



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA OPCIÓN:
AGRÍCOLA

Evaluación de la disponibilidad del Nitrógeno, en forma de amonio en el cultivo de arándano cv. 'Biloxi', en condiciones hidropónicas.

TESIS

Que para obtener el grado de:

Maestro en Producción Agropecuaria (Opción Agrícola)

Presenta:

Ing. Diego Torres Huerta

Director de Tesis:

Dr. Raúl Cárdenas Navarro

Comité tutelar:

Dra. María Luisa España Boquera

Dr. Luis López Pérez

Dr. José López Medina

Dr. José Apolinar Cortez

Agosto del 2018. Morelia, Michoacán México.

Agradecimientos

A mi director de tesis
Dr. Raúl Cárdenas Navarro

A los miembros del comité:
Dra. María Luisa España Boquera
Dr. Luis López Pérez
Dr. José López Medina
Dr. José Apolinar Cortez

Al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad
Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Al CONACYT por la beca otorgada

Dedicatorias

A mis padres, Sergio e Hilda por todo su amor, confianza, sacrificio y apoyo incondicional durante todos estos años. Por todo eso y mucho más es que he llegado a este momento

A mis hermanos Enrique y Josué, por su cariño porque sin importar nada siempre han estado conmigo, me han apoyado siempre que los he necesitado. A Josué especialmente en este proyecto, porque siempre conté con el incondicionalmente desde el comienzo.

Al Dr. Raúl por haberme aceptado en su equipo de trabajo, darme su confianza, guía, apoyo y por compartir sus conocimientos durante todos estos años de trabajo.

A la maestra Nayda, por haberme brindado su amistad, tiempo e insuperables consejos en mi formación académica y personal.

A los que de alguna u otra manera han influido en mi vida para alcanzar a este punto y han colaboraron en este proyecto. Mis familiares y amigos; Alejandro, Yazmín Víctor, Herubey, Pedro y Gabriela.

Se la dedico especialmente a Aldo por sus palabras de aliento, críticas siempre atinadas, por los sacrificios, por lo aprendido, por los momentos, metas y sueños que alguna vez juntos compartimos y perseguimos.

Índice

1	RESUMEN.....	1
2	ABSTRACT.....	2
3	INTRODUCCIÓN.....	3
3.1	IMPORTANCIA ECONÓMICA.....	3
3.2	DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO	8
3.2.1	<i>Descripción botánica</i>	9
3.2.2	<i>Clasificación</i>	11
3.2.3	<i>Etapas fenológicas</i>	13
3.2.4	<i>Requerimientos agroclimáticos</i>	15
3.2.5	<i>El nitrógeno</i>	19
3.2.6	<i>Sistemas de producción del arándano</i>	22
3.3	CALIDAD DEL FRUTO	26
4	JUSTIFICACIÓN	28
5	OBJETIVOS.....	29
5.1	OBJETIVO GENERAL.....	29
5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
6	HIPÓTESIS	29
7	MATERIALES Y MÉTODOS	30
7.1	LOCALIZACIÓN	30
7.2	MATERIAL VEGETAL	30
7.3	SUSTRATO	30
7.4	MANEJO INICIAL	31
7.5	SOLUCIÓN NUTRITIVA	32
7.6	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	36
7.7	VARIABLES A EVALUAR	37
7.8	MUESTREOS.....	38
8	RESULTADOS.....	39
9	DISCUSIÓN.....	44
10	CONCLUSIONES.....	47
11	REFERENCIAS.....	48

Índice de Figuras

Figura 1. Comercio mundial de frutilla.....	4
Figura 2. Países importadores de arándano (TradeMap 2016).....	6
Figura 3. Producción de fresa y zarzamora en Michoacán.	7
Figura 4. Ventanas productivas de arándano (Rubio 2013).	8
Figura 5. Hojas de arándano.	9
Figura 6. Flores de arándano cv. 'Biloxi'	10
Figura 7. Arándano en hidroponía cv. 'Biloxi'	11
Figura 8. Crecimiento vegetativo del arándano (Rivadeneira y Carlazara 2011).	14
Figura 9. Crecimiento productivo del arándano (Rivadeneira y Carlazara 2011).	14
Figura 10. Plantación de arándano en Zamora, Michoacán, México.....	23
Figura 11. Cultivo Hidropónico de arándano en Zamora, Michoacán, México	25
Figura 12. Tamizado y limpieza de sustratos	31
Figura 13. Homogeneización de plantas	32
Figura 14. Aleatorización de las unidades experimentales	36

Índice de Tablas

Tabla 1. Países exportadores de arándano	5
Tabla 2. Entidades Productoras de arándano en México (SAGARPA 2016).....	6
Tabla 3. Concentraciones promedio de macro y micro nutrientes en hojas	19
Tabla 4. Solución de riego 0.2 mM N-NH ₄	33
Tabla 5. Solución de riego 2.0 mM N-NH ₄	33
Tabla 6. Solución de riego 4.0 mM N-NH ₄	34
Tabla 7. Solución de riego 8.0 mM N-NH ₄	34
Tabla 8. Solución de riego 12.0 mM N-NH ₄	34
Tabla 9. Solución de riego 16.0 mM N-NH ₄	35
Tabla 10. Nitrógeno total aplicado por tratamiento para cada planta durante.....	39
Tabla 11. Resultados de los muestreos no destructivos.....	40
Tabla 12. Resultados del muestreo destructivos	41
Tabla 13. Resultados de la recolección y análisis de fruto maduro.	41

1 Resumen

El fruto del arándano es negro azulado, de piel tersa, pulpa jugosa y aromática y dependiendo la variedad puede medir hasta 2.5 cm de diámetro. Tiene diversas propiedades nutraceuticas y características agradables al paladar, por lo que su consumo se ha disparado en los últimos años. A nivel mundial, los países productores no han podido satisfacer la demanda, por lo que se ha vuelto un cultivo altamente rentable. En Michoacán se ha observado una creciente demanda en el cultivo de esta frutilla; sin embargo no todos los suelos y climas poseen las características necesarias para el desarrollo de esta planta. Para subsanar estas deficiencias se están implementados sistemas de cultivo altamente tecnificados, en condiciones de invernadero e hidroponía; sin embargo, existe poca información sobre las necesidades minerales esenciales, principalmente nitrógeno (N), de este cultivo en estos sistemas de producción. El presente estudio tiene por objetivo evaluar una amplia gama de concentraciones de nitrógeno en forma de amonio sobre el crecimiento, producción y calidad del arándano. Se realizó un ensayo experimental en invernadero bajo condiciones hidropónicas y riego por goteo, en sustrato de tezontle y arena de río en proporción 1:2. El experimento se estableció en un diseño completamente al azar y seis niveles de estudio como disponibilidad de nitrógeno en la solución de riego (0.2, 2.0, 4.0, 8, 12 y 16 mM). En total se tuvieron 6 tratamientos, con 4 repeticiones y 4 plantas por unidad experimental. Obteniendo un incremento en la altura de planta con la solución 4.0 mM y un aumento en el número de hojas, brotes y racimos a partir de la solución 12.0 mM. El tratamiento 16.0 mM aumenta rendimiento y número de frutos pero disminuye el calibre. El contenido de azúcares totales superior a 11 °Brix en todos los tratamientos.

Palabras clave: Arándano, Hidroponía, Fertilización, Disponibilidad Amónica, Calidad de Fruto.

2 Abstract

The blueberry fruit is dark blue, smooth skin, juicy and aromatic pulp and depending on the variety can measure 1 to 2.5 cm in diameter. It is a berry with various nutraceutical properties and palatable characteristics, so its consumption has increased in recent years. Globally, the main producing countries have not been able to meet the growing demand, so it has become a highly profitable crop. In Michoacán, there has been a growing trend in the consumption of this berry; However, not all soils and climates have the necessary characteristics for the development of this plant. To correct these deficiencies, highly technified cultivation systems are being implemented under greenhouse and hydroponic conditions; however, the information is limited on the needs of essential mineral elements, mainly nitrogen (N), of this crop in these production systems. The objective of this study is to evaluate a wide range of nitrogen concentrations in the form of ammonium on the growth, production and quality of blueberry. An experimental test was carried out in a greenhouse under hydroponic conditions and drip irrigation, in an inert substrate of tezontle and river sand in a 1:2 ratio. The experiment was established in a completely randomized design and six levels of study as nitrogen availability in the irrigation solution (0.2, 2.0, 4.0, 8, 12 and 16 mM). In total there were 6 treatments, with 4 repetitions and 4 plants per experimental unit. Obtaining an increase in plant height with the 4.0 mM solution and an increase in the number of leaves, shoots and bunches from the 12.0 mM solution. The 16.0 mM treatment increases yield and number of fruits but decreases the size. The content of total sugars above 11 ° Brix in all treatments.

Keywords: Blueberry, hydroponic culture, fertilization, ammonium availability, fruit quality.

3 INTRODUCCIÓN

Las bayas o "berries" como la fresa, la frambuesa, la zarzamora, el arándano y la grosella, son frutas de diferentes grupos botánicos, pequeñas, jugosas, dulces o agrídulces con brillantes colores.

Además de ser altamente apreciadas por su sabor, las frutillas son valoradas por sus propiedades nutricionales, en particular por su alto contenido en antioxidantes. El arándano presenta mayor contenido de antocianinas y carotenoides de acción antioxidante que las 27 frutas y verduras más consumidas a nivel mundial (García Rubio y González de Lena, 2014). Contiene vitaminas A y C, además de aportar potasio (Cervantes-Ceja, 2015). Tiene gran cantidad de compuestos fenólicos y compuestos antioxidantes, encontrados principalmente en la piel (Ribera *et. al.*, 2010). El consumo de 300 a 350 gr de arándano reduce significativamente el daño celular causado por H_2O_2 y en pacientes obesos reduce los niveles de Lipoproteína de Baja Densidad (LDL) y de presión arterial (Basu *et. al.*, 2010; Del Bo 2013).

El consumo del arándano se ha disparado considerablemente en los últimos años y los principales productores mundiales no han podido satisfacer la creciente demanda, por lo que se ha vuelto un cultivo altamente rentable (Salazar-Chávez, 2014). Para los productores presenta además la ventaja de que la frutilla madura puede esperar en la planta hasta cuatro semanas antes de ser cosechada, sin deteriorarse, con una duración de anaquel similar a la de otras frutillas (López Medina, comunicación personal).

3.1 Importancia económica

El comercio internacional de frutillas, tanto frescas como procesadas, ha crecido en los últimos años. En 2013 (figura 1) se registraron ventas mundiales por 1.533.000 toneladas (t), 53% de las cuales corresponde a frutillas frescas, 38% a frutillas congeladas y 9% a frutillas preparadas o conservadas (Pefaur 2014).

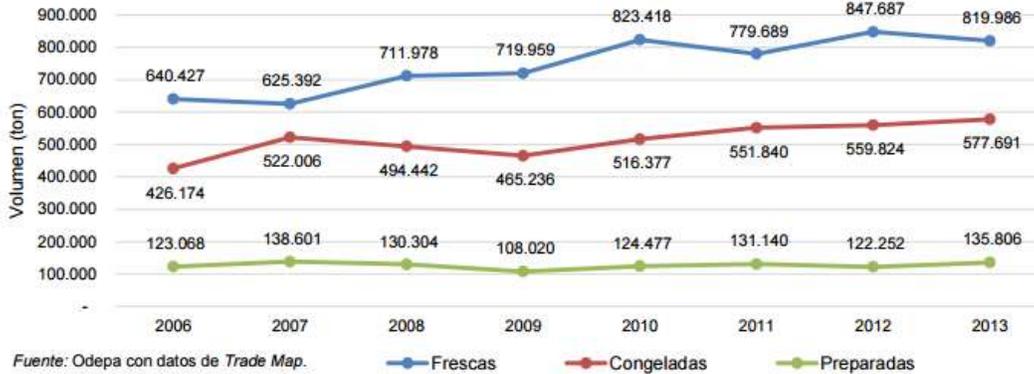


Figura 1. Comercio mundial de frutilla

En 2015 Estados Unidos fue el mayor productor de frutillas con 357,029 t que representan el 17% de la producción mundial. México ocupó el cuarto lugar con 169,548 t que equivale al 7.9% de la producción mundial (SAGARPA 2017).

En México el principal productor de frutillas es Jalisco, estado que aporta el 71.2% de la producción nacional, con 22,982 ha, lo que representa un valor de 9,094.490 millones de pesos; le sigue en orden de importancia Baja California, y entre los dos estados aportaron el 85% del valor de la producción en 2013.

De todas estas frutillas, el arándano presenta mayor contenido de antocianinas y carotenoides de acción antioxidante, comparado con otras 27 frutas y verduras más consumidas a nivel mundial (García Rubio y González de Lena, 2014). Posee propiedades nutracéticas por las vitaminas A y C además de aportar potasio (Cervantes-Ceja, 2015). Tiene gran cantidad de compuestos fenólicos y compuestos antioxidantes, encontrados principalmente en la piel (Ribera *et. al.*, 2010). El consumo de 300 a 350 gr de arándano reduce significativamente el daño celular causado por H₂O₂ y en pacientes obesos reduce los niveles de lipoproteína de Baja Densidad (LDL) y de presión arterial (Basu *et. al.*, 2010; Del Bo 2013).

Debido a sus propiedades nutracéticas, el consumo del arándano se ha disparado considerablemente en los últimos años y los principales productores mundiales no han podido satisfacer la creciente demanda, por lo que se ha vuelto un cultivo altamente

rentable (Salazar-Chávez, 2014). Para los productores presenta además la ventaja de que la frutilla madura puede esperar en la planta hasta 4 semanas antes de ser cosechada, sin deteriorarse, con una duración similar a la de otras frutillas (López Medina, comunicación personal).

Durante años Estados Unidos y Canadá fueron principales exportadores de arándano, en la actualidad son nueve países (Tabla 1). Chile y España ocupan los primeros puestos, México está en el octavo con 2% del valor de las exportaciones.

Tabla 1. Países exportadores de arándano

	Chile	España	Canadá	EUA	Argentina	Perú	Polonia	México	Sudáfrica
Valor exportación (millones USD)	\$548,113	\$231,486	\$185,929	\$181,803	\$101,081	\$95,804	\$69,147	\$43,904	\$26,229
Valor en las exportaciones mundiales	29%	12%	10%	10%	5%	5%	4%	2%	1%
Porcentaje en las importaciones mundiales	0%	2%	8%	40%	0%	0%	1%	0%	0%

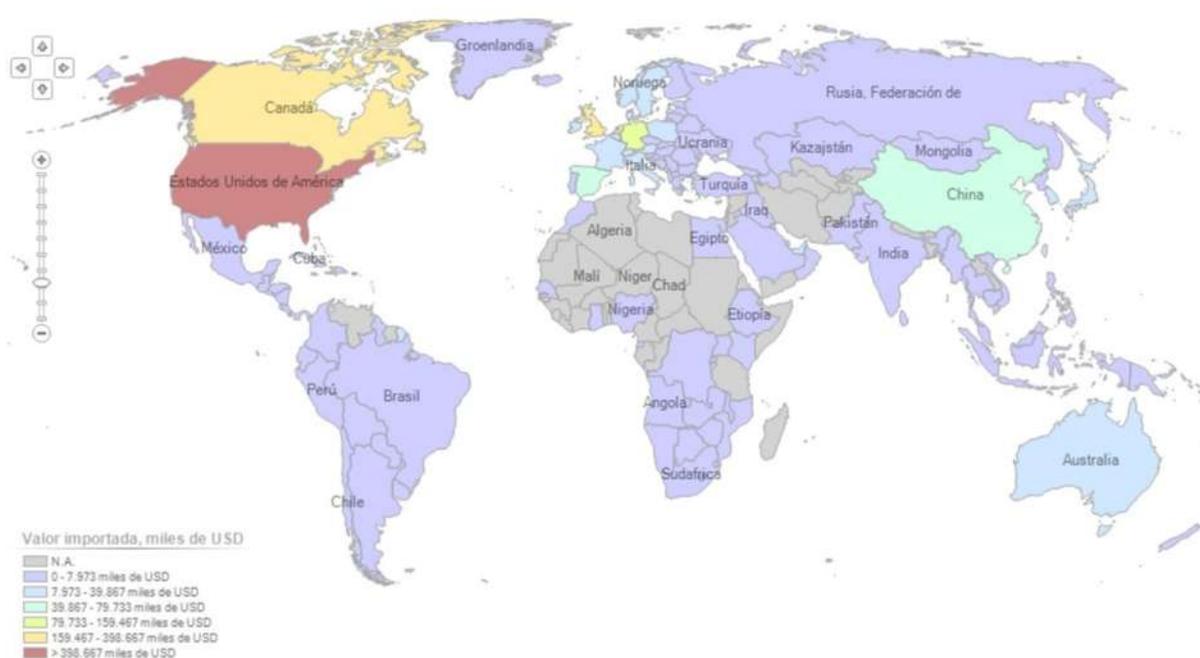


Figura 2. Países importadores de arándano (TradeMap 2016).

Tabla 2. Entidades Productoras de arándano en México (SAGARPA 2016).

Entidad	Superficie Sembrada	Superficie Cosecha (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	Valor de la Producción (Miles de Pesos)
Jalisco	835	835	7,834.07	9.38	251,064.51
Colima	406	406	4,960.00	12.22	342,509.22
Baja California	193	192	2,328.24	12.13	215,868.24
Michoacán	150.07	131.07	1,351.20	10.31	91,084.10
Puebla	97	97	1,067.00	11	25,861.95
Sinaloa	34	34	15.3	0.45	1,072.68
Sonora	18	12	50.4	4.2	910.8
Estado de México	15	11	34.5	3.14	1,527.60

Michoacán es el primer productor de zarzamora y fresa del país, con 12,100 ha y 8,600 ha plantadas respectivamente. De zarzamora se producen 128000 t y de fresa 360000 t. Ambas frutillas han seguido una tendencia creciente en rendimiento y producción en los últimos años. (Figura 3).

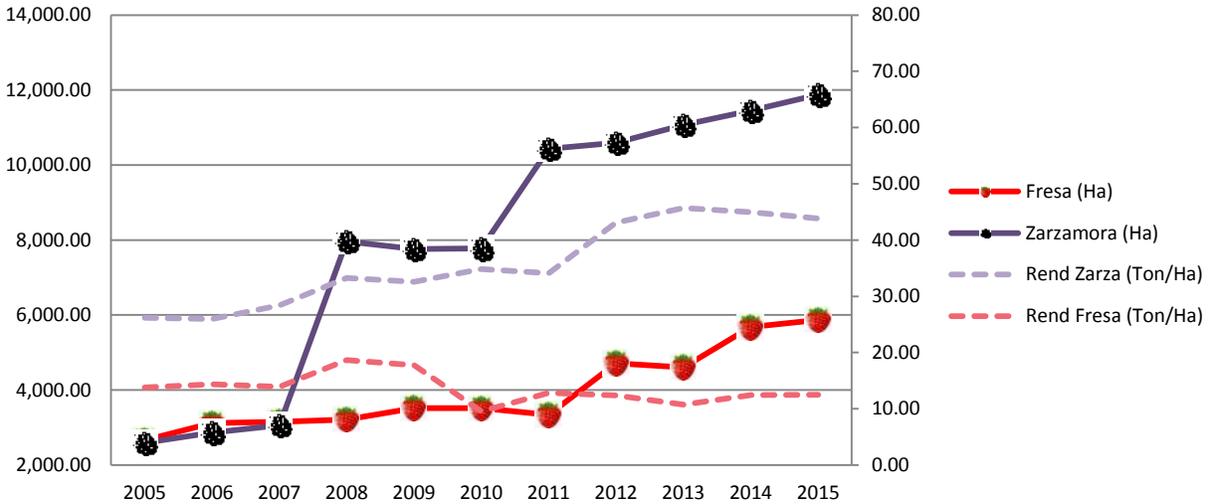


Figura 3. Producción de fresa y zarzamora en Michoacán.

Potencial de producción del arándano en México

México cuenta con buenas condiciones de clima y suelo para el cultivo del arándano, reúne las características de sanidad e inocuidad agroalimentaria que demanda el mercado mundial, y tiene un extraordinario potencial para la exportación, ya que se ubica en una posición geográfica privilegiada, por su cercanía con los principales importadores de arándano en el mundo. Una ventaja adicional para México es que la temporada anual de cosecha no coincide con la de la mayoría de los países productores, es decir, cuenta con "ventana productiva" (Figura 4) muy importante para la venta en fresco. Por estas razones, a partir del año 2000 en México se promovió el cultivo del arándano. En 2014, se abrieron canales de comercialización hacia el mercado asiático (SAGARPA 2014), donde en ese mismo año tuvo una demanda por 41 millones de dólares (Blueberry Magazine 2015).



Figura 4. Ventanas productivas de arándano (Rubio 2013).

3.2 Descripción del cultivo

El arándano es una planta de sotobosque nativa del hemisferio norte que pertenece al género *Vaccinium* de la familia *Ericaceae*. Se ha expandido a zonas del trópico montañoso de todos los continentes excepto Australia. El género *Vaccinium* está compuesto por más de 400 especies, pero solo un pequeño grupo tiene importancia comercial. Algunas especies son *Vaccinium corymbosum* (*V. corymbosum*) *Vaccinium ashei* (*V. ashei*) *Vaccinium angustifolium* (*V. angustifolium*), y arándano europeo (*Vaccinium myrtillus* L.). De *V. corymbosum*. (Pinto C. M. E., 2007; Roldan M E., 2006). Es una especie de reciente domesticación; a finales del siglo XIX iniciaron los primeros programas de selección y a principios del siglo XX se utilizaron técnicas propagación de este arbusto en América del Norte (Moore J. N., 1997).

Es una planta arbustiva con una vida media de 20 años (Roldan, 2006). Se considera un frutal caducifolico, pues pierde sus hojas durante una parte del año (Cabezas-Gutiérrez y Peña-Baracaldo, 2012).

El arándano requiere temperaturas que van de 5 a 18 °C. En la mayoría de las variedades para producir la floración se necesita acumular “horas frio”, una hora frio consiste en un periodo de una hora, durante el cual se mantiene una temperatura igual o menor a 7 °C sin que temperaturas mayores a esta contrarresten el efecto de dicha temperatura (Roldan M.E., 2006). La planta entra en un periodo de dormancia caracterizado por una falta de crecimiento y disminución de la actividad metabólica en la parte aérea, lo que constituye un mecanismo de defensa que permite a la planta

sobrevivir al frío que se produce a finales del otoño y durante el invierno (Lyrene y Williamson 2004).

3.2.1 Descripción botánica

Raíz

El sistema radicular del arándano está compuesto únicamente por raíces primarias, finas y fibrosas de poca extensión, 80% concentradas en los primeros 40 a 50 cm de profundidad del suelo (Grijalba Rativa C. M., 2015). Está desprovisto de pelos absorbentes y son las raíces jóvenes las encargadas de absorber agua y minerales del suelo (Roldan M.E., 2006).

Hojas

Tiene hojas caducas, alternadas y dentadas, de 5 cm de longitud, caducas y finamente nerviadas por el envés, con peciolo corto de color blanquecino o rosado. Algunas hojas tienen una pelusa fina en la parte inferior. (García Rubio J. C. y González de Lena G. G., 2014; Roldan M.E., 2006).



Figura 5. Hojas de arándano.

Flor

Sus flores son axiales o terminales, (figura 6) en racimos de 6 a 10 en cada yema, sépalos persistentes, corola acampanada blanca, con tonos rosas en algunos cultivares. (García Rubio J. C. y González de Lena G. G., 2014; Roldan M.E., 2006).



Figura 6. Flores de arándano cv. 'Biloxi'

Fruto

El fruto del arándano (figura 7) es de color negro azulado, de piel tersa, pulpa jugosa y aromática. Dependiendo de la variedad pueden medir de 1 a 2.5 cm de diámetro. Tiene cinco lóculos delineados por una pared de células simples, lo que constituye el endocarpio (Contreras, M. R., 2010). El fruto puede tener hasta 100 semillas pequeñas ubicadas al interior del endocarpio.



Figura 7. Arándano en hidroponía cv. 'Biloxi'

3.2.2 Clasificación

Los arándanos pueden clasificarse en cuatro grupos, dependiendo de las características y exigencias de cada planta.

Arándanos de Matorral (“lowbush”)

Son conocidos en inglés como *lowbush blueberries* o *wild blueberries*. Este tipo de arándanos crecen como arbusto pequeño a manera de coberteras. Se localizan en regiones de temperaturas invernales muy severas, toleran temperaturas hasta de -35°C . No hay plantaciones comerciales, pero una gran superficie de poblaciones silvestres es manejada para aprovechar la producción. Este tipo (2x y 4x) incluye: *V. angustifolium*, cuyas plantas crecen un promedio 30 cm, crecen de manera natural y son los más utilizados en el norte de Estados Unidos y Canadá; *V. myrtilloides*, con dos variedades disponibles: 'Early Sweet', 'Bloodstone' (Otto, 1995), que tienen una altura de 10 a 117 cm y producen frutos pequeños, cuyo sabor fuerte y ácido no se pierde con el proceso de cocción e industrialización (Trehan, 2004).

Arbustos altos del Norte

Se conocen como *Highbush Blueberries* (*V. corymbosum*). Llegan a medir entre 2.0 y 2.5 m de altura y requieren un mínimo de 800 horas frío para el cuajado del fruto. Son variedades originarias del norte de Estados Unidos y del sureste de Canadá. De esta especie se han desarrollado más de 100 variedades (Fall Creek, Northern Highbush., 2016), con las características necesarias para su explotación comercial (USDA 2002). Todos los cultivares son auto-fértiles, pero se producen mejores cosechas si se siembra más de una variedad. “Bluecrop” es la variedad con mejor adaptabilidad y la más plantada en Estados Unidos, y “Chandler” tiene la distinción de ser el arándano más grande del mundo (Fall Creek, Northern Highbush., 2016).

Ojo de Conejo

Los arándanos del tipo ojo de conejo (*V. virgatum* y *V. ashei Reade*) son nativos del sureste de los Estados Unidos y han sido cultivados desde finales del siglo XIX. Crecen de 1.80 a 3 m de altura y son tolerantes a suelos secos y alcalinos. Estos cultivares fueron desarrollados para regiones con veranos largos y calurosos y temperaturas invernales menores a -17 °C que inhiben brotes florales (Strik B. C., 2014).

Arbustos altos del Sur

Son híbridos que contienen material genético de hasta cuatro *Vaccinium*. Fueron desarrollados por cruzamientos de *V. corymbosum* con variedades *V. ashei* y especies silvestres y nativas de Florida y otros estados del sur de Estados Unidos (*V. darrowii*, entre otras). Estos arándanos se caracterizan por ser muy susceptibles a los suelos húmedos y a las sequías. Presentan menor resistencia que los arándanos Altos del Norte a las bajas temperaturas invernales (-15°C), presentan mejor adaptabilidad al suelo, mayor tolerancia a altas temperaturas y menores requerimientos de horas frío (entre 150 a 800 horas) (Gómez 2010). La mayoría de estas variedades no son auto-

fértiles, por lo que para mejorar la producción y el tamaño del fruto se deben alternar con otras variedades, para lograr polinización cruzada (Fall Creek, Southern Highbush,. 2016).

Algunas variedades son ‘Snowchaser’, ‘Ventura’, ‘Jewel’, ‘Misty’, ‘Sharpblue’ y ‘Biloxi’. Esta última fue desarrollada en Mississippi y liberada en 1988 para la producción en las llanuras costeras del sureste de los Estados Unidos. La planta es vigorosa y productiva, sus frutos tienen una madurez temprana, tamaño mediano, buen color, firmeza y sabor (Spiers, *et. al.*, 2000). Una de las características de “Biloxi”, que la hace destacar de todas las variedades de arbustos altos del sur, es que requiere menor número de horas frío (150 aproximadamente), lo que la hace ideal para zonas “sin frío”, son sus hojas perennes. (Fall Creek, Southern Highbush,. 2016). Otra característica sobresaliente de “Biloxi” es su capacidad de diferenciar yemas florales en cualquier tiempo: a los dos meses de crecimiento de nuevos brotes, se observa hinchamiento de yemas, seguido de floración (Medina J. L. 2006).

Esta variedad tiene dos temporadas de cosecha: la primera de diciembre a enero y la segunda de febrero a marzo (Fall Creek, Southern Highbush,. 2016). Plantaciones de “Biloxi” de un año de edad han producido hasta 1.5 kg/planta en una sola temporada (Medina J. L. 2006).

3.2.3 Etapas fenológicas

El crecimiento de la planta de arándano se puede dividir en crecimiento vegetativo y reproductivo (Rivadeneira y Carlazara, 2011)

El **crecimiento vegetativo** (Figura 8) está marcado por cuatro etapas (Pérez 2015):

1. yema vegetativa,
2. brote caracterizado por entrenudos cortos,
3. alargamiento de los entrenudos y expansión de las hojas
4. una rama nueva conformada por las hojas totalmente extendidas y entrenudos largos.



Figura 8. Crecimiento vegetativo del arándano (Rivadeneira y Carlazara 2011).

El **crecimiento reproductivo** consta de seis etapas (Figura 9) (Pérez 2015):

1. yema hinchada que da origen a flores,
2. la yema se abre dando inicio a la floración,
3. los brotes florales tienen la corola cerrada,
4. la flor está en plena floración con la corola abierta,
5. la corola se cae y cuaja el fruto y
6. el fruto verde.



Figura 9. Crecimiento productivo del arándano (Rivadeneira y Carlazara 2011).

3.2.4 Requerimientos agroclimáticos

Clima

El arándano requiere temperaturas que varían de 5 °C a 18 °C y puede soportar temperaturas de hasta -35°C en invierno, dependiendo la variedad. Temperaturas superiores a 30°C pueden afectar al fruto ocasionando arrugamiento y quemaduras (García Rubio y González de Lena, 2014). La ocurrencia de heladas durante la temporada de floración y cuajado de fruto afecta la producción.

Las altas temperaturas tienen efectos nocivos para las raíces y brotes en crecimiento de las plantas de arándano (Meyer y Prinsloo 1999). El crecimiento de brotes es mejor a 16 °C y va disminuyendo linealmente a medida que la temperatura aumenta (Spiers 1995). Chen *et. al.*, (2012) evaluaron el estrés por calor a corto plazo en cuatro variedades de arándano ('Duck', 'Brigitta', 'Sharpblue' y 'Misty') y observaron que 'Brigitta' presentó daños en la estructura del cloroplasto a 45°C, mientras que 'Sharpblue' se mantuvo estable a esta temperatura.

Suelo

Las características del suelo son determinantes para un buen desarrollo de las frutillas. El arándano, al ser una planta de sotobosque crece mejor en suelos húmedos, ácidos con un pH entre 4.5 y 5.5, siendo 4.8 a 5.2 el rango ideal.

Crece mejor en suelos con textura franco-arenosa y con materia orgánica superior al 5% (Undurraga, P., y Vargas, S. 2013), dado que un contenido apropiado de materia orgánica favorece el desplazamiento de agua hacia las raíces (Navarro 2003). Los suelos arcillosos no son recomendados para estas plantaciones, pero pueden ser una buena opción si se utiliza algún sustrato para aligerar la textura del suelo (Sideman B. y Lord B., 2015).

Riego

El riego implica un alto costo inicial en el establecimiento de una plantación de arándanos, por lo que es de gran importancia establecer en forma óptima el método de riego y las técnicas de manejo del agua. El manejo del agua se realiza preferentemente por riego localizado (goteo), ya que permite asegurar que el cultivo recibirá la cantidad adecuada de agua; además ofrece ventajas frente a otros sistemas de riego, como: bajos requerimientos en el consumo de energía en el sistema de bombeo, automatización del sistema, disminución de malezas y reducción de pérdidas de agua por evaporación y percolación, incremento del rendimiento (Holzapfel et. al., 2004; Liotta 2005). En *V. corymbosum* L. la fertirrigación da lugar a un aumento de los brotes anuales (Glonek y Komosa 2013). La principal desventaja es que tiene un alto costo de instalación (Uribe 2013). Para *V. corymbosum* L. existe un mejor aprovechamiento de nitrógeno por fertirriego periódico, comparado con fertirriego permanente, sin que se obtengan diferencias en la producción y calidad del fruto (Serri 2015). Pannunzio et. al., (2011) reportó rendimientos de 2436 kg/h para el sistema de riego con goteros a 40 cm por línea de plantas de arándano cv. 'O Neal', y 4335 kg/h para riego con goteros cada 20 cm por línea de plantas.

La planta de arándano es sensible a conductividades eléctricas (CE) mayores a 1.5-2.0 dS/m (Patten et al., 1988). Se ha reportado que en plantas de arándano cultivado en una mezcla de turba y corteza de pino fertirrigadas con sulfato de amonio o urea aparecen síntomas de estrés salino y reducción del crecimiento cuando la CE está entre 1.5 y 3.0 dS/m (Machado 2012). Este resultado es similar al obtenido por Bryla (2011), quien asocia el alto porcentaje de muerte de plantas a la alta concentración de iones de amonio (650 mg/l) y una $CE > 3 \text{ dS/m}$ en la solución del suelo.

Poda

En el cultivo de arándano se realizan dos tipos de poda: de formación y de producción.

Cuando se establecen los cultivares de arándano, las plantas están formadas por ramas de dos o más años, con brotes laterales. Todos los brotes deben ser eliminados o rebajados para evitar fructificaciones precoces que comprometan el crecimiento formal de los brotes principales. De esta forma, durante el primer y segundo año se sugiere eliminar todas las yemas (después de brotes) o bien eliminar manualmente todas las flores. Esta es la **poda de formación**, que se da durante y después del establecimiento del cultivo y se limita al mínimo para favorecer un desarrollo precoz de la planta y acortar el periodo improductivo, que puede ser de entre dos y tres años. Las primeras cosechas se deben realizar entre el tercer y cuarto año después de la siembra y a los siete años se da la estabilización de la cosecha (Pérez 2015). Esta técnica es recomendada por los principales productores a nivel mundial, México, sin embargo, no se sigue esta recomendación ya que para los productores sería una pérdida económica muy importante durante estos primeros años: en cualquier caso, se reportan rendimientos similares a los obtenidos al implementar esta práctica.

La **poda de producción** consiste en eliminar todos los brotes que produjeron fruta la temporada anterior, cortando sobre el brote más vigoroso del año, así como eliminar ramas viejas, enfermas e improductivas. La falta de poda anual conduce a una fructificación excesiva, incidiendo negativamente sobre el tamaño de los frutos y desarrollo vegetativo de las plantas, en particular de los brotes, lo que provoca envejecimiento y alternancia en la producción. Durante el periodo invernal o de reposo, la realización de podas poco severas o suaves, produce un escaso crecimiento vegetativo, brotes cortos y delgados y exceso de fruta de mala calidad. Por otro lado, si durante este periodo se realiza una poda adecuada, hay efectos vigorizantes para la planta sobre los puntos bajo el corte. De una buena o mala poda dependerá lograr una producción exitosa. El despunte de brotes de primavera de buen vigor, después de la cosecha en plantas de arándano cv 'O'Neal' aumento la producción y calidad de los frutos y con la poda de reposo lograron rendimientos similares que las plantas sin podar pero con un mayor tamaño de baya (Pescie *et. al.*, 2011).

Plagas

Bucio *et. al.*, (2015), identificaron a *Typhlodromalus peregrinus*, *Tydeus (Afrotydeus) meyeræ* como nuevos registros de acarofauna asociada al cultivo de arándano en Ziracuaretiro Michoacán.

Enfermedades

La alta densidad de plantas en los huertos y los altos niveles de nutrientes y humedad presentes, necesarios para mantener máximos niveles productivos, facilitan el establecimiento y la diseminación de enfermedades. Es imprescindible conocer las patologías de esta especie a manera de prevenir las enfermedades que pueden establecerse y reducir la productividad del cultivar (García Rubio y González de Lena 2014).

En diferentes zonas productoras del mundo se han reportado especies de hongos que inducen daños en el cultivo de arándano, pues afectan a todos los órganos de la planta. En Michoacán han sido identificados 12 hongos que causan distintas enfermedades en la parte aérea de la planta de arándano; las más prevalentes son: Roya (*Pucciniastrum sp.*), mancha plateada (*Alternaria sp.*, *Colletotrichum sp.*, *Neofusicoccum sp.* y *Stemphyllium sp.*), cancro del tallo (*Alternaria sp.*, *Colletotrichum sp.*, *Neofusicoccum sp.*, *Phoma sp.*, *Phomopsis sp.*), costra del tallo (*Colletotrichum sp.*, *Curvularia sp.*) y tizón del tallo (*Colletotrichum sp.*, *Pestalotiopsis sp.*) (Mondragón *et. al.* 2012). El manejo de cada enfermedad dependerá de la especie del patógeno, si bien es posible implementar diversas estrategias en cada caso. Un manejo integrado del cultivo disminuye las pérdidas de producción y calidad en un cultivar debido a que se mejoran las condiciones de crecimiento de la planta.

La preparación del terreno, el manejo radicular antes de la plantación, un régimen hídrico adecuado que evite inundar el cuello de las plantas, la eliminación de árboles y malezas que estén rodeando el huerto, así como la aplicación de fungicidas al follaje cuando aparezcan los síntomas.

Fertilización

La demanda de nutrientes del arándano es baja comparada con otros árboles frutales. Rivadeneira (2012), determinó la concentración de macronutrientes (Tabla 3) en hojas en diferente estado de desarrollo para las variedades 'Misty' y 'Jewel' sin encontrar diferencias significativas en N, P, K o Ca. Hernández (2014), realizó análisis de macro y micro nutrientes en hojas de arándano cv. 'Biloxi' en diferentes etapas fenológicas, en condiciones edafo-climáticas de Los Reyes, Michoacán México, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 4, que coinciden con niveles reportados para otras variedades y tipos de arándano, en otros países. Los fertilizantes a menudo causan más problemas por exceso que por deficiencia. La aplicación excesiva de fertilizantes conlleva a la degradación de la calidad del suelo por salinidad (Cárdenas *et. al.*, 2004).

Tabla 3. Concentraciones promedio de macro y micro nutrientes en hojas de arándano, según Hernández (2014).

Mineral	Biloxi	Misty	Jewel	Mineral	Biloxi
	mg/gr				mg/Kg
N	15.01	15.5	21.3	Fe	398
P	1.9	1.2	1.4	Cu	32.3
K	5.9	5.2	3.7	Mn	161.1
Ca	4.64	9.4	5.8	Zn	45.9
Mg	2.67	3	1.6	B	112.6
S	2.05	*	*	Na	1820

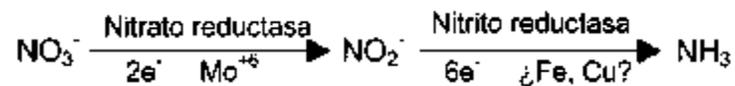
3.2.5 El nitrógeno

El nitrógeno (N) es el principal elemento que las plantas requieren para su crecimiento. Constituye alrededor del 3% de la materia seca de los vegetales, dependiendo de la especie, del estado fenológico y del origen. Forma parte de aminoácidos, clorofila, alcaloides y ácidos nucleicos. Se encuentra en un 78% en la atmósfera en forma gaseosa, pero no está disponible para las plantas. Para que pueda ser absorbido debe ser transformado en nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+). Estas formas inorgánicas son

transitorias en el suelo, por lo cual las cantidades de nitrógeno inorgánico del suelo son extremadamente variables, pudiendo existir desde unos pocos gramos hasta más de 100 kg/ha. A menudo es el nutriente más limitado en suelos silvestres y de cultivo (Maqbool, 2013)

El nitrógeno en forma nítrica (N-NO₃⁻)

La absorción de nitrato es un proceso activo, que se realiza a través de las membranas celulares catalizado por la enzima nitrato-permeasa y no puede ser utilizado de forma directa, por lo que es necesaria su reducción hasta la forma amónica. Esta reducción precisa de una determinada energía, suministrada por glúcidos y sustancias fotosintetizadas. Este proceso se realiza en dos etapas: en la primera, el nitrato se reduce a nitrito, catalizado por la enzima nitrato-reductasa y utilizando dos electrones. En la segunda etapa se requieren seis electrones y la enzima nitrito-reductasa. Las reacciones se esquematizan en la siguiente reacción:



Cuando la planta absorbe grandes cantidades de nitrato también aumenta la síntesis de ácidos orgánicos, asociados a la acumulación de cationes inorgánicos (Ca, Mg, K) con ello, las raíces liberan HCO₃⁻ para mantener el suelo y la planta, eléctricamente neutros lo que provoca que la rizosfera se alcalinice (Barbazan 2010).

El nitrógeno en forma amoniacal (N-NH₄⁺)

La absorción de nitrógeno en forma amoniacal (N-NH₄⁺) se lleva a cabo a través de un proceso pasivo y otro activo. Una vez que el amonio ha sido asimilado debe ser incorporado a los esqueletos carbonados, para formar aminoácidos y evitar que se acumule a niveles tóxicos (Barbazan 2010). Cuando se fertiliza con amonio, el pH de la rizosfera disminuye ya que la absorción de iones inorgánicos (H₂PO₄⁻, SO₄²⁻ y Cl⁻)

aumenta y se liberan iones H^+ por parte de la raíz, para mantener la neutralidad eléctrica o balance de cargas dentro de la planta (Gallegos *et. al.*, 2000), sin embargo la acidificación provocada por el amonio es poca, como muestra Horneck (1995) quien encontró que el pH solo decrece 0.1 unidades por año por cada 110 kg/Ha de NH_4-N aplicados en semilla de pasto.

Las plantas pueden absorber N en forma de NO_3^- o NH_4^+ o una mezcla de ambas en presencia de ambas formas de N, la preferencia de las plantas por una u otra estará en función de la especie.

El arándano es una planta de sotobosque y está mejor adaptado a la absorción de amonio, ya que ha evolucionado en suelos ácidos con bajas concentraciones de nitrato y donde la absorción de este ion se ve reducida a bajas temperaturas (Barbazan 2010). Diversas investigaciones confirman que el N- NH_4 es más benéfico para la planta. Los suelos ácidos presentan deficiencias de molibdeno (FAO 2018), cofactor necesario para activar la nitrato reductasa y con ello, la actividad de la enzima nitrato reductasa está limitada, lo que significa que la planta no puede utilizar de manera eficiente el N- NO_3 (Harley 2001). Townsend, L. R. (1967) estudió el efecto que tiene N- NO_3^- y N- NH_4^+ solo o combinado, sobre el crecimiento de una variedad de arándano Alto del Norte y encontró que el arándano prefiere el amonio, solo o combinado.

En otro estudio con plantas de arándano de la variedad "Biloxi" fertilizadas con amonio, se observó un aumento del contenido de materia seca, así como de calcio, magnesio, manganeso y zinc foliar en comparación con plantas fertilizadas con nitrato; sin embargo, el nitrato resulta beneficioso para el contenido de potasio (Crisóstomo *et al.*, 2014). Por otra parte, Vargas (2015) encuentra que a fertilización granular con sulfato de amonio aumenta la producción de raíz acumulada, en comparación con fertirrigación con urea. Luna-Béjar (2014), también demostró que el amonio es la mejor opción de fertilización del arándano, ya que incrementa el crecimiento y producción de la planta. Fertilizantes como nitrato de calcio pueden causar lesiones o reducción en el crecimiento (Hart, J. M., *et. al.*, 2006).

La dosis adecuada de fertilizantes nitrogenados depende en gran medida de la planta, genotipo, especie, tipo de suelo y nitrógeno disponible en éste. En México, la dosis y fuente de nitrógeno se elige mediante prueba y error, a partir de recomendaciones y experiencias de otros países, sin tomar en cuenta bases técnicas y teóricas, lo que puede llevar a prácticas que pueden ser más perjudiciales que benéficas.

3.2.6 Sistemas de producción del arándano

Un sistema de producción es aquel en el que el agricultor aplica determinadas técnicas de cultivo, bajo las condiciones definidas por un ecosistema para su explotación tomando en cuenta los factores socioeconómicos, tecnológicos, climáticos y de suelo. Los sistemas agrícolas están formados por seres vivos que se desarrollan en un determinado clima y suelo (Cervantes 2011). El manejo de cada cultivo depende de la dinámica de las interacciones que se dan entre las condiciones y factores que intervienen en un sistema de producción, con el objetivo de brindar una serie de prácticas que contribuyan al óptimo desarrollo de los cultivos (Pulido 2015).

Dado el alto costo del establecimiento de una plantación de arándanos y el largo tiempo de producción de esta plantación, se requiere de un proyecto de establecimiento que considere varios factores como: suelo, clima, poda, riego, fertilización conocimiento de enfermedades, etc., para asegurar el logro de los resultados económicos esperados (Undurraga 2013).

Cultivo en suelo

Si las condiciones del suelo cubren los requerimientos de pH, textura, humedad y materia orgánica para el crecimiento y desarrollo del arándano entonces se opta por plantar directamente en el suelo. Se emplean surcos de cultivo de 50 cm de alto y 1 de ancho para mejorar la aireación y el drenaje además de evitar ahogamiento radicular (Marpa 2016).

En el caso de que las condiciones de crecimiento no sean las más favorables se puede recurrir a la agricultura protegida, que es aquella que se realiza bajo estructuras como; invernaderos, macro túneles, malla sombra, acolchados y camellones cuya finalidad de cubrir las restricciones o carencias que el medio impone al desarrollo de las plantas cultivadas (Huerta Hernández 2015). Invernaderos, túneles y malla sombra se emplean para modificar la calidad y cantidad de radiación solar, controlar la temperatura, humedad y pérdida de agua.



Figura 10. Plantación de arándano en Zamora, Michoacán, México.

Para mejorar el drenaje y la textura del suelo en la línea de plantación se incorporan con materiales orgánicos (15-20 cm de alto) como corteza de pino, paja o aserrín mezclado con el suelo y se utilizan camellones o acolchados (figura 10) para cubrir o mezclar lo que ayuda evitar; la erosión del suelo, mejora el contenido de humedad, disminuye la pérdida de esta por evaporación, incrementa el contenido de materia orgánica, estimula la actividad microbiana y ejercer un control sobre las malezas. El material orgánico deberá ser repuesto cada 4 a 5 años (García Rubio y González Lena 2014; Márquez et. al., 2003).

La corteza de pino es la mejor opción ya que es porosa y con buena aireación con un pH entre 4.0 y 5.0, con una capacidad de retención de agua de entre 13% y 25% (p/p) y con una baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) lo que limita la disponibilidad mineral en este sustrato (Williamson y Miller 2009). En el sudeste de Estados Unidos el cultivo en corteza de pino es el método de cultivo más comúnmente utilizado para el crecimiento de arándanos altos del sur (Williamson y Miller 2009).

En cultivo de arándano en camellones se recomienda recubrimiento plástico color negro en la parte interna y color blanco en la parte externa, ya que esto ayuda a mantener las condiciones de temperatura óptimas en la zona radicular ya que crecimiento de la raíz es mejor cuando la temperatura del suelo es de 16°C y decrece a medida que la temperatura aumenta (Spiers 1995).

Cultivo hidropónico

Cuando las condiciones del suelo no son las adecuadas para el crecimiento y desarrollo del arándano la mejor opción es la hidroponía. Se trata de una tecnología para desarrollar plantas sin suelo utilizando para su crecimiento, un medio de soporte natural, artificial o sintético con suministro adecuado de los requerimientos nutricionales a través de una solución nutritiva (Beltrano y Giménez 2015). Como sustrato se utiliza arena, vermiculita, perlita, tezontle o fibra de coco (Herrera 1999) siempre que este cubra los requerimientos de la planta, sea económico y fácilmente disponible. La solución nutritiva está compuesta por agua, oxígeno y todos los elementos esenciales en forma iónica, así como algunos compuestos orgánicos como los quelatos de fierro (Steiner 1968); para su formulación se toma en cuenta la relación mutua entre aniones y cationes, la conductividad eléctrica y el pH. Esta técnica de cultivo permite hacer uso racional de fertilizantes y agua, además de incrementar los rendimientos y calidad del cultivo.



Figura 11. Cultivo Hidropónico de arándano en Zamora, Michoacán, México

El rendimiento dependerá del nivel de tecnología usada para el cultivo. En el caso del jitomate, en cultivo en tierra se obtienen rendimientos de 7 kg/m^2 , mientras que en invernaderos (0.2 y 2 Ha) con sistema hidropónico y con tecnología media se obtienen un rendimiento promedio de 25 kg/m^2 . Cultivos en hidroponía en invernaderos grandes (2 a 5 Ha) y alta tecnología presentan rendimientos de hasta 40 Kg/m^2 (Cervantes 2011). Con plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población y con control adecuado de temperatura, es posible obtener 13 kg/m^2 , comparadas con 8 Kg/m^2 obtenidas en sistemas convencionales de producción con condiciones protegidas (Ortiz 2009).

Para el caso del arándano Higashide *et al.*, (2006) evaluaron diferentes variedades para determinar la viabilidad de su cultivo forzado en invernaderos sobre terrenos inclinados. Encontraron que 'Earliblue' en producción forzada comenzó la floración entre 35 y 40 días antes que en producción convencional y la cosecha fue 35 días antes. En 2009 Williamson y Miller encontraron que la raíz del arándano solo crece en

los 15 cm de corteza de pino, sin llegar a penetrar el suelo. Según Schuch *et. al.* (2011) plantas cultivadas 120 días en sistema NTF (*Nutrient Film Technique*) pueden ser trasplantadas a sustrato, y posteriormente a campo, o usadas para propagación clonal. En México es poca la información que hasta el momento se tiene del arándano cultivado en hidroponía.

3.3 Calidad del fruto

El precio de la fruta depende de la calidad del producto final y el gusto de consumidor, por lo que todos los esfuerzos están encaminados a satisfacer las exigencias del mercado. La calidad es una percepción compleja, que integra muchos atributos que son evaluados simultáneamente, en forma objetiva o subjetiva por el consumidor, siendo los componentes principales: apariencia, sabor, frescura, madurez, valor nutritivo y propiedades nutracéticas (López 2010).

La apariencia es la primera impresión que el consumidor recibe. En el caso del arándano, se considera que el fruto está maduro cuando está totalmente azul. El nivel de excelencia de este parámetro viene determinado por la maduración, la frescura y el *bloom* o cera epicuticular que cubre la superficie del fruto cuya función es restringir la pérdida de agua en forma de vapor y disminuir la humectación de la superficie (Petit 2007); además, permite saber si el fruto fue manipulado antes de llegar al consumidor.

El sabor es un atributo subjetivo, ya que está formado por un complejo de diversas sensaciones simultáneas, que a su vez son afectadas por múltiples factores y depende del gusto del consumidor y el balance de los agentes que intervienen: dulce, ácido, salado y amargo. El sabor dulce está determinado por la concentración de azúcares predominantes en la fruta, donde los más importantes son la glucosa, fructosa y sacarosa (Kader 2009). Para medir la cantidad aproximada de azúcares se utiliza la escala Brix. Los grados Brix (°Brix) representan los sólidos solubles totales y este valor indica la cantidad de sacarosa presente en el fruto. Esta escala se utiliza *in situ* para observar la evolución del fruto y determinar el punto óptimo de cosecha, que para el

arándano debe ser superior a 11°Brix (García Rubio y González de Lena 2014; Domene 2014).

4 JUSTIFICACIÓN

El arándano es una frutilla que en los últimos años ha adquirido gran relevancia, debido a su valor nutricional, sus múltiples beneficios para la salud y la alta rentabilidad del cultivo. Los países donde tradicionalmente se cultivaba el arándano no han podido satisfacer la demanda de esta frutilla, por lo que países con características adecuadas para su cultivo, como México, han incursionado en su producción. En Michoacán, el cultivo y producción de esta planta se realiza con recomendaciones y experiencias que otros países han generado con el tiempo, pero que no siempre funcionan de la manera más adecuada para microclimas de esta región. Aunado a esto, no todos los suelos son adecuados para la producción del arándano, por lo que es importante generar conocimiento y alternativas sobre el crecimiento, producción y calidad del arándano, así como aplicar nuevas tecnologías, como la hidroponía.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de la disponibilidad del Nitrógeno en forma de amonio sobre el crecimiento, producción y calidad de los frutos de arándano cultivados en condiciones hidropónicas.

5.2 Objetivos Específicos

Evaluar el efecto del Nitrógeno en forma de amonio sobre el crecimiento del arándano cultivado en condiciones hidropónicas.

Evaluar el efecto del Nitrógeno en forma de amonio sobre la producción y calidad de los frutos de arándano cultivados en condiciones hidropónicas.

Determinar la disponibilidad adecuada de Nitrógeno para el cultivo de arándano en condiciones hidropónicas.

6 HIPÓTESIS

Altas concentraciones de Nitrógeno en forma de amonio incrementan el crecimiento, producción y calidad del fruto de arándano en condiciones hidropónicas.

7 MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Localización

El experimento se realizó en un sistema hidropónico abierto en invernadero tipo cenital de 9x12 metros ubicado en Km 9.5 s/n Carretera Morelia-Zinapécuaro Municipio de Tarímbaro Michoacán, México.

7.2 Material vegetal

Se utilizaron 96 plantas de arándano de la variedad 'Biloxi' de un año de edad, de la empresa MARPA obtenidas por micro propagación en Chile y cultivadas en Caracha, Ziracuaretiro, para su aclimatación. Se seleccionaron plantas homogéneas de 60 cm de alto y con pocos brotes.

7.3 Sustrato

Se utilizó un sustrato de tezontle y arena de río, en proporción 1:2 (recomendación de Luna, 2015). El sustrato se tamizó para obtener partículas homogéneas de tezontle, de entre 5 y 8 mm de diámetro, retirar toda la materia orgánica y eliminar los restos de arcilla en la arena. La mezcla de sustratos se desinfectó con una solución 10 ppm de cloro comercial (recomendación de García, 2012), en la que se inundó tres veces por espacio de media hora; posteriormente se lavó cinco veces con agua, para retirar los restos de cloro, y se dejó airear el invernadero antes de la plantación.



Figura 12. Tamizado y limpieza de sustratos

7.4 Manejo inicial

Para que las plantas se aclimataran a las condiciones del invernadero, se regaron con agua desionizada una vez al día, durante los primeros 7 días. Después de la aclimatación, las plantas se sacaron del cepellón y fueron puestas en un sistema hidropónico, en cubetas plásticas oscuras de 10 litros de capacidad, con el sustrato.

Para homogeneizar las plantas, se seleccionó como tallo principal aquel brote con un mínimo de 12 yemas vegetativas viables y con longitud media para todas las plantas. Se le hizo un corte perpendicular al tallo principal y se eliminaron los brotes laterales y basales; los cortes se sellaron con cera de Campeche, como se esquematiza en la figura 13.

Las plantas se irrigaron con 0.4 L de agua por día durante la etapa vegetativa y con 0.6 L de agua por día durante la etapa productiva, utilizando goteros auto comenzantes de 4 L/h.

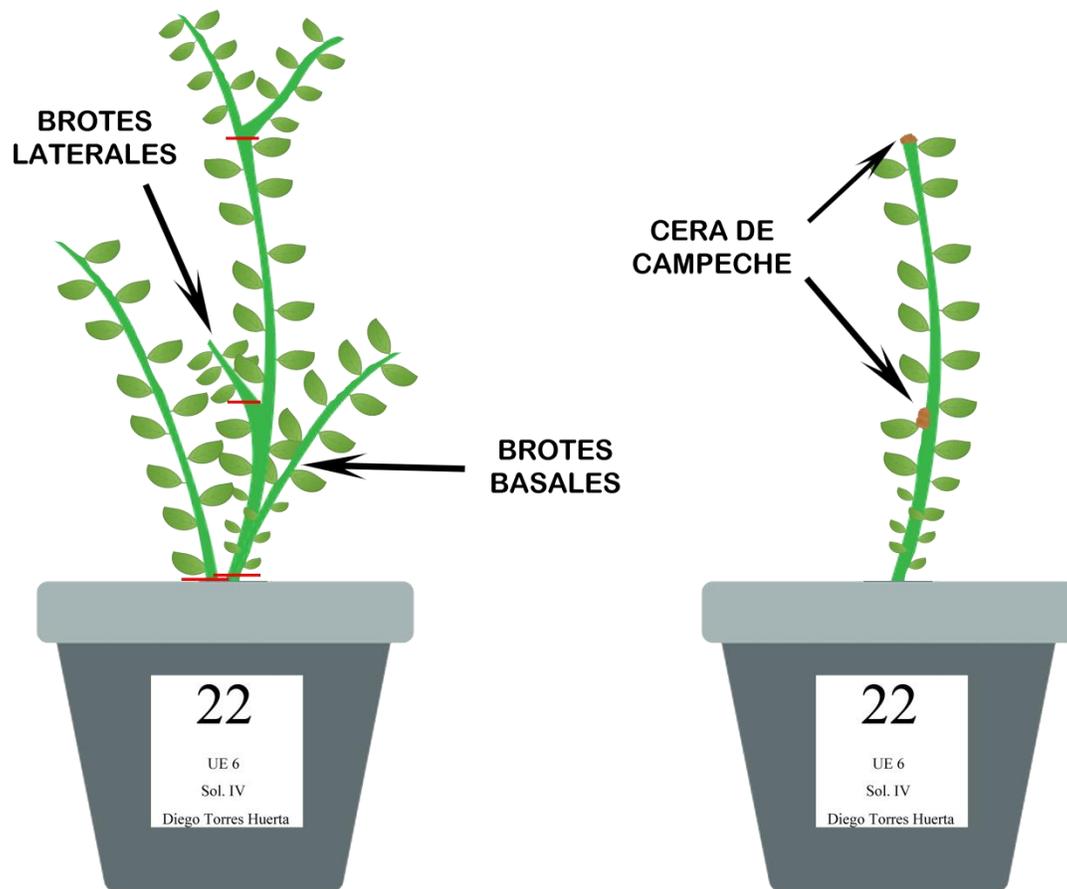


Figura 13. Homogeneización de plantas

7.5 Solución nutritiva

Se formularon seis soluciones nutritivas, variando las concentraciones de N-NH_4 en la solución de riego: 0.2, 2.0, 4.0, 8.0, 12.0 y 16.0 mM. Se guardaron las proporciones: 54% Ca^{+2} , 23% K^+ , y 23% Mg^{+2} para cationes y 0% NO_3^- , 3% H_2PO_4^- y 97% SO_4^{-2} para aniones en cada solución. En todos los tratamientos se utilizó una solución nutritiva

completa, manteniendo constante el pH 5.0, la CE 3.2 dS/m y la carga iónica total en 29.0 Meq/L, la relación mutua entre aniones y la relación mutua entre cationes. Los oligoelementos se adicionaron a todas las soluciones nutritivas. En las tablas 4 a 9 se muestran las soluciones utilizadas para los diferentes tratamientos.

Tabla 4. Solución de riego 0.2 mM N-NH₄

Meq L-1	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	Σ
K+	●	1.00	5.65	6.65
Ca⁺²	●	●	15.49	15.49
Mg⁺²	●	●	6.65	6.65
NH₄⁺¹	●	●	0.20	0.20
Σ	0.00	1.00	27.99	29.0

Tabla 5. Solución de riego 2.0 mM N-NH₄

Meq L-1	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	Σ
K+	●	1.00	5.23	6.23
Ca⁺²	●	●	14.53	14.53
Mg⁺²	●	●	6.23	6.23
NH₄⁺¹	●	●	2.00	2.00
Σ	0.00	1.00	27.99	29.0

Tabla 6. Solución de riego 4.0 mM N-NH₄

Meq L-1	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	Σ
K ⁺	●	1.00	4.77	5.77
Ca ⁺²	●	●	13.45	13.45
Mg ⁺²	●	●	5.77	5.77
NH ₄ ⁺¹	●	●	4.00	4.00
Σ	0.00	1.00	27.99	29.0

Tabla 7. Solución de riego 8.0 mM N-NH₄

Meq L-1	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	Σ
K ⁺	●	1.00	3.85	4.85
Ca ⁺²	●	●	11.30	11.30
Mg ⁺²	●	●	4.85	4.85
NH ₄ ⁺¹	●	●	8.00	8.00
Σ	0.00	1.00	27.99	29.0

Tabla 8. Solución de riego 12.0 mM N-NH₄

Meq L-1	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	Σ
K ⁺	●	1.00	2.92	3.92
Ca ⁺²	●	●	9.15	9.15
Mg ⁺²	●	●	3.92	3.92
NH ₄ ⁺¹	●	●	12.00	12.00
Σ	0.00	1.00	27.99	29.0

Tabla 9. Solución de riego 16.0 mM N-NH₄

Meq L-1	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄⁻²	Σ
K+	●	1.00	2.00	3.00
Ca⁺²	●	●	6.99	6.99
Mg⁺²	●	●	3.00	3.00
NH₄⁺¹	●	●	16.00	16.00
Σ	0.00	1.00	27.99	29.0

7.6 Diseño experimental

Se evaluaron seis tratamientos, correspondientes a las seis soluciones nutritivas utilizadas, y cada tratamiento tuvo 4 repeticiones, generando 24 unidades experimentales, con 4 plantas cada una, como se esquematiza en la figura 14.

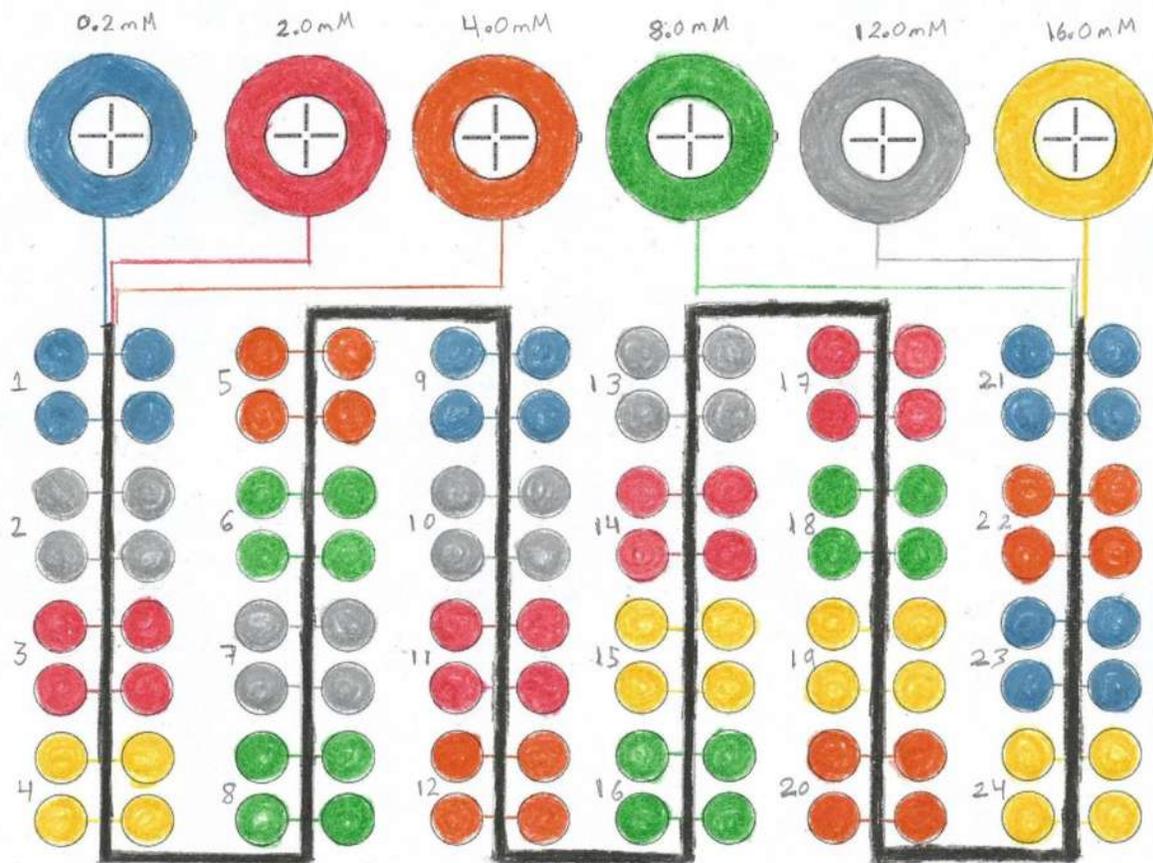


Figura 14. Aleatorización de las unidades experimentales

7.7 Variables a evaluar

Se analizaron las siguientes variables:

- 1) **Altura de planta (AP)** Se midió en cm con una regla de plástico, a partir de donde se identificó la primera yema vegetativa viable, hasta el ápice de la planta.
- 2) **Número de hojas (NH)** Es el número de hojas cada planta marcada por unidad experimental durante cada fecha de muestreo. Se contabilizaron visualmente.
- 3) **Área foliar (AF)** Corresponde a una planta de cada unidad experimental que se seleccionó para muestreo destructivo y se midió en un planímetro electrónico digital (Li-cor 21 2001, LICOR, Licoan NE).
- 4) **Materia seca de hojas (MSH)** Corresponde a las hojas de las plantas seleccionadas para muestreo destructivo de cada unidad experimental y se midió después de secar las hojas a 70°C durante 72 horas en una estufa de convección.
- 5) **Número de brotes (NB)** Son los tallos laterales de cada planta que crecieron sobre el tallo principal a partir de la primera yema vegetativa viable. Se contabilizaron visualmente.
- 6) **Número de racimos (NR)** Un racimo es el conjunto de flores con la corola cerrada y que en arándano puede contener de 8 a 12 flores dependiendo el cv. Se contabilizó el total de racimos por planta marcada de cada unidad experimental
- 7) **Número de frutos (NFR)** Se consideraron frutos maduros aquellos con la totalidad de la epidermis azul. Se contabilizó visualmente el número total de frutos maduros por planta marcada de cada unidad experimental.
- 8) **Diámetro promedio de fruto (DPFR)** Se obtuvo promediando el diámetro máximo ecuatorial de tres frutos colectados por planta de cada colecta, con un vernier digital marca Truper
- 9) **Peso promedio de fruto (PPFR)** Fue el resultado del cociente del rendimiento entre el número de frutos colectados por planta de cada colecta. Utilizando una balanza digital de precisión.

10) Rendimiento (R) Se determinó promediando el peso fresco del fruto maduro colectado de cada planta marcada por tratamiento en cada colecta, en g/planta.

11) Grados Brix (°Brix) Se midió el contenido de azúcares totales a través de los grados Brix. Los frutos cosechados se cortaron y se trituraron utilizando una malla como colador. Al jugo obtenido se llevó a un refractómetro digital portátil HI 96801, sacando la media de tres frutos colectados por planta.

7.8 Muestreos

En cada unidad experimental de todos los tratamientos, se eligió una planta a la que se le dio seguimiento, excluyéndola de los muestreos no destructivos a lo largo del experimento. Se realizó un muestreo a los 35 días después del inicio de los tratamientos (DDT), para evaluar AP y NH; así mismo, se realizaron muestreos a los 85, 150 y 180 DDT, para evaluar AP, NH, NB, NR y NFR. A los 120 DDT se seleccionó una planta de cada unidad experimental para muestreo destructivo, diferente a la marcada para el seguimiento, para la que se determinó MSH, MSR y AF.

Adicionalmente se realizaron tres colectas de fruto maduro, a los 231, 247 y 261 DDT, en las que se contabilizó NFR y R, y se midió DPFR y PPFR y °Brix. Las colectas se hicieron en intervalos de quince días, cuando las plantas tenían entre un 10% y un 15% de frutos maduros (a sugerencia de García Rubio y González Lena, 2014).

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza ANOVA por fecha de muestreo, aplicando la prueba de Tukey para diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), mediante el software SAS University Edition.

8 RESULTADOS

La tabla 10 muestra las aportaciones totales de nitrógeno por planta en dos fechas, para cada tratamiento llevado a cabo de julio de 2017 a marzo de 2018 y el equivalente a un año.

Tabla 10. Nitrógeno total aplicado por tratamiento para cada planta durante

Tratamiento	N (g/planta)	
	8 MESES	12 MESES
0.2 mM	1.32	1.98
2.0 mM	13.21	19.81
4.0 mM	26.43	39.64
8.0 mM	52.86	79.29
12.0 mM	79.28	118.92
16.0 mM	105.71	158.56

La Tabla 11 muestra los resultados de los muestreos no destructivos. A los 35 días después de los tratamientos (DDT) no se observa efecto significativo del N para la AP ni para el NH. A los 85 días DDT no hay diferencia significativa para la AP; sin embargo, existe diferencia altamente significativa para las siguientes variables: NH, con promedio de 51 para los tratamientos 4.0 y 8.0 mM; NB, con promedio de 7 para el tratamiento 16.0 mM; NR, con 11.5 para el tratamiento 12.0 mM. Para la tercera y cuarta fecha de muestreo hay una diferencia altamente significativa para todas las variables. La AP muestra el valor más alto a los 150 y 180 DDT en la concentración de N 4.0 mM, con 46.33 y 50 cm respectivamente. El mayor NH se presentó en el tratamiento 16.0 mM para 150 y 180 DDT; para estas mismas fechas, el mayor NB es obtenido para los tratamientos 12.0 y 16.0 mM. El mayor NFR a los 150 días es de 64.33 para el tratamiento 12.0 mM, y a los 180 DDT es de 85 para el tratamiento 4.0 mM.

Tabla 11. Resultados de los muestreos no destructivos para las variables altura de planta (AP), número de hojas (NH), número de brotes (NB), número de racimos (NR) y número de frutos (NFR). Los 35 días después de tratamientos (DDT) representa la etapa vegetativa

DDT	Tratamiento	AP cm	NH	NB	NR	NFR
	N	NS	NS			
35	0.2 mM	13.66 a	12.38 a			
	2.0 mM	13.61 a	12.63 a			
	4.0 mM	15.26 a	13.56 a			
	8.0 mM	14.12 a	12.31 a			
	12.0 mM	14.15 a	13.44 a			
	16.0 mM	13.89 a	12.50 a			
	N	NS	**	**	**	
85	0.2 mM	26.83 a	20.67 b	0.25 c	0.33 b	
	2.0 mM	36.67 a	39.33 a	2.00 bc	2.67 b	
	4.0 mM	37.90 a	51.00 a	4.33 ab	4.33 ab	
	8.0 mM	33.18 a	51.00 a	5.00 ab	6.50 ab	
	12.0 mM	34.00 a	50.33 a	5.67 ab	11.50 a	
	16.0 mM	34.67 a	52.00 a	7.00 a	4.33 ab	
	N	**	**	**	**	**
150	0.2 mM	27.33 b	22.33 b	1.00 d	1.00 b	0.67 d
	2.0 mM	42.17 a	52.33 a	2.50 cd	4.67 ab	22.33 c
	4.0 mM	46.33 a	61.67 a	4.00 bc	7.67 a	29.33 c
	8.0 mM	35.33 ab	66.67 a	5.67 ab	10.00 a	53.33 ab
	12.0 mM	40.33 a	66.00 a	7.00 a	8.33 a	64.33 a
	16.0 mM	39.67 ab	68.00 a	7.00 a	6.67 ab	41.00 bc
	N	**	**	**	**	**
180	0.2 mM	25.00 b	23.67 d	1.00 b	2.00 b	7.33 c
	2.0 mM	43.17 a	51.33 c	2.25 b	6.33 ab	27.33 bc
	4.0 mM	50.00 a	78.00 ab	5.00 a	9.00 a	85.00 a
	8.0 mM	44.17 a	69.00 b	6.00 a	9.00 a	62.33 a
	12.0 mM	41.33 a	87.00 a	7.00 a	12.33 a	71.00 a
	16.0 mM	42.67 a	91.00 a	7.00 a	13.33 a	59.50 ab

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

Tabla 12. Resultados del muestreo destructivos a los 120 días después de tratamientos (DDT) para las variables; materia seca de hojas (MSH), materia seca de raíz (MSR) y área foliar (AF).

DDT	Tratamiento	MSH g	MSR g	AF cm ²
	N	**	NS	**
120	0.2 mM	1.88 b	13.16 a	160.94 b
	2.0 mM	1.44 b	10.95 a	254.27 b
	4.0 mM	4.88 a	8.12 a	389.57 a
	8.0 mM	4.89 a	13.57 a	372.27 a
	12.0 mM	5.25 a	12.27 a	377.79 a
	16.0 mM	2.92 b	17.43 a	259.63 b

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

A los 120 DDT hubo diferencia altamente significativa en la MSH (Tabla 12). A medida que aumenta la tasa de aplicación de nitrógeno, aumenta también la MSH, obteniendo como máximo un valor de 5.25 gramos con el tratamiento 12.0 mM; para el siguiente tratamiento el valor disminuyó casi a la mitad. No hubo diferencia significativa en la MSR.

Es importante mencionar que al extraer las plantas resultó inevitable que se rompieran la mayoría de raicillas nuevas que crecieron en el sustrato, pudiendo recuperarse solo raíces viejas; esto explica que no haya diferencias significativas entre tratamientos para esta variable (Tabla 12).

Se obtuvo una diferencia altamente significativa para el AF, con el valor más alto (389.57 cm²) para el tratamiento 4.0 mM y el valor más bajo (160.94 cm²) para el tratamiento 0.2 mM.

Tabla 13. Resultados de la recolección y análisis de fruto maduro a los 231, 246 y 261 días después de tratamientos (DDT) para el número de frutos (NFR), diámetro

promedio de fruto (DPFR), peso promedio de fruto (PPFR), rendimiento (R) y grados Brix (°Brix).

DDT	Tratamiento	NFR	DPFR cm	PPFR g	R g/planta	°Brix
	N	**	NS	NS	**	NS
231	0.2 mM	3.67 b	11.82 a	0.56 a	1.49 c	
	2.0 mM	34.00 a	12.37 a	0.69 a	20.06 bc	12.95 a
	4.0 mM	57.00 a	12.53 a	0.74 a	44.57 a	13.44 a
	8.0 mM	50.67 a	12.71 a	0.71 a	39.43 a	14.55 a
	12.0 mM	46.50 a	12.99 a	0.84 a	39.05 ab	14.14 a
	16.0 mM	59.33 a	12.48 a	0.78 a	45.12 a	14.83 a
	N	NS	NS	NS	NS	**
247	0.2 mM	1.33 a	11.63 a	0.15 a	0.65 a	
	2.0 mM	23.33 a	12.42 a	0.28 a	8.57 a	12.46 b
	4.0 mM	38.67 a	12.09 a	0.43 a	17.08 a	12.22 b
	8.0 mM	15.00 a	12.25 a	0.30 a	5.82 a	12.95 ab
	12.0 mM	55.33 a	12.54 a	0.36 a	24.36 a	13.41 ab
	16.0 mM	46.67 a	12.33 a	0.51 a	23.69 a	14.15 a
	N	**	*	NS	**	**
261	0.2 mM	3.00 c	12.60 ab	0.50 a	3.91 b	11.90 bc
	2.0 mM	7.33 c	12.48 ab	0.11 a	3.30 b	10.02 c
	4.0 mM	20.00 bc	12.68 a	0.52 a	10.05 ab	11.94 bc
	8.0 mM	5.67 c	12.40 ab	0.58 a	4.11 b	12.53 bc
	12.0 mM	40.67 ab	11.71 ab	0.32 a	17.89 a	13.38 ab
	16.0 mM	55.00 a	11.32 b	0.39 a	19.94 a	14.49 a

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

Transcurridos 231 DDT hubo diferencia altamente significativa para el NFR y R con un promedio de 59.33 de frutos maduros contabilizados para el tratamiento 16.0 mM y un mínimo de 3.67 para el tratamiento 0.2 mM (Tabla 13). El rendimiento se comportó de la misma manera en esta fecha de colecta en el tratamiento 16.0 mM (45.12 g) y el 0.2 mM (1.49 g).

Solo se obtuvieron diferencias altamente significativas a los 247 DDT para °Brix (Tabla 13), con un máximo para el tratamiento 16.0 mM con valor medio de 14.15 °Brix. No se reportan datos en esta fecha para el tratamiento 0.2 mM, puesto que no se obtuvo suficiente muestra para realizar las lecturas.

En la tercer fecha de colecta (261 DDT) se obtuvieron diferencias significativas para el NFR, R y °Brix; los valores máximos de estas variables fueron observados en el tratamiento 16.0 mM: 55.0, 19.94 g y 14.49 °Brix respectivamente. También se observaron diferencias estadísticamente significativas para el DPFR, con un máximo de 12.68 en el tratamiento 4.0 mM. No hubo diferencia significativa para el PPFR. Durante las dos primeras fechas de muestreo no hubo diferencia en la AP y para las dos últimas fechas de muestreo las plantas del tratamiento 4.0 mM fueron las más altas con diferencias estadísticas altamente significativas.

9 DISCUSIÓN

La AP depende del cultivar y del año de producción como lo demuestra Meza (2015), donde obtiene un incremento promedio de 12 cm en la altura de planta para cv. 'Biloxi' de un año y de 8.16 cm para el segundo año. Mientras que en este experimento se obtuvo un incremento promedio de 11 cm para el tratamiento con menos contenido de N (0.2 mM) y de 29 cm para el tratamiento con mayor contenido de N (16.0 mM).

La relación inversa entre la tasa de aplicación de N y la AP, observada en cada fecha de muestreo, pudo ser ocasionada por error experimental ya que al aumentar la dosis de N la carga frutal aumentó, haciendo que la planta se inclinara provocando una mala lectura de esta variable.

La mejor tasa de fertilización para el crecimiento de la planta (AP, NH, NB y NR) es a partir del tratamiento 4.0 mM; sin embargo, a partir del tratamiento 12.0 mM disminuye la MSH y el AF.

Los niveles de calcio en los suelos nativos del arándano son bajos (Mainland, 1994), por lo que el cultivo no requiere grandes cantidades de este mineral. Bajas concentraciones de calcio en solución nutritiva favorecen la acumulación de potasio en plántulas de tomate (Villegas et. al., 2005). Por lo anterior, suponemos que las cantidades de calcio fueron altas en todos los tratamientos, ocasionando deficiencias en la absorción de potasio, ya que síntomas de deficiencia de este mineral fueron detectados en todas las plantas al inicio de la etapa productiva. En particular, los bajos valores del AF y NH alcanzados por las plantas pudieron ser debidos a esta situación. En este experimento se obtuvo una AF máxima de 389 cm² a los 120 DDT para el tratamiento 4.0 mM, mientras que Luna (2015), tuvo una AF máxima de 767.94 cm² a los 72 DDT. El incremento promedio en el NH durante los primeros 72 DDT fue de 71 para Luna (2015) en el tratamiento 6.0 mM y de 22 a los 85 DDT para el tratamiento 4.0 mM (fue el que mayor NH dio en este periodo).

Por otra parte, la conductividad eléctrica (CE) fue de 3.2 dS/m para todos los tratamientos desde el comienzo de su aplicación, lo que es un valor alto y pudo ocasionar daños a las plantas. La planta de arándano es sensible a CE mayores a 1.5-

2.0 dS/m (Patten et al., 1988). Se han reportado que plantas de arándano cultivado en una mezcla de turba y corteza de pino, fertirrigadas con sulfato de amonio o urea, muestran síntomas de estrés salino y reducción en su crecimiento cuando la CE está entre 1.5 y 3.0 dS/m (Machado 2012). Este resultado es similar a lo obtenido por Bryla (2011), quien asocia el alto porcentaje de muerte de plantas a la alta concentración de iones de amonio (650 mg/L) y $CE > 3 \text{ dS/m}$ en la solución del suelo.

Wilber y Williamson (2008) reportan que en arándano cultivado en contenedores y corteza de pino como sustrato, el volumen y peso seco del dosel aumenta linealmente a medida que aumenta la dosis de fertilización, hasta 30 gramos anuales durante el segundo año de producción, para plantas del cv 'Estrella', sin que se excediera lo necesario para un máximo rendimiento. Este estudio sugiere que aplicaciones mayores a 119 gramos de N (12.0 mM) por planta al año, disminuyen la MSH; sin embargo, estas concentraciones disminuyen el vigor de tallos secundarios (peso seco, no mostrado) y aumentan la cantidad de frutos, lo que podría provocar mala calidad de estos.

El NFR aumenta a medida que se incrementa la dosis de fertilización para las tres colectas. A pesar de ello, el DPFR disminuye después del tratamiento 12.0 mM para la primera y segunda colecta; a partir del tratamiento 4.0 mM se observa una diferencia significativa en la reducción del DPFR para la tercera colecta. El DPFR presentado por Luna (2015) es de 12.25 mm en el tratamiento 6.0 mM en todas las fechas de muestreo.

Wilber y Williamson (2008), reportan la recolección del doble de fruta a medida que se aumenta la aplicación de N, hasta 15.7 g por planta en una temporada de ocho meses, para el cv. 'Misty', en plantas de un año de edad cultivadas en contenedores con corteza de pino como sustrato en condiciones de invernadero. Por su parte, Williamson y Miller (2009) también encontraron una relación lineal positiva entre la tasa de fertilización con N y el rendimiento de la baya, para los cv. 'Misty' y 'Star' en los tres primeros años de cosecha, para plantas cultivadas en condiciones de campo sobre corteza de pino. El arándano cultivado en corteza de pino parece ser ineficiente en términos de uso de agua y fertilizante. La corteza de pino fija el nitrógeno, haciendo

que deje de estar disponible para la planta, lo que puede tener consecuencias negativas con respecto al desperdicio de agua y lixiviación de nutrientes.

En plantaciones de arándano en Oregón, Hart *et al.* (2006) recomiendan aplicar 17 gramos de nitrógeno el primer año de establecimiento y aumentar a 19.8 gramos para el segundo año, adicionando nitrógeno extra por el que queda fijado cuando se adiciona corteza de pino. BCMAL (2009) sugiere aplicar 6 gramos el primer año e ir aumentando hasta 63 gramos por planta en el octavo año, para suelos del suroeste de Canadá. En caso de no contar con análisis foliares y de suelo, Hirzel (2018) propone aplicar las dosis de nitrógeno en función del rendimiento esperado.

Se debe señalar que las aplicaciones de nitrógeno recomendadas son para plantaciones jóvenes con densidades de 2 470 plantas/ha (BCMAL, 2009), a las que se les eliminan los botones florales (poda de formación) para evitar la fructificación, durante los primeros años después del establecimiento. Hart *et al.* (2006) demostraron que si la planta fructifica durante los dos primeros años, se reduce el crecimiento de la raíz y disminuye la productividad para los años venideros. En Michoacán, las densidades de plantación van de 4,000 a 7,450 plantas/ha en suelo y hasta 27,640 plantas/ha en cultivo hidropónico, donde no se aplica este tipo de poda y se desconoce si esto disminuye el crecimiento y producción de la planta.

Para las tres colectas durante el experimento, a medida que aumenta la cantidad de nitrógeno en los tratamientos, también aumentan los °Brix. Para la casi totalidad de los tratamientos, el valor alcanzado es superior a 11 °Brix (que es el nivel mínimo de azúcares totales requerido para el arándano destinado al mercado en fresco, según García Rubio y González de Lena, 2014), excepto para el tratamiento 2.0 mM durante la última colecta (10.02 °Brix). No se obtuvieron resultados del contenido de azúcares totales para el tratamiento 0.2 mM, debido a la falta de muestra.

10 CONCLUSIONES

Las plantas irrigadas con la solución de 0.2 mM de N mostraron deficiencias de este elemento durante todo el experimento.

La altura de planta se incrementó con la solución 4.0 mM de N y se obtuvo un mayor número de hojas, brotes y racimos a partir de la solución 12.0 mM de N.

El tratamiento 16.0 mM de N aumentó el rendimiento y número de frutos; sin embargo, disminuyó el diámetro promedio de frutos a partir de la segunda cosecha.

El contenido de azúcares totales fue mayor en las plantas irrigadas con la solución de 16.0 mM de N y superior a 11 °Brix en todos los tratamientos.

11 Referencias

- Agrimundo. (2013). Realidad productiva del arándano en EE.UU. y México. 28/11/2015, de Inteligencia cooperativa para el sector Agropecuario Sitio web: <http://www.agrimundo.cl/?publicacion=realidad-productiva-del-arandano-en-ee-uu-y-mexico>
- Bañados, M. P., Strik, B. C., Bryla, D. R., & Righetti, T. L. (2012). Response of highbush blueberry to nitrogen fertilizer during field establishment, I: accumulation and allocation of fertilizer nitrogen and biomass. *HortScience*, 47(5), 648-655.
- Barbazán, P. C. (2010). Nitrógeno. *Área de suelos y aguas. Cátedra de fertilidad*.
- Basu, A., Du, M., Leyva, M. J., Sanchez, K., Betts, N. M., Wu, M., ... & Lyons, T. J. (2010). Blueberries decrease cardiovascular risk factors in obese men and women with metabolic syndrome. *The Journal of nutrition*, 140(9), 1582-1587.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Blueberry Magazine. 2015. Perú: Exportación de arándanos ascenderá a us\$ 70 millones al cierre de 2015. Peru. Disponible en: <http://www.blueberrieschile.cl/peru-principales-mercados-que-demandan-los-arandanos-son-estados-unidos-canada-y-paises-bajos/> (Accesado el 09 de Agosto de 2016).
- Bucio-Soto, G., de Jesús Ayala-Ortega, J., Vargas-Sandoval, M., Blanca, M., Lara-Chávez, N., Aguirre-Paleo, S., & Negrete-Rodríguez, O. M. (2015). Acarofauna asociada al cultivo del arándano (*Vaccinium corymbosum* L. var. biloxi) en Ziracuaretiro Michoacán.
- British Columbia Ministry of Agriculture and Lands. 2009. Berry Production Guide, 200910. Victoria. Disponible en: <http://productionguide.agrifoodbc.ca/guides/14/section/16/chapter/30>

- Bryla, D. R., & Machado, R. M. (2011). Comparative effects of nitrogen fertigation and granular fertilizer application on growth and availability of soil nitrogen during establishment of highbush blueberry. *Frontiers in plant science*, 2.
- Cabezas-Gutiérrez, M., & Peña-Baracaldo, F. Estimación del área foliar del arándano (*Vaccinium corymbosum*) por medio de un método no destructivo a non destructive method for estimating the leaf area of blueberry (*Vaccinium corymbosum*).
- Campos García, T. (2014). Relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ -y $\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$ en la producción de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en hidroponía. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados. Motecillo Texcoco, estado de México.
- Cárdenas-Navarro, R., Sánchez-Yáñez, J. M., Farías-Rodríguez, R., & Peña-Cabriales, J. J. (2004). Los aportes del nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2), 173-178.
- Carrera, J. 2012. Manual práctico para la creación y desarrollo de plantaciones de arándanos en Asturias. Nuevos horizontes. Tecnología agroalimentaria. Oviedo.
- Cervantes Ángeles, A. (2011). Análisis técnico-financiero de los sistemas de producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en el Valle del Mezquital, Hidalgo.
- Cervantes Ceja, M. L. (2015). *Potencial nutracéutico de cultivos de arándano (Vaccinium sp.) seleccionados en México* (Doctoral dissertation).
- Chavez, D. J., & Lyrene, P. M. (2009). Effects of Self-pollination and Cross-pollination of *Vaccinium darrowii* (Ericaceae) and Other Low-chill Blueberries. *HortScience*, 44(6), 1538-1541.
- Chen, W. E. N. R. O. N. G., Cen, W. E. I. Y. A., Chen, L., Di, L., Li, Y. O. N. G. Q. I. A. N. G., & Guo, W. (2012). Differential sensitivity of four highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivars to heat stress. *Pak. J. Bot*, 44(3), 853-860.

- Childers, N. F., y Lyrene, P. M. (2006). Blueberries for growers, gardeners, and promoters. pp. 169-176 in: Norman F. Childers (ed). Horticultural Publications, Gainesville, Fla. 266 p.
- Crisóstomo Crisóstomo, M. N., Hernández Rodríguez, O. A., López Medina, J., Manjarrez-Domínguez, C., & Pinedo-Álvarez, A. (2014). Relaciones amonio/nitrato en soluciones nutritivas ácidas y alcalinas para arándano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(3), 525-532.
- Contreras M.R. 2010. Efecto de la Aplicación de CPPU Sobre la Calidad de la Fruta en el Arándano Alto (*Vaccinium corymbosum* L.) Cultivar Eliot. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad de la Frontera. Temuco, Chile.
- Del Bo, C., Riso, P., Campolo, J., Møller, P., Loft, S., Klimis-Zacas, D., ... & Porrini, M. (2013). A single portion of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L) improves protection against DNA damage but not vascular function in healthy male volunteers. *Nutrition Research*, 33(3), 220-227.
- Domene, M., & Segura, M. (2014). Parámetros de Calidad Interna de Hortalizas y Frutas en la Industria Agroalimentaria.
- Drummond, F. (2012). Commercial bumble bee pollination of lowbush blueberry. *International journal of fruit science*, 12(1-3), 54-64.
- Ehret, D. L., Frey, B., Forge, T., Helmer, T., Bryla, D. R., & Zebarth, B. J. (2014). Effects of nitrogen rate and application method on early production and fruit quality in highbush blueberry. *Canadian Journal of Plant Science*, 94(7), 1165-1179.
- Fall Creek Farm & Nursery INC. (2016). Northern Highbush | Fall Creek. Oregon, United States. Recuperado de: http://www.fallcreeknursery.com/nursery/variety/nursery_northern-highbush

- Fall Creek Farm & Nursery INC. (2016). Rabbiteyes | Fall Creek. Oregon, United States. Recuperate de: http://fallcreeknursery.com/commercial/variety/commercial_rabbiteyes
- Fall Creek Farm & Nursery INC. (2016). Southern Highbush | Fall Creek. Oregon, United States. Recuperado de: http://www.fallcreeknursery.com/commercial/variety/commercial_southern-highbush
- FAO. (2018). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura. Portal de suelos de la FAO, Suelos ácidos. Recuperado de: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-acidos/es/#c239236>
- García, J. C. G. G., & García, G. (2015). Orientaciones para el cultivo del “arándano. *Guía del cultivo*”. España.
- Gallegos Vázquez, C., Olivares Sáenz, E., Vázquez Alvarado, R., & Zavala García, F. (2000). Absorción de nitrato y amonio por plantas de nopal en hidroponía. *Terra Latinoamericana*, 18(2). Pág. 122
- García Jiménez A. (2012). Desinfección de sustratos y solución nutritiva contaminados con *fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*. Tesis de Maestría. Departamento de fitotecnia, Instituto de Horticultura. Chapingo, Estado de México
- García Rubio J. C. y González de Lena G. G. (2014). Orientaciones Para el Cultivo de Arándano. Proyecto de Cooperación “Nuevos Horizontes”. Ministerio de Medio Ambiente y medio Rural y Marino. Gobierno de España.
- Glonek, J., & Komosa, A. (2013). Fertigation of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). Part I. The effect on growth and yield. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus*, 12(3), 47-57.
- Grijalva Rativa, C. M. (2015). Crecimiento y desarrollo vegetativo de dos cultivares de arándanos (Biloxi y Sharpblue) en la Sabana de Bogotá.

- Gómez Martínez, M. G. (2010). La poda en la productividad de arándano (*Vaccinum* spp.) en Michoacán.
- Higashide, T., Aoki, N., Kinoshita, T., Ibuki, T., & Kasahara, Y. (2006). Forcing culture of blueberry [*Vaccinum*] grown in a container using hydroponics system suitable for use in hilly and mountainous areas. *Horticultural Research (Japan)*.
- Hanson, E. J., & Retamales, J. B. (1992). Effect of nitrogen source and timing on highbush blueberry performance. *HortScience*, 27(12), 1265-1267.
- Hayden, R. A. (2001). Fertilizing blueberries.
- Hart, J. M., Strik, B., White, L., & Yang, W. (2006). *Nutrient management for blueberries in Oregon*. Corvallis, Or. Extension Service, Oregon State University
- Hirzel, C. J. F. 2018. Fertilización del Cultivo de Arándano en Chile. Serie Frutillas. Núm. 23. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 9 p. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/frutillas/fertilizacion-del-cultivo-de-arandano-en-chile>
- Hernández, Hernández, D. (2014). Estudio nutrimental de arándano azul (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Biloxi en Los Reyes, Michoacán.
- Herrera, A. L. (1999). Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra*, 17(3), 221-229.
- Huerta Hernández A. 2015. Agricultura Protegida. Agro Entorno. Edición 166. Págs. 31-32
- Sanderson, M. A., Adler, P. R., Boateng, A. A., Casler, M. D., & Sarath, G. (2006). Switchgrass as a biofuels feedstock in the USA. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(5), 1315.
- Kader, A. A. (2009). La calidad del sabor de frutas y hortalizas. *Hortic. Internacional*, 69, 6-7.

- López Camelo, A. (2010). Calidad de Frutas y Hortalizas. In: A. López Camelo, ed., Evaluación no destructiva de la calidad e implementación en la industria frutícola, 1st ed. Santiago de Chile: Universidad de Chile, pp.60-69.
- Luna-Béjar, J. A. (2015). Relación nitrato: amonio en el cultivo del arándano en condiciones hidropónicas. Tesis de Maestría. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Morelia Michoacán, México.
- Lyrene, P. M., & Williamson, J. G. (2004). *Protecting blueberries from freezes in Florida*. University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, EDIS.
- Machado, R. M., Bryla, D. R., & Vargas, O. (2012, June). Effects of salinity induced by ammonium sulfate fertilizer on root and shoot growth of highbush blueberry. In *X International Symposium on Vaccinium and Other Superfruits 1017* (pp. 407-414).
- Mainland, CH. 1994. Manejo del arándano. Seminario Internacional Producción de Frambuesa y Arándano en Chile. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillán, Chile. 115 – 127 p.
- Maqbool, R. 2013. NITROGEN CYCLING, OPTIMIZATION OF PLANT NUTRITION AND REMOTE SENSING OF LEAF NUTRIENTS IN WILD BLUEBERRIES (*VACCINIUM ANGUSTIFOLIUM* AIT.). Tesis de Doctorado. Dalhousie University Halifax. Nueva Escocia.
- Márquez, R., Córdova, T., Castejón, L., & Higuera, A. (2003). Efecto de la aplicación de cobertura vegetal de *Cenchrus ciliaris* L. y fertilización fosfórica sobre el porcentaje de control de malezas, rendimiento y concentración de fósforo en semillas de frijol *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 20(4).
- Marpa. 2016. Producción de arándano en México: la nueva alternativa. El jornalero. Edición 76. Págs. 58-61.

- Medina, J. L. (2006). Variedades de especies de frutos pequeños apropiadas para climas subtropicales: la experiencia de México. *III Simpósio nacional do morango II Encontro sobre pequenas frutas e Frutas nativas do Mercosul*, 87.
- Merhaut, D. J., & Darnell, R. L. (1995). Ammonium and nitrate accumulation in containerized southern highbush blueberry plants. *HortScience*, 30(7), 1378-1381.
- Meyer, H. J., & Prinsloo, N. (2003). Assessment of the potential of blueberry production in South Africa. *Small Fruits Review*, 2(3), 3-21.
- Meza Torres P. A. (2015). Algunos aspectos de la fenología, el crecimiento y la producción de dos cultivares de arándano (*Vaccinium corymbosum* L. x *V. darowii*) Plantados en Guasca (Cundinamarca, Colombia). Tesis de licenciatura. Universidad Militar Nueva Granada. Cajica, Colombia.
- Mondragón Flores, A., López Medina, J., Ochoa Ascencio, S., & Gutiérrez Contreras, M. (2012). Hongos Asociados a la Parte Aérea del Arándano en Los Reyes, Michoacán, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 30(2), 141-144.
- Moore, J. N. (1997). *Fruit Breeding, 3 Volume*. Canada Set. John Wiley & Sons. Páginas. 1, 9, 10, 11.
- Navarro, G. S. N. B., & García, G. N. (2003). Química Agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Pág. 92
- Ortiz Cereceres, J., Sánchez del Castillo, F., Castillo, M., del Carmen, M., & Torres García, A. (2009). Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Revista fitotecnia mexicana*, 32(4), 289-294.
- Palma, V., & Jose, M. (2004). Efecto de diferentes estrategias de poda sobre el rendimiento y calidad de fruta (*Vaccinium corymbosum* L. y *V. ashei* Reade.
- Patten, K. D., Neuendorff, E. W., Leonard, A. T., & Haby, V. A. (1988). Mulch and irrigation placement effects on soil chemistry properties and rabbiteye blueberry

- plants irrigated with sodic water. *Journal of the American Society for Horticultural Science (USA)*.
- Pescie, M. D. L. A., Borda, M., Fedyszak, P., & López, C. (2011). Efecto del momento y tipo de poda sobre el rendimiento y calidad del fruto en arándano altos del sur (*Vaccinium corymbosum*) var. O' Neal en la provincia de Buenos Aires. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 37(3), 268-27
- Pefaur, L. J. (2014). El Mercado de las Frutillas. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Chile. Artículo de divulgación (Ed. Electrónica).
- Pérez Trujillo, M. M. 2015. Algunos aspectos de la fenología, el crecimiento y la producción de dos cultivares de arándano (*Vaccinium corymbosum* L. x *V. darowii*) plantados en Guasca (Cundinamarca, Colombia). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas. Cajica Colombia.
- Petit-Jiménez, D., González-León, A., González-Aguilar, G., Sotelo-Mundo, R., & Báez-Sañudo, R. (2007). Cambios de la cutícula durante la ontogenia del fruto de *Mangifera indica* L. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(1), 51-60
- Pormale, J., Osvalde, A., & Nollendorfs, V. (2009). Comparison Study Of Cultivated Highbush And Wild Blueberry Nutrient Status In Producing Plantings And Woodlands, Latvia Krūmmelleņu Un Savvaēas Melleņu Minerālās Barošanās Nodrošinājuma Līmenis Ražojošās Saimniecībās Un Latvijas Mežos.
- Prometeo S. G. (2010). Manejo Integral De La Nutrición De Berries.
- Ratti, C. M., Higo, H. A., Griswold, T. L., & Winston, M. L. (2008). Bumble bees influence berry size in commercial *Vaccinium* spp. cultivation in British Columbia. *The Canadian Entomologist*, 140(03), 348-363.
- Reyes, C. J. L., & Cano, R. P. (2004). Manual de polinización apícola. *Cucurbitáceas. Melón*, 17-28.
- Ribera, A. E., Reyes-Diaz, M., Alberdi, M., Zuñiga, G. E., & Mora, M. L. (2010). Antioxidant compounds in skin and pulp of fruits change among genotypes and

- maturity stages in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) grown in Southern Chile. *Journal of soil science and plant nutrition*, 10(4), 509-536.
- Rivadeneira, M., & Gózales, C., 2011. Comportamiento fenológico de variedades tradicionales y nuevas de arándano. Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria, Argentina
- Rivadeneira, M. F. (2012). Concentración de nutrientes en hojas de diferente estado de desarrollo en arándano. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 38(3), 247-250.
- Roldán, M. E. C. (2006). Efecto de cuatro factores de manejo bajo invernadero en la aclimatación de plantas de arándano (*Vaccinium ashei*), provenientes de cultivo de tejidos.
- Rubio, J. C. G., de Lena, G. G. G., & Ara, M. C. (2013). Situación actual del cultivo del arándano en el mundo. *Tecnología agroalimentaria: Boletín informativo del SERIDA*, (12), 5-8.
- Schuch, M. W., Peil, R. M. N., & Nascimento, D. C. (2011, June). Growth of blueberry cultivars in NFT hydroponic system. In *International Symposium on Advanced Technologies and Management Towards Sustainable Greenhouse Ecosystems: Greensys2011 952* (pp. 871-875).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (SAGARPA). 2014. Michoacán Con Potencial Para Exportar Frutillas a China. Ed electrónica. Boletín No. 026/2014.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (SAGARPA). 2015. Atlas Agroalimentario 2015.
- SIAP. Sistema de Información Agrícola y Pesquera. (2017). Agricultura protegida: presente en 30 estados del país. Recuperado de: <https://www.gob.mx/siap/articulos/agricultura-protegida-presente-en-30-estados-del-pais?idiom=es>

- Sideman B. y Lord B. (2015). Growing Highbush Blueberries. Fact Sheet. University of New Hampshire, U.S. Department of Agriculture and N.H. counties cooperating.
- Silveira, T. M. T. D., Raseira, M. D. C. B., Nava, D. E., & Couto, M. (2011). Blueberry pollination in southern Brazil and their influence on fruit quality. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(1), 081-088.
- Spiers, J. M. (1995). Substrate temperatures influence root and shoot growth of southern highbush and rabbiteye blueberries. *HortScience*, 30(5), 1029-1030.
- Spiers, J. M., Stringer, S. J., Draper, A. D., & Gupton, C. L. 2000. Biloxi southern highbush blueberry. In *VII International Symposium on Vaccinium Culture 574* (pp. 153-155).
- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15: 134-154.
- Steiner, A.A. 1968. Soilles culture. pp. 324-341. In: Proceedings of the 6th Colloquium of the International Potash Institute. Florence, Italy.
- Strik, B. C., Moore, P. P., & Finn, C. E. (2014). Blueberry cultivars for the Pacific Northwest.
- Townsend, L. R. (1967). Effect of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen, separately and in combination, on the growth of the highbush blueberry. *Canadian Journal of Plant Science*, 47(5), 555-562.
- Townsend, L. R. (1969). Influence of form of nitrogen and pH on growth and nutrient levels in the leaves and roots of the lowbush blueberry. *Canadian Journal of Plant Science*, 49(3), 333-338.
- Trejo-Téllez, L. I., & Gómez-Merino, F. C. (2012). Nutrient solutions for hydroponic systems. In *Hydroponics-A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. InTech.

- TradeMap. (2015). Trade statistics for international business development. Recuperado de: <http://www.trademap.org/> Ultima Consulta: 30/10/2016.
- Undurruga, P., y Vargas, S. (eds.) 2013. Manual del arándano. Boletín INIA N° 263. 120 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Urbano Terrón, P. (2001). *Tratado de fitotecnia general* (No. 631.5 U72t 2001). Pag. 42-45.
- United States Department of Agriculture. (USDA). 2002. Plant Fact Sheet. HIGHBUSH BLUEBERRY. *Vaccinium corymbosum* L.
- Vargas, O. L. (2015). Nitrogen fertigation practices to optimize growth and yield of northern highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.).
- Villegas-Torres, O. G., Sánchez-García, P., Baca-Castillo, G. A., Rodríguez-Mendoza, M. N., Trejo, C., Sandoval-Villa, M., & Cárdenas-Soriano, E. (2005). Crecimiento y estado nutrimental de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. *Terra Latinoamericana*, 23(1), 49-56.
- Williamson, J. G., & Miller, E. P. (2009). Effects of fertilizer rate and form on vegetative growth and yield of southern highbush blueberry in pine bark culture. *HortTechnology*, 19(1), 152-
- Williamson, J. G. & Lyrene P.M. 2004. Blueberry Varieties for Florida. Department of Horticultural Sciences.
- Wilber, W. L., & Williamson, J. G. (2008). Effects of fertilizer rate on growth and fruiting of containerized southern highbush blueberry. *HortScience*, 43(1), 143-145.