



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**RELACIONES NITRATO/AMONIO Y CONDUCTIVIDAD
ELÉCTRICA EN EL CRECIMIENTO Y DINÁMICA
NUTRIMENTAL DE ARÁNDANO AZUL CV. BILOXI**

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta:

MARÍA NATALIA BOLAÑOS ALCÁNTARA

Bajo la dirección de: DR. JOEL PINEDA PINEDA

Chapingo, Estado de México, junio de 2018



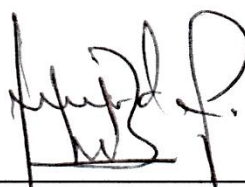
**RELACIONES NITRATO/AMONIO Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL
CRECIMIENTO Y DINÁMICA NUTRIMENTAL DE ARÁNDANO AZUL CV.**

BILOXI

Tesis realizada por **MARÍA NATALIA BOLAÑOS ALCÁNTARA**,
bajo la dirección del comité asesor indicado, aprobada por el mismo
y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

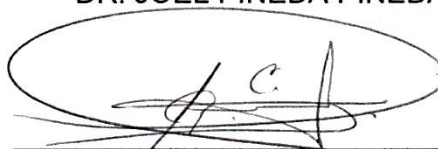
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR



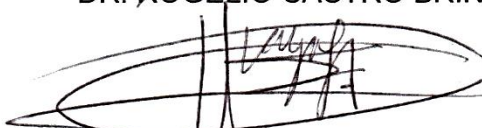
DR. JOEL PINEDA PINEDA

ASESOR



DR. ROGELIO CASTRO BRINDIS

ASESOR



DR. MATEO VARGAS HERNÁNDEZ

ASESOR



DR. EDILBERTO ÁVITIA GARCÍA

DATOS BIOGRÁFICOS

María Natalia Bolaños Alcántara obtuvo el título de Ingeniero Agroindustrial por la Universidad Autónoma Chapingo en el año 2013, en 2014 participó en el curso Organic Leadership Program Europe, impartido por la International Federation of Organic Movements en Suiza y Alemania. Ingresó al Instituto de Horticultura en 2016 para cursar sus estudios de posgrado en la Maestría en Ciencias en Horticultura.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
AGRADECIMIENTOS	xi
RESUMEN GENERAL	xii
GENERAL ABSTRACT	xiii
CAPITULO I. GENERALIDADES.....	14
1.1. Introducción general	15
1.2. Revisión de literatura general	17
1.2.1. Arándano	17
Historia del cultivo de arándano	17
Producción y consumo mundial.....	17
Producción y consumo en México	18
Taxonomía	19
Características anatómicas	19
Requerimientos climáticos	20
Requerimientos edafológicos	20
1.2.2. Cultivar Biloxi	21
1.2.3. Crecimiento y desarrollo vegetal	22
Cinética de crecimiento	22
Índices de eficiencia fisiológica	23
1.2.4. Nutrientes para las plantas	24
Extracción de nutrientes.....	25
1.2.5. Solución nutritiva	25
1.2.6. Relaciones nitrato/amonio.....	26
1.3. Literatura citada.....	28

CAPITULO II. RELACIONES NITRATO/AMONIO Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y SU RELACIÓN CON LA DINÁMICA DE CRECIMIENTO EN ARÁNDANO AZUL CV. BILOXI.....	32
Resumen	33
Abstract	34
2.1. Introducción	35
2.2. Materiales y métodos.....	37
2.2.1. Localización	37
2.2.2. Material vegetal y sustrato	37
2.2.3. Tratamientos: soluciones nutritivas	37
2.2.4. Unidad y diseño experimental	38
2.2.5. Variables evaluadas.....	39
2.3. Resultado y discusión.....	41
2.3.1. Altura y diámetro.....	41
2.3.2. Área foliar, acumulación de materia seca y rendimiento	45
2.3.3. Desarrollo del fruto.....	53
2.3.4. Índices de eficiencia fisiológica	54
Tasa absoluta de crecimiento (TAC)	54
Tasa relativa de crecimiento (TRC)	56
Tasa de asimilación neta (TAN)	60
2.4. Conclusiones	63
2.5. Literatura citada.....	64
CAPÍTULO III. EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL DE ARÁNDANO AZUL CV. BILOXI DURANTE EL PRIMER CICLO DE CULTIVO EN HIDROPONIA	67
Resumen	68
Abstract	69
3.1. Introducción	70
3.2. Materiales y métodos.....	72
3.2.1. Localización	72
3.2.2. Material vegetal, sustrato y solución nutritiva	72
3.2.3. Muestreos y variables evaluadas	72
3.3. Resultados y discusión	74
3.3.1. Acumulación de materia seca	74

3.3.2. Nutrientes en tejido	75
3.3.3. Absorción y extracción de nutrientes.....	79
3.3.4. Tasas de absorción de nutrientes	84
3.4. Conclusiones	88
3.5. Literatura citada.....	89
CAPÍTULO IV. RELACIONES NITRATO/AMONIO Y CONDUCTIVIDAD	
ELÉCTRICA EN LA CALIDAD DE ARÁNDANO AZUL CV. BILOXI	93
Resumen	94
Abstract	95
4.1. Introducción	96
4.2. Materiales y métodos.....	98
4.2.1. Localización	98
4.2.2. Material vegetal y sustrato	98
4.2.3. Tratamientos.....	98
4.2.4. Diseño experimental	99
4.2.5. Variables evaluadas.....	99
4.2.6. Análisis de datos.....	100
4.3. Resultados y discusión	101
4.3.1. Tamaño	101
4.3.2. Sólidos solubles totales	103
4.3.3. Antocianinas	105
Tamaño de fruto y contenido de antocianinas	109
4.4. Conclusiones	112
4.5. Literatura citada.....	113
ANEXO	118

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Relación porcentual entre cationes y aniones de la solución nutritiva universal de Steiner y la solución nutritiva para plantas calcífugas en la solución nutritiva (Steiner, 1968).....	26
Cuadro 2. Concentración iónica de las soluciones nutritivas con diferentes relaciones nitrato/amonio y conductividad eléctrica aplicadas a arándano azul cv. Biloxi	38
Cuadro 3. Altura promedio del arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante	42
Cuadro 4. Diámetro promedio de tallo en arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante.....	44
Cuadro 5. Área foliar del arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante.....	46
Cuadro 6. Acumulación de materia seca del arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante	48
Cuadro 7. Acumulación de materia seca y rendimiento de fruto en arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, a los 300 días después del trasplante	50
Cuadro 8. Valores de la tasa absoluta de crecimiento del arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante	55
Cuadro 9. Valores de la tasa relativa de crecimiento del arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante.....	58

Cuadro 10. Valores de la tasa de asimilación neta del arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante.....	61
Cuadro 11. Concentración de nutrimentos en diferentes órganos del arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con relación nitrato/amonio 30/70 y conductividad eléctrica 1.5 dS·m ⁻¹ a pH 5.	78
Cuadro 12. Extracción nutrimental (kg/planta) para arándano azul cv. Biloxi durante el primer año de cultivo en hidroponia con relación nitrato/amonio 30/70 y conductividad eléctrica de 1.5 dS·m ⁻¹ a pH 5.....	80
Cuadro 13. Efecto de la conductividad eléctrica y relaciones NO ₃ /NH ₄ de la solución nutritiva sobre el diámetro de frutos de arándano azul cv. Biloxi	102
Cuadro 14. Efecto de la conductividad eléctrica y las relaciones NO ₃ /NH ₄ en la solución nutritiva sobre los sólidos solubles totales de frutos de arándano azul cv. Biloxi .	105
Cuadro 15. Efecto de la conductividad eléctrica y relaciones NO ₃ /NH ₄ en la solución nutritiva sobre el contenido de antocianinas en frutos de arándano azul cv. Biloxi	106
Cuadro 16. Efecto de las categorías de tamaños de frutos de arándano azul cv. Biloxi y las concentraciones de antocianinas	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Filogenia del arándano azul cv. Biloxi (Spiers et al., 2002).....	22
Figura 2. Dinámica de crecimiento de la altura (a) y diámetro de tallo (b) de arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante (A. Crecimiento vegetativo; B. Diferenciación floral; C. Antesis; D. Fase I de desarrollo de frutos; E. Fase II de desarrollo de frutos; F. Fase III de desarrollo de fruto).....	45
Figura 3. Dinámica de crecimiento del área foliar (a) y acumulación de materia seca (b) de arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 223 días después del trasplante (A: Crecimiento vegetativo; B: Diferenciación floral; C: Antesis; D: Fase I de desarrollo de frutos; E: Fase II de desarrollo de frutos; F: Fase III de desarrollo de fruto).....	49
Figura 4. Crecimiento y desarrollo de fruto de arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, durante un ciclo de 223 días (A: Crecimiento vegetativo; B: Diferenciación floral; C: Floración; D: Desarrollo de frutos fase I; E: Desarrollo de fruto fase II; F: Desarrollo de fruto fase III).....	54
Figura 5. Tasa absoluta de crecimiento (a) y tasa relativa de crecimiento (b) en arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferentes relaciones nitrato/amonio y conductividad eléctrica, durante 223 días. (A: Crecimiento vegetativo; B: Diferenciación floral; C: Antesis; D: Fase I de desarrollo de frutos; E: Fase II de desarrollo de frutos; F: Fase III de desarrollo de frutos).....	62
Figura 6. Tasa de acumulación neta de arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferentes relaciones nitrato/amonio y conductividad eléctrica, durante 223 días. (A: Crecimiento vegetativo; B: Diferenciación floral; C: Antesis; D: Fase I de desarrollo de frutos; E: Fase II de desarrollo de frutos; F: Fase III de desarrollo de frutos).....	62

Figura 7. Distribución de materia seca por órgano durante el primer ciclo de cultivo de arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con relación nitrato/amonio 30/70 y conductividad eléctrica de $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, a pH 5 en la solución nutritiva.....	75
Figura 8. Extracción nutrimental en arándano cultivado en hidroponia con la relación nitrato/amonio 30/70 y conductividad eléctrica de $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ a pH 5, durante el primer ciclo de cultivo. a) Nitrógeno; b) Fósforo; c) Potasio; d) Calcio; e) Magnesio.....	83
Figura 9. Tasas de absorción de nutrimentos en arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con relación nitrato/amonio 30/70 y conductividad eléctrica de $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, a pH 5 durante el primer ciclo. a) Nitrógeno, b) Fósforo, c) Potasio, d) Calcio, e) Magnesio.....	87

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo otorgado para realizar mis estudios de posgrado.

Al Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

A mi director, el Dr. Joel Pineda Pineda, así como a mi comité asesor: Dr. Rogelio Castro Brindis, Dr. Mateo Vargas Hernández y Dr. Edilberto Ávitia García.

RESUMEN GENERAL

RELACIONES NITRATO/AMONIO Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y SU RELACIÓN CON LA DINÁMICA DE CRECIMIENTO EN ARÁNDANO AZUL CV. BILOXI

México figura dentro de los diez principales productores de arándano en el mundo, sin embargo, pese a la relevancia económica y social que ha adquirido, es poca la información pública que se tiene respecto a su manejo agronómico, especialmente el relacionado con su fertilización. Por ello, los objetivos de este trabajo fueron generar información acerca del efecto de las relaciones nitrato/amonio y la conductividad eléctrica en la dinámica de crecimiento y parámetros de calidad, así como de la extracción nutrimental en arándano azul cv. Biloxi, en cultivo hidropónico. Se utilizó un diseño factorial 3×3 para definir los tratamientos, que se formaron por la combinación de tres niveles del factor conductividad eléctrica (CE) 1.0, 1.5 y $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, y tres relaciones nitrato/amonio: 50/50, 30/70 y 10/90. El experimento se condujo de julio de 2016 a junio de 2017, periodo en el que se evaluaron las variables respuesta: altura y diámetro de tallo, acumulación de materia seca, índices de eficiencia fisiológica, grados Bx, contenido de antocianinas, tamaño y rendimiento de fruto, así como la extracción de N, P, K, Ca, Mg, Fe y Mn. La acumulación de materia seca y rendimiento de fruto fueron estadísticamente superiores en la relación nitrato/amonio 30/70 y CE $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. En el análisis global para los parámetros de eficiencia fisiológica, no se presentaron diferencias estadísticas significativas. Respecto a las variables de calidad, los sólidos solubles totales presentaron diferencia estadística significativa, el contenido de antocianinas se vio afectado positivamente por la CE en los niveles 1.0 y $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. La extracción nutrimental fue de 2.30, 0.45, 1.74, 1.77 y $0.20 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. Considerando la acumulación de biomasa y producción de fruto, se concluye que el mejor tratamiento fue el que tuvo la relación nitrato/amonio 30/70 y CE de $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

Palabras clave: *Vaccinium* spp., crecimiento, soluciones nutritivas.

GENERAL ABSTRACT

NITRATE/AMMONIUM RATIOS AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND ITS RELATIONSHIP WITH GROWTH DYNAMICS IN BLUEBERRY CV. BILOXI

Mexico is one of the top ten blueberry producers in the world; however, despite the economic and social relevance it has acquired, there is little information about its agronomic management, especially related to its fertilization. Therefore, the objectives of this work were: to generate information about the effect of nitrate/ammonium ratio and electrical conductivity on growth dynamics and quality parameters, as well as the determination of nutritional extraction of blueberry cv. Biloxi under hydroponic culture; for that, parameters evaluated included: plant height, stem diameter, dry matter accumulation, physiological efficiency indices, Bx degrees, anthocyanin content, fruit size and the extraction of N, P, K, Ca, Mg, Fe and Mn. Nine nutrient solutions were supplied with two variation factors: electrical conductivity (EC) at levels of 1.0, 1.5 and 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, and nitrate/ammonium ratio (NAR): 50/50, 30/70 and 10/90. A factorial design was used, and the parameters were evaluated from July 2016 to June 2017. Dry matter accumulation and fruit yield per plant were statistically higher for NAR 30/70 and EC 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. In the overall analysis for the physiological efficiency parameters, there were no significant statistical differences. Regarding the quality variables, the total soluble solids had no significant statistical differences. Anthocyanin content was positively affected by the EC at levels 1.0 and 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. The nutritional extraction was 2.30, 0.45, 1.74, 1.77 and 0.20 $\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$ for N, P, K, Ca, and Mg, respectively. We can conclude that from the production point of view, NAR 30/70 and EC 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ was the best treatment.

Keywords: *Vaccinium* spp., growth rate, nutritive solutions.

CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1. Introducción general

El arándano azul (*Vaccinium* sp.) es una planta que produce bayas azules. Según el U.S. Highbush Blueberry Council (2013), en los últimos años la industria del arándano azul ha experimentado un crecimiento extraordinario, con un consumo per cápita en ascenso, debido a los beneficios a la salud asociados con su consumo.

Los arándanos han sido identificados como una gran fuente de potentes fitoquímicos con actividad curativa del daño oxidativo, antiinflamatorio y con efectos anticancerígenos (Ehlenfeldt y Prior, 2001). Esto puede explicarse, como lo afirman Johnson y Arjmandi (2013), debido a su alto contenido de compuestos fenólicos, principalmente antocianinas, que son responsables del color azul, flavonoides y otros ácidos fenólicos.

Hasta hace una década, el arándano carecía de importancia nacional, sin embargo, ha cobrado relevancia; según los datos de la International Blueberry Organization (IBO) (Brazelton *et al.*, 2017), México figura dentro de los diez principales productores de arándano en el mundo, dichas cifras también se ven reflejadas en los datos nacionales. De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2017), la producción en 2016 se estimó en 29 067 t y la superficie sembrada abarcó 3 000 ha, esta última fue considerablemente mayor a las 106 ha reportadas en 2010 por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (División de Estadística) (FAOSTAT, 2015).

La reciente introducción del arándano como cultivo de importancia económica en México ha generado el interés para invertir en éste; sin embargo, pese a la relevancia económica y social que el arándano ha adquirido en México, es poca la información pública que se tiene respecto a su manejo agronómico relacionado con su fertilización, debido a que no se tienen datos sobre la dinámica de crecimiento y extracción de nutrimentos.

Por ello, el presente trabajo tuvo como objetivos determinar el efecto de diferentes relaciones nitrato/amonio y la variación en la concentración de nutrimentos en la solución nutritiva sobre el crecimiento y desarrollo de la planta, acumulación de materia seca, rendimiento, calidad de los frutos e índices de eficiencia fisiológica, así como determinar las tasas de absorción y extracción de nutrimentos en condiciones de hidroponia e invernadero del arándano cv. Biloxi. La información generada podrá utilizarse en el desarrollo de programas adecuados de fertilización que provean los nutrimentos necesarios para el óptimo desarrollo del cultivo y las frutas de calidad comercial, a la vez que se aumente la eficiencia de utilización de los nutrimentos y disminuya la contaminación ambiental.

La presente investigación se desarrolló en tres etapas. La primera constó de un análisis de crecimiento del arándano azul cv. Biloxi cultivado bajo nueve soluciones nutritivas; se emplearon tres relaciones nitrato/amonio ($\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$) y tres niveles de conductividad eléctrica (CE). En la segunda etapa se determinó la extracción nutrimental y la tasa absoluta de absorción de macronutrimentos (N, P, K, Ca y Mg), Fe y Mn con la solución nutritiva de CE $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y relación nitrato/amonio 30/70. Finalmente, en la tercera etapa se determinó la influencia de las nueve soluciones nutritivas en la calidad de los frutos de arándano.

1.2. Revisión de literatura general

1.2.1. Arándano

Historia del cultivo de arándano

Los arándanos azules o *blueberries*, por su nombre en inglés, son frutos de origen americano que, de acuerdo con algunas fuentes, jugó un papel importante en la alimentación del hombre de las cavernas. Según Reichholf (2008), bajo las condiciones climáticas de la Edad de Hielo, hubo grandes cantidades de arbustos enanos con bayas que se teñían de rojo durante la maduración. Los más importantes eran los arándanos encarnados (*Vaccinium vitis-idaea*), que se utilizaban principalmente como acompañamiento de la carne de caza. En aquella era, los arándanos eran mucho más frecuentes que en nuestro tiempo porque entonces en el paisaje predominaban los suelos arcillosos y ácidos, así como los pantanos altos. Asimismo, fueron un recurso alimentario importante para los nativos americanos, quienes además utilizaban sus frutos, tallos y hojas con propósitos medicinales (U.S. Highbush Blueberry Council, 2016). Aunque la historia del arándano como alimento es bastante vieja, es uno de los cultivos de más reciente domesticación, pues hasta 1911 aún era recolectado de manera silvestre; gracias a los trabajos de mejoramiento y documentación de Frederick Coville, así como a la colaboración de Elizabeth White, hoy en día su cultivo es posible en todo el mundo (Kim, 2011).

Producción y consumo mundial

Según el U.S. Highbush Blueberry Council (2013), la industria del arándano azul ha experimentado un crecimiento extraordinario en los últimos años, con un consumo per cápita en ascenso, debido a los beneficios a la salud asociados con su consumo. Los arándanos han sido identificados como una gran fuente de potentes fitoquímicos con actividad curativa del daño oxidativo, antiinflamatorio y con efectos anticancerígenos (Ehlenfeldt y Prior, 2001). Esto puede explicarse, como lo afirman Johnson y Arjmandi (2013), debido a su alto contenido de

compuestos fenólicos, principalmente antocianinas, que son responsables del color azul, flavonoides y otros ácidos fenólicos.

De acuerdo con el Global Blueberry Statistics and Intelligence Report (Brazelton *et al.*, 2017), las plantaciones de arándanos casi se han duplicado de 2008 a 2016, de 65 696 ha a 135 338 ha, y se produjeron 655 000 t de arándanos en ese último año. De la cosecha global de arándano azul de arbusto alto, 78% se produjo en el continente americano; como región, América del Norte consumió, 68% de la producción mundial, porcentaje ligeramente inferior al de 2014. La participación de Europa en el consumo de arándanos ha crecido considerablemente, entre América del Norte y Europa consumieron casi 90% de la producción mundial. En contraste, la producción europea es apenas 12.2% del volumen, Asia ha crecido considerablemente, liderada por China, con un estimado de 18.9% de plantaciones globales; sin embargo, los volúmenes de producción siguen siendo bajos, estimados en 5.6% del volumen total, la producción en otras regiones del mundo es comparativamente insignificante.

Producción y consumo en México

Hasta hace una década, el arándano carecía de importancia nacional, sin embargo, ha cobrado relevancia; según los datos de IBO (Brazelton *et al.*, 2017), México figura dentro de los diez principales productores de arándano en el mundo, dichas cifras también se ven reflejadas en los datos nacionales. De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2017), la producción en 2016 se estimó en 29 067 t, cuya producción se concentró en los estados de Jalisco, Michoacán y Sinaloa, que en conjunto representó 83% de la producción nacional; otros estados con menor participación fueron Colima, Baja California, Puebla, Estado de México, Sonora y Guanajuato. La balanza comercial del cultivo se inclinó hacia la exportación con 99% de la producción, de la cual 97.3% tuvo como destino los Estados Unidos de América (EU). La producción se concentra en invierno, en los meses de octubre a marzo, cuando el mercado estadounidense es incapaz de satisfacer la demanda. Pese a los

incrementos en la producción y disponibilidad de este producto, el consumo per cápita en México es apenas de 100 g (SIAP, 2017).

Taxonomía

El arándano azul es un fruto azul del orden Ericales y familia Ericaceae, la cual comprende plantas arbustivas mayormente leñosas que crecen naturalmente en suelos ácidos, pertenece a la subfamilia Vaccinioideae, al género *Vaccinium* y al subgénero *Cyanococcus* (del griego *cyano* 'azul' y *coccus* 'baya') (Gough, 1994).

La mayoría de la producción proviene de cultivares originados de cruza entre el arándano arbusto alto (*highbush blueberry*) *Vaccinium corymbosum* L., *Vaccinium ashei* Reade (*rabbiteye blueberry* sin. *Vaccinium virgatum* Ait), y el arándano silvestre *Vaccinium angustifolium* Ait, arbusto de porte bajo (*lowbush*). Los cultivares de arbusto alto son clasificados en arándanos del norte y arándanos del sur, dependiendo de sus requerimientos de horas frío (Retamales y Hancock, 2012).

Características anatómicas

El arándano azul es un arbusto erguido y rizomatoso de muchos tallos. La mayoría crece de 1.5 a 3.0 m. Tiene hojas simples, enteras y dentadas dispuestas alternadamente en el tallo, su forma puede ser elíptica, de espátula, ovalada u oblanceolada. La mayoría de los arbustos altos son caducifolios, sin embargo, las variedades de bajo requerimiento de horas frío son perenes (Retamales y Hancock, 2012). Tiene raíces gruesas que miden aproximadamente 11 mm, las cuales sirven como anclaje, y raíces finas de sólo 50 µm de diámetro. Ambos tipos de raíces son responsables de la absorción de nutrimentos. Sus ramas son semileñosas que soportan los brotes florales y las hojas de la planta, además proveen la conducción entre las hojas y las raíces; a las ramas viejas se les denomina *cañas* (Gough, 1994).

La inflorescencia del arándano es un racimo cuya estructura en la floración consiste en una corola blanca o rosa, compuesta de cinco pétalos fusionados, cinco sépalos fusionados que forman el cáliz, de ocho a diez estambres y un solo estilo, todo fusionado en un ovario interior. Su fruto es una baya verdadera pentaloculada, resultante de la maduración del ovario interior. El pericarpio está cubierto por una capa cerosa; la flor está fusionada con otro tejido que contiene clorofila. El límite entre estas partes del ovario solamente se puede distinguir por el examen histológico. El fruto maduro varía de oblato a esférico de coloración desde el blanco, al azul claro a negro y rojo; hay bayas desde muy pequeñas a mayores de 2.5 cm de diámetro (Gough, 1994).

Requerimientos climáticos

El arándano de arbusto alto se cultiva en una amplia variedad de climas con veranos suaves y húmedos, e inviernos muy fríos; veranos suaves y húmedos, e inviernos moderados; veranos cálidos y húmedos, e inviernos suaves, y veranos cálidos y secos, e inviernos suaves (Retamales y Hancock, 2012).

Usualmente, los arándanos tienen un requerimiento de horas frío por encima de las 450; sin embargo, con el mejoramiento a través de la selección se han desarrollado variedades para climas más cálidos, conocidas como *siempre verdes* (Undurraga y Vargas, 2013).

Requerimientos edafológicos

Los arándanos prefieren suelos ligeros, ácidos y con un alto contenido de materia orgánica, así como con buena capacidad de retención de humedad (CRH) (Coville, 1910; Korcak *et al.*, 1982). La acidez óptima va desde pH 4.5 a 5.1 (Hayden, 2001); sin embargo, Steiner (1968) menciona que las Ericaceae pueden crecer bien hasta pH = 7 mientras no existan niveles altos de calcio, ya que en realidad estas plantas son calcífugas y no acidófilas.

Las plantas calcífugas son típicas de suelos pobres en Ca y la concentración intracelular de Ca es muy baja. Los metales como el Fe y Cu son menos solubles en suelos alcalinos que en suelos ácidos, lo que impide que en suelos calcáreos se desarrollen plantas calcífugas. Al no poder utilizar el Fe que en estos suelos se encuentra escasamente disponible, se provoca intensas clorosis que no se manifiestan en plantas calcícolas (Azcon-Bieto y Talón, 2008).

De acuerdo con Eck (1988), los suelos ligeros con alto contenido de arena son los mejores para la producción de arándanos, aunque los suelos organogénicos y los que tienen bajo contenido de arenas combinados con uno de buena estructura también pueden usarse.

1.2.2. Cultivar Biloxi

El cultivar Biloxi es un tetraploide de los arbustos altos del sur, desarrollado y lanzado por el Servicio de Investigación Agrícola de los programas de mejoramiento del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Spiers *et al.*, 2002) (Figura 1). El arándano originario de Mississippi es un cultivar precoz con requerimientos menores de 500 horas frío, que puede adaptarse a manejos perenes en climas de inviernos frescos. Su crecimiento es arbustivo y tupido con alto vigor y productividad. Sus frutos son de tamaño pequeño a mediano, de color azul claro, muy firme y de buen sabor. Afamado en México como cultivar perene (Retamales y Hancock, 2012).

De acuerdo con la compañía Fall Creek (2015), este cultivar ha llegado a ser la variedad principal para uso en zonas como México y Perú, debido a sus hojas fuertemente perenes, floración de vástagos vegetativos y poco desgarre del fruto durante la cosecha; es vigoroso y produce buenos rendimientos. Sin embargo, una de sus limitantes es que el calibre de la fruta disminuye cuando las condiciones de polinización no son adecuadas.

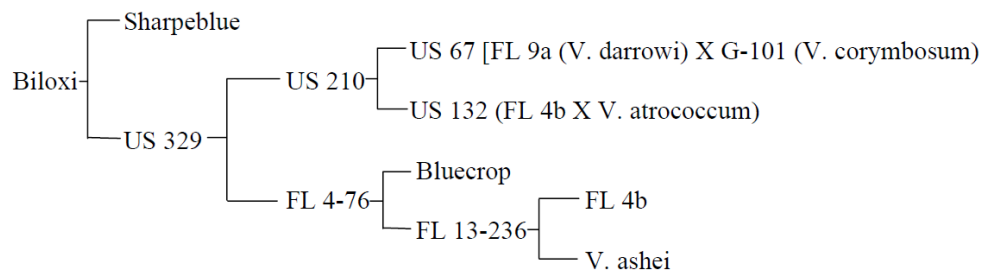


Figura 1. Filogenia del arándano azul cv. Biloxi (Spiers *et al.*, 2002)

1.2.3. Crecimiento y desarrollo vegetal

El desarrollo comprende dos procesos básicos: crecimiento y diferenciación. El término *crecimiento* denota los cambios cuantitativos que tienen lugar durante el desarrollo, mientras que *diferenciación* se refiere a los cambios cualitativos (Azcon-Bieto y Talón, 2008).

Desde que germina la semilla y conforme la planta va creciendo, sus células se dividen y multiplican, para luego expandirse; el efecto es que la planta aumenta en tamaño y peso: crece. El crecimiento bajo este concepto restringido es el aumento en la masa de la planta y es por tanto un fenómeno cuantitativo, susceptible de medirse y expresarse como aumento en longitud o diámetro del cuerpo vegetal y aumento de peso (Rojas y Rovalo, 1985).

Cinética de crecimiento

La cinética de crecimiento de una planta sigue una curva sigmoidea, en la que se distinguen tres partes: a) periodo de corta duración en el que el crecimiento es lento, correspondiente al estado de la plántula; b) periodo central de rápido crecimiento, que corresponde al periodo vegetativo de la planta, y c) periodo final en el que el crecimiento va siendo cada vez más lento hasta hacerse nulo, corresponde a la floración y desde inicio a final de la maduración del fruto (Rojas y Rovalo, 1985).

Los índices de crecimiento evalúan cuantitativamente el crecimiento de las plantas e involucran técnicas mediante comparaciones que permiten estudiar los patrones de crecimiento vegetal (Hunt, 1978). Puede realizarse por medio del método clásico o el funcional: el primero consiste en realizar muestreos con intervalos muy largos, pero con muchas repeticiones; el segundo, por su parte, consiste en proveer datos para generar curvas, utilizando menor cantidad de repeticiones, pero de forma frecuente (Hunt, 1982).

Índices de eficiencia fisiológica

Para analizar la eficiencia fisiológica de una planta en función de parámetros de crecimiento, es necesario cuantificar el material vegetal existente de un individuo o población y cuantificar el sistema asimilador de la planta o cultivo en intervalos de tiempo sucesivos; con dichos parámetros es posible generar índices mediante los cuales se puede describir el crecimiento de las plantas y relacionar la eficiencia de asimilación y producción de materia seca (Hunt, 1978).

Algunos de los índices para calcular la eficiencia fisiológica se definen a continuación:

Tasa absoluta de crecimiento (TAC): representa la velocidad del aumento de materia seca por unidad de tiempo y se expresa en $\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$, generalmente se comporta en forma sigmoideal y la diferencia entre dos puntos consecutivos representa la tasa de crecimiento de este periodo (Hunt, 1982).

Tasa relativa de crecimiento (TRC): es la eficiencia de la planta para producir nuevo material en un tiempo determinado y se expresa en $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ (Hunt, 1982). Se considera como un índice de eficiencia de producción de materia seca, el cual disminuye conforme aumenta la edad de la planta (Sivori et al., 1980).

Tasa de asimilación neta (TAN): representa el incremento neto de materia seca por unidad de área foliar por unidad de tiempo, se expresa en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$. Puede considerarse como una medida indirecta de la fotosíntesis (Hunt, 1982). Es

conocida también como la tasa foliar unitaria y se define como el incremento de material vegetal por unidad de material asimilado por unidad de tiempo (Reyes, 2012).

Índice de área foliar (IAF): expresa la relación entre la superficie de las hojas y el área de terreno ocupada por la planta ($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$) (Gardner *et al.*, 1985, citados por Romero, 2013).

1.2.4. Nutrientes para las plantas

De manera general, los nutrientes son sustancias que provienen del exterior de la célula y que ésta demanda para poder llevar a cabo satisfactoriamente sus funciones vitales; en el caso de las plantas, éstas sintetizan sus compuestos metabólicos con determinados elementos químicos que se encuentran en el medio que los rodea. Para el crecimiento normal de una planta, son considerados hasta ahora 17 elementos como esenciales, los cuales cumplen con los criterios de esencialidad establecidos por Arnon-Stout en 1939 (Alcántar y Trejo-Téllez, 2007). Éstos establecen que:

- a) Bajo la ausencia del elemento en cuestión no es posible un desarrollo normal de la planta.
- b) Los síntomas de deficiencia deben ser solventados únicamente cuando la planta es abastecida con el elemento correspondiente; el elemento en cuestión no debe ser sustituido o reemplazado totalmente por ningún otro elemento.
- c) Las funciones o su influencia sobre el metabolismo deben ser conocidas.
- d) El elemento debe tener una acción directa en la nutrición, no debe actuar a través de variaciones en el sustrato.

De acuerdo con estos criterios, los elementos indispensables para las plantas superiores son C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo, Cl y Ni. El níquel es el elemento más recientemente agregado a esta lista, ya que es indispensable para la síntesis de la enzima ureasa, que es necesaria cuando las

plantas absorben nitrógeno en forma de urea (Brown *et al.*, 1987; Gerendas *et al.*, 1999, citados por Mengel *et al.*, 2001).

La meta de la nutrición vegetal es aumentar la producción de biomasa y mejorar la calidad de los productos cosechados, que posteriormente serán utilizados como alimentos o como materias primas. Las sustancias vegetales son originadas a través del fenómeno biológico del crecimiento (Taiz y Zeiger, 2010).

Extracción de nutrimentos

La demanda de un nutrimento por un cultivo está dada por su producción de biomasa y la concentración de nutrimentos en la planta. A esta concentración se le llama *requerimiento interno* (Greenwood, 1983, citado por Aguilar, 2009).

Los datos de extracción se refieren a la cantidad de elementos que se extraen del suelo o que se acumulan en las plantas. Esta cantidad está dada por ciclo de producción o año (Anguiano y Lascars, 1998, citados por Aguilar, 2009).

Conocer la extracción de nutrimentos permite establecer programas de fertilización que se ajusten a los requerimientos nutricionales de la planta y con ello contribuir a los sistemas integrados de nutrición de plantas (Berstch, 2009).

1.2.5. Solución nutritiva

Una solución nutritiva (SN) consta de agua con oxígeno y de todos los nutrimentos esenciales en forma iónica y, eventualmente, de algunos compuestos orgánicos, tales como los quelatos de fierro y de algún otro micronutrimento que puede estar presente (Steiner, 1968). Una SN verdadera es aquella que contiene los iones químicos indicados en la solución, por lo que deben de coincidir con las que se determinen mediante el análisis químico correspondiente. Todas las plantas pueden crecer perfectamente en una solución de composición universal (Cuadro 1), mientras que para aquellas plantas que

evitan el suelo calizo (plantas calcífugas), entre las que se encuentran las Ericaceae, se debe cambiar la relación de cationes (Cuadro 1) (Steiner, 1984).

Cuadro 1. Relación porcentual entre cationes y aniones de la solución nutritiva universal de Steiner y la solución nutritiva para plantas calcífugas en la solución nutritiva (Steiner, 1968).

Solución nutritiva	Aniones			Cationes		
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	------(%)-----					
Solución universal	60	5	35	35	45	20
Solución para plantas calcífugas	60	5	35	35	20	45

El factor más importante para las plantas cultivadas en sistemas hidropónicos es la concentración total de iones, expresados como *presión osmótica*. Steiner (1984, citado por Favela *et al.*, 2006) calcula la presión osmótica de la SN multiplicando el número total de mM por el factor 0.024; por su parte, Sonnoveld y Voogt (2009) desarrollaron la ecuación para calcular la conductividad eléctrica (CE) de una SN: $CE = \Sigma \text{ de cationes} / 10$.

Hirzel-Campos (2013) menciona que la conductividad eléctrica adecuada para el arándano debe ser menor a $1.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, y Hernández (2014) señala que, como los requerimientos de fertilización son bajos en el arándano, la conductividad eléctrica debe ser menor a $1.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$.

1.2.6. Relaciones nitrato/amonio

Existe un debate acerca de la nutrición nitrogenada en el arándano, pues es sabido que en suelos ácidos los microorganismos responsables del proceso de nitrificación se encuentran considerablemente inhibidos, por lo cual este proceso se ve disminuido (Hanson, 2006). Por ello el nitrógeno se encuentra predominantemente como amonio (Havlin *et al.*, 2005).

Los arándanos absorben el nitrógeno en forma amoniacal con mayor facilidad, lo cual impacta significativamente en la nutrición nitrogenada de este cultivo (Eck *et al.*, 1990). Poonnachit y Darnell (2004) reportan que el arándano tiene una absorción predominante de amonio, que está relacionada con la actividad severamente disminuida de la enzima nitrato reductasa (NR) en raíces y hojas de los arándanos, que limita la conversión de nitratos a amonio, forma en que las plantas utilizan el nitrógeno para la síntesis de aminoácidos (Marschner, 2012).

Sin embargo, otros estudios muestran que el nitrógeno en forma de nitrato es necesario para la inducción de la enzima nitrato reductasa, pero su nivel de actividad parece depender en mayor medida del pH que de la cantidad de nitrato presente (Townsend, 1970). En un estudio en campos comerciales de arándanos en el Valle Inferior de Fraser, realizado en 2005, se midieron los niveles de nitrato en el suelo, y los resultados arrojaron niveles superiores al valor promedio de 153 kg·ha⁻¹ de N para profundidades de 0-60 cm (Kowalenko *et al.*, 2007). La evidencia de que la nitrificación ocurre a un pH de 4.37, y posiblemente a 4.14, sugiere que las comunidades de nitrificadores están activas en estas condiciones. Se demostró la selección y adaptación de linajes filogenéticos particulares de bacterias oxidantes de amoníaco (BOA) en suelos de pH bajo (Nicol *et al.*, 2008). Algunos estudios en contenedores muestran que las plantas de arándano son capaces de absorber nitrógeno en forma de amonio y nitrato; sin embargo, la afinidad por el amonio es evidente (Merhaut y Darnell, 1995).

1.3. Literatura citada

- Aguilar, S. S. (2009). *Diagnóstico nutrimental del cultivo de arándano ojo de conejo (Vaccinium ahei Reade) en Zacatlán Puebla*. (Tesis profesional, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México).
- Alcántar G., G. y Trejo-Téllez L. I. (2007). *Nutrición de cultivos*. México: Mundi-Prensa / Colegio de Postgraduados. 454 pp.
- Azcon-Bieto, J. y Talón, M. (coords.). (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed.). Barcelona, España: McGraw Hill / Universidad de Barcelona. 651 pp.
- Bertsch H., F. (2009). *Absorción de nutrimentos por los cultivos: multimedia*. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 308 pp.
- Brazelton, C., Young K. & Bauer. N. (2017). *Global Blueberry Statistics and Intelligence Report*. California, USA: International Blueberry Organization, 84 pp.
- Brown, P., Welch R. & Cary, E. (1987). Nickel: A Micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiol*, 85, 801-803.
- Coville, F. (1910). *Experiments in blueberry culture*. Washington, USA: United States Department of Agriculture / Government printing office. 100 pp.
- Eck, P. (1988). *Blueberry science*. New Brunswick, USA: Rutgers University Press. 284 pp.
- Eck, P, Gough, R. E. Hall, I. V. & Spiers, J. M. (1990). Blueberry management. En Galletta, G. J. y Himelmerick, D. G (eds.). *Small Fruit Crop Management*. Upper Sanddle River, New Jersey: Prentice Hall, 273-333.
- Ehlenfeldt, M. K. & Prior, R. L. (2001). Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) and Phenolic and Anthocyanin Concentrations in Fruit and Leaf Tissues of Highbush Blueberry (*Vaccinium section Cyanococcus* spp.). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49(10), 4761 pp.
- Favela C., E., Preciado R., P. y Benavides M., A. (2006). *Manual para la preparación de soluciones nutritivas*. Torreón, México: Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 146 pp.
- Gough, E. R. (1994). *The highbush blueberry and its management*. Binghamton, NY, USA: Food Products Press. 272 pp.
- Hanson, E. J. (2006). Nitrogen fertilization of highbush blueberry. *Acta Horticulturae*, 715, 337-351.
- Havlin, L. S., Nelson L. W. & Beaton D. J. (2005). *Soil fertility and fertilizer* (7ª ed.). New York, USA: Pearson, Prentice-Hall. 515 pp.

- Hernández H., D. (2014). *Estudio nutrimental de arándano azul (Vaccinium corymbosum L) cv. Biloxi en Los Reyes Michoacán*. (Tesis de Doctorado, Postgrado de Edafología, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, México).
- Hirzel-Campos, J. (2013). *Nutrición y fertilización del arándano, presentación para el Comité de arándanos en Chile*. Disponible en http://www.comitedearandanos.cl/web/spanish/claves/Nutriciyn_y_fertilizaciyn_del_aryAndano_ChillyAn.pdf
- Hunt, R. (1978). *Plant growth analysis*. Londres: Edward Arnold Publisher. 67 pp.
- Hunt, R. (1982). *Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis*. Londres: Edward Arnold Publisher. 242 pp.
- Hyden, A. R. (2001). *Fertilizing blueberries*. West Lafayette, IN: Purdue University Cooperative Extension Service, Department of Horticulture. Disponible en <http://www.agcom.purdue.edu/AgCom/Pubs/menu.htm>.
- Johnson, S. & Arjmandi, B. (2013). Evidence for Anticancer properties of blueberries: A mini review, *Anticancer Agents in Medical Chemistry Journal*, 3(8), 1142-1148.
- Kim, K. J. (2011). Blueberry growing comes to the national agricultural library, *Agriculture research Magazine USDA*. Disponible en <http://agresearchmag.ars.usda.gov/AR/archive/2011/May/nal0511.pdf>.
- Korcak, R. F. (1988). Nutrition of blueberry and other calcifuges. *J. Hort. Rev.*, 10, 183-227.
- Korcak, R.F., G.J. Galletta, & A. D. Draper. (1982). Response of blueberry seedlings to a range of soil types. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 107, 1153- 1160
- Kowalenko, C. G., Schmidt, O., & Hughes-Games, G. (2007). Fraser Valley soil nutrient study 2005. A report of the Canada British Columbia Environmental Farm Plan Program. BC Ministry of Agriculture. Disponible en http://www.agf.gov.bc.ca/resmgmt/soil/Soil_Publications.htm#fv_soil_nutrient_study.
- Marschner, P. (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (3ª ed.). USA: Academic Press. 651 pp.
- Mengel, K., Kirkby A., Kosegarten H., & Appel T. (2001). *Principles of plant nutrition* (5ª ed.). Dordrecht, Países Bajos: Kluwer Academics. 849 pp.
- Merhaut, D. J., & Darnell R. L. (1995). Ammonium and Nitrate Accumulation in Containerized Southern Highbush Blueberry Plants. *HortScience*, 30, 1378-1381.
- Moreno, R. M. J. (2015). *Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental de dos híbridos de chile manzano (Capsicum pubescens R&P)*. (Tesis de Maestría, Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México).

- Nicol, G. W., Leininger, S., Schleper, C., & Prosser, J. I. (2008). The influence of soil pH on the diversity, abundance and transcriptional activity of ammonia oxidizing archaea and bacteria. *Environ. Microbiol*, 10, 2966-2978.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (División de Estadística) (FAOSTAT). (2015). *Estadísticas*. Disponible en <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>
- Poonnacht, U., & Darnell R. (2004). Effect on ammonium and nitrate on ferric chelate reductase and nitrate reductase in *Vaccinium* species. *Annals of Botany*, 93, 399-405.
- Reichholf, J. H. (2008). *La invención de la agricultura; por qué el hombre se hizo sedentario*. Barcelona, España: Crítica. 275 pp.
- Retamales, J. B., & Hancock J. F. (2012). *Blueberries*, vol. 21 of Crop Production Science in Horticulture, Oxfordshire, UK: CABI. 323 pp.
- Reyes, G. C. (2012). *Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino en sistemas hidropónicos con recirculación de solución nutritiva*. (Tesis de Maestría, Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México).
- Rojas, G. M. y Rovalo, M. M. (1985). *Fisiología vegetal aplicada*. México: McGraw Hill. 262 pp.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2017). *Atlas agroalimentario 2017*. México: Autor. 231 pp.
- Sivori, M. E., Montaldi, R. E. y Caso H., O. (1980). *Fisiología vegetal*. Buenos Aires, Argentina: Hemisferio Sur. 681 pp.
- Smolarz, K., Kostusiak, A., & Mercik, S. (1995). Growth and yielding of highbush blueberry (corymbosum L.) on the plots with fertilization differentiated since 1923. *Acta Hort*, 165, 123-128.
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009). *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 432 pp.
- Spiers, J. M., Stringer, S. J., Draper, A. D., & Gupton, C. L. (2002). 'Biloxi' Southern Highbush Blueberry. *Acta Hort*, 574, 153-155.
- Steiner, A. (1968). Principales diferencias de cultivos con y sin tierra, Wageningen, Holanda, 89-90.
- Steiner, A. (1984). The Universal Nutrient Solution. Sixth International Congress on Soilless Culture, Wageningen, Holanda, 633-650.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology* (6^a ed.). USA: Sinauer Associates. 623 pp.
- Townsend, L. R. (1970). Effect of form of N and pH on Nitrate Reductase Activity in Lowbush Blueberry leaves and roots. *Can. J. Plant Sci.*, 50, 603-605.
- U.S. Highbush Blueberry Council. (2013). *Food Industry Resources*. Disponible en <http://www.blueberry.org/industry.htm>

- U.S. Highbush Blueberry Council. (2016). *Blueberry History*. Disponible en <https://www.blueberrycouncil.org/about-blueberries/history-of-blueberries/>
- Undurraga, D. P. y Vargas S. S. (2013). *Manual de arándano*, Boletín INIA N° 263. Chillán, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro Regional de Investigación Quilamapu. 120 pp. Disponible en <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR39094.pdf>

**CAPITULO II. RELACIONES NITRATO/AMONIO Y
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y SU RELACIÓN CON LA
DINÁMICA DE CRECIMIENTO EN ARÁNDANO AZUL CV. BILOXI**

RELACIONES NITRATO/AMONIO Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y SU RELACIÓN CON LA DINÁMICA DE CRECIMIENTO EN ARÁNDANO AZUL CV. BILOXI

Resumen

Con el objetivo de generar información acerca del efecto de relaciones nitrato/amonio y diferente conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre la dinámica del crecimiento y desarrollo de arándano cv. Biloxi, se evaluó la altura y diámetro de tallo, área foliar, acumulación de materia fresca y seca de hoja, tallo, raíz, flores y fruto, así como índices de eficiencia fisiológica: Tasa absoluta de crecimiento (TAC), tasa relativa de crecimiento (TRC) y tasa de asimilación neta (TAN). Se utilizó un diseño de tratamientos factorial 3×3 para generar nueve soluciones nutritivas, donde los factores de variación fueron relaciones nitrato/amonio (NAR) con niveles 50/50, 30/70 y 10/90, y conductividad eléctrica (CE) con niveles de 1.0, 1.5 y 2.0 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Las variables se evaluaron en 14 muestreos entre julio de 2016 y junio de 2017. El comportamiento de altura y diámetro de tallo de los arbustos no se vio afectado por ninguno de los tratamientos. La relación nitrato/amonio 30/70 favoreció el crecimiento de hojas. La acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta y el rendimiento de fruto fueron estadísticamente superiores para la NAR 30/70 y EC 1.5 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$. En el análisis global para los parámetros de eficiencia fisiológica no se presentaron diferencias estadísticas significativas.

Palabras clave: *Vaccinium* spp., crecimiento, soluciones nutritivas.

NITRATE/AMMONIUM RATIO AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND ITS RELATIONSHIP WITH THE DYNAMICS OF GROWTH IN BLUEBERRY CV. BILOXI

Abstract

With the aim of generating information about the growth dynamics of blueberry cv. Biloxi, We evaluated parameters such as height, diameter, accumulation of dry matter and efficiency physiological index. Nine nutritional solutions were used with two variation factors: electrical conductivity (EC) with levels of 1.0, 1.5 and 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, and nitrate/ammonium ratio (NAR): 50/50, 30/70 and 10/90. A factorial design was used, the parameters were evaluated in 14 samples between July 2016 and June 2017. The behavior of height and diameter of the materials was not affected by any of the treatments. The nitrate/ammonium ratio 30/70 favored growth in leaves. The accumulation of dry matter was statistically superior for NAR 30/70 and EC 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. The yield per plant was higher for treatments with NAR 30/70 and EC 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. In the overall analysis for the parameters of physiological efficiency, no significant changes were found.

Keywords: *Vaccinium* spp., growth rate, nutritional solutions.

2.1. Introducción

El crecimiento de una planta puede definirse como el aumento irreversible de la masa (peso) o tamaño (volumen) de la planta. El término puede aplicarse a un organismo como un todo o a cualquiera de sus partes (Decoteau, 2005). La productividad de los cultivos a menudo no se expresa en biomasa, sino en el rendimiento del producto deseado: flores, frutas, semillas, raíces, aceites, proteínas o sustancias químicas específicas (Pessarakli, 2002). El análisis de crecimiento proporciona información considerable sobre el funcionamiento de una planta como dependiente de la interacción de genotipo y el medio ambiente. Se pueden llevar a cabo diferentes evaluaciones de crecimiento, dependiendo de lo que se considere factor clave para el crecimiento (Lambers *et al.*, 2008). De manera general se reconoce al agua, la luz solar, el dióxido de carbono, el oxígeno y los elementos minerales del suelo como elementos esenciales para el crecimiento de una planta, si alguno de estos parámetros es deficiente en el ambiente o está presente en exceso, las plantas pueden estresarse e incluso morir (Jones, 1992).

La meta de la nutrición vegetal es aumentar la producción de biomasa y mejorar la calidad de los productos cosechados, que posteriormente serán utilizados como alimentos o como materias primas. Las sustancias vegetales son originadas a través del fenómeno biológico del crecimiento (Taiz y Zeiger, 2010).

El arándano azul es una planta de origen americano, de reciente domesticación, que ha adquirido gran relevancia en los últimos años debido a propiedades atribuibles a sus frutos, con gran calidad y cantidad de compuestos fenólicos, y por lo tanto una alta actividad antioxidante (Prior *et al.*, 1998). En 2016, 3 000 ha fueron cultivadas en México y, pese a que la producción ha ido en ascenso, la información pública respecto al crecimiento de las variedades de bajos requerimientos de frío es escasa. Adicionalmente, debido a sus requerimientos edafológicos particulares, aún existe debate sobre su nutrición. La expansión de este cultivo se encuentra restringido por la acidez del suelo y la salinidad, que

puede ser ocasionada por la sobrefertilización. De acuerdo con Hirzel-Campos (2011), la conductividad eléctrica adecuada para el arándano debe ser menor a $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$; por su parte, Hernández (2014) menciona que los requerimientos de fertilización son bajos en arándano y que la conductividad eléctrica debe ser menor a $1.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Por ello, es necesario explorar alternativas como el cultivo hidropónico que, además de ser una herramienta útil en la investigación, es una alternativa actualmente utilizada pero igualmente poco aplicada en la investigación para el arándano.

El conocimiento en la dinámica de crecimiento del arándano puede ser utilizado en el establecimiento de programas de fertilización, riego y manejo agronómico. Es por ello que este trabajo tuvo como objetivos determinar el efecto de diferentes relaciones nitrato/amonio y la variación en la concentración de nutrimentos en la solución nutritiva sobre el crecimiento y desarrollo de la planta, acumulación de materia seca, rendimiento de fruto, así como obtener diferentes índices de eficiencia fisiológica del arándano cv. Biloxi en condiciones de hidroponía e invernadero.

2.2. Materiales y métodos

2.2.1. Localización

El experimento se realizó entre julio de 2016 y junio de 2017 en un invernadero tipo túnel con ubicación 19° 29' 23.5" latitud N y 98° 52' 21.9" longitud W, de las instalaciones del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo.

2.2.2. Material vegetal y sustrato

Se emplearon arbustos de arándano cv. Biloxi trasplantados en contenedores plásticos de 20 L; como sustrato se utilizó una mezcla compuesta por perlita, turba y fibra de coco en partes iguales de volumen (1:1:1). El sustrato (la mezcla) presentó las siguientes características físicas: densidad aparente (DAP) 0.097 g·cm⁻³, espacio poroso total (EPT) 72.3%, capacidad de retención de humedad (CRH) y capacidad de aireación (CA) tuvieron valores 54.76 y 17.54%, respectivamente. Estos parámetros se determinaron mediante la metodología de De Boodt *et al.* (1972).

2.2.3. Tratamientos: soluciones nutritivas

Se emplearon nueve soluciones nutritivas cuyas fuentes de variación fueron conductividad eléctrica (CE) en niveles de 1.0, 1.5 y 2.0 dS·m⁻¹ y relación nitrato/amonio (NAR) 50/50, 30/70 y 10/90, el valor de pH fue 5.0 para todas las soluciones nutritivas (tratamientos). Para determinar las concentraciones de aniones se consideró la NAR y el complemento proporcional entre fosfatos y sulfatos para alcanzar 10, 12.5 y 15 meq·L⁻¹. Para cationes también se consideró la relación nitrato/amonio y la relación 35:30:35 de K:Ca:Mg, respectivamente, orientada para plantas calcífugas (Steiner, 1968) (Cuadro 2). La concentración (mg·L⁻¹) de micronutrientes en la solución nutritiva fue la siguiente: Fe 2, Mn 1, Zn 0.15, Cu 0.10 y B 0.6, la cual se utilizó para todos los tratamientos. La solución

nutritiva se suministró mediante riego por goteo, con el mismo gasto para todos los tratamientos, con una frecuencia de 4 a 6 riegos diarios dependiendo de las condiciones ambientales.

Cuadro 2. Concentración iónica de las soluciones nutritivas con diferentes relaciones nitrato/amonio y conductividad eléctrica aplicadas a arándano azul cv. Biloxi

Relación NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CE dS·m ⁻¹
	----- (meq·litro ⁻¹) -----							
50/50	3.000	0.875	6.125	3.000	2.100	2.450	2.450	1.00
30/70	1.800	1.025	7.175	4.200	1.740	2.030	2.030	1.00
10/90	0.600	1.175	8.225	5.400	1.380	1.610	1.610	1.00
50/50	4.5	1.314	9.186	4.5	3.15	3.675	3.675	1.50
30/70	2.7	1.538	10.762	6.3	2.61	3.045	3.045	1.50
10/90	0.9	1.764	12.336	8.1	2.07	2.415	2.415	1.50
50/50	6	1.75	12.25	6	4.2	4.9	4.9	2
30/70	3.6	2.05	14.35	8.4	3.48	4.06	4.06	2
10/90	1.2	2.35	16.45	10.8	2.76	3.22	3.22	2

2.2.4. Unidad y diseño experimental

Cada unidad experimental consistió en una bolsa con 20 L de sustrato y una planta; se establecieron un total de 67 plantas por tratamiento donde se realizaron 14 muestreos destructivos con tres repeticiones, con intervalos de muestreo de 15 días a partir del trasplante y hasta los 243 días al final del ciclo de cultivo. En las plantas restantes se evaluó el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento. Los análisis estadísticos se realizaron mediante análisis de varianza, utilizando un diseño factorial 3 × 3 y pruebas de comparaciones múltiples de medias, usando el método de la diferencia mínima significativa (LSD, por sus siglas en inglés), de Fisher. Todos los análisis se realizaron mediante el *software*

estadístico SAS v 9.4 (SAS, 2016). Para las variables que se evaluaron en diferentes periodos, se realizaron análisis individuales en cada uno de los muestreos y análisis combinados a través de todos los muestreos.

2.2.5. Variables evaluadas

Las variables evaluadas durante el ciclo fueron:

Diámetro de tallo (mm). Se cuantificó el diámetro de los tres tallos principales de cada planta, a 5 cm de la superficie del sustrato, con ayuda de un vernier electrónico marca Trupper.

Altura del arbusto (cm). Con regla graduada en mm se midió la altura desde la superficie del sustrato hasta el punto de crecimiento de los tres tallos principales, para establecer una altura promedio.

Área foliar (cm²). Se cuantificó el área foliar de cada planta con un integrador de área foliar LICOR modelo LI-3100C.

Peso fresco de hojas, tallos, raíz y frutos (g). Se separaron cada uno de los órganos de la planta y fueron pesados en una báscula electrónica digital marca Explorer Ohaus E1B120 con precisión de 0.01 g.

Peso seco de hojas, tallos, raíz y frutos (g). Éste se determinó después del proceso de secado, que se realizó en estufa por convección de aire forzado marca BINDER modelo BD 400 a una temperatura de 70 °C por un periodo de 72 horas, la medición se realizó en una báscula electrónica digital con precisión de 0.01 g.

Índices de eficiencia fisiológica. Con base en los datos obtenidos se calculó la tasa absoluta de crecimiento (TAC), tasa relativa de crecimiento (TRC) y tasa de asimilación neta (TAN), utilizando las siguientes ecuaciones (Hunt, 1990):

$$TAC (g \cdot día^{-1}) = \frac{PS_2 - PS_1}{T_2 - T_1}$$

$$TRC (g \cdot g^{-1} \cdot día^{-1}) = \frac{\ln(PS_2) - \ln(PS_1)}{T_2 - T_1}$$

$$TAN (mg \cdot cm^2 \cdot día^{-1}) = \frac{\frac{PS_2 - PS_1}{T_2 - T_1}}{\frac{\ln(AF_2) - \ln(AF_1)}{AF_2 - AF_1}}$$

Donde:

PS₂ y PS₁: Biomasa seca (g) de la planta al final y al inicio de un periodo determinado.

T₂ y T₁: Tiempo (días) transcurrido entre dos muestreos.

AF₂ y AF₁: Área foliar (cm²) por planta al final y al inicio del mismo periodo.

Ln: Logaritmo natural.

2.3. Resultado y discusión

En todos los análisis estadísticos realizados no se observaron interacciones entre conductividad eléctrica (CE) y relaciones nitrato/amonio (NAR), por ello el modelo utilizado y los resultados presentados indican el efecto simple de cada factor en sus distintos niveles 1.0, 1.5 y 2.0 dS·m⁻¹ de CE y 50/50, 30/70 y 10/90 de NAR.

2.3.1. Altura y diámetro

La altura presentó un comportamiento polinomial de segundo orden (Figura 2), en los primeros muestreos se registraron valores promedio entre 36.952 y 41.53 cm con un crecimiento constante hasta los 141 días donde se registró crecimiento con valores entre 81.74 y 88.75 cm; en los muestreos subsecuentes, para la mayoría de los casos hubo variación significativa, incluso con valores menores que los registrados previamente; esto podría explicarse como una detención momentánea de crecimiento en altura, por el cambio al proceso de fructificación (Cuadro 3). En las plantas perenes, el patrón es similar a las plantas anuales, pero en clima templado, el peso seco se acumula en una serie de pasos anuales vinculados a periodos de crecimiento negativo (Hunt, 1990); aunque este fenómeno no se observó en acumulación de materia seca, sí se presentó en altura de planta. Respecto a la altura promedio de los arbustos de arándano, no se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha > 0.05$) inducidas por efecto de los tratamientos, tanto para el factor de conductividad eléctrica (CE) como para el factor relación nitrato/amonio, con excepción del muestreo 5 del día 75, en el cual la relación nitrato/amonio 30/70 mostró diferencia estadística, la cual en los muestreos subsecuentes no se detectó.

En el muestreo del día 120 se observó diferencia estadística significativa en la relación 10/90, la cual tampoco fue consistente a través de los muestreos. Adicionalmente, en el análisis factorial a través de los muestreos (Anexo. Cuadro A), tampoco hubo diferencias estadísticas significativas para los efectos de cada

factor. Con lo anterior, se puede afirmar que la altura de los arbustos de arándano azul cv. Biloxi no presentó respuesta diferencial por efecto de los tratamientos.

Cuadro 3. Altura promedio del arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante

Días después del trasplante		15	30	45	60	75	90	105
		cm						
CE	1.00	40.11 a	50.07a	55.68 a	61.99 a	62.15 a	70.24 a	72.22 a
	1.50	39.02 a	48.45 a	50.81 a	64.80 a	58.79 a	70.79 a	77.70 a
	2.00	41.11 a	51.04 a	53.67 a	59.85 a	62.70 a	63.85 a	74.37 a
Relación NO ₃ /NH ₄ ⁺	50/50	41.91 a	51.30 a	53.86 a	64.04 a	61.42 ab	68.92 a	77.18 a
	30/70	36.95 a	48.20 a	51.72 a	62.38 a	64.85 a	69.59 a	77.00 a
	10/90	41.53 a	50.04 a	54.59 a	60.21 a	57.37 b	66.37 a	70.11 a
CV	(%)	11.11	10.56	11.55	9.31	11.24	10.91	8.57
DMS		4.45	5.26	6.16	5.79	6.87	7.44	6.41
Días después del trasplante		120	141	171	186	201	222	243
CE	1.00	82.44 a	84.77 a	84.14 a	82.73 a	80.66 a	78.11 a	88.37 a
	1.50	78.57 a	88.75 a	83.43 a	84.93 a	81.48 a	81.44 a	86.42 a
	2.00	78.37 a	81.74 a	83.22 a	82.42 a	80.03 a	80.77 a	79.61 a
Relación NO ₃ /NH ₄ ⁺	50/50	76.38 b	83.37 a	88.16 a	82.78 a	82.44 a	83.11 a	85.68 a
	30/70	77.99 ab	84.31 a	88.16 a	85.14 a	77.00 a	80.85 a	84.49 a
	10/90	84.77 a	87.59 a	81.46 a	82.15 a	82.74 a	76.37 a	84.23 a
CV	(%)	9.11	8.44	9.01	10.22	8.88	10.09	7.61
DMS		7.45	7.17	7.72	8.51	7.17	8.07	6.45

Nota: valores con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (LSD, $\alpha = 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

El diámetro de tallo presentó un comportamiento polinomial de segundo orden (Figura 2), similar al comportamiento de la altura de planta. Los valores registrados durante el primer muestreo se situaron entre 2.88 y 3.21 cm, que a diferencia de su expresión en altura presentaron un aumento continuo durante todo el tiempo de evaluación, pero sin presentar efecto de los factores NAR y CE; desde el inicio hasta los 105 días no se observaron diferencias significativas, las cuales se presentaron a partir del día 120 donde la CE destacó en los niveles de 1.0 y 1.5 dS·m⁻¹, además las relaciones 30/70 y 10/90 generaron mayor diámetro de tallo; sin embargo, en ambos casos no hubo relevancia posterior, ya que en los muestreos sucesivos no hubo diferencia estadística significativa. Asimismo, en el análisis realizado a través de los muestreos (Anexo. Cuadro A), la tendencia mostrada en los análisis individualizados por muestreos se mantuvo, es decir, que para ambos casos no se presentó efecto para ningún nivel de ambos factores (Cuadro 4).

Cuadro 4. Diámetro promedio de tallo en arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante

Días después del trasplante		15	30	45	60	75	90	105
		----- cm -----						
CE	1.00	3.13 a	3.76 a	4.33 a	4.77 a	4.88 a	4.74 a	5.62 a
dS·m ⁻¹	1.50	3.06 a	3.84 a	4.01 a	4.69 a	4.42 a	4.80 a	5.96 a
	2.00	3.10 a	3.89 a	4.35 a	4.50 a	4.43 a	4.70 a	6.03 a
Relación NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	50/50	3.21 a	3.76 a	4.49 a	4.63 a	4.57 a	4.49 a	5.96 a
	30/70	2.88 a	4.04 a	4.12 a	4.66 a	4.36 a	4.78 a	5.85 a
	10/90	3.20 a	3.68 a	4.08 a	4.66 a	4.80 a	4.99 a	5.80 a
CV		10.66	10.01	12.18	10.88	15.39	7.93	9.08
DMS		0.33	0.38	0.51	0.50	0.70	0.37	0.53
Días después del trasplante	120	141	171	186	201	222	243	
	1.00	6.13 ab	6.85 a	6.95 a	6.86 a	7.51 a	6.96 a	7.98 a
CE	1.50	6.99 a	7.18 a	6.86 a	7.40 a	7.35 a	7.11 a	7.52 ab
dS·m ⁻¹	2.00	5.73 b	6.83 a	6.73 a	7.33 a	8.38 a	6.82 a	7.12 b
Relación NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	50/50	5.94 b	6.76 a	6.55 a	6.98 a	7.48 a	6.58 a	7.61 a
	30/70	5.84 ab	7.08 a	6.96 a	7.13 a	7.27 a	7.05 a	7.66 a
	10/90	6.71 a	7.01 a	7.03 a	7.47 a	8.49 a	7.26 a	7.37 a
CV	(%)	9.19	12.75	7.87	10.74	14.21	13.83	8.40
DMS		0.59	0.88	0.53	0.77	1.22	0.96	0.63

Nota: valores con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (LSD, $\alpha = 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

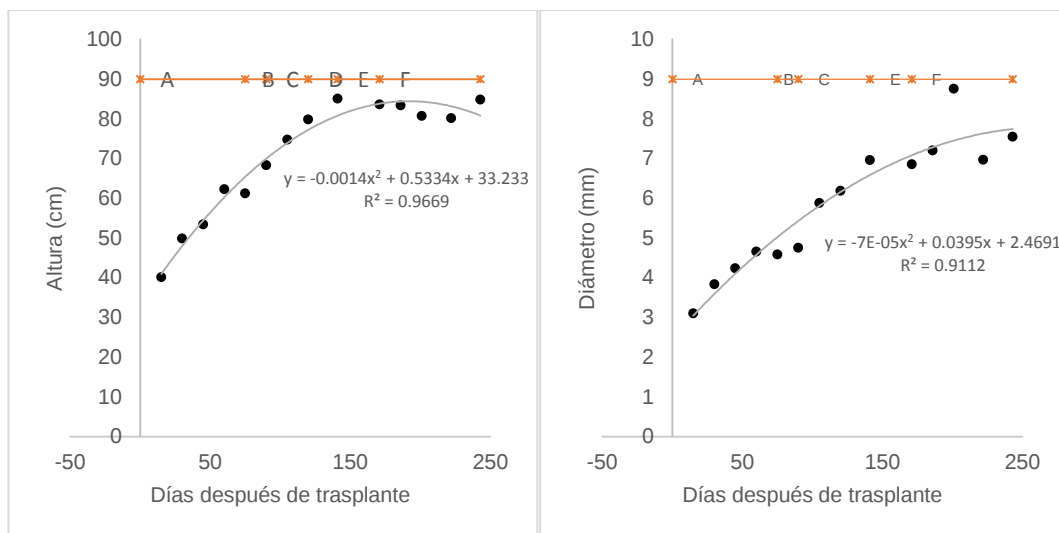


Figura 2. Dinámica de crecimiento de la altura (a) y diámetro de tallo (b) de arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponía con diferente relación nitrato amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante (A. Crecimiento vegetativo; B. Diferenciación floral; C. Antesis; D. Fase I de desarrollo de frutos; E. Fase II de desarrollo de frutos; F. Fase III de desarrollo de fruto).

2.3.2. Área foliar, acumulación de materia seca y rendimiento

El área foliar tuvo un comportamiento polinomial de tercer orden (Figura 3). Durante el primer muestreo se presentó cierta variación en los datos, que puede atribuirse a la heterogeneidad de plántula desde el vivero y también como consecuencia de la poda inicial que se realizó para homogeneizar el número de tallos en los arbustos. Los valores de esta variable se situaron entre los 1065.1 y 1331.6 $\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$; sin embargo, dicha heterogeneidad desapareció en los primeros 30 días después del trasplante, donde los valores estuvieron entre 1609.6 y 1758.3 $\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$, cuyas diferencias estadísticas no son significativas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Área foliar del arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante

Días después del trasplante		15	30	45	60	75	90	105
		cm ²						
CE	1.00	1308.2 a	1609.6 a	2087.8 a	2458.6 a	2542.5 a	2519.8 a	2534.5 b
	1.50	1298.4 a	1758.3 a	2239.2 a	2284.1 a	2645.8 a	2703.9 a	2952.8 a
	2.00	1065.1 b	1749.6 a	2155.8 a	2723.5 a	2611.5 a	2556.5 a	2733.0 ab
Relación NO ₃ /NH ₄ ⁺	50/50	1331.6 a	1613.0 a	2207.2 a	2640.9 a	2701.0 a	2637.5 ab	2692.6 a
	30/70	1156.1 a	1728.2 a	2000.1 a	2307.8 a	2705.5 a	2910.7 a	2862.7 a
	10/90	1184.0 a	1776.3 a	2275.5 a	2517.5 a	2393.2 a	2232.0 b	2665.0 a
CV	(%)	14.92	15.19	19.33	29.08	17.11	19.04	13.13
DMS		182.25	259.1	417.46	723.25	444.74	493.62	359.59
Días después del trasplante		120	141	171	186	201	222	243
CE	1.00	2628.8 a	2365.9 a	3008.8 a	2469.0 a	2914.7 a	3503.1 a	3702.8 a
	1.50	3185.5 a	2769.0 a	3258.8 a	2745.0 a	2617.3 a	3465.3 a	4519.8 a
	2.00	2874.9 ab	2258.7 a	2957.0 a	2851.3 a	3068.8 a	3236.7 a	3641.6 a
Relación NO ₃ /NH ₄ ⁺	50/50	2821.0 a	2388.0 a	2911.3 a	2662.6 a	2728.6 a	3004.6 a	3782.4 a
	30/70	3054.9 a	2366.5 a	3073.2 a	2618.1 a	3073.9 a	3641.9 a	4271.5 a
	10/90	2813.4 a	2639.1 a	3234.0 a	2784.7 a	2798.2 a	3558.7 a	3810.3 a
CV		16.34	20.89	17.13	24.82	28.66	22.47	22.51
DMS		473.21	514.74	526.25	667.48	821.24	764.12	889.75

Nota: valores con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (LSD, $\alpha = 0.05$).
DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

El área foliar no se vio influenciada en los primeros 75 días, pero en el día 90 se observó diferencia estadística significativa inducida por la NAR, en donde el nivel 30/70 presentó el valor mayor y compartió categoría con el nivel 50/50; las diferencias registradas por los tratamientos se mantuvieron hasta el muestreo del día 105, donde también hubo efecto sobresaliente de la CE de 1.5 dS·m⁻¹, que también se observó en el día 120. A partir del día 141 y hasta el final de los

muestreos, no se presentó diferencia estadística significativa provocada por efecto de la NAR ni de la CE. Sin embargo, en el análisis realizado a través de los muestreos se observó que existió diferencia estadística significativa inducida por la CE, el nivel de $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ generó los valores promedio más altos de área foliar $2745.51 \text{ cm}^2\cdot\text{planta}^{-1}$, seguido por $1.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ con una media de $2606.01 \text{ cm}^2\cdot\text{planta}^{-1}$ y finalmente $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ con $2546.72 \text{ cm}^2\cdot\text{planta}^{-1}$ en la categoría inferior (Anexo. Cuadro A).

Respecto a la acumulación de materia seca, ésta presentó un comportamiento lineal (Figura 3), sin efecto significativo por los niveles de los tratamientos durante los primeros 90 días; sin embargo, en el muestreo realizado en el día 105 se observó diferencia estadísticamente significativa de la CE, en donde sobresalió $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ respecto a los niveles 1.0 y $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, mientras que la NAR también presentó efecto positivo en los niveles 50/50 y 30/70 (Cuadro 6).

En el día 120, la diferencia se observó para $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y NAR 10/90; en la evaluación del día 150 hubo efecto únicamente para NAR de 10/90 y 30/70, que fueron categorías superiores a la relación 50/50. En el muestreo final, a los 223 días se registró efecto estadísticamente significativo para ambos factores, donde las categorías sobresalientes fueron $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y 30/70 (Cuadro 6).

En el análisis realizado a través de los muestreos para esta variable, se observó que existe diferencia estadística significativa respecto a la acumulación de materia seca ($\alpha = 0.05$) en ambos factores, en el caso de NAR, las relaciones 30/70 y 10/90 presentaron las medias más altas, mientras que la CE de $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ registró el valor significativamente más alto (Anexo. Cuadro A).

Cuadro 6. Acumulación de materia seca del arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponía con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante

Días después del trasplante		15	30	45	60	75	90	105
		----- g. -----						
CE	1.00	14.49 a	19.05 a	28.14 a	33.24 a	44.62 a	52.56 a	63.13 b
dS·m ⁻¹	1.50	16.82 a	20.45 a	28.82 a	36.54 a	45.72 a	59.22 a	68.28 a
	2.00	14.49 a	21.37 a	28.16 a	38.22 a	46.69 a	57.50 a	62.67 b
Relación NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	50/50	19.43 a	19.43 a	29.12 a	36.40 a	47.42 a	57.75 a	66.90 a
	30/70	21.53 a	21.53 a	28.17 a	36.39 a	45.59 a	59.70 a	66.95 a
	10/90	15.22 a	19.90 a	27.84 a	35.21 a	44.02 a	51.834 a	60.16 b
CV	(%)	18.78	17.74	13.59	18.60	16.79	15.22	6.05
DMS		2.87	3.59	3.85	6.69	7.66	8.58	3.91
Días después del trasplante		120	141	171	186	201	222	243
CE	1.00	76.77 b	99.50 a	110.48 a	114.5 a	134.77 a	126.81 a	168.48 ab
dS·m ⁻¹	1.50	84.83 ab	105.80 a	120.8 a	128.2 a	125.72 a	141.15 a	175.29 a
	2.00	87.26 a	87.53 a	108.48 a	122.9 a	127.48 a	135.10 a	151.08 b
Relación NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	50/50	77.88 b	92.95 a	100.84 b	122.7 a	122.09 a	123.44 a	164.40 ab
	30/70	82.20 ab	98.27 a	118.93 a	120.9 a	128.43 a	143.54 a	180.03 a
	10/90	88.77 a	101.62 a	119.37 a	121.9 a	137.44 a	136.09 a	150.42 b
CV	(%)	11.96	11.53	14.80	14.06	19.27	15.82	13.90
DMS		9.91	11.25	16.72	17.13	24.90	21.24	22.92

Nota: valores con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (LSD, $\alpha = 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

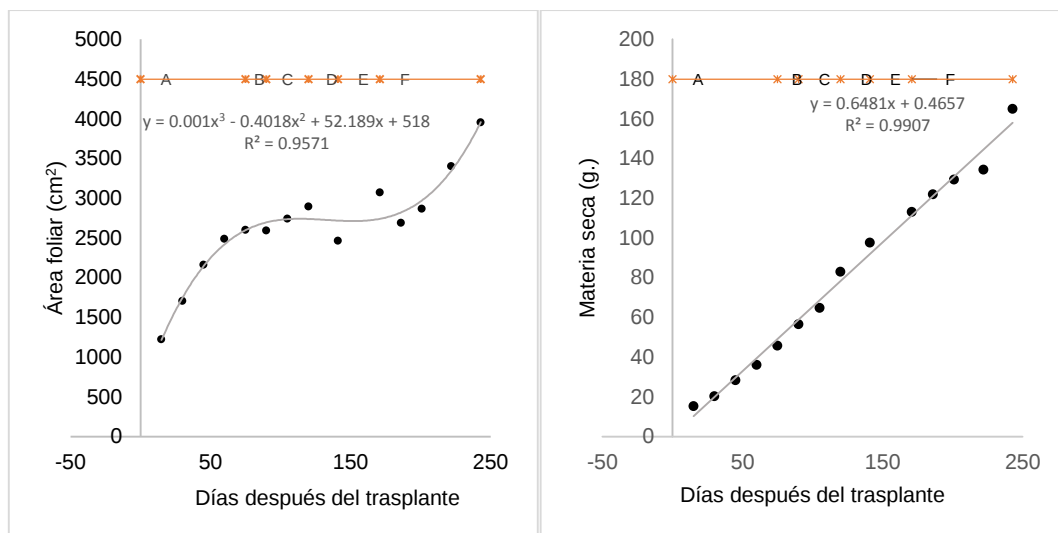


Figura 3. Dinámica de crecimiento del área foliar (a) y acumulación de materia seca (b) de arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 223 días después del trasplante (A: Crecimiento vegetativo; B: Diferenciación floral; C: Anthesis; D: Fase I de desarrollo de frutos; E: Fase II de desarrollo de frutos; F: Fase III de desarrollo de fruto).

Para la variable de rendimiento de fruto, se registraron valores entre 308.61 y 353 g·planta⁻¹, estas cantidades cosechadas son las que se registraron hasta el día 300 después del trasplante. El rendimiento se vio significativamente afectado tanto por la CE como por la NAR, la CE 1.5 dS·m⁻¹ y las NAR 30/70 y 10/90 presentaron los mayores valores de rendimiento (Cuadro 7).

Cuadro 7. Acumulación de materia seca y rendimiento de fruto en arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, a los 300 días después del trasplante

Factor		Acumulación de materia seca	Rendimiento de fruto
		----- g.planta ⁻¹ -----	
CE dS·m ⁻¹	1.00	77.61 b	308.61 b
	1.50	82.64 a	353.51 a
	2.00	77.79 b	344.33 ab
Relación NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	50/50	76.99 b	276.99 b
	30/70	81.78 a	376.00 a
	10/90	79.27 ab	345.89 a
CV	(%)	17.68	31.50
DMS		4.16	37.03

Nota: valores con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (LSD, $\alpha = 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

De acuerdo con los datos del Cuadro 6 y el Cuadro 7, el área foliar fue estadísticamente superior para la CE de 1.5 dS·m⁻¹. Por lo tanto, se infiere que la diferencia en el área foliar fue especialmente importante en los resultados de acumulación de materia seca y rendimiento de fruto. En árboles frutales, la producción de fotoasimilados aumenta rápidamente con la expansión de las hojas, alcanzando valores máximos pocos días después de que éstas desarrollen su máxima superficie; la escasa capacidad fotosintética de las hojas jóvenes es consecuencia de la inmadurez de sus estomas, aunado al bajo contenido en nitrógeno (Agustí, 2010). En general, las plantas bajo estrés osmótico (sequía o salinidad) ajustan su área foliar a través de un menor crecimiento y/o la abscisión de las hojas para mejorar su resistencia a estas condiciones adversas (Taiz y Zeiger, 2010). Existe una estrecha relación entre la acumulación de carbohidratos

y el rendimiento, por ello los factores que puedan incidir en la fotosíntesis tendrán impacto en el rendimiento (Machner, 2012).

Se observa una relación entre el desarrollo del área foliar y la acumulación de materia seca a los 105 y 120 días, periodo en el que se dio la fase I del crecimiento de fruto, que, de acuerdo con Godoy *et al.* (2008) y Darnell *et al.* (2006), el arándano presenta un comportamiento doble sigmoideal durante la fase I del crecimiento de fruto, caracterizada por una rápida división celular y alta ganancia en el peso seco. Por su parte, Agustí (2010) menciona que entre la fase I y II el fruto alcanzará hasta 80% de su tamaño, adicionalmente resalta el papel crucial de las hojas durante el cuajado, ya que éstas son una fuente de exportación de fotosintatos al fruto (2008). La eliminación de hojas al inicio de la fase I de división celular provoca abscisión de los frutos o una disminución en el tamaño de fruto. Todos los aspectos antes mencionados podrían explicar las diferencias observadas respecto a la acumulación de materia seca y rendimiento de fruto.

Israeli y Lahav (1985) mencionan que la producción y utilización de carbohidratos están íntimamente relacionadas con el área foliar del árbol y su eficiencia fotosintética. En la producción de plátano se ha encontrado que, cuando hay una reducción del área foliar durante la emergencia del racimo floral, se afecta el tamaño final de los frutos, por lo que entre menor sea el follaje disponible mayor será el efecto negativo; también se reportó que, cuando la reducción del área foliar es anterior o posterior a la emergencia del racimo, el efecto negativo es menor, lo que sugiere que existe un periodo crítico en la demanda de fotosintatos.

La CE en los niveles de 1.0 y 2.0 dS·m⁻¹ generó menor desarrollo foliar y menor acumulación de biomasa en etapas críticas (Cuadro 5). El efecto de la CE quizás generó un efecto de salinidad, que pudo repercutir en la capacidad fotosintética debido a que se ha relacionado el aumento en la concentración de sales con la reducción del potencial hídrico, que dificulta la absorción de agua y, por consiguiente, debe ser absorbida junto con los nutrimentos a través de un

transporte activo que implica consumo de energía, el cual se traduce en una reducción del desarrollo y la producción (Agustí, 2010). Salgado *et al.* (2017) mostraron que el potencial osmótico de la solución nutritiva tuvo un efecto negativo en el desarrollo vegetativo y reproductivo de las plantas de arándano.

En tanto que la CE de $1.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ presentó en su conjunto los menores niveles de nitrógeno amoniacal. Después del carbono, el nitrógeno es el elemento requerido en mayor cantidad por las plantas: entre 1 y 5% de la materia seca total de la planta consiste en N, debido a que es un constituyente integral de las proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas, fitohormonas y metabolitos secundarios, por lo tanto, la disponibilidad de N para las raíces es un factor decisivo para el crecimiento de la planta (Marschner, 2012). El menor contenido de nitrógeno amoniacal en las soluciones podría reflejar una menor concentración de nitrógeno disponible para las plantas con los tratamientos de CE $1.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, debido a que los arándanos aprovechan en mayor proporción el NH_4^+ que el NO_3^- (Eck *et al.*, 1990). Pese a que se ha evidenciado que el arándano puede absorber el nitrógeno en forma de NO_3^- , la velocidad de absorción es dos a nueve veces más lenta respecto al NH_4^+ (Merhaut y Darnell, 1995). Adicionalmente, se ha documentado que la enzima nitrato-reductasa en *Vaccinium corymbosum* se encuentra en menores cantidades respecto a *Vaccinium arboretum*, y la actividad de esta enzima en ambas especies es considerablemente menor que en otras especies frutales, como *Mallus x domestica* Borkh y *Fragaria x annanassa* Duch. (Darnell y Hiss, 2006).

Tanto Fageria (2009) como Barker y Pilmeam (2015) resaltan la importancia y la relación directa del suministro de nitrógeno en los rendimientos de los cultivos. Desde esta perspectiva, la relación 10/90 y 30/70 aportaron mayor cantidad de nitrógeno asimilable (NH_4^+) para arándano, y estadísticamente dieron los mismos resultados, aunque numéricamente el rendimiento fue ligeramente superior en la relación 30/70. La restricción en la absorción de otros cationes, como K, Ca y Mg, también pudo ser un factor que influyó en la respuesta del arándano; al respecto, Megel y Kirky (2001), Marschner (2012), Barker y Pilmeam (2015) indican que,

cuando las plantas son nutridas con sólo NO_3^- como fuente de N, las concentraciones de cationes y aniones orgánicos en las plantas son mayores que cuando son alimentadas únicamente con NH_4^+ . Mismo efecto que se presentó en el trabajo de Crisóstomo-Crisóstomo con arándano (2014).

Otro proceso que pudo inducir una diferencia en rendimientos es que el exceso de amonio puede generar una acidificación extrema de pH y mayor incremento de la salinidad. Se ha demostrado que la nutrición exclusiva con NH_4^+ conduce a una disminución del pH, porque el H^+ extruido al medio nutritivo por las bombas plasmáticas H^+ no se recicla al citosol mediante el cotransporte usual H^+/NO_3^- . Esta disminución del pH por la nutrición con amonio es particularmente evidente en los cultivos con soluciones nutritivas que carecen de capacidad buffer de H^+ (Fageria, 2008; Breteler y Smit, 1974).

Por todo lo antes mencionado es que los tratamientos que presentaron mayor desarrollo de área foliar y acumulación de materia seca produjeron los mayores rendimientos, los cuales se obtuvieron con la relación nitrato/amonio de 30/70 con CE de $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

2.3.3. Desarrollo del fruto

El desarrollo de los frutos de arándano presenta una curva doble sigmoideal (Retamales y Hancock, 2012; Darnell, 2006). En ellas se distinguen tres fases, una caracterizada por la proliferación celular (fase I), seguida de un periodo de engrosamiento celular o expansión celular (fase II) y un periodo final en el que el crecimiento de fruto prácticamente se detiene (fase III).

De acuerdo con los datos colectados en campo y la distribución de materia seca, se determinó que el periodo de crecimiento vegetativo se manifestó desde el día 1 hasta aproximadamente el día 75 (A), después del trasplante (Figura 4), seguido de la fase de diferenciación floral que se presentó de los 75 a 90 días (B); entre los 90 y 120 días se dio la fase de plena floración (C), seguida de las tres fases de desarrollo de frutos, la fase I entre los 120 y 141 días (D), mientras

que la fase II se presentó de los 141 a 171 días (E), y la fase III se presentó entre el día 171 y 243 días después del trasplante (F) (Figura 4).

En arándanos, la fase I dura entre 25 y 35 días; la fase II de 30 a 40 días, y la fase III es la que más varía, dependiendo del cultivar y el ambiente, va de 30 hasta 135 días; para el caso de Southern Highbush, como lo es el cultivar Biloxi, el tiempo va de 55 a 60 días (Darnell, 2006).

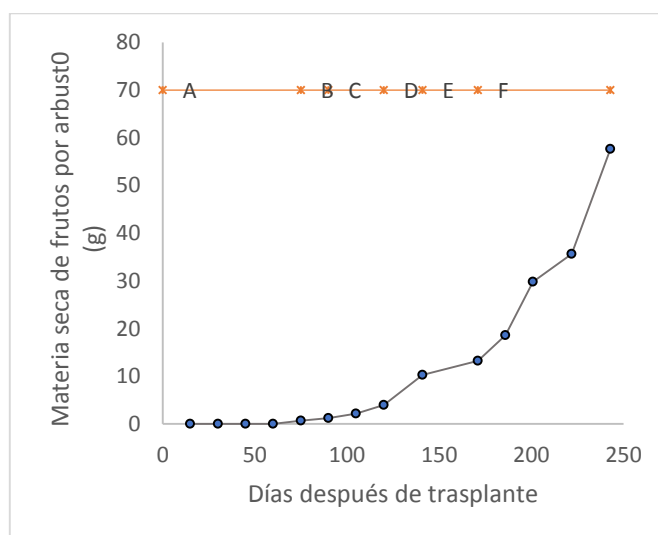


Figura 4. Crecimiento y desarrollo de fruto de arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, durante un ciclo de 223 días (A: Crecimiento vegetativo; B: Diferenciación floral; C: Floración; D: Desarrollo de frutos fase I; E: Desarrollo de fruto fase II; F: Desarrollo de fruto fase III).

2.3.4. Índices de eficiencia fisiológica

Tasa absoluta de crecimiento (TAC)

La tasa absoluta de crecimiento representa la velocidad del incremento de biomasa por unidad de tiempo, es un índice importante para cuantificar la fuerza de demanda de cualquier órgano de la planta, el cual se expresa en $\text{g} \cdot \text{día}^{-1}$. La TAC presentó un comportamiento polinómico de quinto orden (Figura 5); en el análisis de los valores para esta variable se observaron diferencias estadísticas

significativas en el muestreo del día 30, donde la relación 30/70 fue sobresaliente; en el muestreo del día 120 hubo diferencia estadística significativa, donde la CE de 2.0 dS·m⁻¹ y NAR 10/90 tuvieron los mayores valores. En los muestreos del día 141 y 186 sólo hubo respuesta para el factor CE, donde el nivel 1.0 dS·m⁻¹ fue el superior. Mientras que en el día 201 la diferencia se presentó en el factor NAR en su nivel 50/50 (Cuadro 8).

Cuadro 8. Valores de la tasa absoluta de crecimiento del arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante

Días después del trasplante		15	30	45	60	75	90	105
		<i>g · día⁻¹</i>						
CE	1.00	0.212 a	0.304 a	0.606 a	0.362 a	0.791 a	0.496 a	0.704 a
	1.50	0.367 a	0.242 a	0.557 a	0.514 a	0.612 a	0.900 a	0.603 a
	2.00	0.216 a	0.454 a	0.453 a	0.670 a	0.564 a	0.720 a	0.344 a
Relación NO ₃ /NH ₄ ⁺	50/50	0.338 a	0.203 b	0.646 a	0.507 a	0.767 a	0.656 a	0.614 a
	30/70	0.196 a	0.485 a	0.442 a	0.548 a	0.613 a	0.940 a	0.483 a
	10/90	0.261 a	0.311 ab	0.528 a	0.491 a	0.587 a	0.520 a	0.555 a
CV	(%)	65.68	71.81	61.39	74.10	85.49	63.09	101.27
DMS		0.1742	0.2393	0.3307	0.3820	0.5604	0.4950	0.5577
Días después del trasplante		120	141	171	186	201	222	243
CE	1.00	0.9093 b	1.5156 a	0.7315 a	0.2681 a	1.3513 a	- 0.379 a	1.9843 a
	1.50	1.1034 ab	1.3984 a	0.9578 a	0.5353 a	-0.1656 b	0.7349 a	1.6256 ab
	2.00	1.6392 a	0.0181 b	1.3963 a	0.9671 a	0.2996 b	0.3628 a	0.7608 b
Relación NO ₃ /NH ₄ ⁺	50/50	0.7272 b	1.0049 a	0.5254 a	1.4616 a	-0.0446 a	0.0640 a	1.9508 a
	30/70	1.0172 b	1.0710 a	1.3771 a	0.1368 b	0.4969 a	0.7192 a	1.7376 a
	10/90	1.9076 a	0.8563 a	1.1830 a	0.1721 b	1.0329 a	- 0.064 a	0.6824 b
CV	(%)	57.86	70.73	121.98	215.90	289.47	538.34	72.38
DMS		0.704	0.6909	1.2538	1.2733	1.4321	1.288	1.053

Nota: valores con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (LSD, α = 0.05). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

Respecto al análisis a través de los muestreos no se registró diferencia estadística significativa (Anexo. Cuadro A). Los valores iniciales de la TAC fueron de 0.196 a 0.367 g·día⁻¹, los cuales aumentaron de manera sostenida hasta el día 141 de acuerdo con la línea de tendencia (Figura 5, inciso a), y el día 120 de acuerdo con los datos numéricos (Cuadro 8); entre los días 120 y 141 se registraron los valores más altos obtenidos, entre 0.7 y 2.0 g·día⁻¹; posteriormente, la TAC disminuyó de manera paulatina hasta que alcanzó su nivel más bajo en el día 222; después, al finalizar el ciclo (día 243), hubo una importante recuperación de esta tasa (Cuadro 8).

La TAC presentó un comportamiento típico donde se observa un aumento gradual en la producción diaria de materia seca hasta llegar a valores máximos entre los días 120 y 141, siguiendo la misma línea de tendencia; posteriormente, los valores de la tasa disminuyen hasta alcanzar un punto crítico de 0.2 g·día⁻¹, valor similar al promedio observado al inicio del experimento; sin embargo, a diferencia de los cultivos anuales, esta tasa no llega a cero y muestra una recuperación importante en el último muestreo, que coincidió con dos fenómenos que explican en parte este comportamiento: la eliminación de todos los frutos debido a la cosecha final y un aumento del área foliar desde el día 171, hojas que habían alcanzado su madurez en el muestreo final (Figura 3).

Tasa relativa de crecimiento (TRC)

La tasa relativa de crecimiento representa la capacidad de generar biomasa respecto a la ya existente, es decir, la eficiencia de la planta para producir nuevo material en un intervalo de tiempo determinado (Hunt, 1990). Se registraron diferencias estadísticas significativas en los muestreos de los días 30, 120, 141, 201 y 243 (Cuadro 9). De acuerdo con Villar *et al.* (2004), valores mayores en la TRC durante las fases iniciales del crecimiento pueden repercutir en mayor acumulación de biomasa en un periodo determinado. El valor superior del muestreo en el día 30 se presentó en la relación nitrato/amonio 30/70. Respecto a los valores de los días 141, 201 y 243, las diferencias estadísticas fueron

debidas al factor CE, con los mayores valores para el nivel de $1.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, mientras que las diferencias en los días 186 y 243 fueron inducidas por NAR en el nivel 50/50. Estas diferencias podrían estar relacionadas con las presentadas en el rendimiento de fruto (Cuadro 7). Siguiendo a Agustí (2010), el incremento de la cosecha reduce el desarrollo vegetativo y radicular de manera proporcional, ya que los frutos inhiben el crecimiento vegetativo en buena medida por la reducción en el transporte de fotosintatos hacia los tejidos vegetativos, pues los frutos son los órganos más demandantes de fotoasimilados (Osone *et al.*, 2008; Martínez, 2010; Vargas-Canales *et al.*, 2014), por lo cual la dinámica de crecimiento de la planta se determina en cierta medida por la presencia de los frutos. Lo anterior también se vio reflejado en los valores de la TAC para estos mismos días y tratamientos en términos de acumulación de materia seca. Esto no indica que el crecimiento haya sido mayor en estos tratamientos, sino que, durante este periodo, la acumulación relativa fue mayor debido a una menor presencia de frutos para estos tratamientos.

Cuadro 9. Valores de la tasa relativa de crecimiento del arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante

Días después del trasplante		15	30	45	60	75	90	105
		$g \cdot g^{-1} \cdot día^{-1}$						
CE	1.00	0.0158 a	0.0184 a	0.0264 a	0.0108 a	0.0214 a	0.0128 a	0.0128 a
	1.50	0.0266 a	0.0129 a	0.0225 a	0.0164 a	0.0145 a	0.0098 a	0.0098 a
	2.00	0.0159 a	0.0259 a	0.0184 a	0.0206 a	0.0136 a	0.0064 a	0.0064 a
Relación NO_3^-/NH_4^+	50/50	0.0232 a	0.0121 b	0.0274 a	0.0151 a	0.0120 a	0.0105 a	0.0105 a
	30/70	0.0153 a	0.0272 a	0.0182 a	0.0171 a	0.0180 a	0.0081 a	0.0081 a
	10/90	0.0195 a	0.0121 ab	0.0216 a	0.0156 a	0.0104 a	0.0104 a	0.0104 a
CV	(%)	59.73	70.09	65.39	77.00	87.66	68.48	102.16
DMS		0.0116	0.0134	0.0147	0.0123	0.0145	0.0092	0.0099
		120	141	171	186	201	222	243
CE	1.00	0.0126 a	0.0176 a	0.0060 a	0.0027 a	0.0104 a	- 0.0021 a	0.0134 a
	1.50	0.0144 a	0.0145 a	0.0092 a	0.0042 a	- 0.0024 b	0.0053 a	0.0110 ab
	2.00	0.0214 a	0.0003 b	0.0135 a	0.0085 a	0.0026 ab	0.0028 a	0.0052 b
Relación NO_3^-/NH_4^+	50/50	0.0089 b	0.0128 a	0.0049 a	0.0132 a	- 0.0014 a	0.0012 a	0.0136 a
	30/70	0.0134 b	0.0112 a	0.0131 a	0.0008 b	0.0042 a	0.0052 a	0.0111 ab
	10/90	0.0260 a	0.0085 a	0.0107 a	0.0014 b	0.0079 a	- 0.0005 a	0.0048 b
CV	(%)	57.80	78.05	123.19	208.14	296.20	492.22	71.27
DMS		0.0093	0.0085	0.0118	0.0108	0.0106	0.0098	0.007

Nota: valores con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (LSD, $\alpha = 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

La TRC no mostró diferencias estadísticas significativas a través de los muestreos (Anexo. Cuadro A). Sivori *et al.* (1980) mencionan que la TRC se considera como un índice de eficiencia de producción de materia seca, que disminuye a medida que aumenta la edad de la planta, lo que se puede observar en este experimento; sin embargo, al igual que en la TAC, hubo una recuperación al final de la evaluación (Figura 5, inciso b).

Los valores iniciales de TRC estuvieron entre 0.0153 y 0.0266 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$, que disminuyeron constantemente e incluso mostraron algunos valores negativos en los muestreos de los días 201 y 222 (Cuadro 9). Coletto-Martínez (2013) y Pallardy (2008) coinciden en que, en la estructura del árbol frutal, la relación entre tejidos fotosintéticos y no fotosintéticos es más baja que en las plantas herbáceas, lo cual implica un importante gasto de energía para mantener una cantidad considerable de tejido no fotosintético. Las hojas de los arándanos azules alcanzan su máximo potencial fotosintético con su máximo crecimiento o expansión; sin embargo, la relación de intercambio de gases depende de la edad de las hojas; con la edad se reduce el potencial osmótico, su actividad y respuesta estomática a las condiciones climáticas, así como la cantidad de nitrógeno y clorofila, lo que limita su capacidad fotosintética (Agustí, 2010). Por lo anterior, es natural que la TRC tienda a disminuir con el paso del tiempo, ya que refleja el envejecimiento de las hojas, pero también el aumento y la acumulación de fotosintatos en tejidos no fotosintéticos, como el fruto y los tallos, puesto que, en la fase inicial vegetativa de un cultivo, el crecimiento está orientado a producir nuevas hojas, que de manera inicial representan una demanda, pero posteriormente una fuente (Taiz y Zeiger, 2010). En el día 243, la TRC mostró una recuperación considerable, la cual pudo deberse al crecimiento de área foliar registrado entre los días 171 y 201, que responde a la posible maduración de esas hojas.

La variabilidad de la TRC tiene relación con el tipo de planta. Villar *et al.* (2005) recopilaron trabajos en los que se reportan valores de 0.1 a 0.4 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$, para plantas herbáceas; 0.15 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$, para lianas; 0.050–0.2 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$, en árboles caducifolios, y 0.010–0.130 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$, para árboles perennifolios. En esta última categoría entraría el arándano azul cv. Biloxi, y los valores reportados son congruentes con los obtenidos.

Tasa de asimilación neta (TAN)

La TAN es entendida como la capacidad de producción de fotoasimilados a través del mecanismo fotosintético, y su distribución dentro de la planta depende de la capacidad de fijación del dióxido de carbono ambiental, así como de su partición entre los distintos órganos de la planta (Di Benedetto y Tognetti, 2016), pues se ha encontrado una relación positiva entre tasa fotosintética y TAN (Poorter y Van Der Werf, 1998). Wright *et al.* (2004) plantean que las especies con menor longevidad foliar (caducifolias) suelen presentar unas tasas altas de fotosíntesis, una concentración alta de nitrógeno en hoja y un área específica foliar elevada. En consecuencia, las especies caducifolias suelen crecer más rápidamente que las perennifolias.

La TAN mostró diferencias estadísticas en el muestreo del día 15, donde se observó efecto tanto de la relación nitrato/amonio como de la CE. Los valores mayores de la TAN se produjeron con la CE de $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y NAR de 10/90, posteriormente no se mostraron diferencias estadísticas significativas hasta el muestreo del día 171, donde la relación 30/70 fue superior (Cuadro 10). Esto podría sugerir una mayor actividad fotosintética comprendida entre este muestreo y el inmediato anterior, lo que pudo haber contribuido en las diferencias de biomasa mostradas para este factor (NAR), ya que el momento de la fase II, en conjunto con la fase I, es determinante para el desarrollo de la pulpa o tejidos comestibles (Agustí, 2010), particularmente en los frutos con un comportamiento doble sigmoide, como en el caso del arándano (Darnell, 2006).

En contraste, en el análisis realizado a través de los muestreos (Anexo. Cuadro A), no se presentaron diferencias estadísticas significativas para la TAN. Esto sugiere que de manera general no hubo diferencias entre las tasas fotosintéticas en los distintos tratamientos; sin embargo, pese a los datos calculados, sería interesante en trabajos futuros determinar por un método más directo la influencia de estos mismos tratamientos sobre la actividad fotosintética.

El comportamiento general de la TAN fue similar al de la TAC, el cual muestra una tendencia de aumento constante hasta el día 141, y después disminuye hasta alcanzar su menor valor en el día 222, para recuperarse en el día 243. Lo que podría significar que la mayor tasa de asimilación y/o fijación de carbono se dio alrededor de los 141 días después del trasplante (Figura 6), que muestra a su vez la relación que existe entre estas variables.

Cuadro 10. Valores de la tasa de asimilación neta del arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante

Días después del trasplante		15	30	45	60	75	90	105
		$mg \cdot cm^2 \cdot día^{-1}$						
CE	1.00	0.0024 b	0.0119 a	0.0347 a	0.0795 a	0.0362 a	0.0063 a	0.5898 a
	1.50	0.0728 a	0.0009 a	0.1061 a	0.0355 a	0.0169 a	0.5423 a	0.0501 a
	2.00	0.0119 ab	0.0013 a	0.0129 a	0.0728 a	0.0226 a	0.3135 a	0.0735 a
Relación NO_3^-/NH_4^+	50/50	0.0033 b	0.0019 a	0.0055 a	0.0264 a	0.0315 a	0.5689 a	0.1219 a
	30/70	0.0057 b	0.0023 a	0.1425 a	0.0656 a	0.0288 a	0.0342 a	0.2225 a
	10/90	0.0781 a	0.0094 a	0.0057 a	-0.0632 a	0.0153 a	0.2590 a	0.3690 a
CV	(%)	222.36	322.80	359.99	1818.0	155.27	325.70	270.35
DMS		0.0645	0.0148	0.1844	0.1746	0.0392	0.9353	0.6425
Días después del trasplante		120	141	171	186	201	222	243
CE	1.00	0.02257 a	0.1835 a	-0.0220 a	0.0495 a	-0.0923 a	-0.0335 a	0.7075 a
	1.50	0.0318 a	0.0781 a	0.0356 a	0.1442 a	-0.0125 a	0.0135 a	0.0099 a
	2.00	0.0535 a	0.1778 a	0.0115 a	0.3088 a	0.0311 a	0.0070 a	0.2104 a
Relación NO_3^-/NH_4^+	50/50	0.0164 a	0.0506 a	- 0.035 b	0.2886 a	-0.4364 a	-0.0055 a	0.0278 a
	30/70	0.1092 a	0.1525 a	0.0459 a	0.2014 a	0.0024 a	0.0136 a	0.3322 a
	10/90	0.1865 a	0.2364 a	0.015 ab	0.0125 a	0.0181 a	- 0.021 a	0.5678 a
CV		251.40	277.71	704.80	263.96	1125.36	1131.88	315.11
DMS		0.2613	0.4065	0.0591	0.4419	1.5593	0.0485	0.9739

Nota: valores con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (LSD, $\alpha = 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

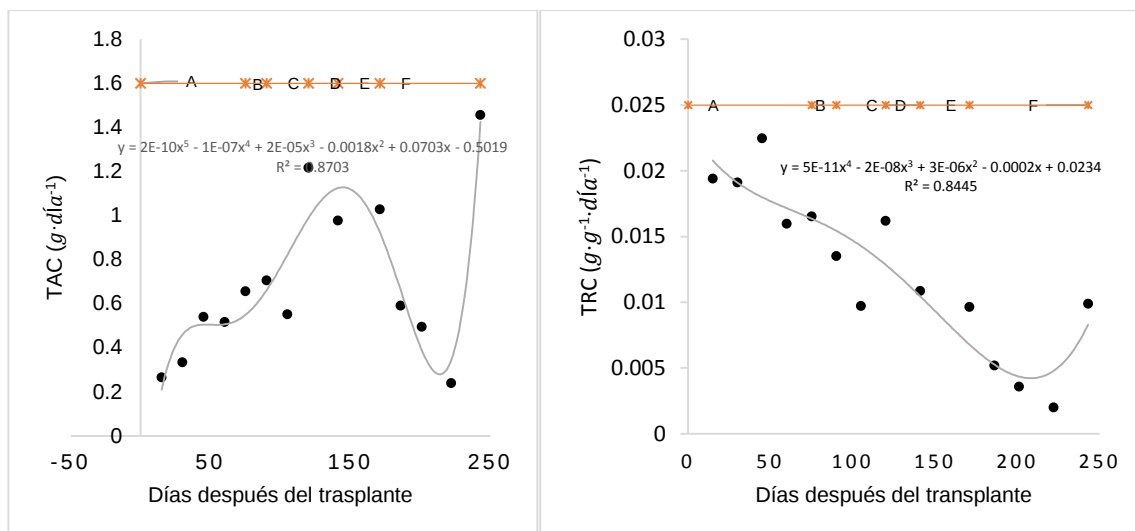


Figura 5. Tasa absoluta de crecimiento (a) y tasa relativa de crecimiento (b) en arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferentes relaciones nitrato/amonio y conductividad eléctrica, durante 223 días. (A: Crecimiento vegetativo; B: Diferenciación floral; C: Antesis; D: Fase I de desarrollo de frutos; E: Fase II de desarrollo de frutos; F: Fase III de desarrollo de frutos).

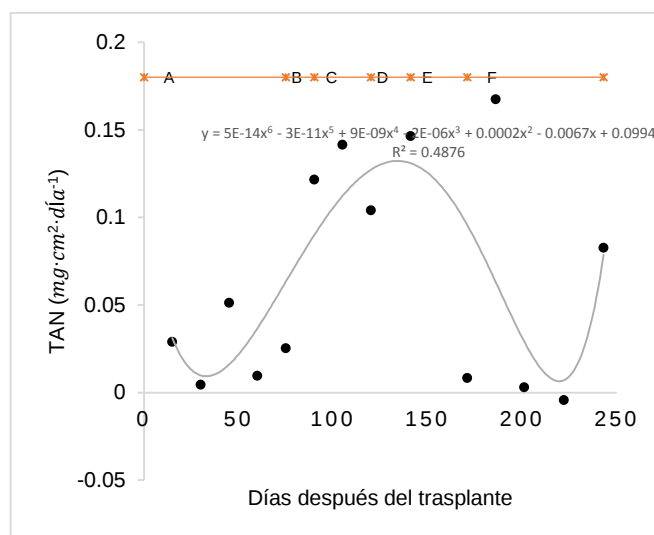


Figura 6. Tasa de acumulación neta de arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferentes relaciones nitrato/amonio y conductividad eléctrica, durante 223 días. (A: Crecimiento vegetativo; B: Diferenciación floral; C: Antesis; D: Fase I de desarrollo de frutos; E: Fase II de desarrollo de frutos; F: Fase III de desarrollo de frutos).

2.4. Conclusiones

La expresión de la altura de planta y el diámetro de tallo de arándanos no fueron afectados por las relaciones nitrato/amonio 50/50, 30/70 y 10/90, ni por la variación en la conductividad eléctrica de 1.0, 1.5 y 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en la solución nutritiva.

La conductividad eléctrica de 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ favoreció el crecimiento de hojas, mientras que la acumulación de materia seca y el rendimiento de fruto de arándano fue superior en la relación nitrato/amonio 30/70 y la conductividad eléctrica de 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

Los índices de eficiencia fisiológica, la tasa absoluta de crecimiento, la tasa relativa de crecimiento y la tasa de asimilación neta no fueron afectados por las relaciones nitrato/amonio 50/50, 30/70 y 10/90, ni por la variación en conductividad eléctrica de 1.0, 1.5 y 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en la solución nutritiva a pH 5.

2.5. Literatura citada

- Agustí M. (2008). Capítulo 26: Crecimiento y maduración del fruto. En Azcon-Bieto, J. y Talón, M. (coords.). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed.). Barcelona, España: McGraw Hill / Universidad de Barcelona. 651 pp.
- Agustí, M. (2010). *Fruticultura* (2ª ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa, 507 pp.
- Azcon-Bieto, J. y Talón, M. (coords.). (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed.). Barcelona, España: McGraw Hill / Universidad de Barcelona. 651 pp.
- Barker, A. V., & Pilbeam D. J. (2015). *Handbook of Plant Nutrition, Volume 117 of Books in soils, plants, and the environment*. London, UK: CRC Press. 632 pp.
- Boodt, M. de, Verdonk, O., & Cappaert, I. (1972). Method for measuring the water release curve in organic substrates. *Acta Horticulturae*, 37, 2054-2062.
- Breteler, H., & Smit A. L. (1974). Effect of ammonium nutrition on uptake and metabolism of nitrate in wheat. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 22, 73–81.
- Coic, Y., Lesaint, C., & Le Roux, F. (1962). Effects of ammonium and nitrate nutrition and a change of ammonium and nitrate supply on the metabolism of anions and cations in tomatoes. *Ann. Physio l. Veg*, 4(1), 17-125.
- Coleto-Martínez. J. M. (2013). Crecimiento y desarrollo de las especies frutales (2ª ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa, 168 pp.
- Darnell, R. L. (2006). Blueberry botany/enviromental physiology. En Children, N F. & Lyrene P. M (eds.). *Blueberries for Growers, Gardeners and Promoters*. Gainesville, Florida: Dr Norman F. Childers Publications, 5-13.
- Darnell, R. L., & Hiss S. A. (2006). Uptake assimilation of nitrate and iron in two *Vaccinium* species as affected by external nitrate concentration, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 131(1), 5-10.
- Decoteau, D. R. (2005). Principles of plant science: Environmental factors and technology in growing plants. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, Prentice Hall. 412 pp.
- Di Benedetto, A. y Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42(3), 258-282.
- Eck, P, Gough, R. E. Hall, I. V. & Spiers, J. M. (1990). Blueberry management. En Galletta, G. J. y Himelmerick, D. G (eds.). *Small Fruit Crop Management*. Upper Sanddle River, New Jersey: Prentice Hall, 273-333.
- Fageria, N. K. (2008). The Use of Nutrients in Crop Plants. New York, USA: CRC Press / Taylor y Francis Group. 430 pp.

- Godoy, C., Monterubbianesi, G., & Tognetti, J. (2008). Analysis of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit growth with exponential mixed models. *Scientia Horticulturae*, 115(4), 368-376.
- Hernández H., D. (2014). *Estudio nutrimental de arándano azul (Vaccinium corymbosum L.) cv. Biloxi en Los Reyes Michoacán*. (Tesis de Doctorado, Postgrado de Edafología, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, México).
- Hirzel-Campos, J. (2011). Acumulación de nutrientes en frutos de arándano. Estudio prospectivo en huerto comercial. Red agrícola. Sección Nutrición. Disponible en <http://www.redagricola.com/noticia/acumulacion-de-nutrientes-en-frutos-de-arandano>.
- Hunt, R. (1990). Plant growth curves the functional approach to plant growth analysis. Capítulo 1. USA: Cambridge University Press. 248 pp.
- Israeli, Y., & Lahav, E. (1985). Banana CRC Handbook of fruit set and Development. SP Monnselise. CRP Press, 45-73.
- Jones, H. G. (1992). *Plants and Microclimate* (2ª ed.). Cambridge, USA: Cambridge University Press, 163–263.
- Kirkby, E. A. (1968). Influence of ammonium and nitrate nutrition on the cation-anion balance and nitrogen and carbohydrate metabolism of white mustard plants grown in dilute nutrient solutions. *Soil Science*, 105(3), 133-141.
- Lambers, H. F., S. Stuart III, & T. L. Pons. (2008). Plant physiological ecology (2ª ed.). Nueva York, USA: Springer-Verlag. 604 pp.
- Marschner, P. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants. (3ª ed.). 3rd ed London Waltham, M A: Academic Press., 651 pp.
- Martínez S., D. (2010). *Colecta, caracterización, morfológica y análisis de crecimiento de chile de agua (Capsicum annuum L.)*. (Tesis de Doctorado. Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. 129 pp.).
- Mengel, K., Kirkby A., Kosegarten H., & Appel T. (2001). *Principles of plant nutrition* (5ª ed.). Dordrecht, Países Bajos: Kluwer Academics. 849 pp.
- Merhaut, D. J. & Darnell, R. L. (1995). Ammonium and nitrate accumulation in containerized southern highbush blueberry plants. *HortScience*, 30, 1378-1381.
- Osone, Y., Ishida, A., & Tateno, M. (2008). Correlation between relative growth rate and specific leaf area requires associations of specific leaf area with nitrogen absorption rate of roots. *New Phytologist*, 179(2), 417-427.
- Pallardy, Stephen G. (2008). *Physiology of woody plants* (3ª ed.). United Kingdom: Elsevier. 454 pp.
- Pessarakli, M. (2002). *Handbook of Plant and Crop Physiology* (2ª ed.). Nueva York, USA: Marcel Dekker. Inc. 973 pp.

- Poorter, H., & Van Der Werf, A. (1998). Is inherent variation in RGR determined by LAR at low irradiance and by NAR at high irradiance? A review of herbaceous species. En *Inherent variation in plant growth. Physiological mechanisms and ecological consequences*. Leiden, Países Bajos: Backhuys Publishers, 309-336.
- Prior, R. L., Cao, G., Martin, A., Sofic, E., Mcewen, J., O'brien, C., Lischner, N., Ehlenfeldt, M., Kalt, W., Krewer, G., & Mainland, M. (1998). Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity and variety of *Vaccinium* species. *J. Agric. Food Chem.*, 46, 2686-2693.
- Retamales, J. B. & Hancock J. F. (2012). *Blueberries*, vol. 21 of Crop Production Science in Horticulture, Oxfordshire, UK: CABI. 323 pp.
- Salgado-Vargas, C., Sánchez-García, P., Volke-Haller, V. y Colinas-León, M. T (2018). Respuesta agronómica de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) al estrés osmótico, *Agrociencia*, 52(2), 231-239.
- Sivori, M. E., Montaldi, R. E. y Caso H., O. (1980). *Fisiología vegetal*. Buenos Aires, Argentina: Hemisferio Sur. 681 pp.
- Steiner, A. (1968). *Principales diferencias de cultivos con y sin tierra*, Wageningen, Holanda. 89-90.
- Taiz, L., & Zeiger E. (2010). *Plant physiology* (6ª ed.). USA: Sinauer Associates. 623 pp.
- Vargas-Canales, J. M., Castillo-González, A. M., Pineda-Pineda, J., Ramírez-Arias, J. A. y Avitia-García, E. (2014). Extracción nutrimental de Jitomate (*Solanum Lycopersicum* L.) en mezclas de tezontle con aserrín nuevo y reciclado. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(1), 71-88.
- Villar, R., Marañón, T., Quero, J. L., Panadero, P., Arenas, F., & Lambers, H. (2004). Variation in growth rate of 20 Aegilops species (Poaceae) in the field: The importance of net assimilation rate or specific leaf area depends on the time scale. *Plant and Soil*, 272(1-2), 11-27.
- Villar, R., Ruiz-Robledo, J., Quero J. L., Poorter, H., Valladares, F., Marañón, F. (2005). Capítulo 7. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En Valladares, F. (coord.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (2ª ed.), Madrid, España: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. 589 pp.
- Wright, I. J., Reich, P. B., Westoby, M., Ackerly, D. D., Baruch, Z., Bongers, F., Cavender-Bares, J., Chapin, F. S., Cornelissen, J. H. C., Diemer, M., Flexas, J., Garnier, E., Groom, P. K., Gulias, J., Hikosaka, K., Lamont, B. B., Lee, T., Lee, W. Lusk, C., Midgley, J. J., Navas, M. L., Niinemets, U., Oleksyn, J., Osada, N., Poorter, H., Poot, P., Prior, L., Pyankov, V. I., Roumet, C., Thomas, S. C., Tjoelker, M. G., Veneklaas, E. J., & Villar, R. (2004). *The world-wide leaf economics spectrum*. *Nature*, 428, 821-827.

**CAPÍTULO III. EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL DE ARÁNDANO
AZUL CV. BILOXI DURANTE EL PRIMER CICLO DE CULTIVO EN
HIDROPONIA**

EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL DE ARÁNDANO AZUL CV. BILOXI DURANTE EL PRIMER CICLO DE CULTIVO EN HIDROPONIA

Resumen

La información pública acerca de la fertilización en el cultivo de arándano, especialmente para variedades perenes, es escasa, por lo anterior el objetivo de este trabajo fue determinar las tasas de absorción y extracción de nutrimentos para el cultivar Biloxi para cada órgano y la planta en su conjunto durante el primer ciclo del cultivo. Se estableció una plantación de arándano en macetas, se utilizó una solución nutritiva de pH 5, relación nitrato/amonio 30/70 y conductividad eléctrica $1.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Se determinó el peso seco para cada muestra y contenido de N, P, K, Ca, Mg, Fe y Mn para cada órgano, y se calculó la extracción total de la planta en cada muestreo. Los tallos acumularon la mayor proporción de biomasa, seguido del tejido reproductivo, sin embargo, la concentración de nutrimentos fue superior en las hojas. A los 243 días de cultivo se registró una extracción de 2.30, 0.45, 1.74, 1.77 y $0.20 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$ para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, con un rendimiento promedio de $500 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$.

Palabras clave: *Vaccinium* spp., fertilización, solución nutritiva.

NUTRIENT EXTRACTION OF SOILLESS BLUEBERRY CV. BILOXI DURING THE FIRST CYCLE

Abstract

The public information about the fertilization in the cultivation of blueberries, especially of evergreen varieties, is scarce; because of that, the objective of this work was to determine the rates of absorption and extraction of nutrients for the cultivar Biloxi, for each organ and whole plant, during its first cycle. A blueberry' plantation was established in pots, a nutrient solution of pH 5, nitrate/ammonium ratio 30/70 and electrical conductivity $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ was supply. The dry weight and N, P, K, Ca, Mg, Fe, and Mn content was determined for each sample and for each organ. With this information, total extraction was determined. The stems accumulated the highest biomass, followed by the reproductive tissue, however the highest concentration of nutrients was in the leaves, at 243 days of evaluation the extraction was $2.30, 0.45, 1.74, 1.77,$ and $0.20 \text{ g}\cdot\text{plant}^{-1}$ for N, P, K, Ca, and Mg, respectively, the average yield was $500 \text{ g}\cdot\text{plant}^{-1}$.

Keywords: *Vaccinium* spp., fertilization, nutrient solution.

3.1. Introducción

Desde el punto de vista de la agricultura sustentable, debe existir idealmente un balance entre el suministro de nutrimentos y la extracción de éstos a largo plazo (Bacon *et al.*, 1990; Heckman *et al.*, 2003). En el establecimiento de un sistema sustentable, los nutrimentos deficientes en el suelo deben suplementarse hasta alcanzar rendimientos económicamente rentables (Fageria, 2008). Los valores exactos de absorción de nutrimentos de los cultivos son componentes importantes para la planificación del manejo de nutrimentos y la producción de cultivos (Heckman *et al.*, 2003). Los estudios de demanda nutrimental contabilizan los requisitos de cosecha, la extracción total o el consumo de nutrimentos que efectúa un cultivo en particular para completar su ciclo de producción (Bertsch, 2009). Por todo lo anterior, las curvas de extracción nutrimental son una herramienta que permite la generación acertada de programas de fertilización, que proveen los nutrimentos necesarios para el óptimo desarrollo del cultivo y que, además, posibilitan la disminución de desperdicios y lixiviación de los nutrimentos que pueden generar contaminación ambiental.

Los arándanos azules son generalmente considerados sensibles a la fertilización excesiva (Smolarz y Mercick, 1989; Hanson, 2006; Ochiman *et al.*, 2008). Los requerimientos de fertilización de arándanos cultivados son relativamente pequeños si se comparan con otros cultivos (Retamales y Hancock, 2012). Hirzel-Campos (2017) advierte sobre los peligros de aplicar nutrimentos en huertos de arándano con parámetros desarrollados en otros países, que no consideran el largo periodo de poscosecha que debe soportar la fruta chilena. En el caso de México, la producción tiene sus propias características, y la distancia al país de destino principal es relativamente corta comparada con la fruta chilena; además, existen diferencias importantes, como las variedades y el ciclo ininterrumpido, por el estado perennifolio del arbusto, debido a que las temperaturas de invierno no son tan severas. En México se utilizan arbustos conocidos como *arbustos altos del sur* (Southern Highbush), cultivares que muestran mayores rendimientos y

diferente fenología que los arándanos tradicionales o arbustos altos del norte (Northern Highbush). Con lo anterior, se podría suponer que la demanda de N no sólo puede ser mayor, sino que también puede ocurrir a diferentes momentos del desarrollo de la planta. Por ello, el uso de la fertilización y las prácticas adaptadas a las variedades tradicionales en los cultivares altos del sur podrían conducir a una aplicación inadecuada e ineficiente de este nutrimento, con consecuencias económicas y ambientales negativas (Mailhol *et al.*, 2001). La fertilización inadecuada podría causar deficiencias o exceso de N en las plantas (Williamson *et al.*, 2006).

Bajo el contexto anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar las tasas de absorción y extracción de nutrimentos para el cultivar Biloxi para cada órgano y la planta en su conjunto, cultivado en hidroponía, durante el primer ciclo de cultivo.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Localización

Se estableció una plantación de arándano azul cv. Biloxi que se evaluó de julio de 2016 a junio de 2017 en un invernadero tipo túnel con ubicación 19° 29' 23.5" latitud N y 98° 52' 21.9" longitud W, en las instalaciones del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo.

3.2.2. Material vegetal, sustrato y solución nutritiva

Se utilizaron arbustos de arándano azul cv. Biloxi trasplantados en contenedores plásticos de 20 L; como sustrato se utilizó una mezcla compuesta por perlita, turba y fibra de coco en partes iguales en volumen (1:1:1). Se suministró una solución nutritiva de pH 5, relación nitrato/amonio 30/70 y conductividad eléctrica $1.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ a través de 4 a 6 riegos diarios de acuerdo con las condiciones ambientales.

3.2.3. Muestreos y variables evaluadas

Se realizaron 14 muestreos destructivos con tres repeticiones, cada uno con intervalos de 15 días a partir del trasplante y hasta los 243 días. El material colectado se separó en hojas, tallos, raíces y tejido reproductivo que se lavó con agua destilada para evitar contaminación. El material se secó en estufa por convección de aire forzado a una temperatura de 70 °C por un periodo de 72 horas, se determinó su peso y se realizó digestión húmeda con mezcla di ácida (ácido sulfúrico: ácido perclórico, 4:1 v: v) a temperaturas de 200 a 300 °C en una plancha de digestión marca Lindberg, asimismo se preparó un extracto en el cual se realizó la determinación de N, P, K, Ca y Mg.

El nitrógeno se midió por el método de micro-Kjeldahl, y el fósforo por desarrollo de color con molibdo vanadato, que se midió en un espectrofotómetro (Bauch y Lomb, modelo Spectronic 20) a 420 nanómetros (Etchevers *et al.*, 2000). El

potasio fue determinado en espectrofotómetro de flama (Flame-fotómetro de Corning, modelo 410), y el calcio y magnesio por espectrofotometría de absorción atómica (GBC, modelo Avanta) (Robledo y Maldonado, 2005).

3.3. Resultados y discusión

3.3.1. Acumulación de materia seca

Con los datos obtenidos, se realizó una estimación de la distribución relativa de la materia seca por órgano (Figura 7). Las hojas aumentaron en peso absoluto durante el ciclo de cultivo; sin embargo, en términos relativos registraron una disminución drástica de valores entre 44–50% durante los primeros 60 días, a 23–18% después de los 150 días de crecimiento del arándano. En raíz, los valores permanecieron entre 22 y 13% durante todo el ciclo de cultivo, mientras que, en tallo, los valores durante los primeros 60 días fueron de 33 a 38%, pero aumentaron hasta llegar a 45% a los 165 días, para posteriormente disminuir ligeramente y llegar a 37% al final de las evaluaciones. El tejido reproductivo comenzó a evaluarse en el día 75 con un estimado de 1.47% y aumentó progresivamente hasta alcanzar 30.1% del peso total al final de las evaluaciones (Figura 7).

El tallo y el tejido reproductivo representaron 67% de la materia seca acumulada, datos que contrastan con los obtenidos por Pescie *et al.* (2018) en los cultivares O'Nel y Star, donde las raíces representaron 50 y 65% del peso seco, y el tallo 29 y 17%, respectivamente. Esto puede deberse a la diferencia de edad de la planta, pues el arándano utilizado en esa evaluación tenía dos años; además, el experimento fue conducido en suelo, lo cual tiene diferencias importantes en el crecimiento de los diferentes órganos, en relación con el desarrollo en sustratos y contenedores. Al respecto, Evans (1980) indica que, en sistemas agrícolas altamente intensivos donde se suministra solución nutritiva a cada planta (cultivos hidropónicos de invernadero o árboles frutales con fertirriego), disminuye la necesidad de desarrollar sistemas extensivos de raíces. Los cultivares de alto rendimiento de varias especies de plantas que se han generado para cultivo intensivo ha conllevado de manera inconsciente la selección de fenotipos con sistemas radicales más pequeños, pero con mayor biomasa aérea en comparación con los materiales vegetales producidos sobre el suelo. Esta

reasignación de biomasa es ideal para sistemas de cultivo sin suelo en ambiente protegido, pero bajo condiciones naturales; especialmente en suelos pobres en nutrientes, un sistema de raíz bien desarrollado es esencial (Raviv *et al.*, 2008; Glass, 2013).

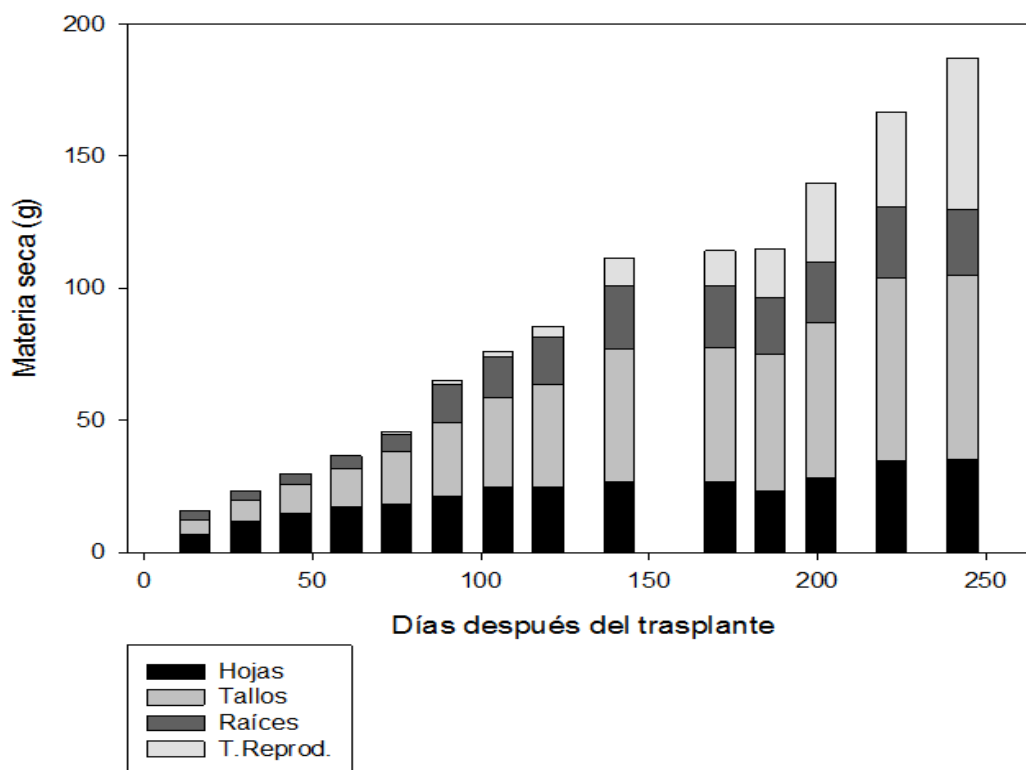


Figura 7. Distribución de materia seca por órgano durante el primer ciclo de cultivo de arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con relación nitrato/amonio 30/70 y conductividad eléctrica de $1.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, a pH 5 en la solución nutritiva

3.3.2. Nutrientes en tejido

La concentración de nutrientes en el tejido de los arándanos y su consecuente demanda nutricional es baja si se le compara con otros árboles frutales o frutillas; las concentraciones medias para los cultivos de manzana, durazno, pera y nuez pecanera se encuentran en los intervalos de 2.0-3.30, 0.25-0.30, 1.0-3.0, 1.25-2.50 y 0.40-0.50% para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente (Zoppolo y Fasiolo, 2016). Los valores de concentración de nutrientes en las hojas de arándano

obtenidos fueron de 1.70, 0.14, 1.72, 1.30 y 0.22% para N, P, K, Ca y Mg, así como 239 y 108 mg·kg⁻¹ para Mn y Fe, respectivamente (Cuadro 11).

De todos los tejidos evaluados, las hojas presentaron la mayor concentración de N, K, Ca, Mg y Fe, respecto a los demás tejidos, sin embargo, la concentración de P fue superior en raíz, mientras que la concentración de K fue superior, respecto al N, en hojas y frutos maduros.

Los arándanos son plantas reconocidas como calcífugas (Retamales y Hancock, 2012), lo que implica preferencia por suelos ácidos con un bajo contenido de calcio y mayor presencia de magnesio en el suelo. Garate y Bonilla (2008) mencionan que, en las plantas calcífugas típicas de suelos pobres en Ca, la concentración de este elemento en el tejido debería ser baja; sin embargo, en este caso las concentraciones de Ca parecen no tener relación con la concentración exterior y la típicamente considerada para este grupo de plantas. En el caso de los micronutrientes hierro y manganeso, con excepción de la raíz, todos los valores en los demás órganos fueron superiores para manganeso, lo cual es congruente con la mayor disponibilidad de Mn con relación al Fe en medios ácidos; esto explica también que en plantaciones de arándanos las deficiencias de Fe sean más comunes, mientras que las deficiencias de Mn se presentan con menor frecuencia (Retamales y Hancock, 2012).

Los valores para nitrógeno en hoja son inferiores a los reportados para las variedades O'Neal y Bluejay, pero semejantes a Brigitta y Elliott (Bañados *et al.*, 2006); en el caso de raíz, los valores para N fueron similares en todas las variedades mencionadas. En fósforo, la concentración de este cultivar fue similar a la reportada para Elliott, pero inferior a O'Neal y Bluejay. De acuerdo con diferentes trabajos (Strick, 2013; Hart *et al.*, 2006; Fuqua *et al.*, 2005; Hanson y Hancock, 1996), las concentraciones obtenidas en hoja son similares para el caso de N, P, Mg, Fe y Mn, sin embargo, los valores de Ca y K se reportaron en intervalos de 0.40-0.90% y 0.40 a 0.80%, respectivamente, los cuales distan mucho de los obtenidos en este trabajo para el cv. Biloxi en condiciones de

hidroponia. Hernández *et al.* (2014) reportaron valores promedio de concentraciones en tejido para N, P, K, Ca y Mg de 1.50, 0.19, 0.59, 0.46 y 0.26%, en arbustos de cv. Biloxi de seis años de edad en una plantación comercial en suelo.

Sin embargo, en otro estudio realizado por Pescie *et al.* (2018) para la variedad O'Neal, se reportó 1.57% de K. Por su parte, Crisóstomo-Crisóstomo *et al.* (2017) reportaron concentraciones de K que variaron entre 2 y 5%; respecto a Ca, las concentraciones fueron de 1.5 a 2%. De manera que los datos de estos autores son más cercanos a los obtenidos en este trabajo. Cabe señalar que en la investigación de Crisóstomo-Crisóstomo los arándanos también fueron cultivados en hidroponia y se utilizó el cultivar Biloxi. Según Stiles y Reid (1991), valores de potasio superiores a 0.9% en tejido pueden generar deficiencias de Ca y Mg, pero, en este caso, no se observaron deficiencias de estos nutrimentos. Lo anterior podría sugerir que, además del cultivar, el sistema de producción podría conducir a las diferencias de concentración de algunos elementos, como en el caso de K y Ca en la concentración de éstos en tejido.

En este trabajo, los valores obtenidos de concentración de K y Ca en hojas son casi tres veces mayores a los reportados en la mayoría de las investigaciones anteriormente mencionadas; este fenómeno podría atribuirse a un consumo de lujo de estos cationes. Cuando se provee de un suministro alto de un nutrimento, las tasas de absorción reflejan lo que se conoce como *absorción o consumo de lujo* (Epstein y Bloom, 2005). En las plantas cultivadas en suelo, en general, y en condiciones de campo, en particular, el entorno de la raíz está lejos de tener condiciones óptimas y es poco probable que se mantenga un suministro constante de nutrimentos a la superficie de la raíz. Mayores concentraciones externas y consumo de lujo en momentos anteriores pueden ser importantes para proporcionar una reserva para periodos de alta demanda o suministro de raíz interrumpido (Marschner, 2012).

Salvo en semillas, en condiciones de exceso de K, su consumo se incrementa, lo que podría interferir en la acumulación de Ca y Mg (Bonilla, 2008). En papa,

Wenqin *et al.* (2014) evaluaron distintas dosis de fertilización potásica y observaron que a un suministro determinado de K se alcanzaba el máximo rendimiento asociado a la absorción de K por las plantas; sin embargo, después de este punto, el consumo de K continuó sin incrementarse el rendimiento. Se concluyó que la absorción de lujo de K por las plantas de papa se produjo cuando la disponibilidad de K es alta en el medio.

Cuadro 11. Concentración de nutrimentos en diferentes órganos del arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con relación nitrato/amonio 30/70 y conductividad eléctrica 1.5 dS·m⁻¹ a pH 5.

Tejido	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
	----- (%) -----			----- mg·Kg ⁻¹ -----			
Hoja	1.70	0.14	1.72	1.30	0.22	108	239
Tallo	0.89	0.22	0.41	0.69	0.06	33	242
Raíz	1.17	0.25	0.35	0.51	0.08	173	136
Flor	1.33	0.20	0.33	0.88	0.15	78	194
Fruto	0.94	0.14	0.86	0.71	0.06	0.05	0.11
Fruto maduro	0.53	0.14	0.88	0.33	0.04	0.03	0.06

En el Cuadro 11 se muestra que la concentración de nutrimentos en flores es mayor respecto a frutos verdes y frutos maduros. La concentración de nutrimentos en la fruta presenta un comportamiento descendente desde la floración hasta la cosecha, como es normal en los frutos de la mayoría de las especies de interés agronómico (Hirzel-Campos, 2017), mientras que, en el caso del K, se muestra que la tasa de acumulación es similar durante todo el periodo de crecimiento a maduración de fruto.

La diferencia más notable entre la maduración de los frutos radica en el reblandecimiento de los tejidos y su evolución; este reblandecimiento de los frutos se debe a la solubilización gradual de las pectinas, lo que reduce la cohesión del tejido (Agustí, 2008). El Ca ocupa un papel en la formación de

pectatos cálcicos de la estructura de la pared celular (Revilla y Zarra, 2008). Resulta interesante destacar que las concentraciones de K y P permanecieron sin gran modificación entre el fruto verde y el fruto maduro, pero en el caso de N y Ca sus valores disminuyeron. Mientras el contenido de Ca en un fruto maduro disminuye, durante el desarrollo de este proceso, el potasio ayuda a estabilizar el pH e interviene en la regulación osmótica y iónica; por ello, el potasio es de suma importancia para regular el estado hídrico de las plantas y el balance catión-anión de las células (Mengel *et al.*, 2001; Marschner, 2012).

3.3.3. Absorción y extracción de nutrimentos

Para el primer ciclo de cultivo, la absorción de nutrimentos presentó un comportamiento lineal para cada uno de ellos, con una tendencia de absorción continua y estable (Figura 8). En la extracción se observó un incremento que es atribuible al aumento de la biomasa total, la cual también presentó un comportamiento lineal (Figura 7). Este crecimiento lineal ininterrumpido puede relacionarse con la conformación de estructuras de todo el arbusto que se da durante el primer ciclo, donde aún no se alcanza su máximo crecimiento, condición que requiere suministro constante de nutrimentos. A los 243 días de evaluación, se registró una extracción de 2.30, 0.45, 1.74, 1.77 y 0.20 g.planta⁻¹, para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, con un rendimiento promedio de fruto de 500 g.planta⁻¹.

En el caso de las plantaciones de arándano joven, su crecimiento vegetativo, así como su producción, se incrementa cada año; durante ese periodo, el balance entre crecimiento vegetativo y reproductivo cambia de una temporada a otra, lo cual debe ser considerado para la estimación de los requerimientos nutrimentales. Por lo tanto, las recomendaciones de fertilización deben ser basadas en la edad de los arbustos, considerando el crecimiento típico y rendimiento para cada región (Retamales y Hanckok, 2012).

En este trabajo, con la cantidad de nutrimento absorbido por la planta, se calculó de manera aproximada la extracción de nutrimentos por el arándano azul cv. Biloxi para el primer año de cultivo, y considerando el rendimiento de fruto se calculó a su vez la extracción por tonelada de fruto cosechado. Esta información puede ser utilizada para estimar las necesidades de nutrimentos en años posteriores, según la meta de rendimiento proyectada por hectárea. Con la información reportada por la SIAP (2017) de 9 t/ha como rendimiento nacional promedio, se realizó una estimación de la extracción nutrimental y quedó en el orden siguiente: $N > K > Ca > P > Mg$, que corresponden a 47, 41, 35.5, 9.5 y 3.8 $kg \cdot ha^{-1}$, respectivamente (Cuadro 12).

Acerca de la extracción calculada por tonelada cosechada, ésta es similar a las obtenidas por otros autores para N, P y Mg (Strick, 2013; Hart *et al.*, 2006; Fuqua *et al.*, 2005; Hanson y Hancock, 1996), y en algunos casos para K y Ca, los cuales pudieron ser sobreestimados, según los datos de concentración obtenidos en tejido (Cuadro 11), por lo cual deben ser tomados con cierta precisión antes de corroborar esta información en el cv. Biloxi.

Cuadro 12. Extracción nutrimental (kg/planta) para arándano azul cv. Biloxi durante el primer año de cultivo en hidroponia con relación nitrato/amonio 30/70 y conductividad eléctrica de $1.5 dS \cdot m^{-1}$ a pH 5.

Nutrimento	Planta	Hectárea	Tonelada producida ^a	Tonelada cosechada ^b	Extracción por cosecha
N (kg)	0.0052	47	5.2	1.06	20.2%
P (kg)	0.0010	9.5	1.0	0.28	26.5%
K (kg)	0.0045	41	4.5	1.76	38.7%
Ca (kg)	0.0039	35.5	3.9	0.66	16.7%
Mg (kg)	0.0004	3.8	0.43	0.08	18.5%

Nota: a. Valor de extracción que engloba todos los tejidos (hojas, tallos, raíces y frutos) para producir una tonelada de fruto. b. Sólo considera la extracción nutrimental de una tonelada de fruto.

Las dosis de fertilización reportadas en otros trabajos, especialmente en nitrógeno, son congruentes con los datos obtenidos en este experimento. Smolarz y Mercik (1989) aplicaron dosis de fertilización de 0, 50, 100 y 150 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N en suelos arenosos y obtuvieron el rendimiento máximo con 100 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; con su estudio recomiendan dosis de fertilización nitrogenada de 50-100 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. En otros trabajos, Naumann y Krüger (1985) realizaron pruebas con dosis de fertilización nitrogenada de 0, 30, 60, 90 y 120 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; el mayor rendimiento se produjo con la dosis de 30 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, y, después de 90 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, el rendimiento se vio afectado negativamente. Bryla *et al.* (2012) establecieron una plantación de arándanos con suministro de 0, 50 y 100 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, se concluyó que las plantas fertilizadas con 50 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ produjeron el mayor crecimiento, y la extracción nutrimental calculada desde la siembra hasta la primera cosecha de fruto fue de 34.8, 2.3, 12.5, 8.4 y 3.8 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, mientras que para Fe y Mn fue de 295 y 1273 $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$.

En general, las recomendaciones de suministro de nitrógeno para las distintas regiones varían de 50 a 185 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en arándano de 1 a 7 años de edad. Estas diferencias reflejan la variación en la demanda (tejido vegetativo, tejido reproductivo), la fertilidad del suelo y la eficiencia de fertilización (Retamales y Hancock, 2012). De acuerdo con Hanson y Hancock (1996), las recomendaciones de fertilización de K varían desde 18 a 83 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, considerando el contenido de K en el suelo; para el caso de P, los intervalos varían de 0 a 73 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, tomando en cuenta la concentración de éste y la naturaleza del suelo, ya sea mineral u orgánica.

En la mayoría de los trabajos realizados de extracción nutrimental en otros cultivos (Bertsh-Hernández, 2009), se ha observado una disminución en la absorción de los nutrimentos conforme las plantas se acercan a la senescencia; este comportamiento podría ser el mismo para el arándano, sin embargo, al tratarse de un arbusto perene que puede llegar a vivir cincuenta años (Minick, 2010), este fenómeno no se observa en un ciclo de cultivo y, por el contrario, la

absorción continúa en aumento (Figura 8). Esto también es distinto respecto a otras variedades de arándano, pues la mayoría de ellas presentan el fenómeno de *dormancia* (Retamales y Hancock, 2012), en la cual la absorción de nutrimentos cesa; por ello es importante continuar con los trabajos en nutrición de arándanos perennifolios o siempre verdes.

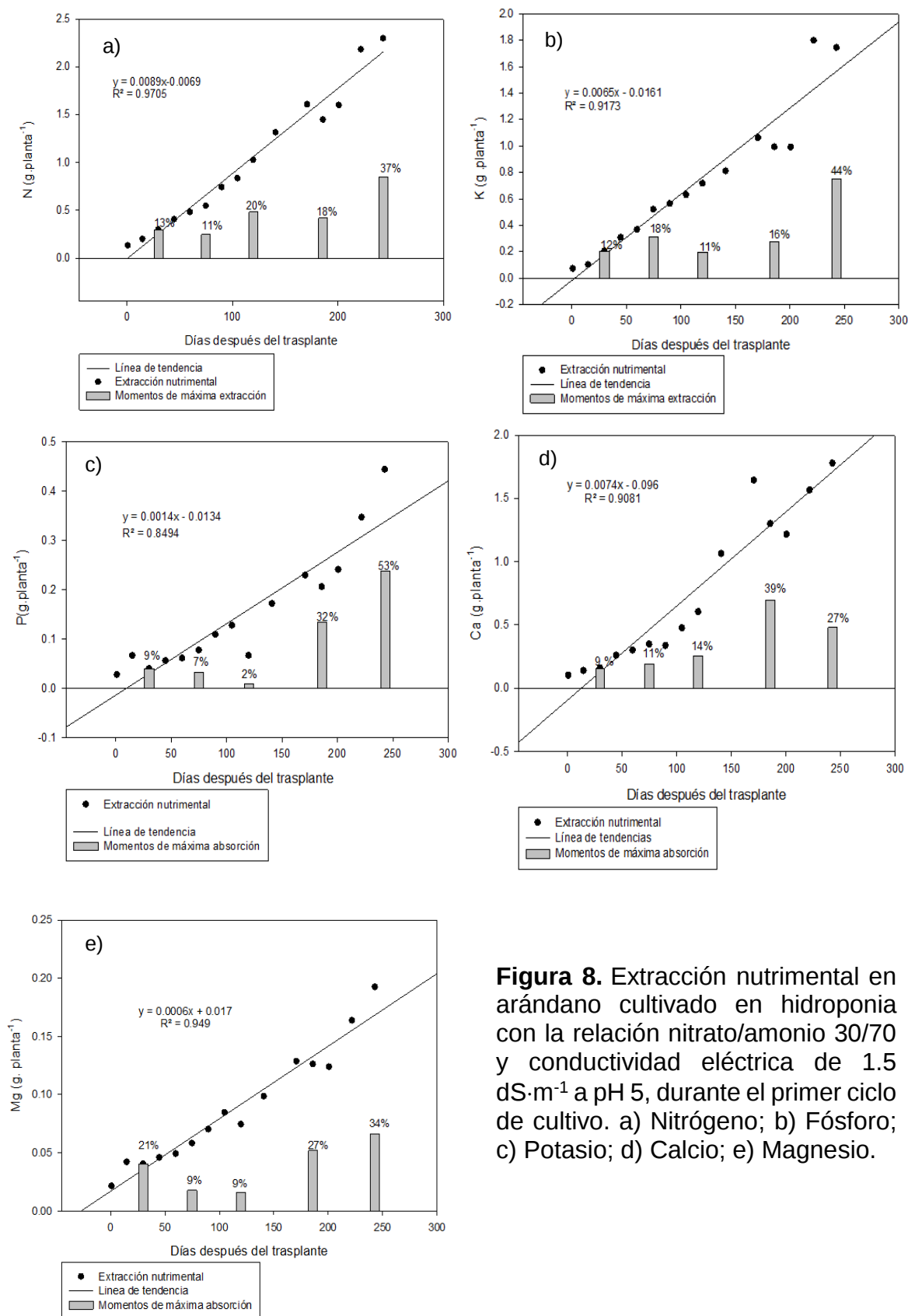


Figura 8. Extracción nutricional en arándano cultivado en hidroponía con la relación nitrato/amonio 30/70 y conductividad eléctrica de 1.5 dS·m⁻¹ a pH 5, durante el primer ciclo de cultivo. a) Nitrógeno; b) Fósforo; c) Potasio; d) Calcio; e) Magnesio.

3.3.4. Tasas de absorción de nutrimentos

La tasa de absorción de nitrógeno presentó valores de 5 a 9 mg·planta·día⁻¹, con una ligera disminución entre los días 60 y 75, que coincidió con la diferenciación floral y con un pico en la tasa de absorción en el muestreo del día 141, momento en el que se observó la mayor tasa de absorción neta (Figura 6), la cual está relacionada con la capacidad fotosintética (Di Benedetto y Tognetti, 2016). Al respecto, Agustí (2010) menciona que el nitrógeno es el nutrimento más importante en la determinación de la tasa fotosintética por unidad de superficie.

De acuerdo con la línea de tendencia se observa una ligera disminución en la absorción de nitrógeno, que corresponde a la fase II del desarrollo de fruto (Figura 8a), la cual coincidió con una disminución parcial del crecimiento foliar en los muestreos previos. Esta tendencia se extendió hasta la fase III, que corresponde a la expansión celular del fruto (Retamales y Hancock, 2012b; Darnell, 2006; Agustí, 2010), pero en este periodo se reanudó el crecimiento foliar, lo que implicó un aumento en la tasa de absorción de nitrógeno (Figura 9a). Retamales y Hancock (2012) plantean que, en condiciones de alta competencia por los carbohidratos, causada por la presencia de frutos, el crecimiento vegetativo y la expansión foliar pueden detenerse. Sin embargo, la competencia que representaban los frutos perdió significancia, de acuerdo con Agustí (2008), en la etapa de expansión y maduración del fruto, éste aún representa un sumidero de materia seca, aunque las variaciones de peso fresco son más rápidas que la acumulación de materia seca. Al respecto, Taiz y Zeiger (2010) mencionan que la importancia de los sumideros u órganos demandantes de fotosintatos puede cambiar durante el desarrollo de la planta.

La tasa de absorción de fósforo varió entre 0.2 y 1.71 mg·planta·día⁻¹, con un ligero receso entre los 60 y 75 días, la cual mostró una recuperación y absorción continua hasta el final de la evaluación. Este comportamiento podría atribuirse a la distribución del P que se da durante el crecimiento activo de tallos y hojas jóvenes, los cuales contienen altas cantidades de P orgánico en forma de ácidos

nucleicos y fosfolípidos (Mengel *et al.*, 2001). De hecho, como se mencionó en el apartado 3.3.1, el tallo presentó un incremento importante de biomasa durante todo el periodo de evaluación, y la concentración de este nutrimento en tallo, con excepción de la raíz, fue mayor respecto a los demás tejidos (Figura 7).

Las tasas de absorción de K variaron de 2 a 7 mg·planta·día⁻¹, se observó que durante los primeros días de crecimiento hubo un incremento constante en la absorción, hasta que se estabilizó a partir de los 75 días y se mantuvo en los mismos niveles hasta el día 171; posteriormente, entre los 222 y 243 días hubo otro incremento en la tasa de absorción (Figura 9), periodo en que la mayoría de los frutos se encontraban en fase III, la cual se caracteriza por un rápido aumento en la expansión celular y el tamaño de fruto (Cano-Medrano y Darnell, 1997). Debido a ello, la fruta representa una demanda importante de potasio, por lo que su requerimiento está fuertemente influenciado por la carga de fruta en la planta, es frecuente observar que los niveles de potasio se incrementan durante la maduración del fruto, de modo que se alcanza un promedio de 60 mg de K en una baya madura de arándano (Hart *et al.*, 2006).

La tasa de absorción del calcio fluctuó entre 2 y 9 mg·planta·día⁻¹, que a partir del día 90 y hasta el día 171 presentó un incremento continuo. Durante este periodo se presentó la fase de plena floración y las fases I y II del crecimiento de fruto. Este fenómeno de aumento en la tasa de absorción de calcio puede explicarse debido a la demanda que representa el fruto durante su desarrollo. Marschner (2012) señala que, durante la etapa reproductiva, el grado de removilización de Ca y micronutrientes es a menudo sorprendentemente alto en comparación con el crecimiento vegetativo. El incremento en la tasa de acumulación de Ca se dio simultáneamente con una ligera disminución en la tasa de absorción de K. Finalmente, después del día 171 se presentó una disminución en la tasa de absorción de Ca, que coincidió con el proceso de maduración de frutos. Menguel *et al.* (2001) mencionan que la interrupción en el suministro de K resulta en una caída en los niveles de éste en las raíces y brotes, mientras que las concentraciones de Ca, Mg y Na aumentan considerablemente.

El Mg presentó tasas de absorción de 0.44 a 1.4 mg·planta·día⁻¹, los máximos valores se observaron durante los primeros 30 días; posteriormente se observó una disminución, que se mantuvo prácticamente constante hasta el final del ciclo. La mayor absorción de Mg en la etapa de brotación vegetativa podría ser consecuencia del desarrollo de hojas en esta etapa, cuando se sintetiza gran cantidad de clorofila, donde el Mg ocupa el centro de la molécula (Marschner, 2012). El Mg fue el nutrimento que presentó menor fluctuación en sus tasas de absorción durante todo el ciclo (Figura 9, inciso e).

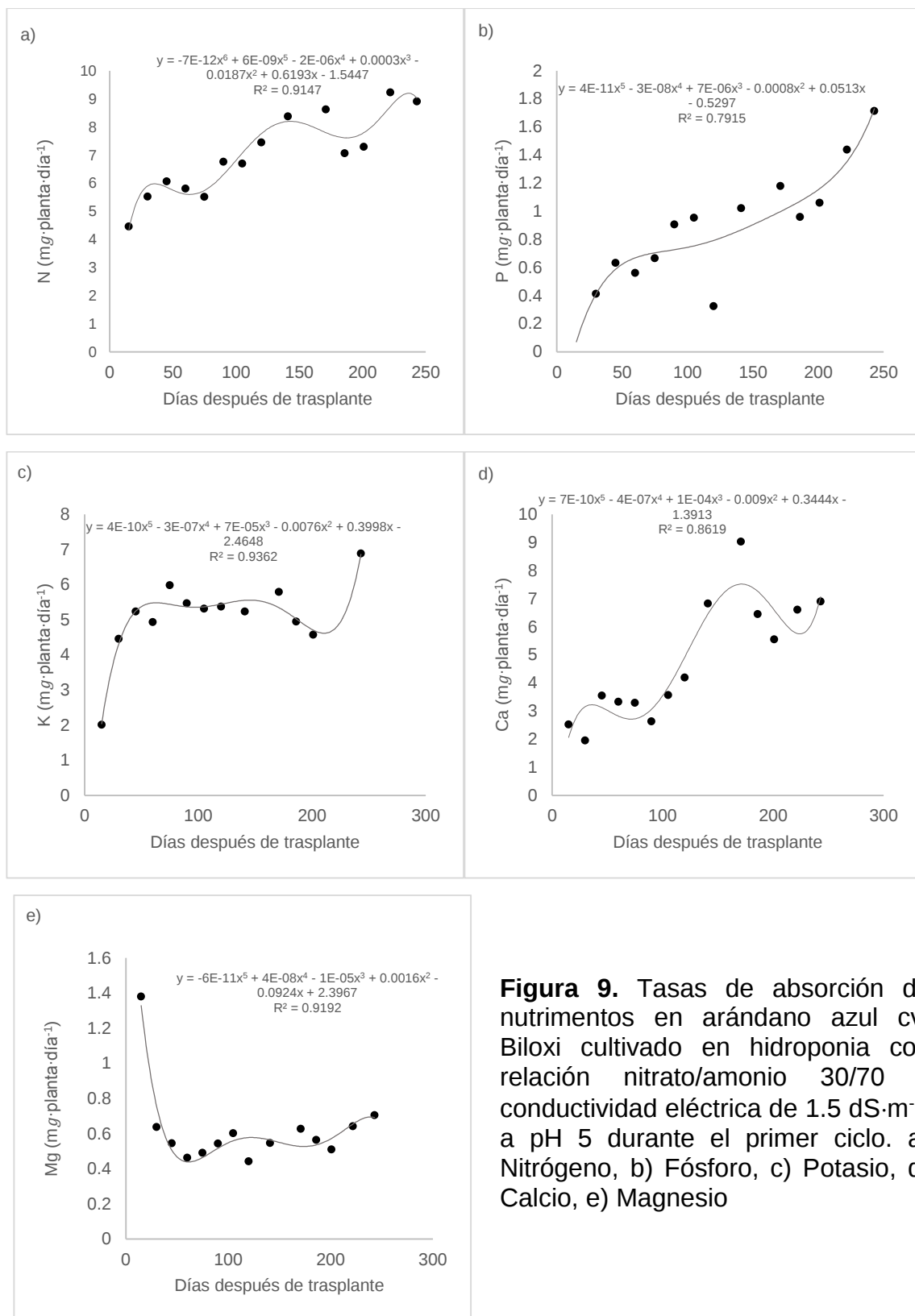


Figura 9. Tasas de absorción de nutrientes en arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con relación nitrato/amonio 30/70 y conductividad eléctrica de 1.5 dS·m⁻¹, a pH 5 durante el primer ciclo. a) Nitrógeno, b) Fósforo, c) Potasio, d) Calcio, e) Magnesio

3.4. Conclusiones

El crecimiento y desarrollo del arándano azul cv. Biloxi presentó una acumulación de biomasa seca de 17% en raíz, 37% en tallo, 13% en hoja y 31% en flores y frutos, durante 243 días del primer ciclo de cultivo en hidroponia, con relación nitrato/amonio 30/70 y conductividad eléctrica de $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ a pH 5.

Las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en hoja fueron de 1.70, 0.14, 1.72, 1.30 y 0.22%, respectivamente, mientras que las de Fe y Mn fueron de 108 y 239 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, de las cuales sólo el K y Ca son hasta tres veces mayores que las reportadas en otras investigaciones del cv. Biloxi.

La extracción nutrimental total para el arándano azul cv. Biloxi en orden descendente fue $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg}$, que corresponde a 2.30, 1.77, 1.74, 0.45 y $0.20 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$, respectivamente.

Las tasas de absorción nutrimental ($\text{mg}\cdot\text{planta}\cdot\text{día}^{-1}$) presentaron valores en el mismo orden que la extracción nutrimental, con 5 a 9 para N; 2 a 7 para K y Ca; 0.2 a 1.71 para P, y 0.44 a 1.4 para Mg.

3.5. Literatura citada

- Agustí M. (2008). Capítulo 26: Crecimiento y maduración del fruto. En Azcon-Bieto, J. y Talón, M. (coords.). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed.). Barcelona, España: McGraw Hill / Universidad de Barcelona. 651 pp.
- Agustí, M. (2010). *Fruticultura* (2ª ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa, 507 pp.
- Bacon, S. C., Lanyon, L. E., & Schlander, Jr. R. M. (1990). Plant nutrient flow in the management pathways of an intensive dairy farm. *Agron. J.*, 82, 755–761.
- Bañados, M. P., Bonomelli, C., González, J., & Jullierat, F. (2006). Dry matter, nitrogen potassium and phosphorus partitioning in blueberry plants during Winter. *Acta Hort.* 715, 443-448.
- Bertsch H., F. (2009). *Absorción de nutrimentos por los cultivos: multimedia*. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 308 pp.
- Bonilla, I. (2008). Introducción a la nutrición mineral de las plantas: Los elementos minerales. En Azcon-Bieto, J. y Talón, M. (coords.). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed.). Barcelona, España: McGraw Hill / Universidad de Barcelona. 651 pp.
- Bryla, D. R., Strik, B. C., Bañados, M. P., 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(7), 917–926.
- Cano-Medrano, R. & Darnell, R. (1997). Cell number and cell size in parthenocarpic vs. Pollinated blueberry fruits. *Annals of Botany*, 80, 419-425.
- Crisóstomo-Crisóstomo, M. N, Hernández-Rodríguez, O. A., López-Medina, J., Manjarrez-Domínguez, C. y Pinedo-Alvárez, A. (2014). Relaciones amonio/nitrato en soluciones nutritivas ácidas y alcalinas para arándano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(3), 525-532.
- Darnell, R. L. (2006). Blueberry botany/Environmental physiology. En Children, N F. & Lyrene P. M (eds.). *Blueberries for Growers, Gardeners and Promoters*. Gainesville, Florida: Dr Norman F. Childers Publications, 5-13.
- Di Benedetto, A. y Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42(3), 258-282.
- Epstein, E. and Bloom, A. J. (2005). *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. (2ª ed.). Sunderland: 2nd Edition, Sinauer Associates. Inc., Sunderland. 400 pp.
- Etchevers, B, J., Goiberg, G., López, R. R. M., Padilla, C. J., Alvarado, L. J., Hidalgo, M. C., Cruz, H. L., Guerrero, P. A., Miranda, C. E. (2000). Manual

- de Procedimientos analíticos para análisis de suelos y plantas del Laboratorio de Fertilidad de Suelos. México: IRENAT-Colegio de Posgraduados. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. 40 pp.
- Evans, L. T. (1980). The Natural History of Crop Yield: A combination of improved varieties of crop plants and technological innovations continues to increase productivity, but the highest yields are approaching limits set by biological constraints, *American Scientist*, 68(4), 388-397.
- Fageria, N. K. (2008). Field crops. En Fageria, N. K. (coord.). *The Use of Nutrients in Crop Plants*. Nueva York: CRC Press, Taylor y Francis Group. 430 pp.
- Fuqua, B., Byers, P., Kaps, M., Kovacs, L. & Waldstein, D. (2005). Growing blueberries in Missouri, Bulletin No 44. State Fruit Experimental Station. Missouri State University, Mountain Grove, Missouri. 47 pp.
- Garate A., Bonilla A. (2008). Capítulo 8. Nutrición y producción vegetal. En Azcon-Bieto, J. y Talón, M. (coords.). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed.). Barcelona, España: McGraw Hill / Universidad de Barcelona. 651 pp.
- Glass, A. (2013). Nutrient Absorption by Plant Roots: Regulation of Uptake to Match Plant Demand. En Waisel, Y., Eshel, A., & Kafkafi (eds.), *Plant Roots: The Hidden Half* (3ª ed.). CRC Press. 573 pp.
- Hanson, E. J. (2006). Nitrogen fertilization of highbush blueberry. *Acta Horticulturae*, 715, 347-351.
- Hanson, E. J. & Hancock, J. F. (1996). Managing the nutrition of highbush blueberries, Bulletin E-2011. East Lansing, Michigan: Michigan State University Extension. 8 pp.
- Hart, J., Strik, B., White L., & Yang, W. (2006). *Nutrient management for blueberries in Oregon*. Corvallis, Oregon: Oregon State University Extension Service. Disponible en <http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/20444/em8918.pdf>.
- Heckman, J. R., Sims, J. T., Beegle, D. B., Coale, F. J., Herbert, S. J. Bruulsema, T. W., & Bamka, W. J. (2003). Nutrient removal by corn grain harvest. *Agron. J.*, 95, 587-591.
- Hirzel-Campos, J. (2017). Acumulación de nutrientes en frutos de arándano, Blueberries Magazine Consulting, disponible en <https://www.blueberrieschile.cl/acumulacion-de-nutrientes-en-frutos-de-arandano/>
- Mailhol, J.-C., Ruelle, P. y Nemeth, I. (2001). Impact of fertilization practices on nitrogen leaching under irrigation. *Irrig. Sci.*, 20, 139-147.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. (3ª ed.) London Waltham, MA: Academic Press, 651 pp.
- Mengel, K., Kirkby A., Kosegarten H., & Appel T. (2001). *Principles of plant nutrition* (5ª ed.). Dordrecht, Países Bajos: Kluwer Academics. 849 pp.
- Minick, J. (2010). The Blueberry Years, A Memoir of Farm and Family. USA: Macmillan, 352 pp.

- Naumann W. D. y Krüger E. (1985). Nitrogen supply in blueberries *Acta Horticulturae*, 165, 229-236.
- Ochmian I. J., Grajkowski., Skupień, K. (2008). Effect of three substrates on fruit and leaf chemical composition of highbush blueberry 'Sierra' cultivar. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 4, 47-49 pp.
- Ochmian, I. J., Grajkowski, Skupień, K. (2009). Influence of substrate on yield and chemical composition of highbush blueberry fruit cv. 'sierra'. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 17(1), 89-100.
- Pescie, M. A., Borda, M. P., Ortiza, D. P., Landriscinib, M. R., Lavadoc, 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.
- Raviv, M., Heinrich-Lieth, J., Bar-Ta A., Silber, A. (2008). Growing plants in soilless culture: operational conclusions, *Soilless Culture Theory and Practice*. Elsevier Publications, 545-571 pp.
- Retamales, J. B. & Hancock J. F. (2012a) *Nutrition in Blueberries*. vol. 21 of Crop Production Science in Horticulture. Oxfordshire, UK: CABI, pp. 103-137.
- Retamales, J. B. & Hancock J. F. (2012b). Growth and Development en, Blueberries; Retamales J. B, Hancock J. F. 2012, Volume 21 of Crop Production Science in Horticulture. Oxfordshire, UK: CABI, 51-73.
- Revilla G., Zarra I. (2008), Capítulo I. Fisiología vegetal. Introducción a las células de las plantas: membranas y pared. En Azcon-Bieto, J. y Talón, M. (coords.). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed.). Barcelona, España: McGraw Hill / Universidad de Barcelona. 651 pp.
- Robledo, S. E. y Maldonado, R. T. (2005). *Manual de metodologías de análisis de suelo Departamento de Suelos*, Universidad Autónoma Chapingo. 100 pp.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2017). *Atlas agroalimentario 2017*. México: Autor. 231 pp.
- Smolarz, K., Mercik S. (1989). Growth and yield of highbush blueberry Bluecrop cv. (*Vaccinium Corymbosum* L.) in relation to the level of nitrogen fertilizer. *Acta Horticulturae*, 241, 171-174.
- Stiles, W. C., Reid. W.S. (1991). Orchard Nutrition Management. Cornell Cooperative Extension Information Bulletin, 219, 22 pp.
- Strick, C.B. (2013). Nutrient Management of Berry Crops in Oregon. Oregon State University, May 2013 version, disponible en http://smallfarms.oregonstate.edu/sites/default/files/nutrient_management_berry_crops_osu__may_20131.pdf
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology* (6ª ed.). USA: Sinauer Associates. 623 pp.
- Wenqin, K., Mingshou F., Zhong M., Xiaohua S. & Hongli Z. (2014). Luxury

Absorption of Potassium by Potato Plants, *Am. J. Potato Res*, 91, 573–578.

Williamson, J., Krewer, G., Pavlis, G., & Mainland, C. (2006). Blueberry soil management, nutrition and irrigation. En Childers, N., Lyrena, P. (eds.). *Blueberries*. Gainesville. Florida, USA: Dr Norman F. Childers Publications, 60–74.

Zoppolo, R. y Fasiolo, C. (2016). Análisis foliar en frutales: Herramienta de diagnóstico de alto retorno. *Revista INIA*, 47, 30 pp.

**CAPÍTULO IV. RELACIONES NITRATO/AMONIO Y
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN LA CALIDAD DE ARÁNDANO
AZUL CV. BILOXI**

RELACIONES NITRATO/AMONIO Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN LA CALIDAD DE ARÁNDANO AZUL CV. BILOXI

Resumen

Los arándanos son muy demandados debido a sus beneficios a la salud. Para su comercialización, el tamaño y el sabor son atributos importantes, los cuales pueden modificarse por manejo de la nutrición. Se determinó la influencia de relaciones nitrato/amonio (NAR) y conductividad eléctrica (CE) en parámetros de calidad de arándano azul cv. Biloxi. El estudio se llevó a cabo de agosto de 2016 a mayo de 2017 en la Universidad Autónoma Chapingo, en condiciones de hidroponia e invernadero. Se utilizó un diseño factorial 3×3 para definir 9 tratamientos. Los niveles del factor conductividad eléctrica fueron 1.0, 1.5 y 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y de la relación nitrato/amonio: 50/50, 30/70 y 10/90. Las variables respuesta determinadas fueron sólidos solubles totales, calibre de fruto en tres categorías según su diámetro: < 9 , 10-17 y > 17 mm, y contenido de antocianinas que se determinó para cada tratamiento y calibre de fruto. En los sólidos solubles totales no se observó diferencia estadística significativa; respecto al contenido de antocianinas, sólo la CE de 1.0 y 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ tuvo un efecto positivo sobre esta variable.

Palabras clave: *Vaccinium* spp., solución nutritiva, antocianinas.

NITRATE AMMONIUM RATIOS AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN BLUEBERRIE'S QUALITY

Abstract

The blueberries are so crowded because of their properties and healthy benefits; for its commercialization, the fruit size and flavor are important attributes, which can be modified by nutritional practices. The effect of nitrate/ammonium ratio (NAR) and electrical conductivity (EC) on blueberry's quality were determined. The study was carried out from August 2016 to May 2017 at Universidad Autonoma Chapingo, under hydroponic and greenhouse conditions. A factorial experiment 3×3 was used. The levels of each factor were 1.0, 1.5 and 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ of EC and 50/50, 30/70 and 10/90 of NAR. The determined response variables were total soluble solids, fruit size arrangement in three categories (<9 , 10-17 and >17 mm of diameter) and anthocyanins content for each size category and nutritional treatment. In total soluble solids were not observed statistical significant difference; anthocyanin's content was positive influenced by 1.0 and 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ of EC.

Keywords: *Vaccinium* spp., nutrient solution, anthocyanins.

4.1. Introducción

La palabra *calidad* proviene del latín *qualitas*, que significa ‘atributo’, ‘propiedad’ o ‘naturaleza básica de un objeto’. Sin embargo, se puede definir como el ‘grado de excelencia o superioridad’ (Kader *et al.*, 1985). La calidad en la industria hortofrutícola está relacionada con atributos como dulzor, acidez, aroma, color y firmeza, los cuales están ligados con rutas metabólicas específicas que son coordinadas durante el proceso de maduración. El desarrollo de estos atributos depende de muchos factores, como el cultivar, las condiciones de crecimiento y manejo, estado de madurez al momento de la cosecha y las condiciones de almacenamiento (Valero y Serrano, 2010). Aunque la calidad de consumo es una combinación de diversas características, atributos y propiedades que hacen que un alimento se disfrute, los consumidores opinan que la apariencia y la frescura son más importantes al inicio de la compra, así como sus expectativas sobre el valor nutritivo y las propiedades relacionadas con la salud. Cabe mencionar que un olor característico también es deseable, pues indica madurez y refleja calidad de consumo. Generalmente, a los productos de mayor tamaño se les asigna el precio máximo; sin embargo, algunas personas prefieren productos de tamaño mediano o pequeño dependiendo del uso que le van a dar (Kader, 2002).

Respecto a la industria del arándano azul, la calidad es un factor preponderante para su comercialización. Gilbert y Olmstead (2014) realizaron un estudio con consumidores para evaluar la apreciación de los atributos de calidad de los arándanos; los dos elementos que obtuvieron mayor relevancia fueron los de sabor "dulce, sin azúcar agregado" y "sabor fuerte e intenso de arándano". También, entre los cinco atributos con el puntaje más alto en el estudio final, fueron tres elementos de tres categorías separadas: "llenos de jugo", "llenos de antioxidantes" y "bayas de color azul oscuro". Además, de los atributos destacados por los consumidores, el tamaño de fruto es muy importante; según datos de la International Blueberry Organization (Brazelton *et al.*, 2017), 50% de los arándanos producidos en Norteamérica se destinó a proceso y el otro 50% restante se comercializó en fresco. Esta información sugiere que la mitad de la

fruta no cumple con los requerimientos de calidad requeridos, particularmente de tamaño, lo que representa un reto importante en los sistemas de producción de este fruto.

En los últimos años, diversos estudios han identificado a los arándanos azules como una gran fuente de potentes fitoquímicos con actividad curativa del daño oxidativo, antiinflamatorio y con efectos anticancerígenos (Ehlenfeldt *et al.*, 2001). Como lo afirman Johnson y Arjmandi (2013), esto se debe a su alto contenido de compuestos fenólicos, principalmente antocianinas, que son responsables del color azul, flavonoides y otros ácidos fenólicos. Se han reportado 15 antocianinas principales en arándanos, las cuales se componen de otras cinco diferentes: cianidina, delphinidina, malvidina, peonidina y petudina, cada una de ellas unida a una molécula de galactosa, glucosa o arabinosa (Grimm *et al.*, 2013). Estos hallazgos y su difusión han incentivado su consumo.

Por ello, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la relación nitrato/amonio y la conductividad eléctrica de la solución nutritiva en tres parámetros de calidad destacables: tamaño, sólidos solubles totales y contenido de antocianinas en frutos de arándano azul cv. Biloxi.

4.2. Materiales y métodos

4.2.1. Localización

Se estableció una plantación de arándano azul cv. Biloxi que se evaluó de julio de 2016 a junio de 2017 en un invernadero tipo túnel con ubicación 19° 29' 23.5" latitud N y 98° 52' 21.9" longitud W, de las instalaciones del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo.

4.2.2. Material vegetal y sustrato

Se emplearon arbustos de arándano cv. Biloxi trasplantados en contenedores plásticos de 20 L; como sustrato se utilizó una mezcla compuesta por perlita, turba y fibra de coco en partes iguales de volumen (1:1:1). El sustrato (la mezcla) presentó las siguientes características físicas: densidad aparente (DAP) 0.097 g·cm⁻³, espacio poroso total (EPT) 72.3%, capacidad de retención de humedad (CRH) y capacidad de aireación (CA) tuvieron valores 54.76 y 17.54%, respectivamente. Estos parámetros se determinaron mediante la metodología de De Boodt *et al.* (1972).

4.2.3. Tratamientos

Los tratamientos consistieron en nueve soluciones nutritivas que se generaron por la combinación de tres niveles de dos factores estudiados, los cuales fueron la conductividad eléctrica (CE) de 1.0, 1.5 y 2.0 dS·m⁻¹, y las relaciones nitrato/amonio (NAR) 50/50, 30/70 y 10/90; todas las soluciones se ajustaron a pH 5. Para determinar las concentraciones de aniones, se consideró la NAR y el complemento proporcional entre fosfatos y sulfatos, a fin de alcanzar 10, 12.5 y 15 meq·L⁻¹. Para cationes, también se consideró la relación nitrato/amonio para aportar el NH₄⁺ correspondiente y ajustar los demás cationes a la relación 35:30:35 de K:Ca:Mg, respectivamente, orientada para plantas calcífugas (Steiner, 1968). La concentración (mg·L⁻¹) de micronutrientes en la solución

nutritiva fue la siguiente: Fe 2, Mn 1, Zn 0.15, Cu 0.10 y B 0.6, la cual se utilizó para todos los tratamientos. La solución nutritiva se suministró mediante sistema de goteo y el gasto fue el mismo para todos los tratamientos, con un suministro de 4 a 6 riegos diarios dependiendo de las condiciones ambientales.

4.2.4. Diseño experimental

Los tratamientos se distribuyeron en el área experimental del invernadero considerando un diseño experimental completamente al azar. Las variables de calidad se midieron en tres repeticiones por tratamiento, tomando como unidad experimental a cinco plantas, de donde se cosechó el fruto para formar una muestra compuesta de las cinco plantas.

4.2.5. Variables evaluadas

Los parámetros de calidad evaluados fueron:

Categoría de tamaño (%). Se determinó el porcentaje de frutos dentro de las categorías establecidas como A, B y C, que corresponden a los intervalos de diámetro (mm) de fruto siguientes: A > 17, B 17-10 y C < 9. La muestra se tamizó con cribas de metal con el diámetro señalado.

Sólidos solubles totales (°Bx). Se cuantificó el contenido de sólidos solubles totales con el uso de un refractómetro analógico marca BINkO con rango de medición de 0-32 °Bx

Contenido de antocianinas (mg equivalentes de cianidin 3-glucósido/100 g). Se cuantificó el contenido de antocianinas para cada tratamiento y para cada categoría de tamaño, se utilizó la metodología de Giusti y Wrolstad (2001).

4.2.6. Análisis de datos

Los análisis estadísticos se realizaron mediante análisis de varianza, considerando un factorial 3×3 que dio origen a los nueve tratamientos establecidos en un diseño experimental completamente al azar en el invernadero. Se realizaron pruebas de comparaciones múltiples de medias usando el método de la diferencia mínima significativa (LSD, por sus siglas en inglés), de Fisher. Todos los análisis se realizaron mediante el *software* estadístico SAS v 9.4 (SAS, 2016).

4.3. Resultados y discusión

4.3.1. Tamaño

De acuerdo con los datos presentados en el Cuadro 13, la conductividad eléctrica no afectó el diámetro de fruto. En las tres categorías (A > 17, B 17-10 y C < 9 mm), la variación de 1 a 2 dS·m⁻¹ produjo el mismo comportamiento. La categoría superior (A) mostró valores entre 37.36 y 38.66% de los frutos; la categoría media (B) agrupó entre 51.50 y 53.46%, y el resto de los frutos (9.07-9.82%) se agrupó en la categoría de diámetro inferior (C).

La CE no tuvo efecto respecto a la distribución de tamaños, resultados similares obtuvieron Salgado-Vargas *et al.* (2017), en cuyo trabajo el tamaño de fruto no presentó diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$) inducidas por distintos niveles de salinidad y estrés hídrico. Las relaciones nitrato/amonio sí afectaron la respuesta en las categorías de diámetro de fruto (Cuadro 13). Las relaciones 30/70 y 10/90 presentaron las distribuciones más altas para la categoría A, con 39.61 y 38.80%, esta tendencia también se vio reflejada en la proporción de frutos para la categoría B, que fue favorecida por la relación 50/50. La categoría C no presentó diferencias entre relaciones nitrato/amonio y sus valores estuvieron entre 8.89 y 10%. De acuerdo con las categorías de tamaño, los frutos considerados en las categorías A y B presentan un diámetro mayor a los 10 mm, que desde el punto de vista comercial es considerado el mínimo aceptable (Beaundry, 1992).

Cuadro 13. Efecto de la conductividad eléctrica y relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de la solución nutritiva sobre el diámetro de frutos de arándano azul cv. Biloxi

		Categoría por tamaño (mm)		
Tratamiento		A (> 17)	B (17-10)	C (< 9)
		------(%)-----		
CE	1.00	37.36 a	53.46 a	9.17 a
	1.50	37.65 a	53.26 a	9.07 a
	2.00	38.66 a	51.50 a	9.82 a
Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	50/50	35.27 b	54.71 a	10.00 a
	30/70	39.61 a	51.48 b	8.89 a
	10/90	38.80 a	52.02 ab	9.17 a
CV	(%)	15.38	12.54	46.27
DMS		2.73	3.10	2.03

Nota: valores con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (LSD, $\alpha = 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

De acuerdo con un estudio de mercado realizado por Safner *et al.* (2008), el tamaño de la fruta de arándano estuvo relacionado hasta en 67% con la aceptabilidad; estos resultados sugieren que los consumidores muestran preferencia por los arándanos de mayor tamaño. Complementariamente, Strick *et al.* (2003) mencionan que, a mayor tamaño de fruto, menores costos de cosecha; otra de las razones atribuibles a la preferencia de arándanos de mayor tamaño por la industria se debe a que los frutos de menor tamaño presentan una mayor relación entre área superficial y volumen, lo cual conduce a mayores pérdidas de agua (Undurranga y Vargas, 2013).

Los resultados obtenidos respecto a las categorías de tamaño podrían estar relacionados con los valores estadísticamente superiores de acumulación de materia seca para las relaciones nitrato/amonio 30/70 y 10/90, que se

presentaron entre los días 120, 141 y 171 del ciclo de cultivo, periodo que comprendió las fases I y II del desarrollo del fruto. Que a decir de Agustí (2010), en estas dos fases se determina en mayor medida el desarrollo de la pulpa o tejidos comestibles.

Las relaciones nitrato/amonio 10/90 y 30/70 son las que tuvieron un mayor suministro de nitrógeno amoniacal (N-NH_4^+). Gil-Albert Velarde (1991) plantea que el desarrollo final que alcanza un fruto está íntimamente relacionado con el número de células producidas durante el periodo de división y el alcanzado durante el engrosamiento y maduración; sin embargo, este crecimiento está íntimamente ligado con las condiciones de nutrición, pues un factor clave que determina el desarrollo del fruto es la disponibilidad de agua, los carbohidratos acumulados en el fruto y las sustancias minerales, principalmente potasio, fósforo y calcio.

De acuerdo con Ballinger and Kushman (1969), la aplicación de N en arándano de arbustos altos incrementa la relación fruto/hoja, pero disminuye el tamaño de fruto y la acidez, fenómeno que es provocado por la competencia entre frutos y hojas por los carbohidratos sintetizados. Hart *et al.* (2006) indican que altas concentraciones de N pueden afectar de manera indirecta la calidad de los frutos, debido a la inducción de los brotes vegetativos. En contraparte con lo anterior, el aumento de área foliar durante las fases I y II del desarrollo de fruto no se detuvo por completo, pero sí disminuyó su ritmo de crecimiento, como se observa en la Figura 4 de este trabajo. Al respecto, Agustí (2010) menciona que la presencia de frutos trae como consecuencia la disminución del desarrollo vegetativo, lo que limita la disponibilidad de fotoasimilados; sin embargo, al eliminar o disminuir la cantidad de frutos se restituye el desarrollo vegetativo.

4.3.2. Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales o grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) representan una escala para medir concentraciones de soluciones de diferentes azúcares, considerado que 1

°Bx equivale a 1 g de sacarosa disuelto en 100 ml (Badui, 2012). Gil-Albert Velarde (1991) manifiesta que los azúcares son componentes importantes que condicionan la calidad degustativa de los frutos.

En los análisis estadísticos realizados por muestreo y combinado a través de los muestreos, no se evidenciaron diferencias significativas que hagan suponer que los tratamientos afectaron la concentración de sólidos solubles totales (SST), los valores promedio registrados se encontraron entre 14.71 y 15.29 °Bx (Cuadro 14), contenido bastante aceptable y superior al establecido en la descripción para la variedad Biloxi de 13.4 °Bx (Spiers *et al.*, 2002). Por su parte, Cortés-Rojas *et al.* (2016) reportan valores entre 12.4 y 14.5 °Bx para esta misma variedad. De modo general, se puede mencionar que todos los tratamientos tuvieron niveles aceptables de sólidos solubles totales basados en los estándares para arándano propuestos por Kader (1999) de 10 °Bx como mínimo.

Bremen *et al.* (2008) evaluaron distintos parámetros de calidad en cosecha de arándano durante tres años y concluyeron que los sólidos solubles totales son el parámetro con menor variación respecto a la evaluación de otros parámetros, como firmeza, acidez y acidez titulable.

Cuadro 14. Efecto de la conductividad eléctrica y las relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ en la solución nutritiva sobre los sólidos solubles totales de frutos de arándano azul cv. Biloxi

Tratamiento		Sólidos solubles totales (°Bx)
CE $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$	1.00	14.99 a
	1.50	15.29 a
	2.00	14.71 a
Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	50/50	15.07 a
	30/70	15.12 a
	10/90	14.83 a
CV	(%)	12.99
DMS		0.64

Nota: valores con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (LSD, $\alpha = 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

4.3.3. Antocianinas

El contenido de antocianinas registró valores promedio entre 104.78 y 124.87 mg equivalentes de cianidin 3-glicosido/100 g de fruta fresca, combinando todas las categorías de tamaño incluidas en cada tratamiento (Cuadro 15). Estos valores coinciden con los valores reportados de 25-495 mg equivalentes de cianidin 3-glucósido/100 g para arándanos de arbustos altos (Beccaro *et al.*, 2006). Mientras que Prior *et al.* (1998) reportan valores entre 93 y 235 mg equivalentes de cianidin 3-glucósido/100 g para los arbustos altos del norte y 92.6 para la variedad O'Neal considerada como arbusto alto del sur, característica que comparte con el cv. Biloxi.

De acuerdo con los datos obtenidos se observaron diferencias estadísticas significativas sólo para el factor CE, donde las categorías superiores se obtuvieron en los niveles de 2.0 y 1.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, con valores promedio de 124.87 y

121.29 mg equivalentes de cianidin 3-glucósido/100 g de fruta fresca (Cuadro 15).

Cuadro 15. Efecto de la conductividad eléctrica y relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ en la solución nutritiva sobre el contenido de antocianinas en frutos de arándano azul cv. Biloxi

		Antocianinas
Tratamiento		(mg equivalentes de cianidin 3-glucósido/100 g)
CE $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$	1.00	121.29 a
	1.50	104.78 b
	2.00	124.87 a
Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	50/50	116.14 a
	30/70	122.84 a
	10/90	112.02 a
CV	(%)	34.48
DMS		12.60

Nota: valores con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (LSD, $\alpha = 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa; CV. Coeficiente de variación.

Las diferencias en concentración de antocianinas podrían explicarse como un efecto de dilución, dadas las diferencias de rendimientos entre los tratamientos. Sin embargo, considerando el rendimiento promedio obtenido por arbusto en cada categoría de CE y realizando un balance utilizando el peso de la fruta fresca, así como la concentración de antocianinas, se estima que la cantidad de antocianinas producidas para la CE de $1.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ fue de 3.74 g, 3.70 g para $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y 4.30 g para $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Aparentemente, la CE de $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ produjo más antocianinas por arbusto.

Las posibles funciones de las antocianinas en hojas, tallos, raíces y otros órganos han sido objeto de debate científico durante mucho tiempo. Las hipótesis clave que se aplican a las funciones de estas sustancias incluyen (i) protección de cloroplastos de los efectos adversos del exceso de luz, (ii) atenuación de la radiación UV-B y (iii) actividad antioxidante. Sin embargo, datos recientes indican que el grado en que cada uno de estos procesos se ve afectado por las antocianinas varía mucho entre especies de plantas. De hecho, ninguna de las hipótesis explica adecuadamente la variación en los patrones espaciales y temporales de la producción de antocianinas (Jean-Hugues y Gould, 2009). Otras hipótesis señalan que las antocianinas son inducidas por estrés como hervivorismo, nutrimental u osmótico (Gould y Lister, 2006).

Algunos reportes establecen que en *Arabidopsis* la deficiencia de nitrógeno induce un aumento en el contenido de antocianinas y otros flavonoides (Hsieh *et al.*, 1998; Martin *et al.*, 2002; Scheible *et al.*, 2004), pero cómo la deficiencia del nitrógeno promueve la alta concentración de ciertos flavonoides no es claro aún (Jezek *et al.*, 2018). Scheible *et al.* (2004) mencionan que algunos genes de la ruta del ácido shiquímico son activados moderadamente, por la deficiencia de nitrógeno. El suministro en la ruta del ácido shiquímico es importante para el flujo subsecuente, ya que los flavonoides se sintetizan a partir de fenilalanina.

Respecto a la conductividad eléctrica de $1.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Cuadro 15), si se considera sólo la concentración de NH_4^+ como única fuente de nitrógeno y asumiendo que los arándanos tienen una baja capacidad de absorber el ion NO_3^- (Merhaut y Darnell, 1995; Darnell y Hiss, 2006), las dosis de N-NH_4^+ con esta CE fueron las más bajas en todas las relaciones nitrato/amonio, y, aunque aparentemente no se presentaron síntomas de deficiencias de N, las concentraciones en tejido de este nutrimento fueron bajas, lo que podría explicar parcialmente la mayor concentración de antocianinas, pese a que el efecto también podría atribuirse al menor rendimiento observado para este tratamiento.

En contraste, la CE de $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ con el mayor suministro de N presentó valores mayores de concentración de antocianinas, y numéricamente más altos considerando el rendimiento (Cuadro 15). Algunos autores señalan que el suministro limitado de nitrógeno antes de la floración favorece la acumulación de polifenoles totales en uvas, incluyendo antocianinas (Keller y Hrazdina, 1998); mientras que un suministro excesivo de N lo disminuye. Sin embargo, en este estudio, tal efecto se podría relacionar con otros factores que influyen en la síntesis y acumulación de antocianinas, como la mayor salinidad en este tratamiento, sobre todo tomando como base que el arándano azul es sensible a sales, con valores óptimos de CE de $1.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Hernández, 2014); esto significa que la CE de 1.5 y $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ pudo inducir estrés salino para esta planta. Otro efecto del estrés por la salinidad alta es la producción inducida de especies reactivas de oxígeno (ROS), incluyendo radicales superóxidos (O_2^-), peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y radicales hidroxilos ($\text{OH}\cdot$) (Neill y Gould, 2003; Halliwell *et al.*, 2015). El alto contenido de flavonoides, que incluyen antocianinas, es un indicador de la actividad antioxidante. Las propiedades antioxidantes de las antocianinas protegen las células contra la acción nociva de los radicales de oxígeno (Poráčová *et al.*, 2011).

Respecto a la producción de pigmentos, sustancias de defensa y especialmente las antocianinas, existe aún un debate importante entre investigadores, según lo muestran los distintos trabajos con información contrastante. En un trabajo realizado con *Hibiscus rosa-sinensis*, la salinidad afectó el contenido de antocianinas negativamente (Trivellini *et al.*, 2014). Sin embargo, en otro estudio, Oh *et al.* (2011) reportan que en plantas de *Arabidopsis* PAP1-D ABA hay una mayor tolerancia a estrés abiótico debido a su aumento de los niveles de antocianinas y mostraron que el estrés salino provocó en mayor medida la expresión de genes biosintéticos de antocianinas, tales como CHS y CHI, en plantas de pap1-D, en comparación con plantas de tipo salvaje. Bajo condiciones de salinidad, se evidenció un aumento en los niveles de antocianinas en las plantas pap1-D. Bao Do y Cormier (1990) realizaron un ensayo en uva donde se

redujo el potencial hídrico de -0.5 a -0.9 MPa, lo que resultó en diferencias significativas y aumentó la producción de antocianinas. De acuerdo con Hasegawa *et al.* (2000), las respuestas adversas de la planta al estrés salino dependen de los efectos osmóticos y tóxicos de la sal, del nivel y la duración del estrés. Ochmian *et al.* (2010) evaluaron el efecto de varios sustratos en distintos parámetros en arándano, incluyendo el contenido de antocianinas; los resultados mostraron que la turba y cascarilla de cacao generaron niveles superiores en el contenido de antocianinas, 144.55 y 146.73 mg equivalentes de cianidin 3-glucósido/100 g de frutos, pero no se dio más información respecto a ese efecto.

Existen evidencias recientes, tanto empíricas como teóricas, que atribuyen una diversidad de funciones a las antocianinas en hojas, muchas de ellas asociadas con respuestas de estrés y algunas potencialmente críticas para la supervivencia de una planta (Gould, 2004). Las antocianinas son sin duda los pigmentos más versátiles, por sus múltiples roles en las respuestas de estrés de la planta que derivan tanto de la propiedad fisicoquímica de la absorción de luz como de su combinación única de reactividades bioquímicas (Gould, 2006). Sin embargo, este trabajo parece indicar que la conductividad eléctrica relacionada con la concentración de sales en la solución nutritiva afectó el contenido de antocianinas en arándano.

Tamaño de fruto y contenido de antocianinas

El contenido de antocianinas con relación al tamaño de fruto ha sido cuestionado, ya que no es extensivo a todas las frutas con antocianinas. Las antocianinas son más prevalentes en las capas epidérmicas e hipodérmicas de la fruta, pero también pueden aparecer en toda la fruta (muchas bayas), en los tejidos que las rodean o en la pepita (granada y melocotón, respectivamente), o pueden limitarse a la pulpa (naranja sanguina) (Gross, 1987; Harborne, 2014). En las especies de frutas donde las antocianinas tienden a acumularse solamente en el epicarpio, las concentraciones de antocianinas generalmente aumentan con la disminución

del tamaño de la fruta, debido al cambio en la relación área de superficie a volumen de fruto (Moyer *et al.*, 2002).

En los resultados obtenidos (Cuadro 16), se observó que el contenido de antocianinas se vio afectado por el tamaño del fruto, donde es evidente que el tamaño de los frutos tiene un gran impacto en el contenido de antocianinas. La categoría de tamaño donde se agruparon los frutos con diámetro >17 mm (categoría A) presentaron valores promedio de 85.05 mg equivalentes de cianidin 3-glicósido/100 g, mientras que en la categoría C (diámetro < 9 mm) el valor promedio fue de 141.34 mg equivalentes de cianidin 3-glicósido/100 g. Maindland y Tucker (2002) evidenciaron que los arándanos tienen la mayor concentración de antocianinas y compuestos antioxidantes en el epicarpio o cáscara, donde se aloja cerca de 90% de estos compuestos. Otros autores como Connor *et al.* (2002) y Howard *et al.* (2003) también han coincidido en que existe una relación inversa entre el contenido de antocianinas y el tamaño de fruto.

Cuadro 16. Efecto de las categorías de tamaños de frutos de arándano azul cv. Biloxi y las concentraciones de antocianinas

Categoría por tamaño (mm)	Antocianinas (mg equivalentes de cianidin 3-glucósido/100 g)
A (> 17)	85.05 c
B (17 - 10)	123.21 b
C (< 9)	141.34 a
CV (%)	34.48
DMS	13.63

Nota: valores con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (LSD, $\alpha = 0.05$).

Esta información resulta interesante, como se menciona en el apartado anterior, el tamaño es un factor que influye en los consumidores. Adicionalmente, desde

los años noventa se han realizado esfuerzos sobre el mejoramiento genético de los arándanos que han sido encaminados a aumentar el tamaño de fruto (Gough, 1994; Retamales y Hancock, 2012). Situación que muestra una disyuntiva entre calidad física y nutracéutica.

4.4. Conclusiones

Las relaciones nitrato/amonio 30/70 y 10/90 tuvieron un impacto positivo en el incremento en tamaño de fruto de arándano cv. Biloxi.

Las relaciones nitrato/amonio 50/50, 30/70 y 10/90, así como la conductividad eléctrica de 1.0, 1.5 y 2.0 dS·m⁻¹, no influyeron en los sólidos solubles totales en fruto de arándano cv. Biloxi.

La concentración de antocianinas se incrementó por efecto de la conductividad eléctrica y se observó el mayor contenido con la solución nutritiva de 2.0 dS·m⁻¹.

Se observó una relación inversa entre el tamaño de fruto y el contenido de antocianinas en arándano azul cv. Biloxi.

4.5. Literatura citada

- Badui, D. S. (2012). *La ciencia de los alimentos en la práctica*. México: Pearson Educación. 295 pp.
- Ballinger, W. E., & Kushman, L. J. (1969). Relationship of nutrition and fruit quality of Wolcott blueberries grown in sand culture. *Journal of Horticultural Science*, 94, 329-335.
- Bao Do, C., & Cormier, F. (1990). Accumulation of anthocyanins enhanced by high osmotic potential in grape (*Vitis vinífera* L.). *Plant Cell Reports*, 9, 143-146.
- Beaudry, R. M. (1992). Blueberry quality characteristics and how can they be optimized. *Annual Report of the Michigan State Horticulture Society*, 122, 140-145.
- Beccaro, G., Mellano, M. G., Botta, R., Chiabrando, V., and & Bounous, G. (2006). Phenolic and anthocyanin content and antioxidant activity in fruits of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) and of highbush blueberry (*V. corymbosum* L.) Cultivars in north western Italy. *Acta Hortic.*, 715, 553-558.
- Boodt, M. de, Verdonk, O., & Cappaert, I. (1972). Method for measuring the wáterrelease curve in organic substrates. *Acta Horticulturae*. 37, 2054-2062.
- Brazelton, C., Young, K., & Bauer, N. (2017). *Global Blueberry Statistics and Intelligence Report*. California, USA: International Blueberry Organization, 84 pp.
- Bremen, V., Crisosto, G., Molinar, R., Jimenez, M. Dollahite, S., and & Crisosto, C. H. (2008). San Joaquin Valley blueberries evaluated for quality atributtes. *California Agriculture*, 62, 91-96.
- Connor, A. M., Luby, J. J., Hancock, J. F., Berkheimer, S., & Hanson, E. J. (2002). Changes in fruit antioxidant activity among blueberry cultivars during cold-temperature storage. *J Agric Food Chem*, 13; 50(4), 893-898.
- Cortés-Rojas, M. E., Mesa-Torres, P.A., Grijalba-Rativa, C. M. y Pérez-Trujillo, M. M. (2016). Rendimiento y calidad de frutos de los cultivares de arándano Biloxi y Sharpblue en Guasca, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 34(1): 33-41.
- Darnell, R. L., & Hiss, S. A. (2006). Uptake assimilation of nitrate and iron in two *Vaccinium* species as affected by external nitrate concentrationn, J. Amer. Soc. Hort. Sci, 131(1), 5-10.
- Ehlenfelt, M. K., & Prior, R. L. (2001). Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) and Phenolic and Anthocyanin Concentration in Fruit and Leaf Tissues of Highbush Blueberries (*Vaccinium* section *Cyanococcus* spp.). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49(10), 47-61.

- Gil-Albert V., F. (1991). *Morfología y fisiología del árbol frutal* (3ª ed.). Madrid, España: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación / Ediciones Mundi-Prensa. 103 pp.
- Gilbert, J. L., & Olmstead J. W. (2014). Consumer-assisted Selection of Blueberry Fruit Quality Traits, *HortScience*, 49(7), 864–873.
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. En Giusti, M. M. & Wrolstad, R. E. (eds.). *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. Hoboken, Nueva Jersey: John Wiley and Sons. F1.2.1-F1.2.13.
- Gough, E. R. (1994). *The highbush blueberry and its management*. Binghamton, NY, USA: Food Products Press. 272 pp.
- Gould, K. S. (2004). Nature's Swiss Army Knife: The Diverse Protective Roles of Anthocyanins in Leaves, *J Biomed Biotechnol*, 5, 314–320.
- Gould, K. S., & Lister, C. (2006). Flavonoid functions in plants. En Andersen, M. & Markham, K. R. (eds.). *Flavonoids. Chemistry, Biochemistry and Applications*. Binghamton, NY, USA: CRC Press, Boca Raton, 397-442.
- Grimm, C. C., Lloyd, S. W., Beaulieu, J., Stein, R., & Tully, M. (2013). *Analysis of the Lesser Anthocyanins in Blueberries*. New Orleans, LA: Southern Regional Research Center United States Department of Agriculture.
- Gross, J. (1987). *Pigments in Fruits*. London: Academic Press. 155 pp.
- Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2015). *Free Radicals in Biology and Medicine* (5ª ed.). London: Oxford University Press. 905 pp.
- Harborne, J. B. (2014). *Introduction to Ecological Biochemistry* (4ª ed.). London: Academic Press, 384 pp.
- Hart, J., Strik, B., White, L. & Yang, W. (2006). *Nutrient management for blueberries in Oregon*. Corvallis, Oregon: Oregon State University Extension Service. Disponible en <http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/20444/em8918.pdf>.
- Hasegawa, P. M., Bresson R. A., Zhu, J.-K., & Bohnert, H. J. (2000). Ann. Rev. Plant Physiol. *Plant Mol. Biol*, 51, 463-499.
- Hernández H., D. (2014). *Estudio nutrimental de arándano azul (Vaccinium corymbosum L) cv. Biloxi en Los Reyes Michoacán*. (Tesis de Doctorado, Postgrado de Edafología, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, México).
- Howard, R., Clark, J. R., & 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(12), 1238–1247.

- Hsieh, M. H., Lam, H. M., Van de Loo, F., & Coruzzi, G. (1998). A PII-like protein in *Arabidopsis*: Putative role in nitrogen sensing. *Proc Natl Acad Sci*, 95, 13965–13970.
- Jean-Hugues, B. H., & Gould, K. S. (2009). Anthocyanin Function in Vegetative Organs. En Gould, K., Davies, K., & Winefield, C. (eds.). *Anthocyanins Biosynthesis, Functions, and Applications*. Nueva York, USA: Springer. 329 pp.
- Jezek M., Zörb, C., Merkt, N., & Geilfus, C. M. (2018). Anthocyanin Management in Fruits by Fertilization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(4), 753-764.
- Johnson, S., & Arjmandi, B. (2013). Evidence for Anticancer properties of blueberries: A mini review. *Anticancer Agents in Medical Chemistry Journal*, 3(8), 1142-1148.
- Kader, A. A. (1999). Fruit maturity, ripening, and quality relationships. *Acta Horti*, 485, 203-208.
- Kader, A. (2002). *Postharvest Technology of Horticultural Crops* (3^a ed.). UCANR Publications. 535 pp.
- Kader, A. A., Kasmire, R. F., Mitchell, F. G., Reid, M. S., Sommer, N. F., and Thompson, J. F. (1985). *Postharvest technology of horticultural crops*. Cooperative Extension, University of California. Special Publication 3311. 192 pp.
- Keller, M., & Hrazdina, G. (1998). Interaction of nitrogen availability during bloom and light intensity during veraison. II. Effects on anthocyanin and phenolic development during grape ripening. *Am. J. Enol. Vitic*, 49, 341–349.
- Kriedemann, P. E. (1971). Crop energetics and horticulture. *HortScience*, 6, 432-438.
- Larcher, W. (1980). *Physiological plant ecology* (2^a ed.). New York: Springer-Verlag. 506 pp.
- Mainland, C. M., & Tucker, J. W. (2002). Blueberry health information—some new mostly review. *Acta Hort.*, 574, 39–43.
- Martin, T., Oswald, O., & Graham, I. A. (2002). *Arabidopsis* seedling growth, storage lipid mobilization, and photosynthetic gene expression are regulated by carbon: nitrogen availability. *Plant Physiol*, 128, 472–481.
- Merhaut, D. J. & Darnell, R. L. (1995). Ammonium and nitrate accumulation in containerized southern highbush blueberry plants. *HortScience*, 30, 1378-1381.
- Moyer, R. A., Hummer, K. E., Finn, C. E., Frei, B. & Wrolstad, R. E. (2002). Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes*. *J. Agric. Food. Chem.*, 50, 519–525.
- Neill, S. & Gould, K. S. (2003). Anthocyanins in leaves: light attenuators or antioxidants? *Funct. Plant Biol.*, 30, 865–873.

- Ochmian, I., & Grajkowski, J. (2008). Effect of substrates on growth, yield, and phenol content in lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* AIT.) Fruit 'Emil'. *Ecological Chemistry and Engineering G A*, 17, 9.
- Oh, J. E., Kim, Y. H., Kim, J. H., & Korean, J. (2011). Enhanced level of anthocyanin leads to increased salt tolerance in arabidopsis *PAP1-D* plants upon sucrose treatment. *Soc. Appl. Biol. Chem.*, 54, 79. <https://doi.org/10.3839/jksabc.2011.011>.
- Poráčová, J., Tkáčiková, L., Blaščáková, M., & Muchaničová, A. (2011). The Importance of Anthocyanins for Human and Animal Health. *Planta Medical, Journal of Medicinal Plant and Natural Product Research*, 77(12). 1447 p.
- Prior, R. L., Cao, G., Martin, A., Sofic, E., McEwen, J., O'Brien, Ch., Lischner, N., Ehlenfeldt, M., Kalt, W., Krewer, G., & Mainland, C. M. (1998). Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(7), 2686-2693.
- Retamales, J. B., & Hancock, J. F. (2012). *Blueberries*, vol. 21 of Crop Production Science in Horticulture, Oxfordshire, UK: CABI. 323 pp.
- Safner, R., Polashock, J., Ehlenfeldt, M. K., and Villar, B. (2008). Instrumental and sensory characteristics of blueberry fruit from twelve cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 49, 19-26.
- Salgado-Vargas, C., Sánchez-García, P., Volke-Haller, V. y Colinas-León, M. T. (2018). Respuesta agronómica de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) al estrés osmótico. *Agrociencia*, 52(2), 231-239.
- Scheible, W-R, Morcuende, R., Czechowski, T., Fritz, C., Osuna, D., Palacios-Rojas, N., Schindelasch, D., Thimm, O., Udvardi, M. K., & Stitt, M. (2004). Genome-wide reprogramming of primary and secondary metabolism, protein synthesis, cellular growth processes, and the regulatory infrastructure of Arabidopsis in response to nitrogen. *Plant Physiol.*, 136, 2483-2499.
- Spiers, J. M., Stringer, S. J., Draper, A. D., & Gupton, C. L. (2002). 'BILOXI' SOUTHERN Highbush BLUEBERRY. *Acta Hort.*, 574, 153-155.
- Steiner, A. (1968). *Principales diferencias de cultivos con y sin tierra*. Wageningen, Holanda. 89-90 pp.
- Strick, B., Buller, G. & Hellman, E. (2003). Pruning severity affects yield, berry weight, and hand harvest efficiency of highbush blueberry. *Hortscience*, 38, 195-199.
- Trivellini, A., Gordillo, B., Rodríguez-Pulido, F. J, Borghesi, E., Ferrante, A., Paolo Vernieri, Quijada-Morín, N, González-Miret, L. M., & Heredia, F. J. (2014) Effect of Salt Stress in the Regulation of Anthocyanins and Color of Hibiscus Flowers by Digital Image Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(29), 6966-6974.

- Undurraga, P. y Vargas, S. (2013). *Manual del arándano*. [Boletín]. Chillán, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias Centro Regional de Investigación Quilamapu, 263, 120 pp.
- Valero, D., & Serrano, M. (2010). *Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality*. USA: CRC Press by Taylor y Francis Group. 287 pp.

ANEXO

Cuadro A. Valores globales de variables de arándano azul cv. Biloxi cultivado en hidroponia con diferente relación nitrato/amonio y conductividad eléctrica, de los 15 a los 243 días después del trasplante

Días después del trasplante		Altura (cm)	Diámetro (mm)	Área foliar (cm ²)	Materia seca (g.)	TAC (g · día ⁻¹)	TRC (g · g ⁻¹ · día ⁻¹)	TAN (mg · cm ² · día ⁻¹)
CE dS · m ⁻¹	1.00	70.98 a	5.75 a	2546.72 b	77.61 b	0.7042 a	0.0126 a	0.1157 a
	1.50	70.94 a	5.77 a	2745.51 a	82.64 a	0.7134 a	0.0125 a	0.0804 a
	2.00	69.49 a	5.92 a	2606.01 ab	77.79 b	0.6334 a	0.0120 a	0.0690 a
Relación NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	50/50	70.95 a	5.68 a	2580.16 a	76.99 b	0.6730 a	0.0123 a	0.0475 a
	30/70	70.48 a	5.69 a	2697.94 a	81.78 a	0.7332 a	0.0127 a	0.0970 a
	10/90	69.98 a	6.08 a	2620.15 a	79.27 ab	0.6448 a	0.0121 a	0.1206 a
CV (%)		9.70	30.92	21.85	17.68	124.65 a	89.92	688.03
DMS		1.70	0.44	142.86	4.16	0.2116 a	0.0028	0.151

Nota: valores con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (LSD, $\alpha = 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.