	Vitamina C	13.00 mg
	Tiamina	0.05 mg
	Riboflavina	0.05 mg
	Niacina	0.36 mg
	Ácido pantoténico	0.09 mg
	Vitamina B-6	0.04 mg
	Vitamina E	1.00 mg

Por otra parte, se ha reportado que las hojas de las plantas de arándanos tienen una mayor actividad antioxidante que las frutas, y que los extractos tanto de hoja y como de la fruta pueden disminuir la inflamación y el progreso de la neurodegeneración en la microglía (Debnath-Canning *et al.*, 2020).

Variedades

Variedades de bajo requerimiento de frío o Sureño (Southern Highbush Blueberry) han sido desarrolladas a partir de hibridación interespecífica entre arándano alto o Highbush (*V. corymbosum*) y dos especies nativas del sureste de Norteamérica: un arándano siempre verde

(*V. darrowii*) y el arándano ojo de conejo o rabbit-eye (*V. ashei*) (Urdurraga-Díaz y Vargas, 2013).

Existen muchas variedades tales como: Ventura, Atlas, Victoria, Bianca, Júpiter, Kestrel, Fliquer, Biloxi, Legacy, etc. (Fallcreek, 2020). Sin embargo, dentro de las pocas variedades liberadas, más populares y más cultivadas en México es “Biloxi” la cual requiere un mínimo de 400 h de frío. Es de producción temprana, florece muy temprano por lo que puede ser afectada por heladas. Tiene fruta de tamaño mediano, de color azul claro, muy firme y de excelente sabor. La planta es de hábito erecto, vigorosa, y productiva (Urdurraga-Díaz y Vargas, 2013).

Métodos de cultivo

El cultivo del arándano en suelo se desarrolla en hileras montadas sobre camellones en el terreno, los marcos de plantación tienen una alta variabilidad, según la especie plantada o el mercado al cual se orienta la producción (Ormazábal *et al.*, 2020). Es posible encontrar plantaciones con alta densidad de plantas por hectárea (sobre 6,000) en diseños de 2 m entre hilera y 0.65 m entre plantas, hasta sectores con menos de 3,000 plantas por hectárea, con plantaciones de hasta 3.5 m por 1.2 m (entre hilera y plantas, respectivamente) (Holzapfel *et al.*, 2015).

El arándano también se cultiva en sistema hidropónico, esta técnica de cultivo sin suelo permite obtener una mayor calidad y sanidad en el fruto cosechado, además se incrementa la productividad por planta, volviendo eficiente el uso del agua y fertilizantes (Aquino, 2014). En estos sistemas, podemos llegar a densidades aún más altas comparado con suelo; con diseño de 0.5 m entre plantas y 2.2 m por hilera con una alta densidad de plantación de 9,090 plantas por hectárea, es importante mencionar que estas densidades están en función de las variedades y la climatología de las zonas donde será cultivado.

El cultivo del arándano, sugiere regarse mediante los sistemas de riego localizado, el método de riego por goteo debe utilizar una fuente de agua subterránea de buena calidad (CE de 0.15 dS m⁻¹ y pH 6. Se fertirriega tres veces por semana, para adicionar nutrimentos y acidificar el sustrato (Baldomero *et al.*, 2017).

Mecanismos fisiológicos y bioquímicos detonados por el nitrato y el amonio

Las plantas acidifican su rizosfera utilizando H^+ -ATPasas unidas a la membrana plasmática (Santi y Schmidt, 2009) estas reaccionan a varios estímulos, como la captación de cationes (Haynes, 1990) y las deficiencias de P y Fe, ya que las raíces acidifican la rizosfera para solubilizar estos nutrientes (Lei et al., 2015). Sin embargo, el factor más importante que afecta el pH de la rizosfera es la absorción de N porque este elemento puede ser absorbido como catión y anión. La absorción de NH_4^+ conduce a la acidificación de la rizosfera a medida que las células extruyen H^+ para mantener su equilibrio de carga eléctrica (Marschner et al., 1991). Por otro lado, la absorción de NO_3^- conduce a la alcalinización de la rizosfera, ya que el mecanismo de transporte simultáneo responsable del movimiento de NO_3^- a través de la membrana plasmática elimina el H^+ de la rizosfera (Meharg y Blatt, 1995). Por lo tanto, la forma de N absorbida por la planta puede mejorar o contrarrestar la acidificación de la rizosfera mediada por H^+ -ATPasa. (Figura 3) (Imler *et al.*, 2019).

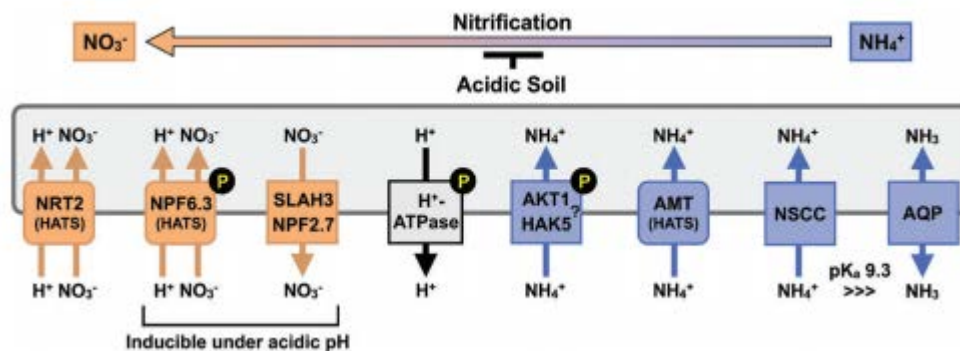


Figura 3. Componentes de la entrada y salida de amonio y nitrato en las raíces de plantas superiores (Hachiya y Sakakibara, 2017).

Asimismo, esta acidez o alcalinidad provocada por la absorción de las formas de nitrógeno en los arándanos afecta positiva y negativamente la adquisición de otros nutrimentos esenciales como es el caso de la limitante de P, K, Mg, Ca y Mo que se vuelven menos disponibles a medida que el pH disminuye sumando el antagonismo que el NH_4^+ tiene con

Ca, Mg y K. Por el contrario, la disponibilidad de Fe, Mn, Cu, Zn y B se reduce con el aumento en el valor del pH (Liu *et al.*, 2014; Soti *et al.*, 2015; Payá-Milans *et al.*, 2017).

Por otro lado, el gasto extra de energía que se requiere previo al proceso de asimilación varía según su forma, ya que el NO_3^- y el NH_4^+ se transportan al citoplasma a través de transportadores de nitrato (NRTs) y de amonio (AMTs) respectivamente. El nitrato se reduce a nitrito por la nitrato reductasa (NR) en el citosol, entonces el nitrito es transportado a plastidios para su reducción a amonio mediante la nitrito reductasa (NiR), este proceso requiere ocho moles de electrones por cada mol de nitrato, lo cual representa una disminución representativa de energía necesaria para otras funciones (Hachiya y Sakakibara, 2017). Una vez que el amonio está en el plastidio se asimila en compuestos que contienen N, como amino ácidos a través del ciclo de glutamina sintetasa / glutamina 2-oxoglutarato aminotransferasa (GS/GOGAT) (**Figura 4**) (Zhang y Chu, 2020).

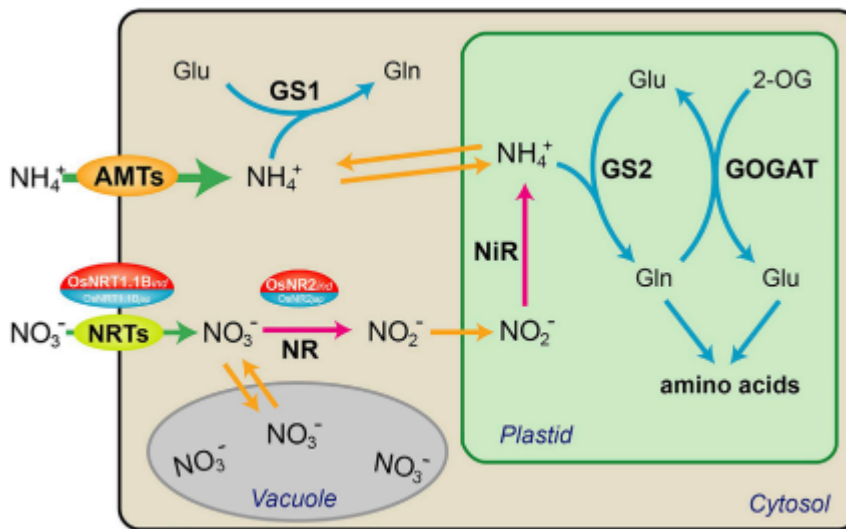


Figura 4. Ilustración esquemática de absorción y el metabolismo del N en plantas superiores (Zhang y Chu, 2020).

Por otro lado, evidencia reciente ha demostrado que en hojas de plantas C_3 , la reducción del nitrato es inhibida por la elevada concentración de CO_2 , mientras que la asimilación de amonio es poco afectada por el CO_2 (Bloom *et al.*, 2010). Por lo que el amonio es una fuente preferible para el futuro cuando los niveles globales de CO_2 aumenten (Hachiya y Sakakibara, 2017).

En cuanto a biomoléculas, se ha documentado que el NH_4^+ aumenta la tasa fotosintética y la conductancia estomática en arándano (Osorio *et al.*, 2019). Asimismo, los niveles de clorofila en las hojas en otras especies del mismo género *Vaccinium* son superiores al abastecimiento de NH_4^+ ; sin embargo, el contenido alto de antocianinas en estos cultivos es atribuido al estrés causado por la deficiencia de nitrógeno (González *et al.*, 2018).

Por otra parte, es importante mencionar que la forma del N influye en la activación de algunos genes, como es el caso de un componente principal del sistema de transporte de alta afinidad (HATS), el *AtNRT2.1*, responsable de la inhibición dependiente del amonio en la absorción de nitrato (Cerezo *et al.*, 2001), ya que los niveles de transcripción y de síntesis de proteína *AtNRT2.1* se reducen en horas en respuesta a la presencia de amonio (Muños *et al.*, 2004; Wirth *et al.*, 2007). Por otro lado, el amonio es responsable de inducir los genes *AtGLN1;2* y *OsGS1;2* que codifican para proteínas transportadoras de amonio en las raíces (Funayama *et al.*, 2013; Guan *et al.*, 2016).

Algunos autores han tratado de explicar el efecto de las diferentes fuentes de N en variables vegetativas y fisiológicas en arándano; sin embargo, todavía no existe un acuerdo claro entre las conclusiones resultantes de cada experimento. En este sentido, algunos investigadores indican que el arándano absorbe de manera preferente NH_4^+ tanto en el suelo como en hidroponía (Osorio *et al.*, 2019; Tamir *et al.*, 2020). Por el contrario, otros autores han informado que el crecimiento de yemas y raíces, así como la actividad fotosintética está influenciada positivamente por la aplicación de NO_3^- comparado con el NH_4^+ (Crisóstomo *et al.*, 2014), incluso que existen cultivares que pudieran depender del nitrato como única forma de N (Nunez *et al.*, 2015).

Principales problemas que aquejan la producción

Un problema que aqueja la producción comercial de arándanos, es que plántulas generadas en cultivo *in vitro* están con hiperhidricidad, una condición grave caracterizada por la apariencia vítrea de las hojas y los brotes. Las plántulas hiperhídricas proliferan y sobreviven mal durante el subcultivo y la aclimatación, este fenómeno no solo conduce a una pérdida económica significativa, sino que también limita el uso de métodos de cultivo de tejidos en la conservación de germoplasma y el mejoramiento de plantas (Gao *et al.*, 2018).

Los arándanos se desarrollan en óptimas condiciones en suelos arenosos ácidos, la baja accesibilidad de los suelos apropiados para el cultivo es uno de los principales factores que limitan el establecimiento de nuevas plantaciones de arándano en el mundo (Ochmian *et al.*, 2019); además, la frecuencia de las heladas, los períodos de descongelación y sequía, la floración, las variaciones climáticas, la polinización, las enfermedades y las fechas de maduración influyen en la productividad de los arándanos (Parent *et al.*, 2020).

En comparación con la producción de campo, todos los sistemas alternativos de ambientes protegidos que contienen, estructuras, acristalamiento, el control de temperatura y el equipo de riego representan costos fijos adicionales. Las plantas, los contenedores, los sustratos sin suelo, los fertilizantes y el control de plagas tienen costos variables que dependerán de la densidad de siembra (Yang *et al.*, 2019).

El arándano requiere acumular determinadas cantidades de horas frío, esta condición limita el cultivo y la adaptación agronómica de la mayoría de variedades cultivadas en latitudes cercanas al trópico; sin embargo, en la zona tropical alta, por encima de 2300 msnm, la temperatura mínima promedio del aire puede ser suficiente para que, variedades con bajo requerimiento de frío, puedan ser plantadas (Cabezas-Gutierrez y Peña-Baracaldo, 2012).

Las horas frío son los registros de temperatura menor o igual a 12 °C. Este umbral de temperatura fue sugerido por Norvell y Moore (1982). El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\text{HFAm} = (\sum \text{RT} \leq 12 \text{ } ^\circ\text{C}) / 4$$

Dónde: HFAm son las horas frío acumuladas por mes y RT son los registros de temperatura quinceminutales menor o igual a 12 °C.

Incluso, la polinización puede ser un factor limitante en la producción de arándanos; existe una creciente preocupación de que la disponibilidad de polinizadores no pueda seguir el ritmo del aumento de la producción agrícola (Benjamin y Winfree, 2014).

Otro problema que aqueja la producción de arándano es el uso excesivo de sulfato de amonio. Las altas dosis de sulfato de amonio, también provocan una rápida caída del pH por debajo de los valores recomendados y la salinidad del suelo que influye negativamente en el desarrollo de los arándanos (Messiga *et al.*, 2018).

Las condiciones climáticas de México permiten la producción entre septiembre y junio cuando la producción de Estados Unidos está en sus niveles más bajos y requiere la

importación de frutillas para mantener su consumo. Este período de baja producción agroalimentaria para Estados Unidos se denomina "ventana de invierno" (González-Ramírez *et al.*, 2020).

México es el quinto productor en el mundo y estos productos han ganado importancia económica en los últimos años; en 2003 el valor de producción de frutillas en México representaba 0.9% del valor total de producción agrícola; para 2014 este porcentaje fue de 3.1. La alta rentabilidad, derivada principalmente de su alto precio en Estados Unidos y de una creciente demanda, ha incentivado a aumentar la superficie cultivada, de producción, y por tanto, la cosechada. Las entidades federativas que producen todos los tipos de frutillas – fresas, frambuesas, zarzamoras y arándanos– son Michoacán, Jalisco, Baja California, Puebla y México (FIRA, 2016). Sin embargo, la superficie cosechada de arándano es la de menor participación tal y como se muestra en la **Figura 5**. Esto se puede deber que, a diferencia de las otras frutillas, los costos de producción de arándano son más elevados.

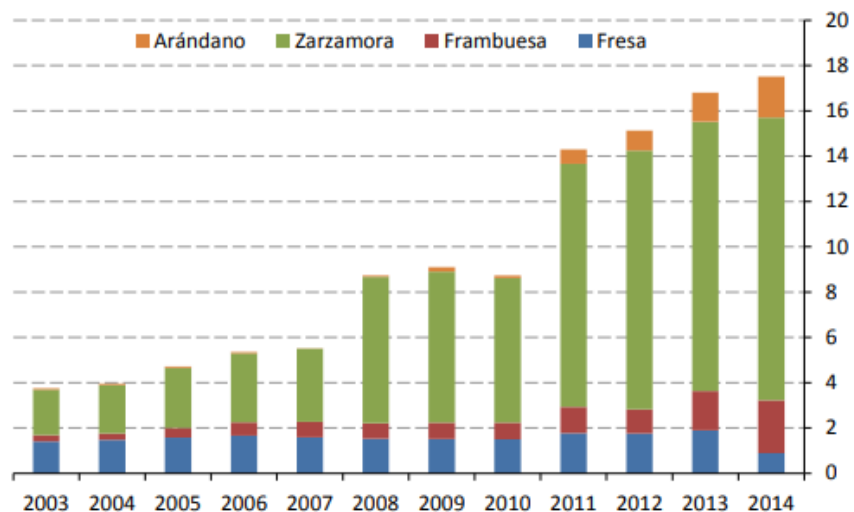


Figura 5: Superficie cosechada de frutillas en México, 2003-2014 (miles de hectáreas) (FIRA, 2016).

PRIMER ARTÍCULO

Nitrogen form and root division modifies the nutrimental and biomolecules concentration in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.)



Leal-Ayala OG *et al.* (2021)

Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca Volume 49, Issue 1, Article number 11998

DOI:10.15835/nbha49111998

Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca



Research Article

Nitrogen form and root division modifies the nutrimental and biomolecules concentration in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.)

Oliver G. LEAL-AYALA¹, Manuel SANDOVAL-VILLA^{2*},
Libia I. TREJO-TÉLLEZ², Alberto SANDOVAL-RANGEL¹,
Marcelino CABRERA-DE LA FUENTE¹, Adalberto
BENAVIDES-MENDOZA¹

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Horticultura, Calzada Antonio Narro 1923, Saltillo, Coahuila, CP 25315, México; oliverr.leal@gmail.com; asandoval@gmail.com; cafum7@yahoo.com; abenmen@gmail.com

²Colegio De Postgraduados, Programa de Edafología, Montecillo, 56230, México; *msandoval@colpos.mx; tlibia@colpos.mx

(*corresponding author)

Abstract

Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) continues to gain importance in the international market due to its effects on the prevention of human diseases. This leads to the need to optimize the production and quality of the fruit. The present research evaluated the effect of NO_3^- and NH_4^+ , using the split roots technique, in the nutritional status, photosynthetic pigments and total sugars in blueberry leaves. A completely random experiment was established with six greenhouse treatments: three under homogeneous root conduction (HR) and three with split roots (SR). The concentration of N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B and Na, chlorophyll a (Chl a), chlorophyll b (Chl b), carotenoids (Car) and total sugars were evaluated in the leaves. The exclusive supply of NH_4^+ led to the largest accumulation of N, P, Mg, S, Cu, Mn and B, compared to plants treated with NO_3^- . The Chl a and total sugars were higher with NH_4^+ compared to NO_3^- nutrition. The supply of N separately (SR) had no positive effects on the evaluated variables, however, the SR with half of N, in the form of NH_4^+ , compared to the non-SR with full application of N, has no differences in N-leaf concentration, which implies a higher use in the uptake or accumulation of this macro element in plant. *V. corymbosum* L. with split root and half of N in the form of NH_4^+ , doubled the N use efficiency, as it matches in yield the complete supply treatment of N- NH_4^+ without root division.

Keywords: ammonium; chlorophyll; nitrate; mineral nutrients; split root

Received: 17 Jul 2020. Received in revised form: 08 Jan 2021. Accepted: 12 Jan 2021. Published online: 19 Mar 2021.
From Volume 49, Issue 1, 2021, Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca journal will use article numbers in place of the traditional method of continuous pagination through the volume. The journal will continue to appear quarterly, as before, with four annual numbers.

Introduction

The blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) is a crop that has gained global economic importance. Its high content of antioxidants contained in the fruits, protect from oxidative damage initiated by free radicals, preventing the development of cardiovascular and neurodegenerative diseases (Howard *et al.*, 2003; You *et al.*, 2011). In Mexico in 2017, the national volume exported reported an all-time high of 26 thousand tons, of which 95.4% was sold to the U. S. market (SIAP, 2018). The study of nutritional requirements allows us to make decisions about the production process of the crop and establish a relationship between the nutritional requirement and the quality of the fruit (Castillo *et al.*, 2016). Regarding N, NH_4^+ and NO_3^- represent 80% of the total cations and anions absorbed by plants, because of this, the form of N has a great impact on the uptake of the rest of the elements (Marschner, 2012). Nutritional deficiencies in vegetative-stage crops are reflected in physiological disorders; which subsequently translate into low yields, small sizes, and poor nutritional fruit quality (Mancera *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2008).

The blueberry (*V. corymbosum* L.), like many calcifuge plants, is adapted to acidic soils (pH 4.0-5.5), with high organic matter content, with iron (Fe) readily available and N in the form of NH_4^+ , relative to N in the form of NO_3^- (Darnell and Hiss, 2006; Bryla *et al.*, 2008). It is well known that NH_4^+ and NO_3^- used separately as a single source of N benefit development and yield according to the species, since generally plants adapted in acidic environments prefer NH_4^+ , otherwise those adapted in alkaline environments prefer NO_3^- (Marschner, 2012).

Plants that absorb NO_3^- require the enzyme nitrate reductase (NR), which is known as inefficient in blueberries (Alt *et al.*, 2017), to reduce NO_3^- to NH_4^+ and metabolize it into amino acids used for protein synthesis (Salisbury and Ross, 2000). González *et al.* (2018) mention that the absorption of NO_3^- by the commercial roots of *Vaccinium* sp. is limited compared to NH_4^+ due to the low activity of the NR (Poonnachit and Darnell, 2004). For the above, the objective of this research was to evaluate the effect of the supply of nitrate (NO_3^-) and ammonium (NH_4^+), by exposing half of the roots to NO_3^- and the other half to NH_4^+ simultaneously, and its effect on physiology of *Vaccinium corymbosum* L.

Materials and Methods

Location

The experiment was conducted in a greenhouse located in the Montecillo Campus of the College of Postgraduate in Agricultural Sciences, State of Mexico, Mexico, whose geographical coordinates are 19° 28' 05" north latitude and 98° 54' 09" longitude west, at an altitude of 2,220 m. The greenhouse used was two-roof with metal structure and UVII-720 plastic cover, with 25x40 anti-insect mesh on the side walls and black cover on the surface of the floor. During the experiment the maximum, average, and minimum temperature was 23.7, 14.6, and 3.0 °C, respectively.

Treatments and experimental design

The experimental unit was a plant of *V. corymbosum* L. with a container consisting of two pots with a flat wall to separate the roots. A completely randomly designed experiment was established with six treatments in a greenhouse condition. Three treatments consisted of a traditional root conduction system by varying only the source of N, the other three treatments consisted of the split root system (SR), with the supply of spatially separated N forms in each pot (Table 1). All treatments were formulated considering Steiner's nutrient solution (Steiner, 1984).

Table 1. Treatments design regarding nitrogen form and root condition

Treatment	N supply form	Concentration (mol ₍₊₎ m ⁻³)	Root condition
1	NO ₃ ⁻ and NH ₄ ⁺	6 + 6	^{††} No divided
2	NO ₃ ⁻	6 + 6	^{††} No divided
3	NH ₄ ⁺	6 + 6	^{††} No divided
4	[†] NO ₃ ⁻ and NH ₄ ⁺	6 / 6	Divided
5	[†] Without N / NO ₃ ⁻	0 / 6	Divided
6	[†] Without N / NH ₄ ⁺	0 / 6	Divided

[†] = N supply spatially separated (SS). ^{††} = N supply in homogenous media (HM).

Nutrient solution

The composition of Steiner's nutrient solution (1984) was the next (mol₍₊₎ m⁻³): 12 NO₃⁻, 1 H₂PO₄⁻, 7 SO₄²⁻, 7 K⁺, 4 Mg²⁺ and 9 Ca²⁺. The electrical conductivity (EC) of water was 1.0 dS m⁻¹, the pH was adjusted between 4.5 and 5.5 with H₂SO₄. In addition, the following fertilizers were added as a source of micronutrients: Fe-EDTA, MnSO₄·4H₂O, ZnSO₄·7H₂O, H₃BO₃, CuSO₄·5H₂O and Na₂MoO₄·2H₂O at a rate of 4.54, 0.43, 0.08, 0.57, 0.016 and 0.02 mg L⁻¹, respectively. A 0.5 HP pump was used for each one of the treatments with self-compensating drippers and watered with 30% drainage in each of the experimental units, with 10 irrigations events per day.

Quantification of nutrients

During the vegetative stage, leaves of *V. corymbosum* L. were collected for drying. Chemical analysis of dry matter was performed for N using the Kjeldhal technique (Watson and Galliher, 2002) and the determination of P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B and Na using the coupled plasma induction atomic emission spectroscopy equipment (ICP-ES 725, Agilent, Mulgrave, Australia).

Determination of photosynthetic pigments and total sugars

The concentration of chlorophyll a (Chl a), chlorophyll b (Chl b) and carotenoids (Car) were determined according to Casierra *et al.* (2012) and total sugars according to Dubois *et al.* (1956). The leaves of *V. corymbosum* L. stored in liquid N, were macerated and then 60 mg of the tissue were taken and exposed to a triple ethanolic extraction (80, 80 and 50%). In each of the extractions, the samples were placed in a water bath at 80 °C for 20 min, then centrifuged to 14 000 rpm during 5 min. The supernatants of each extraction were recovered. The concentration of Chl a, Chl b and Car was determined by reading the extracts at 664, 649 and 470 nm on a spectrophotometer (6715, Jenway, UK). The concentration of total sugars was determined by weighing 500 mg of fresh tissue already macerated. They were deposited in an Erlenmeyer flask with 50 mL of ethanol 80%. The flasks were placed on a hot iron at constant boiling with occasional agitation until the volume was reduced to 18 mL. The supernatant was filtered and carried to a volume of 20 mL, 1 mL of the extract obtained was taken and 5 mL of anthrone 0.4% (w/v) were added in concentrated H₂SO₄ (Merck KGaA, Darmstadt, Germany). During the process the samples were placed in ice. Afterwards, the samples were incubated in a water bath at 95 °C for 15 min; the reaction ended up placing the samples on ice. For quantification, a standard curve was performed using glucose (Sigma-Aldrich, St. Louis Missouri, USA) and the samples were measured at an absorbance of 600 nm on a spectrophotometer (6715, Jenway, UK).

Statistical analysis

The response variables were subjected to an orthogonal contrast mean test ($p < 0.05$) with the statistical program SAS 9.4. The contrasts of interest are: I (NH₄⁺ + NO₃⁻ vs. combined, T3 and T2 vs. T1), II (NH₄⁺ vs.

NO₃⁻, T3 vs. T2), III (SS (NO₃⁻ and NH₄⁺) vs HM (T4 vs. T1, T2 and T3), IV (SS (Without N/NH₄⁺) vs. HM (T6 vs. T1, T2 and T3) and V (SS (without N/NO₃⁻) vs. HM (T5 vs. T1, T2 and T3). In the following tables it will use I, II, III IV and V to brief contrast.

Results and Discussion

Ammonium (NH₄⁺) and nitrate (NO₃⁻) as exclusive supply of N

The exclusive supply of NH₄⁺ as a source of N had significant effects ($p \leq 0.01$) on the concentration of N, P, Mg, S, Cu, Mn and B, compared to plants treated with NO₃⁻ (Tables 2 and 3). N

concentrations in all treatments ranged from 1.8 to 2.6%, which fall into the sufficiency ranges for blueberry (*V. corymbosum* L.) (Hart *et al.*, 2006). The preference of blueberry for NH_4^+ has been associated with a generally low ability to assimilate the form of NO_3^- , especially within the bud tissues (Alt *et al.*, 2017). This may be due to the genetic adaptation of blueberry to acidic environments in which NH_4^+ forms predominate over those of NO_3^- (Marschner, 2012). In addition, the uptake rate of NH_4^+ is much higher than that of NO_3^- (Miller and Hawkins, 2007) and, finally, the NH_4^+ absorbed by plants is rapidly metabolized into organic nitrogen compounds compared to NO_3^- (Darnell and Cruz, 2011; Bryla *et al.*, 2012).

Table 2. Analysis of variance and orthogonal contrasts for the concentration of N, P, K, Ca, Mg and S (g kg^{-1}) in blueberry leaves

Contrast	Nitrogen				Phosphorus			
	Parameters		Means		Parameters		Means	
	Est	P>t	L (+1)	R (-1)	Est	P>t	L (+1)	R (-1)
I T3 y T2 vs. T1	1.88	0.0250 *	22.883	21.000	0.02	0.8823 ns	1.945	1.920
II T3 vs. T2	4.63	0.0001 *	25.200	20.567	0.72	0.0026 *	2.307	1.583
III T4 vs. T1, 2 and 3	1.04	0.1581 ns	23.300	22.256	-0.19	0.2236 ns	1.737	1.937
IV T6 vs. T1, 2 and 3	-0.55	0.4389 ns	21.700	22.256	-0.20	0.2095 ns	1.730	1.937
V T5 vs. T1, 2 and 3	-3.68	0.0002 *	18.567	22.256	-0.18	0.2462 ns	1.747	1.937
Contrast	Potassium				Calcium			
	Parameters		Means		Parameters		Means	
	Est	P>t	L (+1)	R (-1)	Est	P>t	L (+1)	R (-1)
I T3 y T2 vs. T1	0.77	0.0025 *	5.590	4.820	0.64	0.0029 *	5.212	4.567
II T3 vs. T2	0.09	0.6970 ns	5.637	5.543	0.25	0.2352 ns	5.337	5.087
III T4 vs. T1, 2 and 3	0.27	0.1780 ns	5.607	5.333	-1.30	<.0001*	3.687	4.997
IV T6 vs. T1, 2 and 3	0.29	0.1464 ns	5.630	5.333	-0.48	0.0119 *	4.513	4.997
V T5 vs. T1, 2 and 3	0.78	0.0015 *	6.117	5.333	-0.19	0.2594 ns	4.803	4.997
Contrast	Magnesium				Sulphur			
	Parameters		Means		Parameters		Means	
	Est	P>t	L (+1)	R (-1)	Est	P>t	L (+1)	R (-1)
I T3 y T2 vs. T1	0.25	0.0085 *	1.635	1.377	0.96	0.0043 *	3.563	2.603
II T3 vs. T2	0.37	0.0021 *	1.820	1.450	2.92	<.0001 *	5.023	2.103
III T4 vs. T1, 2 and 3	0.13	0.1168 ns	1.680	1.549	0.55	0.0516 ns	3.800	3.243
IV T6 vs. T1, 2 and 3	0.19	0.0298 *	1.740	1.549	0.06	0.8002 ns	3.310	3.243
V T5 vs. T1, 2 and 3	0.13	0.1168 ns	1.680	1.549	-0.50	0.0727 ns	2.737	3.243

Means of the different groupings were compared with a significance level of 5%. Positive values in the estimator (Est) - the first group is greater than the second group. Negative values in the estimator the first group is lower than the second group. ns= not significant ($p > 0.05$), *= significant ($p \leq 0.05$). SS= supply of N separately, SH= traditional and homogeneous supply.

Significant concentration of P coincides with what is reported by Mengel and Kirkby (2001) plants supplied with NH_4^+ , generally contain high concentrations of anions, such as P, favoring their absorption and accumulation to maintain electroneutrality at the cellular level. On the other hand, Jing *et al.* (2010) mention that with the addition of NH_4^+ , decreases the pH of the rhizosphere, thus

raising the availability of P and the growth of maize plants. This response is reported in different crops supplied with NH_4^+ (Stratton *et al.*, 2001; Parra *et al.*, 2012).

In Mg concentration, the significant increases in leaves with an exclusive supply of NH_4^+ coincide with what is reported by Crisóstomo *et al.* (2014) who confirm a high accumulation of Mg under nutrition with NH_4^+ in contrast to those of NO_3^- and the mixture of both in cranberry cultivation. According to Marschner (2012), NH_4^+ can inhibit the absorption and accumulation of cations, like Mg, however, this depends on the plant species and growth conditions (Lasa *et al.*, 2000).

As for Ca, treatments had no significant effects (Table 2). This coincides with Parra *et al.* (2012), who had no effect on Ca concentration under different sources of N in blueberry cultivation. Ca is not affected in blueberry plants probably due to its preference for NH_4^+ . Unlike other crops where Ca uptake is limited by direct competition with NH_4^+ (Mengel and Kirkby, 2001).

On the other hand, no significant effects were obtained for K concentration with the supply of the different forms of N (Table 2). It has been noted that uptake, and therefore the concentration of K in leaves and other plant tissues, depends to a large extent on the level of NH_4^+ , as K^+ is a counter ion of NH_4^+ and it compete to enter the cell (Stratton *et al.*, 2001; Szczerba *et al.*, 2006). The null effect of treatments may be due to the adaptation of blueberry to environments where NH_4^+ forms predominate, in addition when plants meet with an optimal pH range the yield is higher, even when pH is not optimal limited absorption of N does not affect development (Ochmian *et al.*, 2019).

In the specific case of S, the noticeable increase in this element in the exclusive treatment of NH_4^+ it is due to the additional supply of Ca and N based on calcium sulfate and ammonium sulfate to formulate the NO_3^- free treatment.

Regarding micronutrients, the concentration of Cu, Mn and B was significant with an exclusive supply of NH_4^+ compared to that of NO_3^- (Table 3). In the case of Cu, this is due to the positive relationship with the N for mobilization and concentration in leaves (Marschner, 2012). It is presumed that the mobilization and availability of Cu can be controlled by the metabolism of the N, since, this micro element has a high affinity for complexes forms, and in particular, with proteins rich in cysteine and amino acids where Cu would be chelated (Marschner, 2012). This is important since more than 99% of Cu is found in a common way in the roots and sap of xylem (Kumar *et al.*, 2009), similar to the results obtained in this research. The high accumulation of Cu coincides with the increased accumulation of N in the treatment where the supply was exclusive with NH_4^+ , due to the increased absorption and accumulation of N by the genetic adaptation of cranberry (Crisóstomo et

al., 2014).

In the case of Mn in leaves, it is consistent with Stratton *et al.* (2001), who reported that the concentration of Mn increases as the concentration of NH_4^+ in the nutrient solution increases. On the other hand, the opposite happens when the concentration of NO_3^- in *Ligustrum ibolium* L. increases. In the same way, Husted *et al.* (2005) found increased accumulation of Mn in barley leaves (*Hordeum vulgare*) fertilized with NH_4^+ , compared to those of NO_3^- . However, the accumulation of this micro element is due to the high concentration of S for the formulation of this treatment, since, S and its different forms has a strong influence on the mobilization and

accumulation of Mn in dry matter (Husted *et al.*, 2005). This is consistent with this research, as the highest concentration of S occurred in the exclusive treatment of NH_4^+ .

The concentration of B coincides with findings of Sotiropoulos *et al.* (2003), who despite having no difference in leaves, obtained more B in kiwi root (*Delicious actinidia*), with an exclusive nutrition of NH_4^+ compared to that of NO_3^- . The higher concentration of B using NH_4^+ may be due to the formation of $\text{B}(\text{OH})_4^-$ following the high absorption of anions such as NO_3^- that affect the availability of this micro element (Marschner, 2012). On the other hand, the concentration of Fe and Zn was not affected by the form of N (Table 3), which is the opposite of what Crisóstomo *et al.* (2014) reported, as they found a response in the concentration of Fe in blueberry leaves under nutrition with different forms of N.

Similarly, Darnell and Hiss (2006) state that NO_3^- has no effects on the absorption and assimilation of Fe in two blueberry cultivars (*V. corymbosum* and *V. arboreum*), ensuring that pH in soil or substrate is the main limiting factor in the uptake of Fe. Regarding the Zn, it is consistent with what Bryla *et al.* (2012) obtained. They demonstrated that N has no effect on the accumulation of Zn in blueberry. Hafeez *et al.* (2013) assert that the greatest effect of N forms on the absorption of Zn is due to the change in pH that this cause. However, non-significance differences may be due to that the pH was the same in all treatments in this research.

Table 3. Analysis of variance and orthogonal contrasts for the concentration of Fe, Cu, Zn, Mn and B ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dry matter) in leaves of blueberry

Contrast	Iron				Copper			
	Parameters		Means		Parameters		Means	
	Est	P>t	L (+1)	R (-1)	Est	P>t	L (+1)	R (-1)
I T3 y T2 vs. T1	-4.65	0.554 ns	111.737	116.393	1.01	0.2067 ns	11.358	10.350
II T3 vs. T2	13.44	0.1542 ns	118.460	105.013	6.58	<.0001 *	14.650	8.067
III T4 vs. T1, 2 and 3	-13.06	0.0954 ns	100.223	113.289	-0.69	0.3458 ns	10.323	11.022
IV T6 vs. T1, 2 and 3	-34.76	0.0004 *	78.523	113.289	0.23	0.7511 ns	11.253	11.022
V T5 vs. T1, 2 and 3	1.96	0.7902 ns	115.253	113.289	-1.85	0.0232 *	9.170	11.022
Contrast	Zinc				Manganese			
	Parameters		Means		Parameters		Means	
	Est	P>t	L (+1)	R (-1)	Est	P>t	L (+1)	R (-1)
I T3 y T2 vs. T1	1.10	0.3609 ns	24.727	23.627	52.85	0.0840 ns	457.067	404.210
II T3 vs. T2	-2.87	0.0527 ns	23.290	26.163	137.5	0.0011 *	525.843	388.290
III T4 vs. T1, 2 and 3	-3.94	0.0035 *	20.410	24.360	-176.8	<.0001 *	262.623	439.448
IV T6 vs. T1, 2 and 3	-0.83	0.4583 ns	23.523	24.360	-97.1	0.0032 *	342.300	439.448
V T5 vs. T1, 2 and 3	-3.35	0.0097 *	21.007	24.360	-96.1	0.0034 *	343.313	439.448
Contrast	Boron							
	Parameters		Means					
	Est	P>t	L (+1)	R (-1)				
I T3 y T2 vs. T1	8.87	0.0002 *	69.790	60.917				
II T3 vs. T2	18.0	<.0001 *	78.793	60.787				

III T4 vs. T1, 2 and 3	4.76	0.0100 *	71.597	66.832
IV T6 vs. T1, 2 and 3	0.74	0.6419 ns	67.577	66.832
V T5 vs. T1, 2 and 3	0.47	0.7647 ns	67.310	66.832

Means of the different groupings were compared with a significance level of 5%. Positive values in the estimator (Est) - the first group is greater than the second group. Negative values in the estimator the first group is lower than the second group. ns= not significant ($p > 0.05$), *= significant ($p \leq 0.05$). SS= supply of N separately, SH= traditional and homogeneous supply.

Combined nitrogen supply

The supply of nitrate and ammonium did not affect the concentration of leaf nutrients; contrary to when separated, there were significant differences ($p \leq 0.05$) in N, K, Ca, Mg, S (Table 2) and B (Table 3). Combining these two forms of N into one nutrient solution results in lower effects compared to single-source supplies. González *et al.* (2018) assessed the effect of different sources of N on the growth of *Vaccinium*

meridionale S. in vegetative stage; they tested four treatments, the N-free control, 50% NH_4^+ , 50% NO_3^- , 100% N as NH_4^+ and 100% N in the form of NO_3^- . The plants that achieved the highest growth were those nourished with NH_4^+ , followed by 50/50 treatment.

On the other hand, Poonnachit and Darnell (2004) found that in the presence of NO_3^- blueberry plants absorbed it, but in less quantity than NH_4^+ . Alt *et al.* (2017) observed an increase in the assimilation of NO_3^- in the roots, when NO_3^- is supplied, suggesting that a large proportion of the NO_3^- absorbed was assimilated within this organ. Bryla *et al.* (2015) found that the application of $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$, had intermediate nutritional levels in leaves, compared to the treatment where only NH_4^+ was added as N source. González *et al.* (2018) obtained an increase in the dry weight of bud, leaves, and root in blueberry plants, with the fertilization of N in the form of NH_4^+ , compared to plants fertilized with N- NO_3^- .

In other researches, Darnell and Hiss (2006) and Darnell and Cruz (2011), found that *V. arboreum* S., a wild species, is more tolerant to a high pH and assimilates better N in NO_3^- -form, compared to *V. corymbosum* L. However, regardless of whether the plant prefers NO_3^- as a source of N (e.g. tomato, pepper, eggplant, cucumber, corn, bean, tobacco, etc.) or NH_4^+ (e.g. rice, blueberry, etc.), almost all reported results show that plant growth or yield is superior when receiving a mixture of NO_3^- and NH_4^+ , rather than any single source of N, while the appropriate percentage of NH_4^+ and NO_3^- varies by plant species and is generally related to plant physiological adaptations to natural ecosystems (Xu *et al.*, 2001; Dong *et al.*, 2012).

Effect of N form and split roots on photosynthetic pigments

The N-form showed significant effect ($p \leq 0.05$). In the contrast of NH_4^+ against NO_3^- (Table 4): Cla, was higher in plants supplied with NH_4^+ compared to the group supplied with NO_3^- . This is due to a characteristic of blue cranberry (*V. corymbosum* L.) of preferring NH_4^+ as a source of N. In addition, to split the root had no significant effect on Chl a, Chl b and Chl t concentration (Table 4). However, it is important to note that the split root contrast (without N/ NH_4^+) vs. no divided root, was not significant. This indicates that half of the N applied in the form of NH_4^+ has similar results compared

to a complete application of NH_4^+ in no divided root condition (Table 4). According to Latsague *et al.* (2014), the photosynthetic capacity of leaves is related to the N content, because an adequate supplement of N is essential in the establishment of maximum demand capacity and photosynthetic capacity; but excessive use of N causes excessive expansion of the foliar area. Jorquera-Fontena *et al.* (2016) observed that the accumulation of photosynthetic pigments in blueberry plants is an indicator of biomass production and the nutritional status of N. According to most of the research done, the ratio of chlorophyll a and b is 3:1, which varies depending on plant growth and development, cultivar, and environmental factors (Bojovic and Stojanovic, 2005). Sánchez *et al.* (2018) obtained a positive and significant correlation of the concentration of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids with the nutritional state of N, in bean (*Phaseolus vulgaris* L.).

An adequate supply of N in the plant is important for the formation of amino acids, proteins, and other cellular constituents (Trejo-Télez *et al.*, 2005) and has a positive effect on photosynthesis and respiration (BarTal *et al.*, 2001). Plants with N deficiency stop the elongation of the leaves (Marschner, 2012), inhibit photosynthesis (Gregoriou *et al.*, 2007), reduce the size of chloroplast (Li *et al.*, 2013) and minimize overall growth. Similarly, the content of N is closely related to photosynthetic capacity, since it constitutes chlorophyll, thylakoid proteins and enzymes (Rubisco mainly) (Kitaoka and Koike, 2004; Watanabe *et al.*, 2018). In addition, N tends to promote vegetative growth (Kang *et al.*, 2004), increases the root/shoot ratio of the plant (Grechi *et al.*, 2007).

Nagamatsu *et al.* (2004) mention that plants subjected to any type of stress tend to lose photosynthetic ability and decrease its content in leaves. The level of stress can produce a readjustment in the proportion of the contents of chlorophylls (Chl a and Chl b), this can be understood as a typical response of photosynthetic plasticity (Habibi and Ajory, 2015). In the case of the results obtained in this research, the application of N in the form of NH_4^+ and NO_3^- , and the use of Split root against entire root, did not cause enough stress in the plants to express significant effect on the Chl a, Chl b, and Car.

The total sugar concentration in blueberry shoots had significant differences ($p \leq 0.01$) by the application of NH_4^+ or NO_3^- compared to the combined application of these forms of N (Table 4). In addition, significant differences were obtained for the supply of N in the form of NH_4^+ , over the supply of N in the form of NO_3^- , this is consistent with the characteristics presented by *V. corymbosum* L., which is a low pH soil plant, and it has a greater preference for N in the form of ammonium than the N in the form of nitrate (Bryla *et al.*, 2008). Using split root model vs. Entire root did not present significant differences in the total sugar content in any of the three contrasts made (Table 4).

The measurement of Chla and Chlb is used as an estimator of photosynthesis, its increase stimulates the photosynthetic rate by increasing the content of soluble sugars (Sanclemente and Peña, 2008). Excess sugars can protect sensitive membranes and proteins from dehydration due to cold, drought and salinity. However, they are inaccessible for growth and may instead inhibit photosynthesis and cause an increase in photoassimilation (Paul and Foyer, 2001; Lemoine *et al.*, 2013). According to Araya *et al.* (2010), limited nutrition of N induces accumulation of carbohydrates in the leaves of *Phaseolus vulgaris* L. When nutrition with N is insufficient, the size of the plant's demand is small because the plant's growth is restricted.

In the case of this work, the results of total sugars (Table 4) showed only that there is a significant response due to the source of N supplied, with NH_4^+ inducing the highest amount of total sugars.

Table 4. Analysis of variance and orthogonal contrasts for chlorophyll a, b, carotenoids and total bud sugars (mg g^{-1}) in vegetative blueberry plants

Contrast	Chlorophyll a				Chlorophyll b			
	Parameters		Means		Parameters		Means	
	Est	P>t	L (+1)	R (-1)	Est	P>t	L (+1)	R (-1)
I T3 y T2 vs. T1	-0.01	0.6531 ns	0.208	0.220	-0.02	0.3223 ns	0.111	0.133
II T3 vs. T2	0.08	0.0230 *	0.246	0.170	0.03	0.1987 ns	0.128	0.094
III T4 vs. T1, 2 and 3	0.02	0.3879 ns	0.233	0.212	-0.001	0.9904 ns	0.118	0.118
IV T6 vs. T1, 2 and 3	-0.04	0.1565 ns	0.176	0.212	-0.02	0.2845 ns	0.095	0.118
V T5 vs. T1, 2 and 3	0.01	0.6394 ns	0.224	0.212	-0.01	0.4879 ns	0.103	0.118
Contrast	Carotenoids				Total sugars			
	Parameters		Means		Parameters		Means	
	Est	P>t	L (+1)	R (-1)	Est	P>t	L (+1)	R (-1)
I T3 y T2 vs. T1	0.005	0.5378 ns	0.067	0.062	8.56	0.0181 *	38.150	29.588
II T3 vs. T2	0.018	0.0631 ns	0.076	0.058	9.63	0.0207 *	42.963	33.338
III T4 vs. T1, 2 and 3	-0.001	0.9818 ns	0.065	0.065	-1.58	0.6015 ns	33.713	35.296
IV T6 vs. T1, 2 and 3	-0.008	0.2734 ns	0.057	0.065	6.33	0.0531 ns	41.629	35.296
V T5 vs. T1, 2 and 3	0.007	0.3840 ns	0.072	0.065	4.17	0.1835 ns	39.463	35.296

Means of the different groupings were compared with a significance level of 5%. Positive values in the estimator (Est) - the first group is greater than the second group. Negative values in the estimator the first group is lower than the second group. ns= not significant ($p > 0.05$), *= significant ($p \leq 0.05$). SS= supply of N separately, SH= traditional and homogeneous supply.

Supply of N separately (SS) and homogeneous supply (HS)

The Ca was the only macronutrient that showed significant differences ($p \leq 0.05$) with contrast (NO_3^- and NH_4^+) vs. SH (Table 2), while Zn, Mn, and B micros had significant differences at too in that same contrast (Table 3).

Moreover, the contrast with only half of N in the form of NH_4^+ , had significant differences in Mg, Ca, Mn, and Fe (Table 2 and 4), the rest of the variables were not significant for this contrast. In this case, there was higher use of blueberry plants, with half the concentration of NH_4^+ . This result allows us to obtain a better use of the applied fertilizer, making use of the SS technique, without losses in the production of blueberry. This phenomenon can be attributed to the compensatory function of the roots divided under different stress conditions (Péret *et al.*, 2011; Gao *et al.*, 2013). Zhu and Ito (2000) obtained a higher dry weight of roots and higher concentration of Ca in potato seedlings, in SS with half the nutrient solution that control. Shabnam *et al.* (2018), reported that when SS technique is used in wheat plants in an acid soil it increases the accumulation of P. Even, in trifoliolate orange seedlings where SS was used in combination with mycorrhizal fungi (MF), the presence of MF on one side of the split roots benefited the acquisition of C and the development of the root in the other half without MF (Qian-Sheng *et al.*, 2016).

It has also been reported that under SS the accumulation of dry matter of the root, was 18% lower in the part supplied with NH_4^+ than in that supplied with NO_3^- in plants of *Phaseolus vulgaris* L. (Guo *et al.*, 2007). The SS can suppress growth of the root of tobacco plants when deprived of NH_4^+ in the side of the SS compared to the other party receiving NO_3^- (Walch-Liu *et al.* 2001). Finally, it has been reported that the combined application of NH_4^+ and NO_3^- in tomato seedlings is better for the growth and uptake of N (Dong *et al.*, 2012).

In the last contrast with N-only application in NO_3^- form, significant differences were obtained for N, K, Zn, Mn and Cu (Tables 2 and 3) confirming the tendency of blueberry plant to uptake N in the form of NH_4^+ .

Conclusions

The supply of nitrate to half the root and ammonium to the other half simultaneously improves the physiological development and nutritional status of *Vaccinium corymbosum* L. compared to undivided root plants. The concentration of N, P, Mg, S, Cu, Mn, B, chlorophyll a and total sugars in plant leaves nourished with NH_4^+ is higher than that of plants with NO_3^- . Split root plants, without N/ NH_4^+ and half N supply, achieved the same yield as full N supply plants without root division. *V. corymbosum* L. Biloxi variety with split root and half of N in the form of NH_4^+ , doubled the use of N, as it matches in yield the complete supply treatment of N- NH_4^+ without root division.

Acknowledgements

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

References

- Alt DS, Doyle JW, 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2017.05.014>
- Araya T, Noguchi K, Terashima I (2010). Effect of nitrogen nutrition on the carbohydrate repression of photosynthesis in leaves of *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of Plant Research* 123:371-379. <http://dx.doi.org/10.1007/s10265-0090279-8>
- Bar-Tal A, Aloni B, Karni L, Rosenberg R (2001). Nitrogen nutrition of greenhouse pepper. II. Effects of nitrogen concentration and NO_3^- : NH_4^+ ratio on growth, transpiration, and nutrient uptake. *HortScience* 36:1252-1259. <http://dx.doi.org/10.21273/HORTSCI.36.7.1252>
- Bojovic B, Stojanovic J (2005). Chlorophyll and carotenoid content in wheat cultivars as a function of mineral nutrition. *Archives of Biological Science* 57:283-290.

- Bryla DR, 2008. Water requirements of young blueberry plants irrigated by sprinklers, microsprays and drip. *Acta Horticulturae* 792:135-139. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.792.13>
- Bryla DR, Strik, BC, Banados MP, Righetti TL (2012). Response of highbush blueberry to nitrogen fertilizer during field establishment – II. plant nutrient requirements in relation to nitrogen fertilizer supply. *HortScience* 47:917-926. <http://dx.doi.org/10.21273/HORTSCI.47.7.917>
- Bryla DR, Strik BC (2015). Nutrient requirements, leaf tissue standards, and new options for fertigation of northern highbush blueberry. *HortTechnology* 25:464-470. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.25.4.464>
- Casierra PF, Ávila LOF, Riascos ODH (2012). Cambios diarios del contenido de pigmentos fotosintéticos en hojas de caléndula bajo sol y sombra [Daily changes in the content of photosynthetic pigments in marigold leaves under sun and shade]. *Temas Agrarios* 17:60-71. <https://doi.org/10.21897/rta.v17i1.697>
- Castillo GAM, Avitia GE, Valdez ALA, Pineda PJ, Aguilar SS (2016). Dinámica nutrimental en hoja y fruto de arándano tipo Ojo de Conejo (*Vaccinium ashei* Reade) [Nutrient dynamics in leaf and fruit of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade)]. *Tecnociencia Chihuahua* 10:64-71.
- Crisóstomo MN, Hernández RO, López MJ, Manjarrez DC, Pinedo AA (2014). Ammonium/nitrate ratios in acid and alkaline solutions nutritious blueberry. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:525-532. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000300016
- Darnell RL, Hiss SA (2006). Uptake and assimilation of nitrate and iron in two *Vaccinium* species as affected by external nitrate concentration. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 131:5-10. <https://doi.org/10.21273/jahs.131.1.5>
- Darnell RL, Cruz HN (2011). Uptake and assimilation of nitrate and iron in cultivated and wild *Vaccinium* species. *International Journal of Fruit Science* 11:136-150. <https://doi.org/10.1080/15538362.2011.578518>
- Dong C, Lu Y, Zhu Y, Zhou Y, Xu Y, Shen Q (2012). Effect of homogeneous and heterogeneous supply of nitrate and ammonium on nitrogen uptake and distribution in tomato seedlings. *Plant Growth Regulation* 68:271-280. <http://dx.doi.org/10.1007/s10725-012-9715-1>
- Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Robers PA, Smith F (1956). Colorimetric method for the determination of sugars and related substances. *Analytical Biochemistry* 28:350-356.
- Gao Y, Tian Q and Zhang WH (2013). Systemic regulation of sulfur homeostasis in *Medicago truncatula*. *Planta* 239:79-96. <http://dx.doi.org/10.1007/s00425-013-1958-1>
- González KL, Rugeles NL, Magnitskiy S (2018). Effect of different sources of nitrogen on the vegetative growth of Andean blueberry (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Agronomía Colombiana* 36:58-67. <http://dx.doi.org/10.15446/agron.colomb.v36n1.69304>
- Grechi I, Vivin P, Hilbert G, Milin S, Robert T, Gaudillère JP (2007). Effect of light and nitrogen supply on internal C: N balance and control of root-to-shoot biomass allocation in grapevine. *Environmental Experimental Botany* 59:139-149. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.11.002>
- Gregoriou K, Pontikis K, Vemmos S (2007). Effect of reduced irradiance on leaf morphology, photosynthetic capacity, and fruit yield in olive (*Olea europaea* L.). *Photosynthetica* 45:172-181. <http://dx.doi.org/10.1007/s11099-0070029-x>
- Guo S, Shen Q, Brueck H (2007). Effects of local nitrogen supply on water uptake of bean plants in a split root system. *Journal of Integrative Plant Biology* 49:472-480.: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7909.2007.00436.x>

- Habibi G, Ajory N (2015). The effect of drought on photosynthetic plasticity in *Marrubium vulgare* plants growing at low and high altitudes. *Journal of Plant Research* 128:987-994. <http://dx.doi.org/10.1007/s10265-015-0748-1>
- Hafeez B, Khanif YM, Saleem M (2013). Role of zinc in plant nutrition-a review. *American Journal of Experimental Agriculture* 3:374-391. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8255>
- Hart J, Strik B, White L, Yang W (2006). Nutrient management for blueberries in Oregon. Oregon Station University Extension Service Publication EM 8918. Oregon State University, Corvallis, OR.
- Howard LR, Clark JR, Brownmiller C (2003). Antioxidant capacity and phenolic content in blueberries as affected by genotype and growing season. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83:1238-1247. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.1532>
- Husted S, Thomsen MU, Mattsson M, Schjoerring JK (2005). Influence of nitrogen and sulphur form on manganese acquisition by barley (shape *Hordeum vulgare*). *Plant and Soil* 268:309-317.
- Jing J, Rui Y, Zhang F, Rengel Z, Shen J (2010). Localized application of phosphorus and ammonium improves growth of maize seedling by stimulating root proliferation and rhizosphere acidification. *Field Crops Research* 119:355-364.
- Jorquera- Fontena E, Alberdi M, Reyes DM, Franck N (2016). Rearrangement of leaf traits with changing source-sink relationship in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) leaves. *Photosynthetica* 54:1-10. <http://dx.doi.org/10.1007/s11099-016-0207-9>
- Kang JG, van Iersel MW, Nemali K S (2004). Fertilizer concentration and irrigation method affect growth and fruiting of ornamental pepper. *Journal of Plant Nutrition* 27:867-884. <http://dx.doi.org/10.1081/PLN-120030676>
- Kitaoka S, Koike T (2004). Invasion of broad-leaf tree species into a larch plantation: seasonal light environment, photosynthesis and nitrogen allocation. *Physiologia Plantarum* 121:604-611. <http://dx.doi.org/10.1111/j.13993054.2004.00359.x>
- Kumar R, Mehrotra NK, Nautiyal BD, Kumar P, Singh PK (2009). Effect of copper on growth, yield and concentration of Fe, Mn, Zn and Cu in wheat plants (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Environmental Biology* 30:485-498. http://jeb.co.in/journal_issues/200907_jul09/paper_03.pdf
- Lasa B, Frechilla S, Aleu M, González MB, Lamsfus C, Aparicio TPM (2000). Effects of low and high levels of magnesium on the response of sunflower plants grown with ammonium and nitrate. *Plant and Soil* 225:167-174. <https://doi.org/10.1023/A:1026568329860>
- Latsague M, Sáez P, Mora M (2014). Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio, sobre el contenido foliar de carbohidratos, proteínas y pigmentos fotosintéticos en plantas de *Berberidopsis corallina* Hookf [Effect of the fertilization with nitrogen, phosphorus and potassium, on the foliar content of carbohydrates, proteins and photosynthetic pigments in plants of *Berberidopsis corallina* Hook.f.]. *Gayana Botánica* 71:37-42.
- Lemoine R, La Camera S, Atanassova R, Dedaldechamp F, Allario T, Pourtau N, ... Durand M (2013). Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. *Frontiers in Plant Science* 24(4):272. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2013.00272>
- Li Y, Ren B, Ding L, Shen Q, Peng S, Guo S (2013). Does chloroplast size influence photosynthetic nitrogen use efficiency? *PLoS One* 8:62036. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0062036>
- Mancera MM, Soto JM, Sánchez E, Yáñez RM, Montes F, Balandrán RR (2007). Caracterización mineral de manzana 'Red Delicious' y 'Golden Delicious' de dos países productores [Mineral characterization of 'Red Delicious' and 'Golden Delicious' apple varieties from two producing countries]. *Tecnociencia Chihuahua* 1:6-17.

- Marschner H (2012). *Marschner's Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press.
- Martínez FE, Sarmiento J, Fischer G, Jiménez F (2008). Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) [Effect of N, P, K, Ca, Mg and B deficiency on production and quality components of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.)]. *Agronomía Colombiana* 26:389398.
- Mengel K, Kirkby EA (2001). *Principles of Plant Nutrition*. Springer.
- Miller BD, Hawkins BJ (2007). Ammonium and nitrate uptake, nitrogen productivity and biomass allocation in interior spruce families with contrasting growth rates and mineral nutrient preconditioning. *Tree Physiology* 27:901-909. <https://doi.org/10.1093/treephys/27.6.901>
- Nagamatsu LY, Blanco LA, Délano FJ, Pimienta BE (2004). Light intensity and activity of trypsin inhibitors in amaranth leaves and seeds. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27:127-132.
- Ochmian I, Malinowski R, Kubus M, Malinowska K, Sotek Z (2019). The feasibility of growing's highbush blueberry (*V. corymbosum* L.) on loamy calcic soil with the use of organic substrates. *Scientia Horticulturae* 257:108690. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108690>
- Parra TS, Mendoza PG, Villarreal RM (2012). Relation nitrate / ammonium / urea and potassium concentration in hydroponic tomato production. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:113-124. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000100008
- Paul MJ, Foyer CH (2001). Sink regulation of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany* 52:1383-1400. <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.360.1383>
- Qiang-Sheng Wu, Ming-Qin Cao, Ying-Ning Zou, Chu Wu, Xin-Hua He (2016). Mycorrhizal colonization represents functional equilibrium on root morphology and carbon distribution of trifoliolate orange grown in a split-root system. *Scientia Horticulturae* 199:95-102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.039>
- Péret B, Clement M, Nussaume L, Desnos T (2011). Root developmental adaptation to phosphate starvation: better safe than sorry. *Trends in Plant Science* 16:442-450. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2011.05.006>
- Poonnachit U, Darnell RL (2004). Effect of ammonium and nitrate on ferric chelate reductase and nitrate reductase in *Vaccinium* species. *Annals of Botany* 93: 399-405. <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mch053>
- Salisbury FB, Ross CW (2000). *Fisiología de las Plantas. Desarrollo de las Plantas y Fisiología Ambiental*. Editorial Paraninfo, Madrid.
- Sánchez E, Ruiz MJ, Romero L, Preciado RP, Flores CMA, Márquez QC (2018). Son los pigmentos fotosintéticos buenos indicadores de la relación del nitrógeno, fósforo, y potasio en frijol ejotero? [Are photosynthetic pigments good indicators of the nitrogen-phosphorus- potassium nutritional state in beans?]. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 5:387-398.
- Sancllemente MA, Peña EJ (2008). Crecimiento y la eficiencia fotosintética de *Ludwigia decurrens* Walter (Onagraceae) bajo diferentes concentraciones de nitrógeno [Growth and photosynthetic efficiency of *ludwigia decurrens walter* (Onagraceae) under different concentrations of nitrogen]. *Revista Acta Biológica Colombiana* 13:175-186.
- Shabnam R, Tarek MH, Iqbal MT (2018). Understanding phosphorus dynamics in wheat plant and growth response in a split-root system in acid soil. *Agriculture and Natural Resources* 52(3):259-265. <https://dx.doi.org/10.1016/j.anres.2018.09.006>
- SIAP (2018). *Atlas agroalimentario [Agri-food atlas]*. Retrieved 2019 September 10 from

- https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018
- Sotiropoulos TE, Therios IN, Dimassi KN (2003). Boron toxicity in kiwifruit plants (*Actinidia deliciosa*), treated with nitrate, ammonium, and a mixture of both. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 166:529-532.
- <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200320264>
- Steiner AA (1984). The universal nutrient solution. In: *Proceedings of Sixth International Congress on Soilless Culture*. International Society for Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands pp 633-649.
- Stratton ML, Good GL, Barker AV (2001). The effects of nitrogen source and concentration on the growth and mineral composition of privet. *Journal of Plant Nutrition* 24:1745-1772. <http://dx.doi.org/10.1081/PLN-100107310>
- Szczerba MW, Britto DT, Kronzucker HJ (2006). Rapid, futile K⁺ cycling and pool-size dynamics define low-affinity potassium transport in barley. *Plant Physiology* 141:1494-1507. <https://doi.org/10.1104/pp.106.082701>
- Trejo Téllez LI, Gómez-Merino FC, Rodríguez-Mendoza MN, Alcántar-González G (2005). Fertilización foliar con urea en la partición de nitrógeno en espinaca. *Terra Latinoamericana* 23:495-503.
- Walch-Liu P, Neumann G, Engels C (2001). Response of shoot and root growth to supply of different nitrogen forms is not related to carbohydrate and nitrogen status of tobacco plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 164:97-103. [https://doi.org/10.1002/1522-2624\(200102\)164:1<97::AID-JPLN97>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200102)164:1<97::AID-JPLN97>3.0.CO;2-Z)
- Watanabe M, Hoshika Y, Inada N, Koike T (2018). Photosynthetic activity in relation to a gradient of leaf nitrogen content within a canopy of Siebolds beech and Japanese oak sapling under elevated ozone. *Science of the Total Environment* 636:1455-1462. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.423>
- Watson M, Galliher T (2002). Comparison of Dumas and Kjeldahl methods with automatic analyzer on agricultural samples under routine rapid analysis conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32:20072019. <https://doi.org/10.1081/CSS-120000265>
- Xu GH, Wolf S, Kafkafi U (2001). Effect of varying nitrogen form and concentration during growing season on sweet pepper flowering and fruit yield. *Journal of Plant Nutrition* 24:1099-1116. <https://doi.org/10.1081/PLN100103806>
- You Q, Wang B, Chen E, Huang Z, Wang X, Luo PG (2011). Comparison of anthocyanins and phenolics in organically and conventionally grown blueberries in selected cultivars. *Food Chemistry* 125:201-208. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.063>
- Zhu Y, Ito T (2000). Effects of nutrient stress by split-root system on the growth and K, Ca, and Mg contents at different stages of hydroponically-grown tomato seedlings. *Engei Gakkai Zasshi. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 69:677-683. <https://doi.org/10.2503/jjshs.69.677>



The journal offers free, immediate, and unrestricted access to peer-reviewed research and scholarly work. Users are allowed to read, download, copy, distribute, print, search, or link to the full texts of the articles, or use them for any other lawful purpose, without asking prior permission from the publisher or the author.



License - Articles published in *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* are Open-Access, distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) License. © Articles by the authors; UASVM, Cluj-Napoca, Romania. The journal allows the author(s) to hold the copyright/to retain publishing rights without restriction.

SEGUNDO ARTÍCULO

Concentración nutrimental y calidad de frutos de arándano en condición de raíz dividida

CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL Y CALIDAD DE FRUTOS DE ARÁNDANO EN CONDICIÓN DE RAÍZ DIVIDIDA

Oliver Gabriel Leal-Ayala¹, Alberto Sandoval-Rangel^{2*}, Manuel Sandoval-Villa³, Libia Iris Trejo-Téllez³, Marcelino Cabrera-De la Fuente², Adalberto Benavides-Mendoza²

¹Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. Saltillo, Coahuila. C. P. 25315.

²Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. Saltillo, Coahuila. C. P. 25315.

³Programa de Edafología. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carr. México–Texcoco. Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. México.

*Autor por correspondencia: asandovalr16@gmail.com (A. Sandoval-Rangel)

RESUMEN

El fruto de arándano azul es rico en antocianinas, lo cual lo hace importante en el mercado mundial por sus efectos benéficos en la salud humana al actuar como anticancerígeno. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del suministro de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) en raíces divididas en la calidad y el estatus nutrimental de las frutas de arándano azul. Se estableció un experimento completamente al azar con seis tratamientos en invernadero; tres bajo condición normal de raíces (RN) y tres con raíz separada (RS). En los frutos se evaluaron sólidos solubles totales (SST), azúcares totales y nutrimentos minerales. Los tratamientos no tuvieron efecto en los azúcares totales. Los SST aumentaron por el suministro separado de NO_3^- y NH_4^+ en RS. RS disminuyó la concentración de nitrógeno (N). El fósforo (P) fue mayor en todos los tratamientos respecto al testigo excepto con NH_4^+ en RS. El potasio (K) incrementó con el suministró combinado de NO_3^- y NH_4^+ en RS, mientras que el Ca, Mg, Fe, Cu y Zn aumentaron cuando se suministró únicamente la mitad de NO_3^- en RS. La condición de raíz separa con la mitad de nitrógeno en forma de nitratos (Sin N/N- NO_3^-) duplicó el uso del N ya que lograron el mismo comportamiento que las plantas de suministro completo.

Palabras Clave: macronutrimentos, micronutrimentos, sólidos solubles totales, amonio.

INTRODUCCIÓN

El arándano es un arbusto perenne perteneciente al género *Vaccinium* de la familia Ericaceae (Jiang *et al.*, 2019). La fruta de arándano ocupó el primer lugar de 15 tipos de alimentos saludables a nivel mundial enumerados por los nutricionistas británicos, y también fue una de las cinco categorías amplias de suplementos dietéticos humanos enumerados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Kay y Holub, 2002). Estados Unidos es el mayor productor de arándanos, con el 80% de la producción total de arándanos del mundo (Xu *et al.*, 2014). Mientras que México está en el sexto lugar con una producción en el 2019 de 48,999 t (FAOSTAT, 2020) y los principales estados productores de arándano azul son Jalisco, Michoacán y Sinaloa.

La mayor parte de la producción de arándanos está destinada al sector del mercado de productos frescos, que requiere bayas de alta calidad y longevidad poscosecha (Gallardo *et al.*, 2018). Debido a la estacionalidad de las frutas de arándano, las bayas frescas están disponibles solo durante unos meses al año (Kucner *et al.*, 2013). Además, los rasgos importantes de la calidad de la fruta altamente valorados por los consumidores incluyen firmeza (crujiente), alto contenido de azúcar y cantidades moderadas de ácido, así como altos niveles de antioxidantes (Konarska, 2015). Los frutos son ricos en antocianinas antioxidantes (Huang *et al.*, 2020), incluso los arándanos contienen hasta 15 tipos de antocianinas (Koca y Karadeniz, 2009). Estos compuestos flavonoides bioactivos son benéficos contra muchas enfermedades crónicas y, por tanto, es una de las frutas que es popular por su sabor y riqueza en antocianinas (Routray y Orsat, 2011).

V. corymbosum es una planta que se desarrolla mejor en ambientes ácidos (Nunez *et al.*, 2015). El nitrógeno (N) es el nutrimento clave para la producción de arándano (Messiga *et al.*, 2018). Esta especie muestra una preferencia por la forma N-NH_4^+ sobre la forma N-NO_3^- , esta preferencia se ha asociado con una capacidad generalmente baja para reducir el NO_3^- (Alt *et al.*, 2017).

La concentración de N afecta fuertemente la longevidad y productividad del huerto, asimismo, la tasa de crecimiento de raíces y brotes y la calidad de las bayas (Osorio *et al.*, 2020). La respuesta de las plantas de arándanos al estado nutrimental de N también está influenciada por el método de aplicación de N (Bryla y Strik, 2015). La alta concentración de N adelanta las fechas de floración y cosecha en arbustos jóvenes de arándano (Fang *et al.*, 2020). Por tanto, las formas de N suministradas a plantas de *Vaccinium corymbosum* L.

en condición de raíz dividida podrían modificar positivamente las características de calidad y la concentración de nutrimentos minerales de los frutos. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto del suministro de NO_3^- y de NH_4^+ , mediante la exposición de la mitad de las raíces al NO_3^- y la otra mitad al NH_4^+ en forma simultánea, y verificar el efecto en la calidad y estatus nutrimental de *Vaccinium corymbosum* L.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

El experimento se realizó en un invernadero ubicado en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, Estado de México, México, cuyas coordenadas geográficas son 19° 28' 05" latitud norte y 98° 54' 09" longitud oeste, a una altitud de 2,220 m. El invernadero utilizado fue de dos aguas con estructura de metal y cubierta de plástico UVII-720, con malla anti-insecto de 25x40 en las paredes laterales y cubierta color negro sobre la superficie del suelo.

Tratamientos y diseño experimental

La unidad experimental fue una planta de *V. corymbosum* L., con un recipiente formado por dos macetas con pared plana para separar las raíces. Se estableció un experimento con diseño completamente al azar con seis tratamientos en invernadero; tres de éstos consistieron de un sistema tradicional de conducción de raíces (RN) variando únicamente la fuente de N. Los otros tres tratamientos consistieron en dividir las raíces (RS), con el suministro de las formas de N espacialmente separado en cada maceta (**Cuadro 1**). Todos los tratamientos se formularon considerando la solución nutritiva de Steiner al 50% (Steiner, 1984).

Cuadro 1. Diseño de tratamientos experimentales en *V. corymbosum* L.

	Tratamientos	Concentración (mol _c m ⁻³)	Condición de raíz
1	† NO ₃ ⁻ y NH ₄ ⁺	6 + 6	Normal (RN)
2	NO ₃ ⁻	6 + 6	Normal (RN)
3	NH ₄ ⁺	6 + 6	Normal (RN)
4	NO ₃ ⁻ y NH ₄ ⁺	6 / 6	Separada (RS)
5	Sin N / NO ₃ ⁻	0 / 6	Separada (RS)
6	Sin N / NH ₄ ⁺	6 / 0	Separada (RS)

†= Testigo

Solución nutritiva

La composición de la solución nutritiva de Steiner (1984) al 50%, usada como referencia, fue la siguiente (mol_c m⁻³): 6 NO₃⁻, 0.5 H₂PO₄⁻, 3.5 SO₄²⁻, 3.5 K⁺, 2 Mg²⁺ y 4.5 Ca²⁺. La conductividad eléctrica (CE) del agua fue de 1.0 dS·m⁻¹, el pH se ajustó entre 4.5 y 5.5 con H₂SO₄. Además, se les agregó como fuente de micronutrientes, los siguientes fertilizantes: Fe-EDTA, MnSO₄ 4H₂O, ZnSO₄ 7H₂O, H₃BO₃, CuSO₄ 5H₂O y Na₂MoO₄ 2H₂O a razón de 4.54, 0.43, 0.08, 0.57, 0.016 y 0.02 mg L⁻¹, respectivamente.

Determinación de sólidos solubles totales y azúcares totales

Se recolectaron seis frutos por tratamiento (uno por planta) de tamaño uniforme y en un estado de madurez uniforme se verificó que los frutos de arándano azul seleccionados por tratamiento no tuvieran daños. Se realizaron análisis de calidad y determinación de concentración de nutrientes minerales en estas frutas.

Los sólidos solubles totales (°Brix), se determinaron utilizando un refractómetro de bolsillo ATAGO PAL N°1.

La concentración de los azúcares totales conforme a Dubois *et al.* (1956), se determinó pesando 500 mg de tejido fresco ya macerado y se depositó en matraz Erlenmeyer y se agregaron 50 mL de etanol 80 %. Los matraces se colocaron en una plancha caliente a ebullición constante con agitación ocasional hasta reducir el volumen hasta 18 mL. El sobrenadante se filtró y se llevó a un volumen de 20 mL, se tomó 1 mL del extracto obtenido y se agregaron 5 mL de antrona 0.4 % (p/v) en H₂SO₄ concentrado (Merck KGaA, Darmstadt, Alemania), durante el proceso las muestras fueron colocadas en hielo.

Después, se incubaron las muestras en baño maría a 95 °C durante 15 min; la reacción se terminó colocando las muestras en hielo. Para la cuantificación se realizó una curva estándar usando glucosa (Sigma-Aldrich, San Luis Misuri, USA) y se midieron las muestras a una absorbancia de 600 nm en un espectrofotómetro (6715, Jenway, UK).

Determinación de nutrimentos

Durante la etapa vegetativa se colectaron brotes de *V. corymbosum* L. para su secado. Se realizó análisis químico de la materia seca, el nitrógeno (N) se cuantificó por el método Kjeldhal (Watson y Galliher, 2002) y la determinación de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), boro (B) y sodio (Na) se llevó a cabo mediante espectroscopía de emisión atómica de inducción por plasma acoplado (ICP-ES 725, Agilent, Mulgrave, Australia).

Análisis estadístico

A las variables en estudio se les realizó análisis de varianza, se compararon las medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) mediante el programa estadístico SAS, versión 9.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los sólidos solubles totales (SST) en todos los tratamientos fueron significativamente superiores al testigo. Las mayores concentraciones de SST se registraron en el tratamiento consistente en la aplicación combinada de NO_3^- y NH_4^+ en RS y cuando se suministró solo NH_4^+ en RN; con aumentos de 39.95 y 37.93%, respectivamente, en comparación con el testigo (**Figura 1a**). En contraste con lo aquí observado, Ehret *et al.* (2014) reportaron que la aplicación de N-NH_4^+ no afectó los SST en frutos de arándano.

Durante el curso de las etapas de fruta verde madura a azul madura de arándano, los SST aumentan de 9 a 15 °Brix (Castrejón *et al.*, 2008). El intervalo de SST en frutos de arándano fue similar a los reportado por Santos *et al.* (2016), que fue de 12.9 °Brix, y a lo reportado por Skupien (2006) con 13.7 °Brix. Los SST varían de acuerdo con la variedad

de arándano utilizada, y al efecto de las condiciones del cultivo entre otros factores (Ochmian *et al.*, 2015).

Los azúcares tienen un impacto importante en la calidad sensorial de la fruta, que también puede cambiar el sabor del arándano durante la temporada de cosecha (Zorenc *et al.*, 2016). La glucosa y la fructosa son los azúcares predominantes en las frutas de arándanos y presentan una baja concentración de sacarosa (Forney *et al.*, 2012). La concentración de azúcares totales en frutos de arándano no fue afectada por los tratamientos (**Figura 1b**). Sin embargo, un estudio anterior, mostró que, en hojas de arándanos, la concentración de azúcares totales fue más alta cuando las plantas fueron tratadas con NH_4^+ en comparación con NO_3^- (Leal-Ayala *et al.*, 2021).

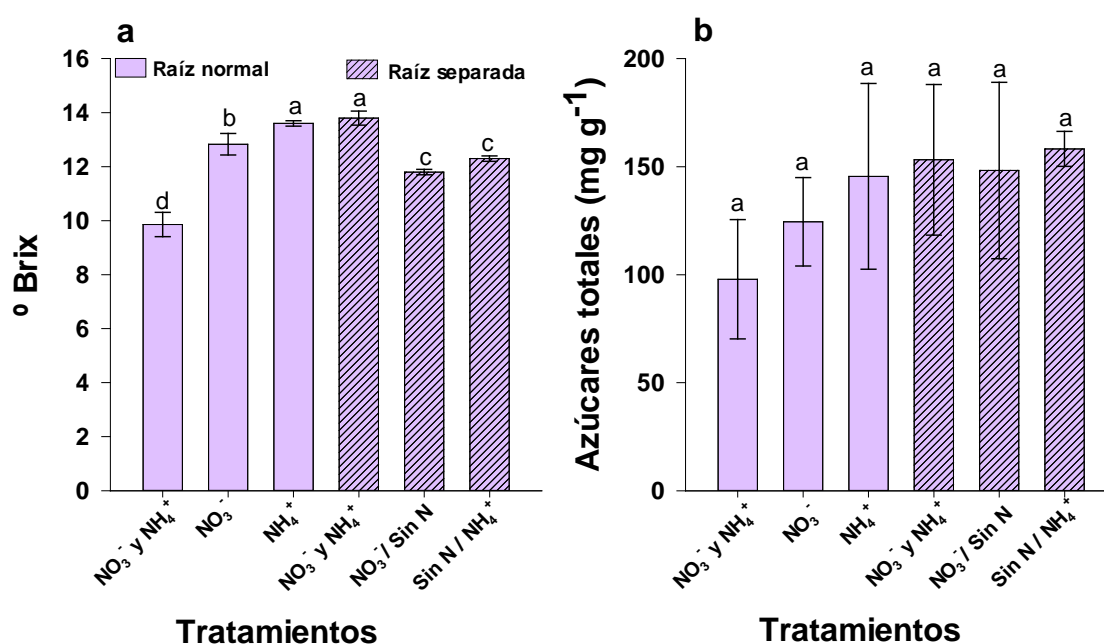


Figura 1. Efectos de la aplicación de las formas de nitrógeno y condición de raíz en °Brix (a) y azúcares totales (b) en frutos de arándano azul. Letras diferentes \pm EE indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

Concentración de macronutrientes

Los tratamientos con solo N- NO_3^- /Sin N y sin N/N- NH_4^+ en RS redujeron significativamente la concentración de N en frutos, con decrementos de 13.6 y 11.2%, respectivamente en comparación con el testigo (**Figura 2a**).

Las formas y tasas de absorción de N tienen un impacto en el desarrollo fisiológico, transporte y concentración de N en la planta (Guo *et al.*, 2019). Los arándanos responden favorablemente a varias formas de N, concentraciones y tiempos de aplicación, aunque tienen preferencia por el NH_4^+ (Hanson, 2006). La fruta de arándano contiene menor cantidad de N que otros órganos, en forma independiente de la concentración aplicada y tiende a disminuir a medida que avanza el ciclo del cultivo (Pescie *et al.*, 2018). El efecto negativo de RS en la concentración de N, no fue observado por Ruan *et al.* (2019) en plantas de *Camellia sinensis* bajo heterogeneidad espacial con raíz dividida y de formas de N.

Por otra parte, todos los tratamientos, excepto el establecido en RS sin N/ N-NH_4^+ , superaron la concentración de P registrada en plantas del tratamiento testigo. Destaca que la aplicación por separado de NO_3^- y NH_4^+ bajo RN mostró un aumento en la concentración de P del 5.17 y 7.73 % respectivamente, en comparación con el testigo (**Figura 2b**).

Por otro lado, Shabnam *et al.* (2018) reportaron que la concentración de fósforo se debe al suministro alto proporcionado y no a la conducción de raíz, sin embargo, esta conducción puede proporcionar un suministro más estable de fósforo en concentraciones bajas de fósforo. Asimismo, el efecto nulo de la raíz dividida en la concentración nutricional, se ha reportado en plantas de *Camellia sinensis* (Ruan *et al.*, 2019).

El tratamiento con $\text{N-NO}_3^-/\text{Sin N}$ en RS fue el único tratamiento que no mostró diferencias en la concentración de K respecto al testigo; el resto de los tratamientos fueron significativamente mayores, incluso el mejor tratamiento aumentó 51.24% la concentración de K en frutos de arándano, el cual fue aquel con suministro combinado de NO_3^- y NH_4^+ bajo RS (**Figura 2c**). Las plantas ocupan más K en la etapa de llenado y maduración de frutas. Se ha reportado que la concentración de K en los órganos de las plantas, depende en gran medida de nivel de NH_4^+ , ya que éstos compiten para ingresar a la célula (Szczerba *et al.*, 2006).

En cuanto a la concentración de Ca en los frutos de arándano, se observó que los tratamientos con suministro exclusivo de NO_3^- en RN aumentaron en 36.78% respecto al testigo; mientras que el tratamiento con NO_3^- en RS incrementó en 35.13% (**Figura 2d**). Se ha reportado que usualmente el NH_4^+ disminuye la concentración Ca, este efecto se relaciona con el antagonismo iónico entre Ca^{2+} y NH_4^+ (Osorio *et al.*, 2020). El efecto de antagonismo y los efectos negativos de los nutrientes a menudo están relacionados con

los cationes divalentes que probablemente comparten rutas de absorción similares (Rietra *et al.*, 2017)

La concentración de Mg en frutos de arándano se modificó positivamente bajo RS en ambas formas de N, tanto separado como combinado. el mayor aumento en la concentración de Mg respecto al testigo, fue de 42.38% en el tratamiento con únicamente NO_3^- en RS, aunque también el suministro de NH_4^+ en RS mostró aumento respecto al testigo (**Figura 2e**). Se ha reportado que el Mg tiene un incremento significativo en hojas de arándano con un suministro exclusivo de NH_4^+ (Crisóstomo *et al.*, 2014).

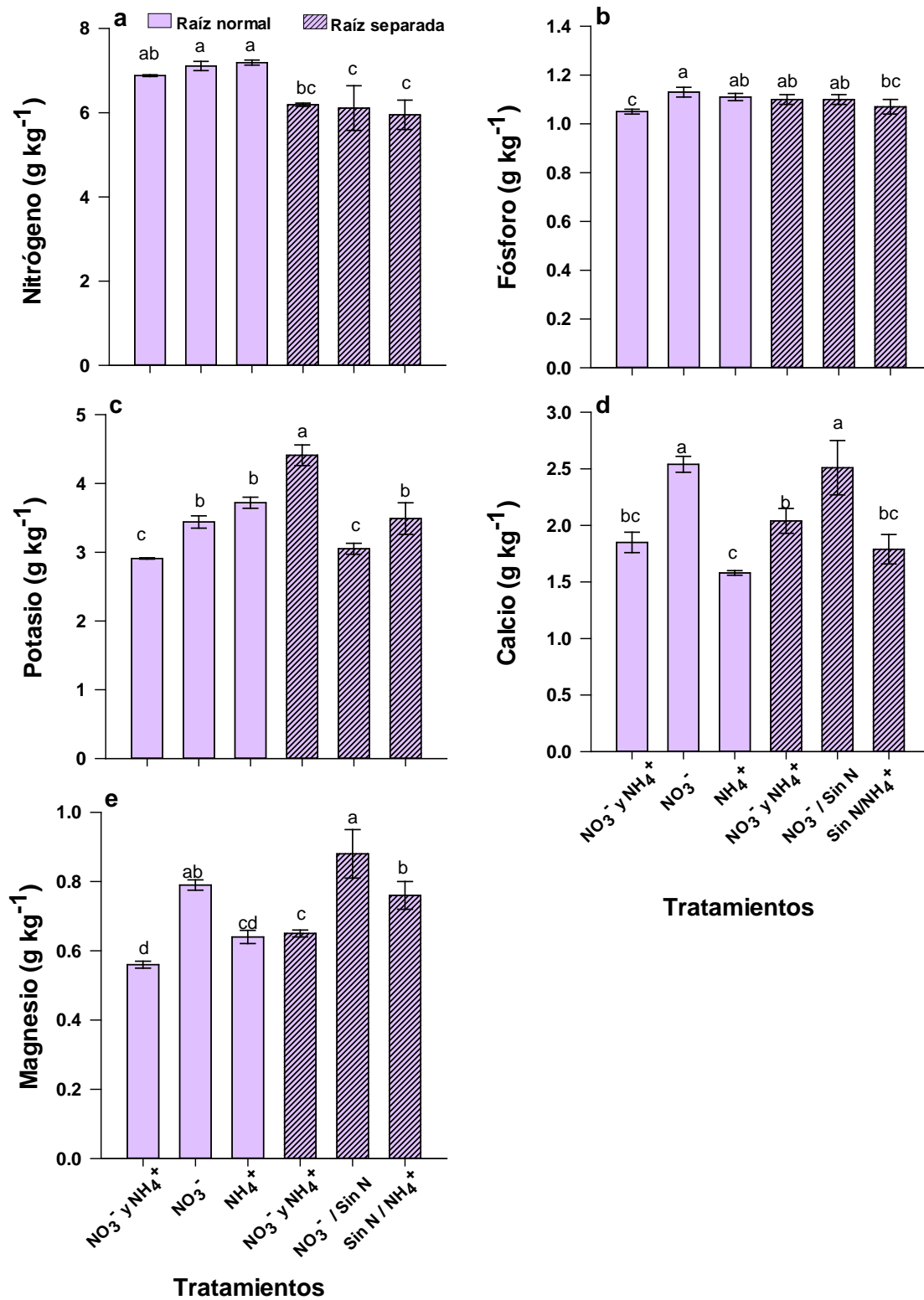


Figura 2. Efectos de la aplicación de las formas de nitrógeno y condición de raíz para la concentración de a) Nitrógeno, b) Fosforo, c) Potasio, d) Calcio y e) Magnesio (g.kg⁻¹) en frutos de

arándano azul. Letras diferentes indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

La concentración de Fe en frutos de arándano, fue similar en todos los tratamientos con excepción de 0/N-NO₃⁻ donde hubo diferencia estadística respecto al testigo (**Figura 3a**). Glonek y Komosa (2006) encontraron concentraciones de Fe en hoja de 53.9 a 57.7 mg kg⁻¹, esto concuerda con este estudio en la mayoría de los tratamientos aplicados, excepto el testigo y el suministro de NH₄⁺ en RN, que tuvieron concentraciones de Fe más bajas. Por otro lado, hoja y fruto son dos órganos diferentes, sin embargo, se ha reportado que la concentración de micronutrientes son similares en ambos órganos (Ochmian *et al.*, 2019).

Por otra parte, la concentración de Cu en frutos de arándano, mostró que los tratamientos fueron estadísticamente iguales al testigo (**Figura 3b**). Estos resultados difieren con publicaciones de Kumar *et al.* (1990) donde muestran que la fuente de N más benévola para la acumulación Cu es el nitrato.

No se encontró efecto de los tratamientos en la concentración de Zn (**Figura 3c**). Estos resultados coinciden con lo obtenido por Bryla *et al.* (2012) quienes demostraron que el N no tiene efectos en la acumulación de Zn en todos los órganos de arándano azul.

El suministro de NO₃⁻ en RN, aumentó 92.33% la concentración de Mn respecto al testigo, y en RS hubo una disminución significativa en la concentración de Mn por efecto del NH₄⁺. Por otro lado, el suministro de NH₄⁺ en ambas condiciones de raíz disminuyeron la concentración de Mn (**Figura 3d**). Zhao *et al.* (2018) reportaron que el suministro de NO₃⁻ mostró una mayor acumulación de Mn en los órganos de *Populus cathayana*, estos resultados son similares a nuestro estudio, aunque en diferente especie de planta y órgano vegetal. El efecto positivo del nitrato en condición de RN, se puede deber a que la respuesta de los factores de estrés y disponibilidad de nutrientes en la endodermis (formación de bandas de Casparia y laminillas de suberina) se activan a nivel de raíces individuales, en lugar de localizarse en un lado de una sola raíz (Namyslov *et al.*, 2020).

La concentración de B en frutos de arándano fue afectada por los tratamientos. El suministro de NO₃⁻ en RN aumentó la concentración de este elemento en 29.79% respecto al testigo. También aumentó 33.29% cuando se suministraron las dos formas combinadas de N en RS (**Figure 3e**).

Los tratamientos evaluados no tuvieron efecto en la concentración de Na en frutos (**Figure 3f**). Generalmente, las hojas acumulan más Na⁺ que el fruto (Blumwald y Zhang, 2001). El efecto mínimo en la acumulación de Na⁺ en los frutos, se debe que las plantas compartimentan Na⁺ en las vacuolas de la mayoría de los tejidos para reducir su concentración y evitar la toxicidad por Na⁺ en el citosol (Keisham *et al.*, 2018). Incluso a niveles bajos, el Na⁺ no solo es inofensivo sino que puede ser útil, particularmente en condiciones de bajo suministro de K⁺ (Maathuis, 2014).

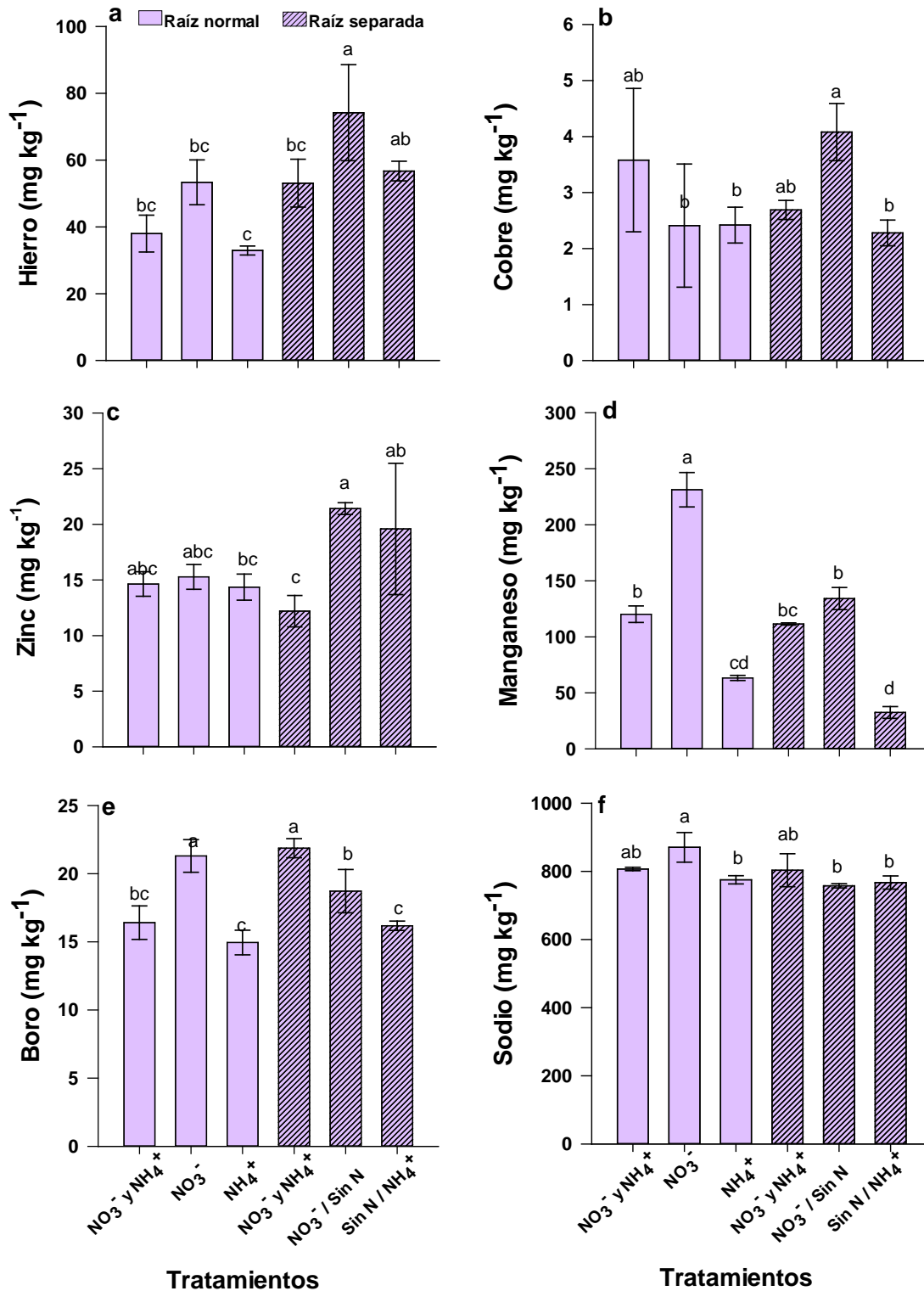


Figura 3. Efectos de la aplicación de las formas de nitrógeno y condición de raíz para la concentración de hierro (a), cobre (b), zinc (c), manganeso (d), boro (e) y sodio (f) en frutos de arándano azul. Letras diferentes indican diferencia significativa de acuerdo a la prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

El suministro de nitrato a la mitad de la raíz y de amonio a la otra mitad simultáneamente mejora los sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix), la concentración de potasio y boro en frutos de arándanos en comparación a plantas de raíces no divididas.

La condición de raíz separa con la mitad de nitrógeno en forma de nitratos (Sin N/N- NO_3^-) duplico el uso del N ya que lograron el mismo comportamiento que las plantas de suministro completo de N sin división de raíces en azúcares totales y concentración de fósforo, calcio, magnesio, hierro, cobre y zinc en frutos de arándano.

REFERENCIAS

- Aliman, J., Michalak, I., Bušatlić, E., Aliman, L., Kulina, M., Radović, M., Hasanbegović, J., 2020. Study of the physicochemical properties of highbush blueberry and wild bilberry fruit in central Bosnia. *Turkish Journal of Agriculture* 44, 156–168. <https://doi.org/10.3906/tar-1902-36>
- Alt, D.S., Doyle, J.W., 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. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.05.014>
- Blumwald, E., Zhang, H.-X., 2001. Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit. *Nature Biotechnology* 19, 765–768.
- Bryla, D.R., Strik, B.C., 2015. Nutrient requirements, leaf tissue standards, and new options for fertigation of northern highbush blueberry. *HortTechnology* 25, 464–470. <https://doi.org/10.21273/horttech.25.4.464>
- Bryla, D.R., Strik, B.C., Pilar Bañados, M., Righetti, T.L., 2012. Response of highbush blueberry to nitrogen fertilizer during field establishment-II. plant nutrient requirements in relation to nitrogen fertilizer supply. *HortScience* 47, 917–926. <https://doi.org/10.21273/hortsci.47.7.917>
- Castrejón, A.D.R., Eichholz, I., Rohn, S., Kroh, L.W., Huyskens-Keil, S., 2008. Phenolic profile and antioxidant activity of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during fruit maturation and ripening. *Food Chem* 109, 564–572.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.007>

- Crisóstomo, Crisóstomo Natividad, M., Hernández Rodríguez, O.A., Medina, J.L., Manjarrez-Domínguez, C., Pinedo-Alvárez, A., 2014. Relaciones amonio/nitrato en soluciones nutritivas ácidas y alcalinas para arándano* Ammonium/nitrate ratios in acid and alkaline solutions nutritious blueberry. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5, 525–532.
- Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Robers PA, Smith F. 1956. Colorimetric method for the determination of sugars and related substances. *Analytical Biochemistry* 28, 350-356.
- Ehret, David L., Frey, Brenda., Forge, Tom., Helmer, Tom., Bryla, David. R. and Zebarth, Bernie. J. 2014. Effects of nitrogen rate and application method on early production and fruit quality in highbush blueberry. *Canadian Journal of Plant Science* 94, 1-15. <https://doi.org/10.4141/CJPS2013-401>
- Fang, Y., Williamson, J., Darnell, R., Li, Y., and Liu, G. 2020. Optimizing Nitrogen Fertigation Rates for Young Southern Highbush Blueberry. *Agronomy* 10, 389.
- FAOSTAT, 2020. Crop statistics are recorded for 173 products, covering the following categories <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Forney, C.F., Kalt, W., Jordan, M.A., Vinqvist-Tymchuk, M.R., Fillmore, S.A.E., 2012. Blueberry and cranberry fruit composition during development. *Journal of Berry Research* 2, 169–177. <https://doi.org/10.3233/JBR-2012-034>
- Gallardo, R.K., Stafne, E.T., DeVetter, L.W., Zhang, Q., Li, C., Takeda, F., Williamson, J., Yang, W.Q., Cline, W.O., Beaudry, R., Allen, R., 2018. Blueberry producers' attitudes toward harvest mechanization for fresh market. *HortTechnology* 28, 10–16. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH03872-17>
- Glonek, J., Komosa, A., 2006. The effect of fertigation on the nutrient status and yield of highbush blueberry cv. "Bluecrop." *Acta Horticulturae* 715, 371–374. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.715.55>
- Grzebisz, W., 2013. Crop response to magnesium fertilization as affected by nitrogen supply. *Plant Soil* 368, 23–39. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1574-z>
- Guo, J., Jia, Y., Chen, H., Zhang, L., Yang, J., Zhang, J., Hu, X., Ye, X., Li, Y., Zhou, Y.,

2019. Growth, photosynthesis, and nutrient uptake in wheat are affected by differences in nitrogen levels and forms and potassium supply. *Scientific Reports* 9, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37838-3>
- Hanson, E.J., 2006. Nitrogen fertilization of highbush blueberry. *Acta Horticulturae* 715, 347–351.
- Huang, W., Hutabarat, R.P., Chai, Z., Zheng, T., Zhang, W., Li, D., 2020. Antioxidant blueberry anthocyanins induce vasodilation via PI3K/Akt signaling pathway in high-glucose-induced human umbilical vein endothelial cells. *International Journal of Molecular Sciences* 21. <https://doi.org/10.3390/ijms21051575>
- Jiang, Y., Zeng, Q., Wei, J., Jiang, J., Li, Y., Chen, J., Yu, H., 2019. Growth, fruit yield, photosynthetic characteristics, and leaf microelement concentration of two blueberry cultivars under different long-term soil pH treatments. *Agronomy* 9. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070357>
- Kay, C.D., Holub, B.J., 2002. The effect of wild blueberry (*Vaccinium angustifolium*) consumption on postprandial serum antioxidant status in human subjects. *British Journal of Nutrition* 88, 389–397. <https://doi.org/10.1079/bjn2002665>
- Keisham, M., Mukherjee, S., Bhatla, S.C., 2018. Mechanisms of sodium transport in plants—Progresses and challenges. *International Journal of Molecular Sciences* 19. <https://doi.org/10.3390/ijms19030647>
- Koca, I., Karadeniz, B., 2009. Antioxidant properties of blackberry and blueberry fruits grown in the Black Sea Region of Turkey. *Scientia Horticulturae* 121, 447–450. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.03.015>
- Konarska, A., 2015. Development of fruit quality traits and comparison of the fruit structure of two *Vaccinium corymbosum* (L.) cultivars. *Scientia Horticulturae* 194, 79–90. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.007>
- Kucner, A., Klewicki, R., Sójka, M., 2013. The Influence of Selected Osmotic Dehydration and Pretreatment Parameters on Dry Matter and Polyphenol Content in Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) Fruits. *Food Bioprocess Technology* 6, 2031–2047. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0997-0>

- Kumar, V., Yadav, D. V., and Yadav, D. S. (1990). Effects of nitrogen sources and copper levels on yield, nitrogen and copper contents of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant and Soil* 126(1), 79-83.
- Leal-Ayala, O.G., Sandoval-Villa, M., Trejo-Tellez, L.I., Sandoval-Rangel, A., Cabrera-De la fuente, M., Benavides-Mendoza, A., 2021. Nitrogen form and root division modifies the nutrimental and biomolecules concentration in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoc* 49(1), 11998. <https://doi.org/10.15835/nbha49111998>
- Maathuis, F.J.M., 2014. Sodium in plants: Perception, signalling, and regulation of sodium fluxes. *Journal of Experimental Botany* 65, 849–858. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert326> <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00150-8>
- Messiga, A.J., Haak, D., Dorais, M., 2018. Blueberry yield and soil properties response to long-term fertigation and broadcast nitrogen. *Scientia Horticulturae* 230, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.019>
- Namyslov, J., Bauriedlová, Z., Janoušková, J., Soukup, A., Tylová, E., 2020. Exodermis and endodermis respond to nutrient deficiency in nutrient-specific and localized manner. *Plants* 9. <https://doi.org/10.3390/plants9020201>
- Nunez, G.H., Olmstead, J.W., Darnell, R.L., 2015. Rhizosphere acidification is not part of the strategy I iron deficiency response of *Vaccinium arboreum* and the southern highbush blueberry. *HortScience* 50, 1064–1069. <https://doi.org/10.21273/hortsci.50.7.1064>
- Ochmian, I., Kozos, K., Chełpiński, P., Szczepanek, M., 2015. Comparison of berry quality in highbush blueberry cultivars grown according to conventional and organic methods. *Turkish Journal of Agriculture Food and Technology* 39, 174–181. <https://doi.org/10.3906/tar-1404-18>
- Ochmian, I., Malinowski, R., Kubus, M., Malinowska, K., Sotek, Z., Racek, M., 2019. The feasibility of growing highbush blueberry (*V. corymbosum* L.) on loamy calcic soil with the use of organic substrates. *Scientia Horticulturae* 257, 108690. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108690>
- Osorio, R., Cáceres, C., Covarrubias, J.I., 2020. Vegetative and Physiological Responses

- of “Emerald” Blueberry to Ammoniacal Sources with a Nitrification Inhibitor. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 20, 507–515. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00135-7>
- Pescie, M.A., Borda, M.P., Ortiz, D.P., Landriscini, M.R., Lavado, R.S., 2018. Absorption, distribution and accumulation of nitrogen applied at different phenological stages in southern highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* interspecific hybrid). *Scientia Horticulturae* 230, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.005>.
- Rietra, J.J.R.P., Heinen, M, Dimkpa, C.O., Bindraban, PS. 2017. Effects of Nutrient Antagonism and Synergism on Yield and Fertilizer Use Efficiency, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 48(16), 1895-1920, <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1407429>
- Routray, W., Orsat, V., 2011. Blueberries and Their Anthocyanins: Factors Affecting Biosynthesis and Properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 10, 303–320. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00164.x>
- Ruan, L., Wei, K., Wang, L., Cheng, H., Wu, L., Li, H., 2019. Characteristics of Free Amino Acids (the Quality Chemical Components of Tea) under Spatial Heterogeneity of Different Nitrogen Forms in Tea (*Camellia sinensis*) Plants. *Molecules* 24, 6–9. <https://doi.org/10.3390/molecules24030415>
- Santos, R.O., Trindade, S.C., Maurer, L.H., Bersch, A.M., Sautter, C.K., Penna, N.G., 2016. Physicochemical, antioxidant and sensory quality of Brazilian Blueberry Wine. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 88, 1557–1568. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620140491>
- Shabnam, R., Tarek, M.H., Iqbal, M.T., 2018. Understanding phosphorus dynamics in wheat plant and growth response in a split-root system in acidic soil. *Agriculture and Natural Resources* 52, 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.09.006>
- Skupień, K., 2006. Chemical composition of selected cultivars of highbush blueberry fruit (*Vaccinium corymbosum* L.). *Folia Horticulturae* 18, 47–56.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *In: proceedings of sixth international congress on soilless culture*. International Society for Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands 633-649 pp

- Szczerba, M.W., Britto, D.T., Kronzucker, H.J., 2006. Rapid, futile K⁺ cycling and pool-size dynamics define low-affinity potassium transport in barley. *Plant Physiology* 141, 1494–1507. <https://doi.org/10.1104/pp.106.082701>
- Xu, C., Ma, Y., Chen, H., 2014. Technique of grafting with Wufanshu (*Vaccinium bracteatum* Thunb.) and the effects on blueberry plant growth and development, fruit yield and quality. *Scientia Horticulturae* 176, 290–296. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.07.021>
- Watson y Galliher, 2002. Comparison of Dumas and Kjeldahl methods with automatic analyzer on agricultural samples under routine rapid analysis conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32:20072019. <https://doi.org/10.1081/CSS-120000265>
- Zhao, H., Zhang, S., Li, J. Song, M., Pang, J., 2018. Effects of NH₄⁺ and NO₃⁻ on sexual dimorphism responses to manganese stress in a dioecious tree species. *Trees* 32, 473–488 . <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1644-1>
- Zorenc, Z., Veberic, R., Stampar, F., Koron, D., Mikulic-Petkovsek, M., 2016. Changes in berry quality of northern highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during the harvest season. *Turkish Journal of Agriculture Food and Technology* 40, 855–864. <https://doi.org/10.3906/tar-1607-57>

CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados obtenidos en esta investigación demostraron que las plantas de arándanos *Vaccinium corymbosum* L. El suministro de nitrato a la mitad de la raíz y de amonio a la otra mitad simultáneamente mejora el desarrollo fisiológico y el estado nutricional de la planta, así como también, los sólidos solubles totales (°Brix), la concentración de potasio y boro en frutos de arándanos en comparación a plantas de raíces no divididas.

La condición de raíz separa con la mitad de nitrógeno en forma de nitratos (Sin N/N-NO₃⁻) duplico el uso del N ya que lograron el mismo comportamiento que las plantas de suministro completo de N sin división de raíces en azúcares totales y concentración de fósforo, calcio, magnesio, hierro, cobre y zinc en frutos de arándano.

Por otra parte, las plantas nutridas con NH₄⁺ presentan concentraciones más altas de N, P, Mg, S, Cu, Mn, B y de clorofila a y azúcares totales en hojas, en comparación cuando son tratadas con NO₃⁻.

REFERENCIAS

- Anaberries. (2017). Asociación Nacional de Productores, Comercializadores y Exportadores de Berries. Asociados. Disponible en: <http://www.aneberries.mx/>.
- Aquino, A. (2014). Manual práctico de hidroponía. Universidad Nacional Autónoma de México, 42.
- Arteaga, A., and Arteaga, H. (2016). Optimization of the antioxidant capacity, anthocyanins and rehydration in powder of cranberry (*Vaccinium corymbosum*) microencapsulated with mixtures of hydrocolloids. *Scientia Agropecuaria* 7(3), 191–200. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.05>
- ASOEX. (2017). Asociación de Exportadores de Frutas de Chile A.C. Registro de exportadoras programa México. Temporada 2016- 2017. Disponible en: <http://www.asoex.cl/>.
- Baenas, N., Ruales, J., Moreno, D. A., Barrio, D. A., Stinco, C. M., Martínez-Cifuentes, G., and García-Ruiz, A. (2020). Characterization of andean blueberry in bioactive compounds, evaluation of biological properties, and in vitro bioaccessibility. *Foods* 9(10), 1483. <https://doi.org/10.3390/foods9101483>
- Baldomero, N. Z., Yescas, A., and Morales, D. (2017). Manejo agronómico del cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) en la sierra norte de Oaxaca. *Universidad y Ciencia* 6, 138–155.
- Becker, P. re P., Teixeira Barcia, M., Gómez-Alonso, S., Teixeira Godoy, H., and Hermosin-Gutierrez, I. (2021). Phenolics profiling by HPLC-DAD-ESI-MSn aided by principal component analysis to classify Rabbiteye and Highbush blueberries. *Food Chemistry* 340, 127958. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127958>

- Ben Lagha, A., Howell, A., and Grenier, D. (2020). Highbush blueberry proanthocyanidins alleviate *Porphyromonas gingivalis*-induced deleterious effects on oral mucosal cells. *Anaerobe* 65, 102266. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2020.102266>
- Benjamin, F. E., and Winfree, R. (2014). Lack of pollinators limits fruit production in commercial blueberry (*Vaccinium corymbosum*). *Environmental Entomology* 43(6), 1574–1583. <https://doi.org/10.1603/EN13314>
- Bloom AJ, Burger M, Rubio Asensio JS, and Cousins AB. (2010). Carbon dioxide enrichment inhibits nitrate assimilation in wheat and *Arabidopsis*. *Science* 328, 899–903.
- Brenes. A. (2017). Mejoramiento genético de arándanos silvestres. *Divulgación Científica de la Universidad de Costa Rica*.
- Bryla DR, (2008). Water requirements of young blueberry plants irrigated by sprinklers, microsprays and drip. *Acta Horticulturae* 792, 135-139. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.792.13>
- Bryla, D.R., Strik, B.C., (2015). Nutrient requirements, leaf tissue standards, and new options for fertigation of northern highbush blueberry. *HortTechnology* 25, 464–470. <https://doi.org/10.21273/horttech.25.4.464>
- Cabezas Gutiérrez, M., and Peña Baracaldo, F. (2012). Estimación del área foliar del arándano (*Vaccinium corymbosum*) por medio de un método no destructivo. *Revista U.D.C.A Actualidad and Divulgación Científica* 15(2), 373–379. <https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n2.2012.837>

- Carrillo O. M. (2020). Jalisco sigue liderando la producción de arándanos en México. Disponible en: <https://blueberriesconsulting.com/jalisco-sigue-liderando-la-produccion-de-arandanos-en-mexico/>
- Castillo GAM, Avitia GE, Valdez ALA, Pineda PJ, Aguilar SS (2016). Dinámica nutrimental en hoja y fruto de arándano tipo Ojo de Conejo (*Vaccinium ashei Reade*) [Nutrient dynamics in leaf and fruit of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei Reade*)]. *Tecnociencia Chihuahua* 10, 64-71.
- Cerezo M, Tillard P, Filleur S, Muños S, Daniel-Vedele F, Gojon A. (2001). Major alterations of the regulation of root NO₃⁻ uptake are associated with the mutation of *Nrt2.1* and *Nrt2.2* genes in *Arabidopsis*. *Plant Physiology* 127, 262–271.
- Comai, L. (2005). The advantages and disadvantages of being polyploid. *Nature Review Genetics* 6, 836–846. <https://doi.org/10.1038/nrg1711>
- Crisóstomo M, Hernández O, López J, Manjarrez-Domínguez D, PinedoAlvárez A (2014) Relaciones amonio/nitrato en soluciones nutritivas ácidas y alcalinas para arándano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(3), 525–532
- Darnell RL, Hiss SA (2006). Uptake and assimilation of nitrate and iron in two *Vaccinium* species as affected by external nitrate concentration. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 131, 5-10. <https://doi.org/10.21273/jashs.131.1.5>
- Debnath-Canning, M., Unruh, S., Vyas, P., Daneshtalab, N., Igamberdiev, A. U., and Weber, J. T. (2020). Fruits and leaves from wild blueberry plants contain diverse polyphenols and decrease neuroinflammatory responses in microglia. *Journal of Functional Foods* 68, 103906. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103906>

- Díaz-Lara, A., Martin, R.R., Al Rawahnih, M., Vargas, O.L. and Rebollar-Alviter, A. (2019). First evidence of viruses infecting berries in Mexico. *Journal of Plant Pathology* 102, 183-189. <https://doi.org/10.1007/s42161-019-00381-9>
- Fallcreek. (2020). Productores de frutas comerciales. Variedades. Disponible en: <https://www.fallcreeknursery.com/es/productores-de-frutas-comerciales/variedades>
- Fang, Y., Williamson, J., Darnell, R., Li, Y., and Liu, G. (2020). Optimizing Nitrogen Fertilization Rates for Young Southern Highbush Blueberry. *Agronomy* 10, 389.
- FAOSTAT, (2015). México aumenta sus exportaciones de arándano un 98%. <http://www.fao.org>
- FAOSTAT, (2020). Crop statistics are recorded for 173 products, covering the following categories <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). (2016). Panorama Agroalimentario. Berries 2016. FIRA. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial, 2016, 41.
- Funayama K, Kojima S, Tabuchi-Kobayashi M, Sawa Y, Nakayama Y, Hayakawa T, Yamaya T. (2013). Cytosolic glutamine synthetase1;2 is responsible for the primary assimilation of ammonium in rice roots. *Plant and Cell Physiology* 54, 934–943.
- Gao, H., Li, J., Ji, H., An, L., and Xia, X. (2018). Hyperhydricity-induced ultrastructural and physiological changes in blueberry (*Vaccinium* spp.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 133(1), 65–76. <https://doi.org/10.1007/s11240-017-1361-x>
- García, J. C., García, G., and Ciordia, M. (2013). Situación actual del cultivo del arándano en el mundo. *Tecnología Agroalimentaria. Boletín Informativo Del SERIDA* 12,5–8.

- González G. A., Riquelme S. J., France I. A., Uribe C. H., Robledo M. P., Morales A. C. G., Hirzel C. J., Pedreros L. A., Defilippi B. B. y Becerra C. C. (2017). Manual de manejo agronómico del arándano. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago de Chile. 120 p.
- González, L. K., Rugeles, L. N., and Magnitskiy, S. (2018). Effect of different sources of nitrogen on the vegetative growth of Andean blueberry (*Vaccinium méridionale Swartz*). *Agronomía Colombiana*, 36(1), 58-67.
- González-Ramírez, M. G., Santoyo-Cortés, V. H., Arana-Coronado, J. J., and Muñoz-Rodríguez, M. (2020). The insertion of Mexico into the global value chain of berries. *World Development Perspectives* 20, 100240. <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2020.100240>
- Granato, D., Santos, J. S., Maciel, L. G., and Nunes, D. S. (2016). Chemical perspective and criticism on selected analytical methods used to estimate the total content of phenolic compounds in food matrices. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 80, 266–279. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.03.010>
- Guan M, de Bang TC, Pedersen C, Schjoerring JK. (2016). Cytosolic glutamine synthetase Gln1;2 is the main isozyme contributing to GS1 activity and can be up-regulated to relieve ammonium toxicity. *Plant Physiology* 171, 1921–1933.
- Hachiya, T., and Sakakibara, H. (2017). Interactions between nitrate and ammonium in their uptake, allocation, assimilation, and signaling in plants. *Journal of Experimental Botany* 68(10), 2501-2512.
- Haynes, R.J. (1990). Active ion uptake and maintenance of cation-anion balance: A critical examination of their role in regulating rhizosphere pH. *Plant Soil* 126, 247–264.

- Hernández, M. R. (2017). Panorama de la agricultura y la producción de berries en México, Michoacán y Zamora. *Revista de la Universidad del valle de Atemajac* 89, 46-57.
- Holzappel, E., Jara, J., and Coronata, A. M. (2015). Number of drip laterals and irrigation frequency on yield and exportable fruit size of highbush blueberry grown in a sandy soil. *Agricultural Water Management*, 148, 207–212. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.001>
- Howard LR, Clark JR, Brownmiller C (2003). Antioxidant capacity and phenolic content in blueberries as affected by genotype and growing season. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83, 1238-1247. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.1532>
- Huang, W., Hutabarat, R. P., Chai, Z., Zheng, T., Zhang, W., and Li, D. (2020). Antioxidant blueberry anthocyanins induce vasodilation via PI3K/Akt signaling pathway in high-glucose-induced human umbilical vein endothelial cells. *International Journal of Molecular Sciences* 21(5),1575. <https://doi.org/10.3390/ijms21051575>
- Imler, C. S., Arzola, C. I., and Nunez, G. H. (2019). Ammonium Uptake Is the Main Driver of Rhizosphere pH in Southern Highbush Blueberry. *HortScience*, 54(5), 955-959.
- Jiang, Y., Zeng, Q., Wei, J., Jiang, J., Li, Y., Chen, J., Yu, H., 2019. Growth, fruit yield, photosynthetic characteristics, and leaf microelement concentration of two blueberry cultivars under different long-term soil pH treatments. *Agronomy* 9. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070357>.
- Kay, C.D., Holub, B.J., 2002. The effect of wild blueberry (*Vaccinium angustifolium*) consumption on postprandial serum antioxidant status in human subjects. *The British journal of nutrition* 88, 389–397. <https://doi.org/10.1079/bjn2002665>.
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., and Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential

health benefits. Food and Nutrition Research 61(1), 136779. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>

- Lei, K.J., J.Y. Xie, Y.Y. Zhu, C.P. Song, and G.Y. An. (2015). Screening and analysis of rhizosphere acidification deficiency mutants in *Arabidopsis thaliana* under low phosphorus. *Soil Science and Plant* 61, 493–500.
- Lin, J., Tian, J., Shu, C., Cheng, Z., Liu, Y., Wang, W., and Wang, Y. (2020). Malvidin-3-galactoside from blueberry suppresses the growth and metastasis potential of hepatocellular carcinoma cell *Huh-7* by regulating apoptosis and metastases pathways. *Food Science and Human Wellness* 9(2), 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2020.02.004>
- Liu, N.; Zhang, L.; Meng, X.X.; Neelam, A.; Yang, J.H.; Zhang, M.F. (2014). Effect of nitrate/ammonium ratios on growth, root morphology and nutrient elements uptake of watermelon (*Citrullus lanatus*) seedlings. *Journal of Plant Nutrition* 2014, 37, 14.
- Lončarić, A., Celeiro, M., Jozinović, A., Jelinić, J., Kovač, T., Jokić, S., and Lores, M. (2020). Green extraction methods for extraction of polyphenolic compounds from blueberry pomace. *Foods* 9 (11), 1521. <https://doi.org/10.3390/foods9111521>
- Macías, A. F., Franco, R. M., Spínola, A. G., Mendoza, M. H., and Espinoza, G. R. (2010). Estudio sobre el requerimiento interno de nitrógeno en lechuga (*Lactuca sativa*). *Sociedad Rural, Producción. y Medio Ambiente* 10, 83-100.
- Mancera MM, Soto JM, Sánchez E, Yáñez RM, Montes F, Balandrán RR (2007). Caracterización mineral de manzana ‘Red Delicious’ y ‘Golden Delicious’ de dos países productores [Mineral characterization of ‘Red Delicious’ and ‘Golden Delicious’ apple varieties from two producing countries]. *Tecnociencia Chihuahua* 1, 6-17.

- Marschner H (2012). Marschner's Mineral nutrition of higher plants. Academic Press.
- Martínez FE, Sarmiento J, Fischer G, Jiménez F (2008). Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) [Effect of N, P, K, Ca, Mg and B deficiency on production and quality components of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.)]. *Agronomía Colombiana* 26, 389-398.
- Marschner, H., M. Heussling, and G. Ekhard. (1991). Ammonium and nitrate uptake rates and rhizosphere pH in non-mycorrhizal roots of norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.]. *Trees (Berl.)* 5, 14–21.
- Medel, F. (1982). Arbustos frutales. Universidad Austral de Chile y Corporación de Fomento de la Producción. Santiago, Chile. 30 p.
- Meharg, A.A. and M.R. Blatt. (1995). NO₃⁻ transport across the plasma membrane of *Arabidopsis thaliana* root hairs: Kinetic control by pH and membrane voltage. *The Journal of membrane biology* 145, 49–66
- Messiga, A. J., Haak, D., and Dorais, M. (2018). Blueberry yield and soil properties response to long-term fertigation and broadcast nitrogen. *Scientia Horticulturae* 230, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.019>
- Muños S, Cazettes C, Fizames C, Gaymard F, Tillard P, Lepetit M, Lejay L, Gojon A. (2004). Transcript profiling in the chl1-5 mutant of *Arabidopsis* reveals a role of the nitrate transporter *NRT1.1* in the regulation of another nitrate transporter, *NRT2.1*. *The Plant Cell* 16, 2433–2447.
- Nishiyama, S., Fujikawa, M., Yamane, H., Shirasawa, K., Babiker, E., and Tao, R. (2020). Genomic insight into the developmental history of southern highbush blueberry populations. *Heredity* 1-12. doi.org/10.1038/s41437-020-00362-0

- Norvell, D. J. and Moore, J. N. (1982). An evaluation of chilling models for estimating rest requirements of highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Journal of the American Society for Horticultural Science* 107, 54-56
- Nunez, G. H., Olmstead, J. W., and Darnell, R. L. (2015). Rhizosphere acidification is not part of the strategy I iron deficiency response of *Vaccinium arboreum* and the southern highbush blueberry. *HortScience* 50(7), 1064-1069.
- Ochmian, I., Malinowski, R., Kubus, M., Malinowska, K., Sotek, Z., and Racek, M. (2019). The feasibility of growing highbush blueberry (*V. corymbosum* L.) on loamy calcic soil with the use of organic substrates. *Scientia Horticulturae* 257(February), 10,86-90. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108690>
- ODEPA, (2020). Oficina de estudios y politicas agrarias. Chile. <https://www.odepa.gob.cl/seccion-destacados/nuble-biobio-arandanos-estados-unidos>
- Ormazábal, Y. M., Mena, C. A., Cantillana, J. C., and Lobos, G. E. (2020). Characterization of farm fields of Blueberry (*Vaccinium corymbosum*) according to technological level. The case of the Maule region, Chile. *Informacion Tecnológica* 31(1), 41–52. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000100041>
- Osorio, R., Cáceres, C., and Covarrubias, J. I. (2019). Vegetative and physiological responses of “emerald” blueberry to ammoniacal sources with a nitrification inhibitor. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 1-9.
- Parent, S.-É., Lafond, J., Paré, M. C., Parent, L. E., and Ziadi, N. (2020). Conditioning Machine Learning Models to Adjust Lowbush Blueberry Crop Management to the Local Agroecosystem. *Plants* 9(10), 1401. <https://doi.org/10.3390/plants9101401>

- Payá-Milans, M., Nunez, G. H., Olmstead, J. W., Rinehart, T. A., and Staton, M. (2017). Regulation of gene expression in roots of the pH-sensitive *Vaccinium corymbosum* and the pH-tolerant *Vaccinium arboreum* in response to near neutral pH stress using RNA-Seq. *BMC Genomics* 18(1), 580.
- Pérez-Cruz, O.A. (2018). Análisis de la cadena productiva del arándano en México y Chile. *Revista Mexicana de Estudios sobre la Cuenca del Pacífico*, 12, 31-62.
- Qi, X., Ogden, E. L., Ehlenfeldt, M. K., and Rowland, L. J. (2019). Dataset of de novo assembly and functional annotation of the transcriptome of blueberry (*Vaccinium* spp.). *Data in Brief* 25, 104390. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104390>
- Retamales, J. B., and Hancock, J. F. (2018). *Blueberries Book*. 2nd Edition. Crop production science in horticulturae Cabi. ISBN-13:9781780647265
- Robledo, Y. A. Á. (2020). Desempeño agronómico de cuatro variedades de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivadas en diferentes sustratos y pisos altitudinales. *Bioagro*, 32, 187-194.
- Romero, A. (2016). *El arándano en el Perú y el mundo*. Ministerio de Agricultura y Riego, 1-42.
- Rosas, O. F. (2016). *Perspectivas. Temporada mundial de los berrys, 2016-2017*. RCounseling Group. 4° Seminario de Berrys. Temuco, Chile. Disponible en: http://www.fedefruta.cl/2016/wp-content/uploads/2016/12/1430-1500_Rosas-1.pdf.
- SADER. (2019). Secretaría de Agricultura y Desarrollo rural. Rico y delicioso arandano. Revisado el 18-11-2020. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/rico-y-delicioso-arandano?idiom=es>.

- SAGARPA. (2017). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Colaboran México y Chile para potenciar exportaciones agrícolas. Revisado 18-11-2020. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/2017/julio/Documents/JAC_00230_01.PDF.
- Santi, S. and W. Schmidt. (2009). Dissecting iron deficiency-induced proton extrusion in Arabidopsis roots. *New Phytol* 183,1072–1084.
- SIAP. (2018). Atlas Agroalimentario [Agri-food atlas]. Retrieved 2019 September 10 from: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018
- SIAP. (2015). Sistema de Información Agrícola y Pesquera. Disponible en: Revisado el 18-11-2020. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp
- SIAP. (2017). Planeación agrícola nacional 2017-2030. Frutas del bosque; arándano, frambuesa y zarzamora mexicanas. Revisado el 16-11-2020. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257076/Potencial-Frutas_del_Bosque.pdf
- SIAMI. (2017). Sistema de Información Arancelaria Vía Internet. Revisado el 18-11-2020. Disponible en: [http:// www.economia-snci.gob.mx/](http://www.economia-snci.gob.mx/).
- Soti, P. G., Jayachandran, K., Koptur, S., and Volin, J. C. (2015). Effect of soil pH on growth, nutrient uptake, and mycorrhizal colonization in exotic invasive *Lygodium microphyllum*. *Plant ecology* 216(7), 989-998.
- Sun, X., Xu, Z., Wang, Y., and Liu, N. (2020). Protective effects of blueberry anthocyanin extracts on hippocampal neuron damage induced by extremely low-frequency

- electromagnetic field. *Food Science and Human Wellness* 9(3), 264–271. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2020.04.004>
- Tamir, G., Afik, G., Zilkah, S., Dai, N., and Bar-Tal, A. (2020). The use of increasing proportions of N-NH₄⁺ among the total applied inorganic N to improve acidification and the nutritional status and performance of blueberry plants in soilless culture. *Scientia Horticulturae* 276, 109754.
- Undurraga-Díaz, Pablo y Vargas-Schuldes, Sigrid. (2013). Manual del arándano. Boletín INIA, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 120. Disponible en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR39094.pdf>
- United States Department of Agriculture (USDA). (2002). National nutrient database for standard reference (blueberries, raw). Disponible en: www.blueberry.org/news/nutrition2_page_1.jpg
- Voogt, W., Van Dijk, P., Douven, F., and Van Der Maas, R. (2014). Development of a soilless growing system for blueberries (*Vaccinium corymbosum*): Nutrient demand and nutrient solution. *Acta Horticulturae* 1017, 215-221.
- Yang, J., Shi, W., Li, B., Bai, Y., and Hou, Z. (2019). Preharvest and postharvest UV radiation affected flavonoid metabolism and antioxidant capacity differently in developing blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Food Chemistry* 301, 125248. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125248>
- You Q, Wang B, Chen E, Huang Z, Wang X, Luo PG (2011). Comparison of anthocyanins and phenolics in organically and conventionally grown blueberries in selected cultivars. *Food Chemistry* 125, 201-208. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.063>.

Zhang, J., Nie, J. Y., Li, J., Zhang, H., Li, Y., Farooq, S., Wang, J. (2020). Evaluation of sugar and organic acid composition and their levels in highbush blueberries from two regions of China. *Journal of Integrative Agriculture* 19(9), 2352–2361. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63236-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63236-1)

Zhang, Z., and Chu, C. (2020). Nitrogen-use divergence between indica and japonica rice: variation at nitrate assimilation. *Molecular Plant* 13(1), 6-7.