

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Actividad Fisiológica y Rendimiento del Arándano en Función del Manejo Nitrogenado y
el Medio Salino

Por:

ANGÉLICA MARÍA MUÑOZ ARROYO

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México.

Enero, 2025.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Actividad Fisiológica y Rendimiento del Arándano en Función del Manejo Nitrogenado y Medio salino

Por

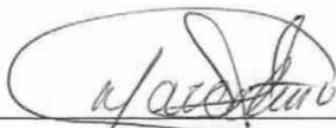
ANGÉLICA MARÍA MUÑOZ ARROYO

TESIS

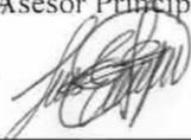
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



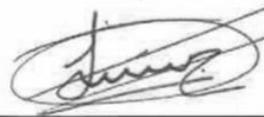
Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Asesor Principal



M.C. Luis Enrique Espinoza Orozco
Coasesor



Dra. Rocío Maricela Peralta Manjarrez
Asesor Principal Externo



Dr. Antonio Juárez Maldonado
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía
Saltillo, Coahuila, México.



Enero, 2025

DERECHO DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Atentamente.

Alma Terra Mater



Angélica María Muñoz Arroyo

Autor Principal



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente

Asesor Principal

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiarme y permitirme lograr este proyecto de vida.

A mi **Alma Mater**, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por ser mi segundo hogar, por alimentarme y darme esta oportunidad.

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

A la Dra. Rocío Maricela Peralta Manjarrez, por su apoyo continuo en mi formación y ver en ella un ejemplo a seguir, así como también por su guía, paciencia, dedicación y orientación a lo largo de este arduo proceso.

Al M.C. Luis Enrique Espinoza Orozco, por la disposición de formar parte de mi orientación para este proyecto.

Asimismo, agradezco al **cuerpo docente de la UAAAN** quienes, a lo largo de mi formación académica, me han brindado las herramientas necesarias para alcanzar este objetivo. Cada lección impartida y cada consejo ofrecido han dejado una huella imborrable en mi desarrollo profesional.

Agradezco a mis compañeros y amigos de la UAAAN, especialmente a **Juan Pablo Velasco Lepe, Fabián González Linares, Luis Mario Hernández Torres, Nora Lizeth Bustos Hernández, Mariana Isabel Obregón Montelongo y Yoselin Sandoval Rojas**, por su ayuda, paciencia, cariño y por todas las experiencias que pasamos durante esta etapa.

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

DEDICATORIA

A mis padres: **Pedro Muñoz Madrid y María Eugenia Arroyo Portillo.**

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

A mis hermanas: **Gabriela Muñoz Arroyo, Elena Muñoz Arroyo y Yazmín Muñoz Arroyo.**

Por estar conmigo y apoyarme siempre.

A mi prometido: **Victor Manuel Castilla Rivera.**

Quien me brindo su amor, paciencia y apoyo constante.

ÍNDICE DE CONTENIDO GENERAL

DERECHO DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	11
JUSTIFICACIÓN	12
OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	13
1.1 Objetivo General.....	13
1.2 Objetivos Específicos	13
1.3 Hipótesis	13
LITERATURA REVISADA.....	14
2.1 Origen del cultivo.....	14
2.2 Taxonomía	15
2.3 Anatomía del cultivo.....	15
2.3.1 Hojas	15
2.3.2 Raíces.....	15
2.3.3 Tallos.....	16
2.3.4 Flores e inflorescencias	16
2.3.5 Fruto	16
2.4 Superficie cosechada	17
2.5 Rendimiento por hectárea.....	17
2.6 Volumen de Producción.....	18
2.7 Producción nacional.....	18
2.8 Mercados del Arándano	19
2.9 Requerimientos climáticos para el desarrollo del arándano	20
2.9.1 Temperatura y fotoperiodo.....	20
2.9.2 Suelo	21
2.10 Cultivar Biloxi	21

2.11	Precipitación	22
2.12	Fisiología del cultivo.....	22
2.12.1	Fotosíntesis	22
2.12.2	Estructura de la hoja	23
2.13	Cantidad de RFA que llega al cultivo en un periodo dado.....	23
2.14	Eficiencia fotosintética al transformar energía solar en energía química.....	23
2.15	Transpiración	24
2.16	CO ₂ interno.....	24
2.17	Conductancia estomática	24
2.18	Micromorfología de la epidermis de la hoja.....	25
2.18.1	Índice estomático.....	25
2.18.2	Densidad estomática.....	25
2.19	Manejo nutricional.....	26
2.19.1	Nitrógeno	26
2.19.2	Fosforo	26
2.19.3	Potasio.....	27
2.19.4	Calcio	27
2.19.5	Magnesio.....	27
2.19.6	Azufre	27
2.19.7	Hierro	28
2.19.8	Manganeso.....	28
2.19.9	Cobre.....	28
2.19.10	Zinc.....	28
2.19.11	Boro.....	29
2.20	Fertilización nitrogenada	29
2.21	Nitrificación.....	29
2.22	Reducción del nitrato.....	30
2.23	Absorción de NH ₄ ⁺ y NO ₃ ⁻	31
2.24	Relación amonio: nitrato	31
2.25	Estrés Abiótico	32
2.26	Cambios en el sistema de señalización en plantas con estrés.....	32
2.27	Estrés salino	33
2.27.1	Estrés por Cloruro de Sodio	33

2.28	Propiedades nutricionales y nutracéuticas.....	34
MATERIALES Y MÉTODOS.....		35
3.1	Ubicación del Experimento.....	35
3.2	Material Vegetal Utilizado	35
3.3	Establecimiento del cultivo.....	35
3.4	Manejo agronómico.....	35
3.5	Tratamientos.....	36
3.6	Variables Evaluadas	37
3.7	Variables fisiológicas.....	37
3.7.1	Fotosíntesis, CO ₂ interno, conductancia estomática y transpiración	37
3.8	Variables de producción	37
3.9	Número total de frutos.....	37
3.10	Peso total de frutos por planta.....	37
3.11	Rendimiento total por planta	38
3.12	Diseño estadístico	38
3.13	Análisis estadístico	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		39
3.14	Variables fisiológicas.....	39
3.14.1	Fotosíntesis	39
3.14.2	CO ₂ interno	40
3.14.3	Conductancia estomática.....	41
3.14.4	Transpiración.....	42
3.15	Variables de producción	44
3.15.1	Número total de frutos	44
3.15.2	Peso del fruto	45
3.4.3	Rendimiento total por planta.....	46
CONCLUSIÓN		47
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....		48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pedigree del arándano tipo arbusto alto del sur (highbush southern), cv. Biloxi.	22
Figura 2. El ciclo del nitrógeno en el arándano.	30
Figura 3 Composición de soluciones nutritivas aplicadas a los tratamientos	36
Figura 4 Tasa fotosintética en hojas de arándano en función del manejo nitrogenado y el medio salino.	40
Figura 5 CO ₂ interno en hojas de arándano en función del manejo nitrogenado y el medio salino.	41
Figura 6. Conductancia estomática en hojas de arándano en función del manejo nitrogenado y el medio salino.	42
Figura 7 Tasa de transpiración en hojas de arándano en función del manejo nitrogenado y el medio salino.	43
Figura 8 Total de frutos cosechados de arándano en función del manejo nitrogenado y el medio salino.	45
Figura 9 Rendimiento total por planta de arándano en función del manejo nitrogenado.	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Área cosechada de los principales países productores de arándano	17
Tabla 2. Rendimiento por hectáreas de arándano a nivel mundial.....	17
Tabla 3. Producción total de arándano a nivel mundial.....	18
Tabla 4. Principales productores de arándano a nivel nacional.....	19
Tabla 5. Temperaturas críticas para las etapas fenológicas del arándano.	21
Tabla 6. Solución base utilizada.....	36
Tabla 7. Tratamientos evaluados	37
Tabla 8. Peso de fruto de arándano cosechados, en función del manejo nitrogenado y el medio salino.	45

RESUMEN

El arándano (*Vaccinium* spp.) es un fruto de alto valor económico y nutricional que ha ganado popularidad a nivel global debido a sus propiedades benéficas para la salud. Rico en antioxidantes, vitaminas, minerales y compuestos fenólicos, es reconocido por su capacidad para prevenir enfermedades cardiovasculares, reducir el estrés oxidativo y fortalecer el sistema inmunológico. Además, su bajo contenido calórico lo convierte en un alimento ideal para dietas saludables. Desde el punto de vista agrícola, el arándano es un cultivo altamente rentable, impulsado por la creciente demanda en los mercados internacionales. Su producción requiere técnicas específicas de manejo del suelo, agua y fertilización, lo que lo posiciona como un cultivo estratégico en sistemas de agricultura sostenible y de exportación. Su impacto en la salud humana y su potencial económico lo consolidarán como un elemento clave.

En el presente estudio se evaluó la influencia del manejo nitrogenado y los niveles de salinidad en el sustrato, sobre la actividad fisiológica y el rendimiento agronómico del arándano (*Vaccinium* spp.). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar considerando diferentes fuentes de nitrógeno (NO_3^- y NH_4^+) y salinidad (NaCl), midiendo parámetros fisiológicos como la tasa fotosintética, conductancia estomática, transpiración y el contenido de CO_2 interno, así como el rendimiento final del cultivo. Los resultados indicaron que el manejo adecuado de nitrógeno favorece el rendimiento y su actividad fisiológica. Estos hallazgos destacan la necesidad de plantear estrategias de manejo nutricional para optimizar el cultivo de arándano en ambientes adversos.

Palabras clave: Arándano azul, salinidad, fisiología, rendimiento, nitrato/amonio.

ABSTRACT

Blueberry (*Vaccinium spp.*) is a fruit of high economic and nutritional value that has gained popularity globally due to its beneficial health properties. Rich in antioxidants, vitamins, minerals and phenolic compounds, it is recognized for its ability to prevent cardiovascular diseases, reduce oxidative stress and strengthen the immune system. In addition, its low calorie content makes it an ideal food for healthy diets. From an agricultural point of view, blueberries are a highly profitable crop, driven by growing demand in international markets. Its production requires specific soil, water and fertilization management techniques, which positions it as a strategic crop in sustainable agriculture and export systems. Its impact on human health and its economic potential will consolidate it as a key element.

In the present study, the influence of nitrogen management and salinity levels in the substrate on the physiological activity and agronomic performance of blueberry (*Vaccinium spp.*) was evaluated. A completely randomized experimental design was used, considering different sources of nitrogen (NO_3^- and NH_4^+) and salinity (NaCl), measuring physiological parameters such as photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration and internal CO_2 content, as well as fruit yield. The results indicated that adequate nitrogen management favors performance and physiological activity. These findings highlight the need for nutritional management strategies to optimize blueberry cultivation in adverse environments.

Keywords: Blueberry, salinity, physiology, yield, nitrate/ammonium.

INTRODUCCIÓN

El género *Vaccinium* es un frutal perenne de la familia de las Ericáceas que comprenden 450 especies (Llerena *et al.*, 2014; Hurkova *et al.*, 2019).

El arándano constituye la cuarta frutilla de interés económico a nivel mundial, debido a su alto contenido de antioxidantes, fibras, pectinas y vitamina C y, alta rusticidad, lo que hace que adapte a condiciones ambientales adversas, puesto que, aunque es una especie de climas templados y fríos, algunos cultivares se adaptan a microclimas tropicales y subtropicales (Salgado *et al.*, 2018).

Jalisco es uno de los productores principales de berries en México, gracias a que goza de diversos factores como tecnología, climas, condiciones edáficas, brindan un desarrollo adecuado al cultivo (SADER, 2018).

La investigación sobre las necesidades nutricionales nos facilita la toma de decisiones en el proceso de producción del cultivo y establecer una correlación entre la necesidad nutricional y la calidad del fruto (Castillo *et al.*, 2016). En relación al N, tanto el NH_4^+ como el NO_3^- constituyen el 80% del total de cationes y aniones que las plantas absorben, lo que implica que la estructura de N influye significativamente en la absorción de los demás elementos (Marschner, 2012).

Algunos científicos señalan que el arándano se desempeña mejor con el NH_4^+ , ya que este es la principal fuente de N en el suelo o en hidroponía (Osorio *et al.*, 2019; Tamir *et al.*, 2020). Sin embargo, otros autores han reportado que el crecimiento de las yemas y raíces, así como la actividad fotosintética, se ven favorecidos positivamente por la aplicación de NO_3^- en comparación con el NH_4^+ (Crisóstomo *et al.*, 2014).

El arándano azul es sensible a la salinidad del medio y se ha reportado que una conductividad eléctrica (CE) mayor de 1.5 dS/m, daña el sistema radicular, hojas y la producción de frutos (Machado *et al.*, 2014). Sin embargo, no hay evidencia suficiente del manejo de la concentración de la solución nutritiva en sistemas hidropónicos, mediante el incremento proporcional de la concentración de iones presentes.

JUSTIFICACIÓN

El rendimiento del arándano está estrechamente vinculado a su actividad fisiológica, lo cual depende directamente del manejo nutricional y salino. Por lo tanto, resulta fundamental llevar a cabo una evaluación del cultivo ante este efecto y permita comprender los factores de influencia para garantizar una producción óptima.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

1.1 Objetivo General

Identificar los cambios en la actividad fisiológica y rendimiento del arándano en función de la fuente nitrogenada y el estrés salino.

1.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar la actividad fotosintética del cultivo durante el crecimiento vegetativo.
- Medir la conductancia estomática y la tasa de transpiración del cultivo.
- Determinar el número y peso de frutos por planta al momento de la cosecha.
- Evaluar el rendimiento final del cultivo.

1.3 Hipótesis

Las fuentes nitrogenadas y el estrés salino afectan de manera negativa la fisiología y la producción del cultivo del arándano.

LITERATURA REVISADA

2.1 Origen del cultivo

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

A finales del siglo XIX, los arándanos de alto arbusto y los de ojo de conejo fueron domesticados. En un principio, se extrajeron las plantas del entorno natural y se plantaron en terrenos en Nueva Inglaterra y Florida (Retamales, 2018).

Los arándanos altos del norte, *Vaccinium corymbosum* se domesticaron por primera vez en 1908 por Frederick Coville del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Fue el primero en establecer las exigencias básicas de estas plantas, al determinar que los arándanos necesitan suelos ácidos y bien drenados, que el sistema radicular no tiene pelos radicales y que requieren un periodo de receso a baja temperatura, para la variedad biloxi (Coville, 1916).

La especie *V. corimbosum* al ser una de las más comercializadas se ha domesticado de la misma manera alrededor de todo el mundo, debido a que los ejemplares se iniciaron en Norteamérica a comienzos del siglo XX y por ende todos los cultivares que se manejan en la actualidad se desarrollan de forma silvestre (Quintanilla *et al.*, 2016).

Con la ayuda de Elizabeth White, una productora privada de Nueva Jersey, Coville comenzó el mejoramiento genético de arándanos de arbusto alto en 1908 (Ehlenfeldt, 2009).

La hibridación interespecífica fue una de las técnicas de mayor relevancia en especies del género *Vaccinium* (Nishiyama *et al.*, 2020).

Las primeras plantas de arándano en México se introdujeron a Puebla en los años 70's, con plantas del tipo 'ojo de conejo'. Para 1995 se reportaron plantaciones comerciales con una superficie de 175 ha en las regiones de Zacatlán, Huauchinango y Cuetzalan en este estado. En el año 2003 se introdujeron al estado de Michoacán cultivares del tipo arbusto alto del sur (Escalera, 2009).

2.2 Taxonomía

Según Retamales y Hancock (2018) y Cronquist (1981), citado por Maticorena (2017), la taxonomía del arándano se clasifica en:

Reino: Plantae
División: Magnoliophytas
Subdivisión: Angiosperma
Clase: Dicotiledóneas
Subclase: Dillenniidae
Orden: Ericales
Familia: Ericaceae
Subfamilia: Vaccinoideae
Tribu: Vaccinieae
Género: Vaccinium
Especie: Corymbosum

2.3 Anatomía del cultivo

2.3.1 Hojas

Las hojas del arándano son simples, enteras o aserradas, y se disponen alternadamente a lo largo del tallo. La mayoría de las especies de arbusto alto y ojo de conejo son deciduas, aunque algunos cultivares de bajo requerimiento de frío pueden ser siempre verdes si las temperaturas se mantienen por encima del punto de congelación. La forma de las hojas varía, pudiendo ser elíptica, espatulada, oblanceolada u ovalada. Los cultivares de arbusto alto y ojo de conejo presentan diferentes grados de pubescencia y cantidad de glándulas en el envés de las hojas (Retamales, 2018)

2.3.2 Raíces

Los arándanos tipo arbustos altos y ojo de conejo tienen dos tipos principales de raíz: raíces gruesas (hasta 11 mm de diámetro) y raíces fibrosas (alrededor de 1 mm de diámetro). El primer tipo de raíces sirven de anclaje para las plantas y su

función es de almacenamiento, mientras que el segundo tipo son los principales responsables de la absorción de agua y nutrientes. Los arándanos no tienen pelos radicales y están colonizadas por endomicorrizas (Retamales y Hancock, 2018).

En términos generales, cerca del 50% de las raíces están ubicadas en los 30 cm alrededor de la corona y entre el 80 y el 85% se ubican en los 60 cm (Paltineanu *et al.*, 2017).

Las raíces absorbentes de *Vaccinium spp.* pueden presentar diámetros inferiores a 50 μm («raíces tipo pelo») en comparación con el diámetro habitual que supera los 200 μm en la mayoría de las otras especies de carácter leñoso (Valenzuela *et al.*, 2008).

2.3.3 Tallos.

Los arándanos presentan dos tipos de tallos, primarios y secundarios. Los primarios se originan a partir de brotes que se forman en la corona de la planta; a estos tallos también se les conoce como cañas y se vuelven leñosos en la segunda temporada de crecimiento. Los secundarios por otra parte, se desarrollan de brotes formados en los tallos primarios y se caracterizan por ser los tallos productivos (Retamales y Hancock, 2018).

Se originan de yemas localizadas sobre la corona, la cual es un área de transición entre los sistemas vasculares morfológicamente distintos de la raíz y de la caña. Su grosor depende de la edad de la planta y de su ubicación dentro de ella. La ramificación es abundante (Loera, 2016).

2.3.4 Flores e inflorescencias

La inflorescencia del arándano es un racimo. La corola del arándano está unida, con cuatro o cinco lóbulos, y es de color blanco sólido con un margen rosado. La corola es invertida y tiene forma de globo o acampanada. El pistilo puede ser ligeramente más largo o más corto que la corola. El ovario es ínfero y tiene cuatro a cinco celdas (lóculos), con unos pocos a muchos óvulos en cada lóculo. (Retamales, 2018).

Existen entre ocho y diez estambres por flor que se ubican en la base de la corola y envuelven el estilo. Los estambres se componen de una antera y un filamento; la antera posee dos aristas con poros en sus extremos por donde se despliega el polen. En los arándanos, el grano de polen es una tétrada, aunque raramente genera tubos germinales múltiples (Brewer y Dobson, 1969).

2.3.5 Fruto

El arándano es una baya verdadera con muchas semillas, que madura en 2-3 meses tras la polinización, dependiendo del cultivar y las condiciones ambientales, siendo las altas temperaturas un factor que acelera su maduración. Su color varía de azul

claro a negro, con una cutícula cerosa de 5 μm . Los pigmentos están en las capas epidérmica e hipodérmica, separadas de la corteza por haces vasculares. La pulpa es mayormente blanca, y en su centro hay un carpelo con cinco placentas lignificadas y numerosas semillas. Las células pétreas, más comunes bajo la epidermis, están dispersas (Retamales, 2018).

2.4 Superficie cosechada

De acuerdo con los datos obtenidos de FAOSTAT en el año 2022 a nivel mundial, las áreas cosechadas en hectáreas muestran marcadas diferencias entre los países, siendo Estados Unidos de América el que presenta la mayor y México se ubica en el séptimo lugar con una superficie de 5587 ha.

Tabla 1. Área cosechada de los principales países productores de arándano

	País	Área cosechada (ha)
1	Estados Unidos de América	46539
2	Canadá	42216
3	Perú	21899
4	Chile	17822
5	Polonia	11400
6	Marruecos	6418
7	México	5887
8	España	4810
9	Alemania	3400
10	Portugal	2620

Fuente: FAOSTAT, 2022.

2.5 Rendimiento por hectárea

De acuerdo con la información suministrada por la FAOSTAT (2022), España lidera con 14,640.3 kg/ha, mientras que México se encuentra en el tercer lugar con 11,432.3 kg/ha.

Tabla 2. Rendimiento por hectáreas de arándano a nivel mundial

	País	Rendimiento kg/ha
1	España	14640.3
2	Perú	13360.5
3	México	11432.3
4	Países Bajos	9878
5	Austria	9363.6
6	Portugal	7271
7	Italia	7115.4
8	Uzbekistán	7081.1
9	Chile	6874.2
10	Estados Unidos de América	6814.7

Fuente:

FAOSTAT, 2022.

2.6 Volumen de Producción

De acuerdo con la información suministrada por la FAOSTAT (2022), Estados Unidos se ubica en primer lugar como el país con mayor volumen de producción de arándano, con 317,150 toneladas, mientras que México está en quinto lugar con 70,420 toneladas.

Tabla 3. Producción total de arándano a nivel mundial

	País	Producción-cantidad (ton)
1	Estados Unidos de América	317150
2	Perú	292584
3	Canadá	180117
4	Chile	122512.15
5	España	70420
6	México	67304.53
7	Polonia	64000
8	Marruecos	30250
9	Portugal	19050
10	Alemania	15370

Fuente: FAOSTAT, 2022.

2.7 Producción nacional

De acuerdo con Blueberries Consulting (2023) en México, la superficie cultivada con arándanos alcanza las 11, 400 hectáreas. Jalisco es el principal productor, con cerca de 4.910 ha, lo que representa el 43.1 % de la superficie total; Sinaloa posee 2.440 ha (21.4 %); Michoacán es el 16.1 % con 1.830 ha; Guanajuato tiene 970 ha (8.5 %); Baja California tiene el 5 % con 565 ha; Puebla tiene 270 ha (2.4 %); Nayarit tiene un 1.8 % con 200 ha; Querétaro contribuye con 60 ha (0.5 %); San Luis Potosí con 25 ha (0.2 %); Baja California Sur con 35 ha (0.2 %); Estado de México con 30 ha (0.2 %); Sonora, con 25 ha (0.2 %); Colima contribuye con 25 ha y Chihuahua con 10 ha aporta el 0.1 %. Por otro lado, cerca del 88 % de la superficie cultivada se cultiva de forma convencional (10.032 ha), mientras que el 12 % restante, que corresponde a 1.368 ha, se cultiva de forma orgánica. La producción en estructura se estima en 8.778 hectáreas, lo que representa el 77 %, mientras que en cielo abierto-malla sombra se sitúa en 2.622 hectáreas, representando el 23 %. Respecto a las variedades plantadas, en México se cultivan el 74 % de la superficie con variedades protegidas, 2.627 hectáreas con la variedad Biloxi, lo que equivale al 23 % y al 3 % restante con diversas variedades. Finalmente, las 8.930 hectáreas de arándano cultivado en sustrato representan el 78 % de las granjas, mientras que las 2.470 hectáreas encontradas en la naturaleza representan el 22 % del total de 11.400 hectáreas.

México se colocó como el octavo exportador mundial de arándanos frescos durante los últimos cuatro años, con ventas al exterior por un valor de 490 millones de dólares y una tasa media anual de crecimiento de 15.5 % (SADER, 2023).

Tabla 4. Principales productores de arándano a nivel nacional

Estado	Producción (ha)
Jalisco	4.910
Sinaloa	2.440
Michoacán	1.830
Guanajuato	0.970
Baja California	0.565

Fuente: Blueberries Consulting, 2023.

2.8 Mercados del Arándano

El mercado de frutos de arándano ha experimentado un incremento en la demanda en los últimos 10 años, ubicándolo a nivel mundial como la cuarta fruta de importancia económica, debido a que son considerados productos naturales con muchos beneficios para la salud humana (Meléndez *et al.* 2021).

Las exportaciones a nivel mundial de arándanos, tanto en valor como un volumen se han expandido en forma significativa con valores en torno a los US\$ 127 millones y las 21.000 mil toneladas (FAO, 2022).

Estados Unidos fue el principal destino de este fruto nacional, con una participación de 96.2 por ciento del total comercializado en los mercados internacionales, destacó la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2023).

De acuerdo con cifras del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2023), Japón fue la segunda nación consumidora de esta frutilla, con 2.2 por ciento y una tasa media anual de crecimiento de 2.4 por ciento, y en el tercer sitio se colocó Canadá, con 0.6 por ciento y una tasa media anual de crecimiento de 2.4 por ciento.

2.9 Requerimientos climáticos para el desarrollo del arándano

El arándano necesita de una estación de crecimiento de 160 días, además de un receso invernal, creciendo en una amplia gama de climas porque sus requerimientos de frío van desde las 400 a 1,100 horas frío (Medel, 1982; Sudzuki, 1993).

2.9.1 Temperatura y fotoperiodo

Diversas investigaciones han evidenciado que el comienzo de las yemas florales en arándanos de alto arbusto y el ojo de conejo se provoca por fotoperiodos de día corto (días con menos de 12 horas luz). En los AAN (arándano de arbusto alto), 8 semanas con un fotoperiodo de 8, 10 o 12 h a una temperatura estable de 21°C en el invernadero llevaron a una aparición significativamente más rápida de las yemas florales en comparación con fotoperiodos de 14 o 16 h en los invernaderos (Hall *et al.*, 1963).

Darnell (1991), descubrió que durante 6 semanas con fotoperiodos de 8 horas se produjeron más flores que durante largos de día de 11 a 12 horas en el ojo de conejo ('Beckyblue' y 'Climax') en Gainesville, Florida. En AAS (Misty' y 'Sharpblue') y V. darrowii, Spann *et al.* (2003) descubrieron que, durante 8 semanas, a una temperatura estable de 21°C en lugar de 28°C, se inducían más yemas florales. Sin embargo, el peso seco de la planta y la altura de la caña no se vieron impactados por estas temperaturas (Spann *et al.*, 2004). Biloxi' requiere un mínimo de 400 h de frío (Proplantas, 2014).

La temperatura óptima de crecimiento de raíces va del rango de 18 a 22 °C, de brotes, hojas y frutos entre 20 a 26 °C (González *et al.*, 2017).

Tabla 5. Temperaturas críticas para las etapas fenológicas del arándano.

Temperaturas críticas	
Yema hinchada	-6°C
Botón floral	-4°C
Plena flor	-2.3°C
Cuaja	-1.1°C

Fuente: CIREN, 2020.

2.9.2 Suelo

Los arándanos prefieren suelos ligeros y con una alta capacidad de retención de humedad (Ratnaparkhe, 2007; Korcak, 1988); suelos arenosos con baja fertilidad y bajo contenido de humedad son desfavorables para la producción (Austin, 1994). Prosperan en suelos ácidos con un pH entre 4.5-5.5, contenidos de materia orgánica de 2-3% y con buen drenaje (Nesom, 2002). Prefieren suelos con drenaje adecuado debido a que las plantas de arándano no toleran humedades excesivas por largos periodos de tiempo (Austin, 1994).

Se recomienda realizar un análisis completo de macro y micronutrientes, salinidad (conductividad eléctrica), materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y pH al suelo antes del establecimiento (González *et al.*, 2017).

2.10 Cultivar Biloxi

El cultivar Biloxi pertenece a los arbustos altos del sur, desarrollado por el Servicio de Investigación Agrícola de los programas de mejoramiento del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Spiers *et al.*, 2002). Este cultivar es originario de Mississippi. Es un cultivar precoz con requerimientos menores de 500 horas frío, que puede adaptarse a manejos perennes en climas de inviernos frescos (Retamales y Hancock, 2012). Posee un período de producción de 6 meses (noviembre a mayo). Para una densidad de 4,950 plantas·ha⁻¹, el rendimiento potencial en el primer año productivo es de 2,970 kg·ha⁻¹, 5,940 kg·ha⁻¹ para el segundo y 9,900 kg·ha⁻¹ para el tercero (Bernal, 2010).

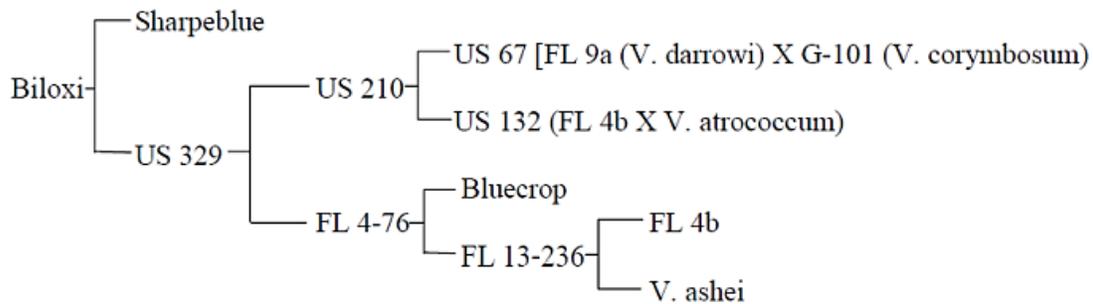


Figura 1. Pedigree del arándano tipo arbusto alto del sur (highbush southern), cv. Biloxi.

Fuente: (Spiers et al., 2002).

2.11 Precipitación

Para cultivares de arándano establecidos en campo abierto, los rangos de precipitación pluvial pueden oscilar de los 1000 a los 3000 mm anuales bien distribuidas durante el periodo vegetativo, es necesario que durante la etapa de crecimiento del fruto exista un adecuado suministro de agua (Agexpront, 2002).

2.12 Fisiología del cultivo

2.12.1 Fotosíntesis

La planta es un conjunto de órganos (raíces, tallos, hojas y frutos) que crecen y se desarrollan en armonía. La mayor parte de la materia seca (lo que queda después de la remoción del agua de los tejidos) son carbohidratos, los que representan el principal producto del proceso fotosintético (Retamales, 2018).

La fotosíntesis es uno de los procesos más importantes que controlan el crecimiento y la producción de la planta, en el que el CO₂ es asimilado por las hojas en presencia de luz y agua para transformar energía radiante en energía química y fijado en compuestos orgánicos carbonados (Taiz y Zeiger, 2006). Además, es uno de los principales procesos relacionados con la absorción y asimilación de nitrógeno en frutales, debido a la clorofila y proteínas enzimáticas involucradas en el proceso fotosintético (Evans, 1989).

La caída de la fotosíntesis en plantas deficientes en N se produce por una menor conductancia estomática, una baja disponibilidad de moléculas energéticas y proteínas captadoras de luz, así como un contenido reducido y/ o baja actividad de enzimas involucradas en el proceso de carboxilación (Mu y Chen, 2021). La baja fotosíntesis en plantas de bayas azules con deficiencia de N también se asocia con un mecanismo de retroalimentación de regulación a la baja generado por la acumulación de carbohidratos en la hoja (Araya et al., 2010; Jorquera et al., 2018).

2.12.2 Estructura de la hoja

Es el principal órgano adaptado para este proceso, por su morfología laminar, por contener los aparatos fotosintéticos y por la cantidad de clorofila y pigmentos especializados que capturan la energía radiante (Ledesma, 2011).

Las propiedades de las hojas (como su tamaño, ángulo, densidad estomática y concentraciones de pigmentos) son elementos clave que afectan la absorción de la energía lumínica (Tsukaya, 2005).

2.13 Cantidad de RFA que llega al cultivo en un periodo dado

La radiación solar influye directamente en la fotosíntesis, calidad del fruto y desarrollo de la planta de arándano. La exposición adecuada a la luz determina la producción de carbohidratos, el color del fruto (a través de la formación de antocianinas), la morfología de la planta (como la longitud de brotes, tamaño de hojas y densidad estomática) y el número de yemas florales para la siguiente temporada (Retamales, 2018).

2.14 Eficiencia fotosintética al transformar energía solar en energía química

Casi el 90 % de la materia seca de las plantas se deriva de la actividad fotosintética (DaMatta, 2007). En este proceso, el CO₂, ingresa a través de los estomas ubicados en la superficie de hojas y frutos. La energía de la luz se almacena como azúcares formados a partir del agua (obtenida del suelo) y CO₂, en las células de la hoja que contienen pigmentos, como clorofila y carotenos, capaces de atrapar la luz. Sin embargo, a través del mismo estoma, que permite que el CO₂ entre a la planta, se pierde agua hacia el medio ambiente a través de la transpiración (proceso necesario para regular la temperatura de la planta y mover nutrientes del suelo a la planta) (Retamales, 2020).

Las plantas utilizan una considerable cantidad de azúcares (40-50 %) producidos por la fotosíntesis para su respiración. La respiración desempeña dos funciones esenciales: produce energía (en forma de ATP) para diversas funciones (como el control de estomas, la translocación de sustancias) y genera los elementos fundamentales de los distintos compuestos necesarios para la planta (como proteínas, hormonas, pigmentos, compuestos reguladores y de defensa) (Retamales, 2020).

La eficacia global de la fotosíntesis para los cultivos es baja, dado que de un total de 100 unidades de energía que llegan a un terreno agrícola durante un periodo determinado, menos de cuatro unidades acaban almacenándose en los distintos tejidos generados por la planta (Long *et al.*, 2006).

2.15 Transpiración

A la acción mediante la cual la planta pierde agua a través de las hojas en forma de vapor se le conoce como transpiración. No obstante, la transpiración es una necesidad mediante la cual se obtiene el CO₂ el cual entra en conflicto directamente con la necesidad de conservar el agua (Zamora, 2024).

La traspiración es la pérdida de agua en forma de vapor. Este proceso involucra la evaporación del agua desde las superficies celulares hasta el interior de los espacios intercelulares y su difusión fuera del tejido vegetal, principalmente a través de los estomas, y en menor medida a través de la cutícula y las lenticelas (Loera, 2016).

Se ha considerado que la traspiración es un mal necesario, ya que si los estomas no se abren no penetra el CO₂ requerido para la fotosíntesis por las células del parénquima clorofílico (Nobel, 1999). Otro efecto de la traspiración es la acción refrigerante de la hoja; ya que la evaporación de agua de la superficie foliar va acompañada por una pérdida de calor, ejerciendo un enfriamiento de la superficie foliar (Caird *et al.*, 2007).

La traspiración de la hoja depende de la diferencia en la concentración del vapor de agua entre los espacios de aire de las hojas y el aire externo y la resistencia de difusión de esta ruta (Nobel, 1999).

Los factores que afectan la pérdida de agua por las plantas son la presión de vapor del agua en la hoja y la presión de vapor de en la atmósfera. Otros factores importantes son: luz, temperatura, humedad y viento (Loera, 2016).

2.16 CO₂ interno

Según Taiz y Zeiger (2006), la concentración interna de CO₂ (C_i) es importante porque la productividad de una planta puede analizarse como el producto de la energía solar interceptada y el CO₂ fijado durante un período de tiempo. A medida que aumenta el CO₂ en el ambiente, la tasa fotosintética de las plantas C₃ también aumenta significativamente, debido a una mayor concentración de este gas en el sitio activo de la Rubisco (Long *et al.*, 2004). Según Fuhrer (2003), las especies con metabolismo C₃, cuando se someten a una atmósfera con el doble de la concentración actual de CO₂ y en condiciones controladas de temperatura y humedad, muestran aumentos medios de productividad del 30 %.

2.17 Conductancia estomática

En griego la palabra estoma significa boca, y estas estructuras permiten la comunicación entre los entornos interno y externo de la planta. Su función principal

es permitir que los gases como el CO₂, el vapor de agua y el oxígeno, entren y salgan de la hoja; por lo cual los cambios en el potencial hídrico foliar, temperatura de hoja y carboxilación pueden afectar la apertura y conductancia estomática. Si hay un déficit hídrico disminuye la conductancia estomática y a su vez la tasa fotosintética (Lawlor y Tezara, 2009).

La conductancia estomática estima la tasa de intercambio de gases (es decir, el consumo de dióxido de carbono) y la transpiración (es decir, la pérdida de agua) a través de los estomas de las hojas, que está determinada por el grado de apertura de los estomas (y, por lo tanto, gran parte de la resistencia física al movimiento de los estomas) gases entre el aire y el interior de la hoja) (Pask, 2013).

La conductancia estomática puede disminuir a lo largo del perfil de la planta, debido a la edad de la hoja y al nivel de la irradiación (Monti, 2009). Lima (2004) encontró en plantas de ciruela mexicana que en la estación fuera de lluvias, los valores de conductancia estomática fueron menores (0.02 a 0.16 mmol m⁻² s⁻¹), a los de la estación lluviosa (0.72 a 1.17 mmol m⁻² g⁻¹) por lo cual menciona que la conductancia estomática afecta la transpiración y fotosíntesis.

2.18 Micromorfología de la epidermis de la hoja

2.18.1 Índice estomático

Ascón Bieto y Talon (2008) señalaron que los estomas son órganos vegetales presentes en todas las especies vegetales. Son más habituales en la parte baja de las hojas, aunque también se hallan en tallos, flores y frutos.

González y Arbo (2019), indicó que los estomas, son grupos de dos o más células epidérmicas especializadas cuya función es regular el intercambio gaseoso y la transpiración. Se encuentran en las partes verdes aéreas de la planta, particularmente en las hojas, donde pueden hallarse en una o ambas epidermis, más frecuentemente en la inferior.

2.18.2 Densidad estomática.

Los estomas desempeñan un papel fundamental en el intercambio de gases entre la atmósfera y la hoja, pero también regulan la pérdida de agua (Webb y Baker, 2002). Por lo cual, cuando existe déficit hídrico se afecta el funcionamiento del estoma, y con esto el intercambio gaseoso ya que reduce la entrada de CO₂, la transpiración, la fotosíntesis y la síntesis de proteínas (Munns y King, 1988), de ahí la importancia de conocer el número de estomas por unidad de superficie foliar, definición dada al término densidad estomática, el cual representa un valor diagnóstico para fragmentos de láminas foliares, siempre y cuando su uso se

restrinja a órganos de la misma edad de desarrollo y de la misma taxonomía (Croxdale, 2000).

Thakur (1990), señalan que la disminución de la cantidad de estomas por mm^2 incrementa la resistencia estomática de la planta y de esta manera evita un exceso de transpiración; sin embargo, la densidad estomática es tan variable que está fuertemente influenciada por diversas condiciones estresantes como condiciones de sequía y altas concentraciones salinas además el material vegetal que se trate (Salas *et al.*, 2001).

2.19 Manejo nutricional

Los arándanos tienen bajos requerimientos de nutrimentos y son sensibles a los excesos de fertilización; sin embargo, el manejo nutricional del arándano es un factor de mucha importancia en la productividad y calidad de los frutos producidos. Elementos minerales como N, K, Ca y Mg, deben ser ajustados en los programas de manejo nutricional del cultivo (Hirzel, 2010).

2.19.1 Nitrógeno

Las deficiencias de nitrógeno en arándanos son las más comunes en el mundo. Plantas con niveles deficientes de N presentan bajo vigor y hojas cloróticas. Por el contrario, excesos de nitrógeno producen raíces vigorosas y largas, así como hojas de color verde oscuro; puede reducir la producción, formar frutos más pequeños y producir una maduración tardía (Hart *et al.*, 2006; Hanson and Hancock, 1996).

Generalmente se recomienda suministrar el N en forma de NH_4^+ (urea, sulfato de amonio) debido a que es la forma preferible por el arándano (Hanson, 2006), sin embargo, el uso de NO_3^- también ha dado efectos positivos en estas plantas (Alt *et al.*, 2017). En un estudio realizado por Bolaños (2018), se encontró que la relación $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ más adecuada para el arándano es 30/70.

Un ensayo realizado en arándanos variedad 'Biloxi' mostró un aumento del crecimiento de las plantas cuando la relación $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$ fue 0:100 y el pH del suelo fue 5.0, mientras que una relación de 50:50 favoreció la longitud y el tamaño de la hoja tras 1 semana de inicio del ensayo, pero no en etapas posteriores (Crisóstomo *et al.*, 2014).

2.19.2 Fosforo

Las deficiencias de P están asociadas principalmente a suelos muy ácidos y a su posible lixiviación en suelos arenosos (Retamtales y Hancock, 2018). En condiciones ácidas, el P se fija con óxidos de Al y Fe en la superficie de los minerales arcillosos, por lo que no está disponible para su absorción por la raíz (Zhao *et al.*, 2014).

2.19.3 Potasio

Niveles bajos de potasio son raros en arándano, excepto en suelos arenosos. Al igual que otros frutales, la clorosis en los márgenes de las hojas maduras es el primer síntoma de deficiencia de potasio. Este síntoma puede provocar quemaduras a lo largo de los márgenes, manchas necróticas y finalmente la muerte del tejido foliar (Hart *et al.*, 2006).

Excesos de potasio pueden provocar desequilibrios en otros nutrimentos, particularmente deficiencias de Ca y Mg (Stiles y Reid, 1991).

El fruto es un órgano que demanda altas concentraciones de K, los niveles foliares de este nutrimento se ven influenciados en gran medida por la carga de frutos. Los niveles de K se incrementan conforme madura el fruto (Hart *et al.*, 2006).

2.19.4 Calcio

Los arándanos se consideran plantas calcífugas, clasificación que se les ha atribuido debido a que se desarrollan de manera óptima en suelos ácidos donde los contenidos de Ca son bajos (Retamales y Hancock, 2018)

Los arándanos son eficientes en la absorción del calcio y por tal motivo tienen bajos requerimientos de este nutrimento con respecto a otros frutales de clima templado (Retamales y Hancock, 2018). Plantas sanas presentan concentraciones foliares que van de 0.3 a 0.8% de Ca, en comparación con otros frutales que tienen niveles foliares de 1 hasta 4% (Hanson y Hancock, 1996; Hart *et al.*, 2006).

Cuando la absorción de Ca excede las necesidades de la planta, parte del Ca absorbido es secuestrado para formar oxalatos de calcio, los cuales, se depositan en las vacuolas de células especializadas. Este mecanismo también es utilizado para aumentar la tolerancia a altos niveles de metales pesados (Franceschi y Nakata, 2005).

2.19.5 Magnesio

Se han reportado deficiencias de magnesio en diversas áreas donde se cultiva arándano como Georgia (Krewer y NeSmith, 1999) y Michigan (Hanson y Hancock, 1996). Niveles muy bajos de Mg son comunes en suelos con pH ácido (Eck *et al.*, 1990). Las deficiencias de Mg son más severas en plantas de crecimiento rápido o en aquellas con altas cargas de fruto (Retamales y Hancock, 2018).

Altos niveles en Ca y/o K reducen la absorción de Mg. En general, para fines prácticos en frutales, una proporción porcentual K: Mg mayor o igual a 4:1 en muestras foliares indica un suministro inadecuado de Mg (Stiles y Reid, 1991).

2.19.6 Azufre

Las deficiencias en S son raras en los arándanos y a menudo se confunden con deficiencias de N. Las plantas deficientes de este nutrimento se deforman y presentan hojas de color verde claro sin ningún patrón o moteado, apareciendo primeramente en los tejidos más jóvenes (Beaton, 1966).

2.19.7 Hierro

La clorosis intervenal inducida por la deficiencia de Fe difiere del que es causado por la deficiencia de Mg, ya que en el primer caso las venas principales y muchas venas menores permanecen verdes en las hojas, mientras que en el segundo caso no sucede esto (Retamales y Hancock, 2018).

Los síntomas de deficiencia de Fe en arándanos generalmente están relacionados con un pH del suelo mayor a 5.5 (Hanson y Hancock, 1996). Esta deficiencia también ha sido asociada a suelos saturados, drenaje inadecuado o con altos niveles de Mn o P (Stiles y Reid, 1991).

Para corregir las deficiencias de Fe es necesario ajustar principalmente el pH del suelo y realizar aplicaciones foliares (Hart *et al.*, 2006). Pueden utilizarse compuestos de Fe inorgánicos, quelatos de Fe sintéticos y complejos de Fe naturales (Retamales y Hancock, 2018)

2.19.8 Manganeseo

En arándanos, los niveles de Mn en el tejido aumentan a medida que el pH disminuye. Niveles por encima de 450 mg·kg⁻¹ en tejido son considerados excesivos, especialmente si se presentan por largos periodos. Sin embargo, está reportado que los arándanos de arbustos altos pueden crecer normalmente con concentraciones foliares de hasta 650 mg·kg⁻¹ (Hart *et al.*, 2006).

El efecto tóxico principal del Mn es la reducción de la biosíntesis de pigmentos fotosintéticos (clorofila a/b y carotenoides) y la disminución de las tasas netas de fotosíntesis, provocando un crecimiento lento en las plantas (Rojas *et al.*, 2014; Stiles y Reid, 1991)

2.19.9 Cobre

Las deficiencias de cobre son inusuales en arándanos tipo arbustos altos y ojo de conejo (Hart *et al.*, 2006). Los síntomas de deficiencia de Cu son similares a los producidos por deficiencias de Mn. Incluyen clorosis intervenal en hojas jóvenes y, en casos muy severos, muerte regresiva (Hanson y Hancock, 1996).

Suelos de textura gruesa con pH's alcalinos y niveles altos de P tienden a acentuar las deficiencias de Cu en los tejidos (Stiles y Reid, 1991). Estas deficiencias pueden ser más severas en suelos con contenidos de materia orgánica mayores a 25% (Hart *et al.*, 2006)

2.19.10 Zinc

Los síntomas de deficiencia de zinc incluyen entrenudos cortos y un amarillamiento uniforme de hojas jóvenes sin un patrón intervenal. Las hojas afectadas pueden enrollarse de abajo hacia arriba a lo largo de la nervadura central (Retamales y Hancock, 2018). La importancia de estas deficiencias varía según las regiones productivas (Hart *et al.*, 2006).

2.19.11 Boro

Cuando se presentan deficiencias de boro, la muerte regresiva de los ápices es el síntoma típico en los arándanos. Las hojas más cercanas a las puntas de los tallos productivos desarrollan una clorosis moteada y un enrollamiento del tejido foliar. Los entrenudos tienden a ser más cortos en tallos afectados (Hanson y Hancock, 1996).

El daño de los ápices radicales también es un efecto importante de la deficiencia de B; puede generar y acentuar deficiencias de otros nutrimentos (Retamales y Hancock, 2018).

2.20 Fertilización nitrogenada

Para alcanzar un crecimiento óptimo, es necesario aplicar fertilizantes en el momento correcto, conforme a las demandas particulares de la planta en distintas fases de crecimiento y fenología.

Las plantas poseen la habilidad de absorber N inorgánico en forma de NO_3^- y NH_4^+ (nitrato y amonio), y lo pueden conseguir mediante la mineralización de la materia orgánica y la utilización de fertilizantes nitrogenados (Gurrola, 2020).

Las tareas del N incluyen funciones estructurales, osmóticas y enzimáticas. Es un componente esencial de las paredes celulares y está presente en moléculas vitales para el desarrollo vegetal, tales como ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas, clorofilas y alcaloides (Fageria, 2009).

En plantas de arándano se evaluó la concentración de nutrientes, utilizando diferentes relaciones de NH_4^+ y NO_3^- ; en soluciones nutritivas con diferente pH; se encontró que los tratamientos que tuvieron mayor crecimiento fueron los que tenían una proporción $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$; 50/50 (Crisóstomo *et al.*, 2014).

En la literatura, la mayoría de los autores afirman que el arándano se desarrolla mejor cuando el N se aporta sólo o principalmente como NH_4^+ (Doyle *et al.*, 2021).

La biomasa de las plantas aumenta cuando se les suministra NH_4^+ , solo o predominantemente, y disminuye cuando reciben solo NO_3^- (Osorio *et al.*, 2020; Doyle *et al.*, 2021; Yuan-Yuan *et al.*, 2021).

La preferencia de la planta de arándano por el NH_4^+ refleja su adaptación a tales condiciones ambientales y se expresa en procesos fisiológicos como absorción, translocación de la raíz a la parte aérea y asimilación en N orgánico (Doyle *et al.*, 2021).

2.21 Nitrificación

La nitrificación (asimilación de NO_3^-), definida como la oxidación biológica de NH_4^+ a NO_3^- (Subbarao, *et al.*, 2006), es el proceso mediante el cual las proteínas en

productivo (Touraine *et al.*, 2001). Esta enzima se encuentra en el plasma de la membrana, en las células epidermales y corticales y en el mesófilo de los tallos. (Berczi y Moller, 2000).

2.23 Absorción de NH_4^+ y NO_3^-

Para que las plantas utilicen el N disponible en el suelo o sustrato deben ocurrir los procesos de absorción, asimilación y translocación (Daubresse *et al.*, 2010)

La presencia de N en el suelo estará condicionada por factores como la precipitación, el tipo de suelo, la temperatura y el pH; mientras que la absorción del N se determinará por la especie y la adaptación de la planta a las condiciones del suelo (Kotsiras *et al.*, 2005).

Las plantas adaptadas a pH alto, prefieren el NO_3^- , mientras que las adaptadas a pH bajo absorben N en forma de NH_4^+ (Maathius, 2009).

El NH_4^+ se absorbe con mayor rapidez ya que la absorción y asimilación de NO_3^- demanda un gasto de energía adicional para disminuir el NO_3^- antes de ser incorporado a compuestos orgánicos (Bloom *et al.*, 1992), no obstante, el NH_4^+ en niveles elevados puede resultar tóxico para ciertas plantas. No todas las plantas muestran la misma conducta cuando existen dos fuentes de N en el medio de cultivo (Echeverría y Sainz, 2005).

Las investigaciones llevadas a cabo por Alt *et al.* (2017) indican que las plantas de arándano pueden incorporar ambas formas de N, dado que las tasas de absorción de N en la raíz son parecidas en ambas formas de aprovisionamiento de N inorgánico. No obstante, indican que la absorción de NH_4^+ supera de 2 a 8 veces a la de NO_3^- .

2.24 Relación amonio: nitrato

Las plantas pueden emplear amonio y nitrato como fuente de nitrógeno, la incorporación de nitrógeno al suelo se realiza de estas dos maneras (Gurrolas, 2020).

El amonio es un catión (ion con carga positiva), por lo que compite con otros cationes (potasio, calcio, magnesio) para la absorción por las raíces. En arándano se han generado investigaciones en donde el K ha tenido una mayor asimilación por la planta cuando es nutrida con N en forma de NO_3^- , y se ha visto también que el Mg con nutrición a base de NH_4^+ ha tenido concentraciones en niveles óptimos (Crisóstomo *et al.*, 2014).

El pH en la zona de raíces es influenciado por la forma nitrogenada (NH_4^+ o NO_3^-) que se utiliza en la fertilización; con fertilización y absorción de NO_3^- , el pH se incrementa, mientras que con fertilización y absorción de NH_4^+ el pH disminuye (Cao y Tibbitts 1994). Según Marschner (1995) la relación amonio/nitrato puede cambiar el pH cercano a las raíces. Estos cambios en el pH pueden afectar a la solubilidad y la disponibilidad de otros nutrientes, por ejemplo, Crisóstomo (2014) menciona

que para K, Ca, Mg, Mn y Zn una nutrición con NH_4^+ y con pH ácidos entre 5 a 6, no genera deficiencias de estos nutrientes.

2.25 Estrés Abiótico

El arándano azul es un cultivo muy susceptible a diferentes tipos de estrés abiótico, entre estos se encuentran, la sequía y la salinidad, estos factores pueden intervenir de manera negativa, tanto en el desarrollo del cultivo, como en la productividad de este. El estrés salino puede repercutir en el vigor de la planta y atrasar su crecimiento, mientras que el estrés hídrico disminuye la biomasa de las hojas y así su área foliar (Salgado *et al.*, 2024).

El estrés abiótico genera diferentes alteraciones como inhibir el crecimiento meristemático, modificar la estructura radicular y alterar el metabolismo del carbono produciendo una reducción de la producción (Mickelbart *et al.*, 2015; Espinoza, 2019).

Los agentes abióticos que perjudican a las plantas comprenden, falta de agua, temperaturas extremas (calor o congelación), reducción de la disponibilidad de nutrientes en el suelo y/o sobreabundancia de iones tóxicos, exceso o ausencia de luz, aumento en la dureza en terrenos secos, entre otros (Duque *et al.*, 2013).

El estrés abiótico es uno de los factores más significativos de pérdidas económicas en el sector agrícola, dado que sus impactos llevan a una reducida productividad de las cosechas. Alteraciones como la sequía, la salinidad, el frío y el calor, provocan cambios fenotípicos y fisiológicos en las plantas, impactando su crecimiento y desarrollo, resultando en una disminución de la biomasa. tamaño, número y calidad de los frutos, entre otros parámetros productivos (Gómez, 2018).

2.26 Cambios en el sistema de señalización en plantas con estrés

Durante el proceso evolutivo, las plantas han desarrollado mecanismos de tolerancia y resistencia al estrés que les permiten, mediante las respuestas reguladoras, reestablecer la homeostasis celular o actúan para reducir los efectos nocivos (Mickelbart *et al.*, 2015).

Durante el reconocimiento, las señales primarias de estrés se procesan vía receptores de la membrana celular (Tuteja *et al.*, 2011). Para la salinidad elevada las señales primarias son la presión osmótica alterada y la toxicidad iónica (Zhu, 2016).

La toxicidad metabólica del sodio está directamente relacionada con alteraciones en la membrana celular y con su competencia por los sitios de enlace del potasio, un elemento clave en el metabolismo celular. Cuando las concentraciones de sodio son elevadas, este desplaza los iones de calcio de los sitios de unión en la membrana celular de las raíces, lo que modifica su permeabilidad. Esto provoca la pérdida de potasio de las células y facilita la entrada excesiva. El efecto acumulativo de estas alteraciones incluye el deterioro de la capacidad selectiva de la membrana

celular, lo que favorece la acumulación pasiva de sodio tanto en raíces como en tallos. Como resultado, disminuye la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, afectando negativamente su desarrollo (Martínez-Villavicencio *et al.*, 2011).

Los primeros síntomas que presentan las plantas sometidas a estrés por sequía son: rápida inhibición del crecimiento de raíces y en menor grado, crecimiento del tallo, seguido por un cierre parcial o completo de los estomas (Osakabe *et al.*, 2014; Zargar *et al.*, 2017). Este último, va asociado con una reducción en la transpiración y absorción de CO₂ para la fotosíntesis y daño en el aparato fotosintético, lo que genera que el proceso se vea mermado (Chinnusamy *et al.*, 2004; Zargar, *et al.*, 2017).

2.27 Estrés salino

2.27.1 Estrés por Cloruro de Sodio

En la naturaleza, los principales problemas de estrés salino son originados por las sales de sodio, particularmente por el NaCl (Demiral, 2005).

La toxicidad de Na⁺ y el desbalance iónico en el citosol de la célula es otro efecto debido a la salinidad. Los cationes Na⁺ y K⁺ tiene propiedades físico químicas similares, por lo que el Na⁺ compite por sitios clave para procesos metabólicos que ocurren en el citoplasma como síntesis de proteínas, reacciones enzimáticas, entre otros, por lo que afecta severamente el metabolismo la planta (Shabala y Munns, 2017).

Una alta concentración de Na⁺ puede inhibir los efectos en la absorción de los nutrientes esenciales con similares propiedades físico-químicas, tal como potasio (K⁺) (Hamamoto *et al.*, 2015; Almeida *et al.*, 2017).

El estrés salino induce la sobreproducción de especies reactivas del oxígeno (ERO), lo que provoca estrés oxidativo en la planta. Estas ERO's provocan daños a las membranas y otras macromoléculas esenciales, como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos (Marius *et al.*, 2015).

El arándano azul es sensible a la salinidad del medio y se ha reportado que una conductividad eléctrica (CE) mayor de 1.5 dS/m daña el sistema radicular, hojas y la producción de frutos (Machado *et al.*, 2014).

El estrés salino ocurre en dos fases: choque osmótico y toxicidad iónica. La primera consiste en una disminución de la capacidad de las raíces de la planta para absorber agua; mientras que la segunda está relacionada con desordenes nutricionales ocasionados por la acumulación de los iones sodio (Na⁺) y cloro (Cl⁻) en los diferentes tejidos, lo que causa desordenes fisiológicos en los cultivos (Soares *et al.*, 2016).

La reducción del desarrollo inicial de las plántulas en condiciones de salinidad se ha asociado a una disminución de la fotosíntesis (Azcón y Talón, 2013).

La principal limitante del cultivo del arándano es el estrés salino, este afecta su crecimiento y disminuye su rendimiento, debido a que afecta diversos procesos fisiológicos en las plantas. La acumulación excesiva de iones como Na^+ y Cl^- provocan el estrés salino, interfiriendo la absorción de nutrientes esenciales y agua, dañando las células vegetales debido a un desequilibrio iónico. Si no se tiene una regulación de estos iones puede presentarse una toxicidad celular, afectando su producción (Salgado *et al.*, 2014).

Un estrés salino en las plantas de arándano azul puede comenzar a afectar notablemente con niveles de salinidad de 1.7 dS/m, restringiendo su crecimiento, mientras que niveles superiores a 2.5 dS/m regularmente necesita remediación previa para evitar daños como disminución de biomasa y área foliar, repercutiendo en la productividad del cultivo (Salgado- Vargas *et al.*, 2014).

2.28 Propiedades nutricionales y nutracéuticas

Hoy en día, la conciencia de los consumidores sobre los alimentos funcionales y la importancia de los polifenoles y antioxidantes en la dieta, aumentaron la demanda de alimentos de calidad (Lončarić *et al.*, 2020). El arándano es un tipo de fruta de amplia distribución rica en minerales, azúcares, proteínas, vitaminas, y ácidos grasos insaturados y es muy recomendado por la Organización Mundial de Alimentos como una de las frutas saludables (Lin *et al.*, 2020).

Los arándanos tienen una alta función antioxidante para una variedad de radicales libres de oxígeno, porque son ricos en polifenoles; en particular, los flavonoides que juegan el papel crucial (Granato *et al.*, 2016).

Además, los flavonoles, proantocianidinas y antocianinas son las principales sustancias flavonoides que se encuentran en los arándanos y son los principales compuestos bioactivos del fruto (Yang *et al.*, 2019).

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del Experimento

El experimento se realizó en la localidad de La Ascensión, en el municipio de Aramberri, Nuevo León, México. La localidad de La Ascensión se encuentra en las coordenadas 99° 54' 51" oeste - 24° 19' 26" norte, a una altitud de 1,961 metros sobre el nivel del mar. La Ascensión cuenta con un clima templado subhúmedo.

3.2 Material Vegetal Utilizado

Para este experimento, se utilizaron plantas de arándano azul (*Vaccinium corymbosum* L.) variedad Biloxi, provenientes del Laboratorio Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. Estas se adquirieron en una presentación de maceta de 1 litro de capacidad, el 22 de mayo del 2023.

3.3 Establecimiento del cultivo.

El experimento se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero de tecnología mediana, con una superficie total de 48m², con la finalidad de generar un entorno regulado que impulsara el desarrollo de las plantas en las que se implementaron los tratamientos con distintos grados de fertilización. Las condiciones ambientales presentaron un promedio de temperatura máxima de 24.3 °C y mínima de 9 °C, las cuales se supervisaron diariamente a través de sensores electrónicos.

3.4 Manejo agronómico

El 22 de mayo del 2023, se obtuvo el material vegetal usado en una presentación en maceta de capacidad 1 litro, se utilizó un sustrato hecho de Peat Moss y perlita en una relación de 3:1, para el riego consistió en 250 ml diarios de solución nutritiva base de forma manual.

El 2 de octubre de 2023 se llevó a cabo el trasplante de las plantas de arándano, en contenedores de 20 litros, se le agregó al sustrato fibra de coco, previamente lavado y se le suministró la solución nutritiva denominada base (Tabla 6), llevado a cabo el trasplante se incrementó el riego a 500 ml diarios de dicha solución.

El 14 de febrero de 2024 se realizó una poda, con el fin de introducir nuevo desarrollo vegetativo, a los 47 días posteriores a la poda comenzó la aplicación de los tratamientos a evaluar en dichas repeticiones.

El 01 de abril del 2024 se inició la aplicación de los tratamientos, su aplicación fue semanalmente.

El manejo fitosanitario consistió en una aplicación de Imidacloprid 0.5 ml /lto agua y Propiconazole 1 ml/lto agua (16 junio 2024) y 06 de julio de 2024, fueron las únicas aplicaciones durante el ciclo.

Tabla 6. Solución base utilizada.

Fuente	G L ⁻¹
K ₂ SO ₄	0.1101
KH ₂ PO ₄	0.0440
Ca(NO ₃) ₂ •4H ₂ O	0.2150
MgSO ₄ • 7H ₂ O	0.1070
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.1350
Complejo Micro	0.02

Fertilización

En la figura 3 se muestra la composición de las soluciones nutritivas usadas en los tratamientos.

Fuente	T1	T3	T5	T7	T9
	g L ¹				
K ₂ SO ₄	0.14	0.14	0.03	0.09	0.11
Mg(NO ₃) ₂ 6H ₂ O			0.13	0.13	
NH ₄ H ₂ PO ₄	0.04	0.04			
KH ₂ PO ₄			0.04	0.04	0.04
KNO ₃			0.16	0.02	
Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O		0.11	0.22	0.22	0.22
CaSO ₄ 2H ₂ O	0.18	0.09	0.05		
MgSO ₄ 7H ₂ O	0.11	0.11			
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.29	0.20			
Complejo Micro	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

Figura 3 Composición de soluciones nutritivas aplicadas a los tratamientos

3.5 Tratamientos

Los tratamientos evaluados se presentan en la tabla 7, los cuales consistieron en nueve tratamientos de fertilización a base de nitrato, amonio y cloruro de sodio, dependiendo del tratamiento.

El uso de NaCl se realizó semanalmente, en una solución de concentración de 30 mMol. Cada uno de los tratamientos incluyó 10 repeticiones.

Tabla 7. Tratamientos evaluados

Numero	Tratamiento
T1	NH ₄ ⁺ 100%
T2	NH ₄ ⁺ 100% + NaCl
T3	NH ₄ ⁺ 75%
T4	NH ₄ ⁺ 75% + NaCl
T5	NO ₃ ⁻ 100%
T6	NO ₃ ⁻ 100% + NaCl
T7	NO ₃ ⁻ 75%
T8	NO ₃ ⁻ 75% + NaCl
T9	Solución base

3.6 Variables Evaluadas

Las variables evaluadas se dividen en dos grupos: variables fisiológicas y variables de producción.

3.7 Variables fisiológicas

3.7.1 Fotosíntesis, CO₂ interno, conductancia estomática y transpiración

Las mediciones se realizaron el 30 de agosto del 2024, en un horario de 11:00 am a 01:00 pm, se tomaron 4 muestras por tratamiento

La unidad de medida de la fotosíntesis fue (mmol CO₂ m⁻² s⁻¹), Conductancia estomática (mmol H₂O m⁻² s⁻¹), CO₂ Intercelular (mmol CO₂ mol⁻¹) y Transpiración (mmol H₂O m⁻² s⁻¹), con un medidor portátil Li-COR modelo Li-6400, en un área de 6 cm² de hoja, transcurridos 35 días de efectuados los tratamientos.

3.8 Variables de producción

3.9 Número total de frutos.

En cada corte se contaron de forma manual cada fruto cosechado, se realizaron 5 cortes.

3.10 Peso total de frutos por planta

Esta variable representa la suma del peso de todos los frutos recolectados de una planta individual durante 5 cortes. La unidad de medición usada fue gramos. Los frutos maduros de cada planta fueron recolectados y pesados a través de una báscula precisa.

Los frutos se separaron en función al calibre para observar la tendencia presente en cada uno de los tratamientos.

3.11 Rendimiento total por planta

Esta variable representa el rendimiento total por planta, y se obtuvo de la suma de los pesos de todos los frutos por planta, en 5 fechas de cosecha, posteriormente se sumaron los pesos de cada fecha y se analizaron.

3.12 Diseño estadístico

El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar, con 9 tratamientos, incluyendo el testigo, con 10 repeticiones cada uno, en total se utilizaron 90 plantas. El tamaño de cada repetición tuvo un área de muestreo de 20 litros y el área total designada para la elaboración del experimento fue de 48 m².

3.13 Análisis estadístico

Se utilizó la prueba Tukey, el nivel de significancia se fijó en 0.05, en el sistema estadístico IBM SPSS Statistics 25.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.14 Variables fisiológicas

3.14.1 Fotosíntesis

En la figura 3 se muestra cómo diferentes tratamientos influyen sobre la tasa de fotosíntesis ($\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), donde el nitrato al 100% mostró un aumento del 40 % de la tasa fotosintética en relación al testigo; presentando diferencias estadísticas en relación al amonio al 100 % con un incremento del 62.4 %, esto sugiere que las plantas fertilizadas con nitrato al 100 % presentan un aumento en la velocidad con la que transforman la energía luminosa a energía química; además, el nitrógeno es un componente vital para la síntesis de clorofila, necesaria para el proceso de fotosíntesis; así, un balance adecuado de la fuente de nitrógeno, luz y humedad contribuyen al aumento de la eficiencia fotosintética (Orozco-Vidal, 2016).

Por otro lado, se observa que no hubo diferencias estadísticas entre el resto de los tratamientos a menor concentración, para esos casos, lo que apunta que, con cualquier fuente de nitrógeno que se aplique, las plantas en presencia de sal (NaCl) se ven afectadas negativamente en la tasa de fotosíntesis, debido que al estrés salino restringe la formación de clorofila (Moreno et al., 2015). Algunos estudios han demostrado que el estrés salino induce un decremento en la fotosíntesis neta y en la conductancia estomática, afectando la disponibilidad de CO_2 para la carboxilación (Orsini, 2012). Lo que concuerda con lo reportado por Carrillo et al. (2011), que señalan que el estrés salino puede inhibir ambas etapas del proceso fotosintético, generando una disminución en la producción de biomasa (Carrillo et al., 2011).

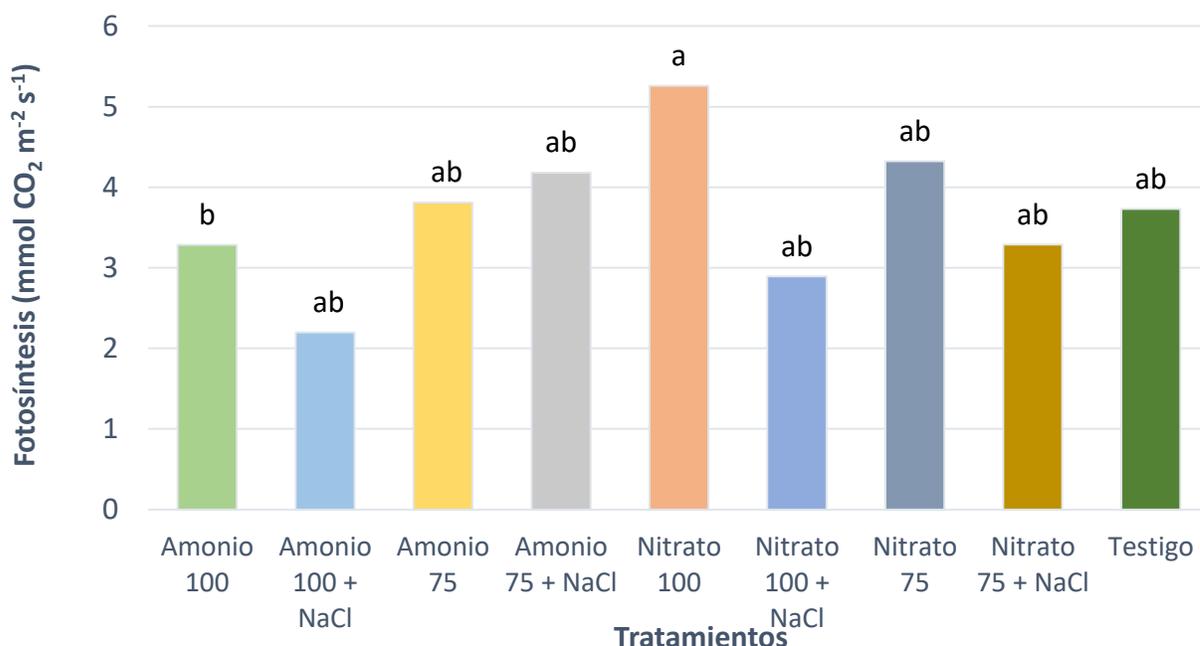


Figura 4 Tasa fotosintética en hojas de arándano en función del manejo nitrogenado y el medio salino.

3.14.2 CO₂ interno

En la figura 4, se observa que la concentración de Co₂ interna en las hojas de las plantas tratadas con amonio al 100% + NaCl presenta (79 %) mayor concentración de CO₂ interno en relación al nitrato al 100% sin y con NaCl y (4 %) en relación al testigo. El N absorbido por la planta en forma de NH₄⁺ permite una optimización de energía frente al NO₃⁻ (Coruzzi, 2001).

El aumento en ambas dosis de amonio + NaCl, sugiere que el aumento del CO₂ en las hojas de las plantas de arándanos se ve inducido cuando se encuentran bajo condiciones de salinidad, que puede estar relacionado con varios factores fisiológicos y bioquímicos que afectan la fotosíntesis, la respiración y el equilibrio de gases en la planta (Munns y Tester, 2018).

Los estreses ambientales como la salinidad, la sequía, las altas o bajas temperaturas o la disminución de la radiación solar alteran la estructura y metabolismo de las plantas, por lo tanto, afectan a su crecimiento y su papel como secuestradores de CO₂ (Martínez-Ballesta et al., 2009).

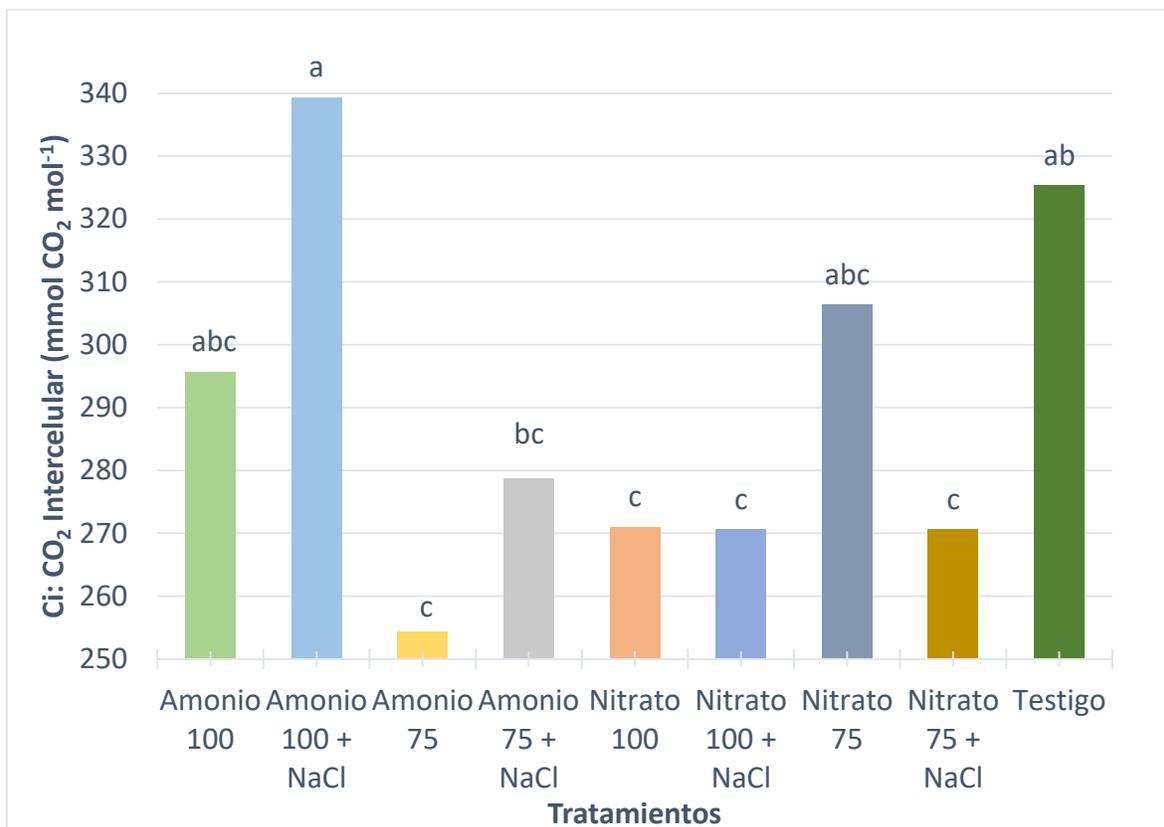


Figura 5 CO₂ interno en hojas de arándano en función del manejo nitrogenado y el medio salino.

3.14.3 Conductancia estomática

En la figura 6 se puede observar que tanto el amonio al 100 + NaCl, amonio al 75 y nitrato al 100, presentan una conductancia estomática alta, superando al tratamiento con amonio al 100 % en un 50 %, esta respuesta se debe a que las plantas con una alta capacidad fotosintética tienen una alta conductancia estomática, permitiéndoles ganar carbono de manera rápida a costa de altas tasas de pérdida de agua. Contrario a los tratamientos con nitrato al 100 % + NaCl, nitrato al 75 % con y sin NaCl, incluyendo el testigo son plantas con una menor capacidad fotosintética conservan agua como resultado de su menor conductancia estomática (Todd-Brown, 2014). En el caso del amonio al 100%, sugiere que este pudo afectar el equilibrio iónico general en la planta, estimulando el transporte de agua hacia las hojas. Esto puede resultar en una mayor transpiración y una mayor conductancia estomática, ya que los estomas se mantienen más abiertos para regular la pérdida de agua y la entrada de CO₂ (Guo, S., Zhou, Y., Shen, Q., y Zhang, F. (2007).)

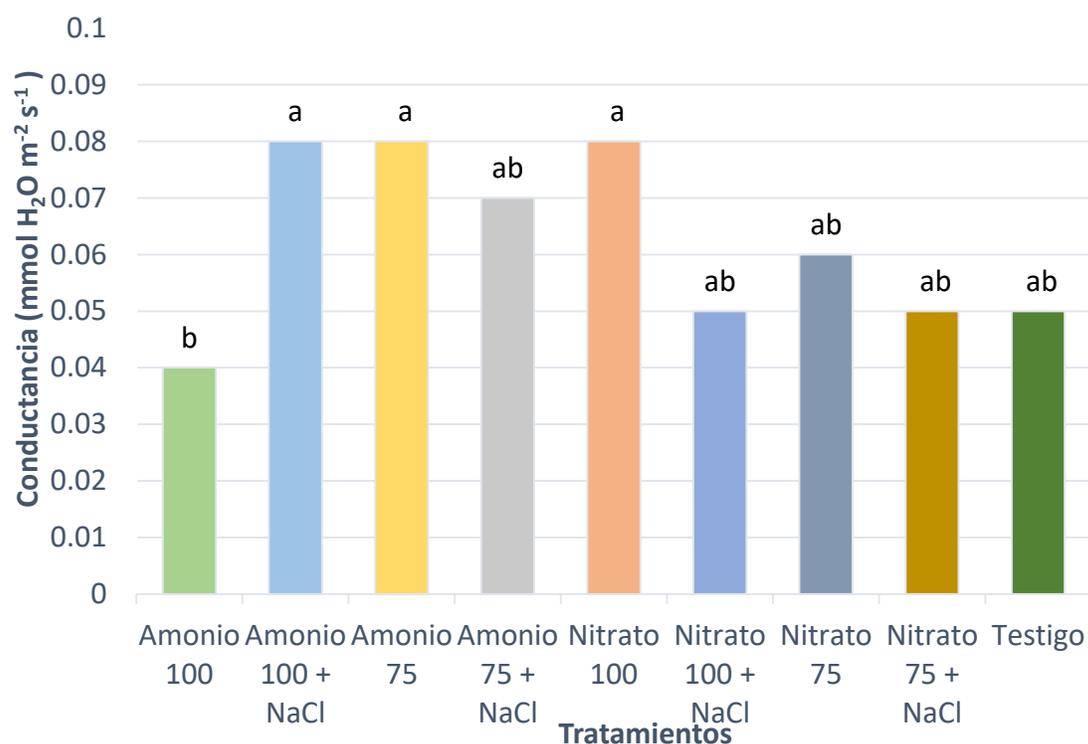


Figura 6. Conductancia estomática en hojas de arándano en función del manejo nitrogenado y el medio salino.

Algunos estudios han demostrado que el estrés salino induce un decremento en la fotosíntesis neta y en la conductancia estomática, afectando la disponibilidad de CO₂ para la carboxilación (Orsini, F. 2012)

3.14.4 Transpiración

En la figura 5 se muestra que las plantas tratadas con amonio al 100 % + NaCl presentaron una transpiración 57 % mayor a las del testigo, sugiriendo que el NaCl actúa como inductor sobre la transpiración de las plantas de arándano, esto puede deberse a que el de sodio puede interferir con el transporte de potasio, unión crucial para la regulación de los estomas, y este desequilibrio iónico afecta el cierre estomático.

Los decrementos en la transpiración se atribuyen a una reducida capacidad de la raíz para transportar agua (Hagemeyer y Waisel, 1989), a incrementos en la resistencia estomática y a cambios anatómicos y morfológicos que ocurren en las hojas de las plantas que crecen en condiciones de salinidad (Flowers y Yeo, 1989).

Además, se observa que la transpiración de las plantas con amonio al 100 % + NaCl fue 53 % mayor que con nitrato al 100 % + NaCl, lo cual se atribuye a que con el

amonio se puede promover una mayor apertura estomática, lo que incrementa la tasa de transpiración y absorción de agua y nutrientes esenciales para el desarrollo de los frutos (Guo, S., Zhou, Y., Shen, Q. y Zhang, F. 2007) y en presencia de NaCl, los estomas pueden permanecer abiertos durante las etapas iniciales del estrés salino. Esto sucede porque las plantas intentan maximizar el intercambio gaseoso para mantener la fotosíntesis y evitar acumulaciones de calor en las hojas (Munns, R., y Tester, M. (2008).

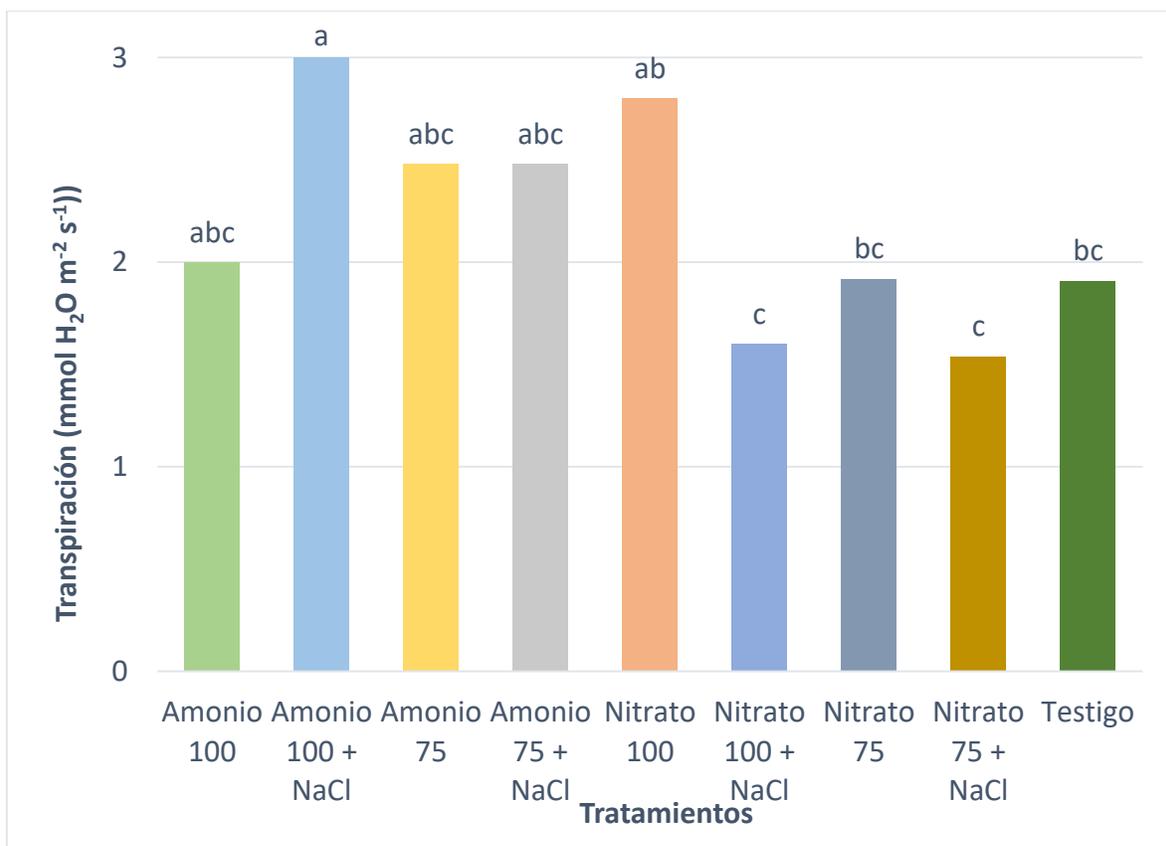


Figura 7 Tasa de transpiración en hojas de arándano en función del manejo nitrogenado y el medio salino.

3.15 Variables de producción

3.15.1 Número total de frutos

En la figura 8 se puede observar que con el amonio al 100 % se obtuvo mayor número de frutos a comparación del testigo, lo que sugiere que los arándanos prefieren una fertilización de amonio que de nitrato, de igual manera con los tratamientos con NaCl.

Cabe señalar que el nitrato en cualquier dosis al igual que el testigo no presentan diferencias estadísticas sobre el número total de frutos obtenidos, aunque si superan a estos tratamientos en presencia de NaCl. La salinidad puede afectar significativamente la producción de arándano lo que puede resultar en plantas compactas y un rendimiento reducido de frutos (Bañón, 2003).

Los arándanos prefieren el amonio sobre el nitrato como fuente de nitrógeno debido a su adaptación a suelos ácidos, donde el amonio es la forma predominante de pH ácido en producción de frutos, debido a que el proceso de asimilación del amonio es energéticamente más eficiente (Smith y Brown, 2021).

Los arándanos son originarios de suelos ácidos, donde absorben el nitrógeno (N) como amonio (NH_4^+) característico de estos suelos como la forma predominante de N (Korcak, 1988). Varios estudios han indicado que la concentración foliar de N puede aumentar el crecimiento de arándano alto (*V. corymbosum* L.) y Lowbush (*V. angustifolium* Ait) cuando se fertiliza con NH_4^+ en lugar de NO_3^- (Townsend, 1970).

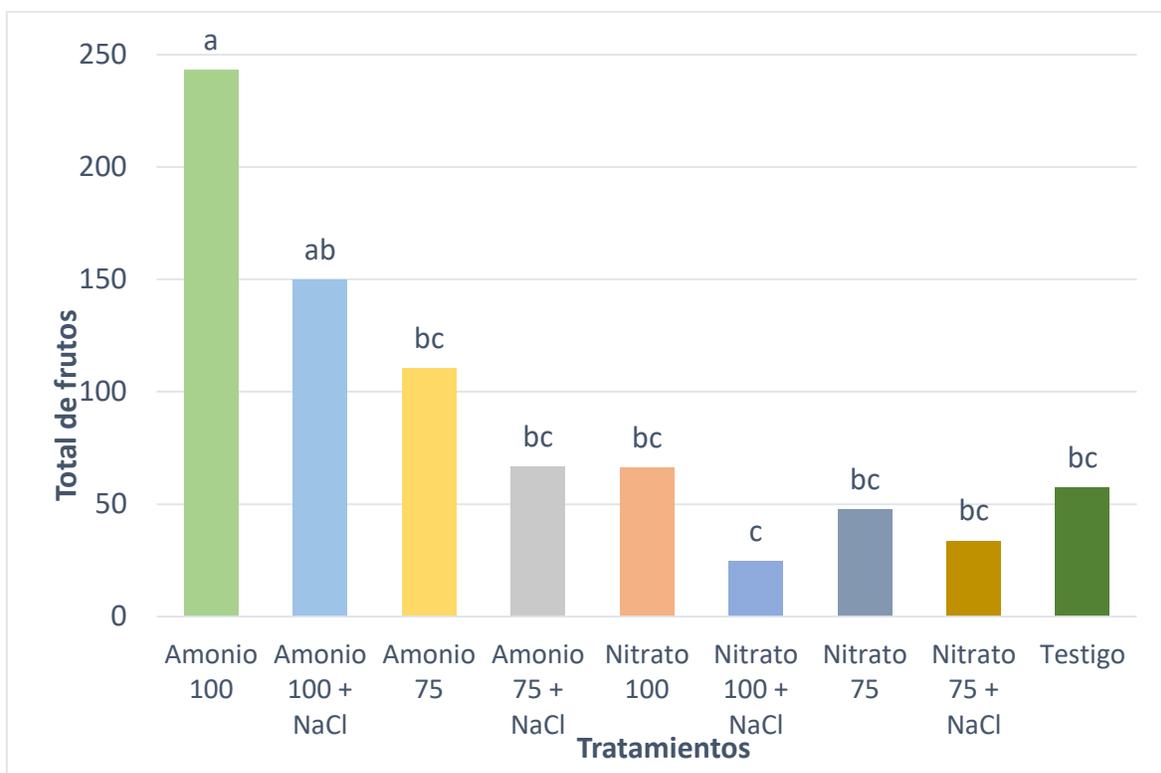


Figura 8 Total de frutos cosechados de arándano en función del manejo nitrogenado y el medio salino.

3.15.2 Peso del fruto

Aunque se esperaba encontrar diferencias significativas entre los tratamientos en relación con el peso de fruto de arándano en función del manejo nitrogenado y el medio salino, Los valores similares de peso demostraron que la planta, independientemente de la fuente de nitrógeno utilizada, regula y distribuye equitativamente los fotoasimilados que produce entre sus órganos de demanda (Orozco-Vidal, 2016).

Tabla 8 Peso de fruto de arándano cosechados, en función del manejo nitrogenado y el medio salino.

Tratamientos	Peso (g)
Amonio 100	0.899 a
Amonio 100 + NaCl	0.734 a
Amonio 75	0.856 a
Amonio 75 + NaCl	0.607 a
Nitrato 100	0.708 a

Nitrato 100 + NaCl	0.599 a
Nitrato 75	0.790 a
Nitrato 75 + NaCl	0.595 a
Testigo	0.889 a

3.4.3 Rendimiento total por planta

El rendimiento que tuvieron las plantas en función al manejo nitrogenado y el medio salino, mostró diferencias significativas, donde las plantas que fueron fertilizadas con amonio a 100% fueron las que presentaron el mayor rendimiento, en un 43 % más en comparación al testigo, además, como se muestra en la figura 9, seguido del tratamiento de amonio al 100% +NaCl lo que sugiere que aun induciendo un nivel de estrés, las plantas de arándano presentan mayor rendimiento a comparación de las que se fertilizaron con nitrato en las dos concentraciones. Es importante mencionar que el testigo obtuvo resultados que, aunque no generaron diferencia significativa, se puede observar que fueron mayores que los de nitrato a diferentes dosis.

Hart *et al.* (2006) observaron que el arándano fertilizado con amonio, aumenta la concentración de N foliar e incrementa el rendimiento.

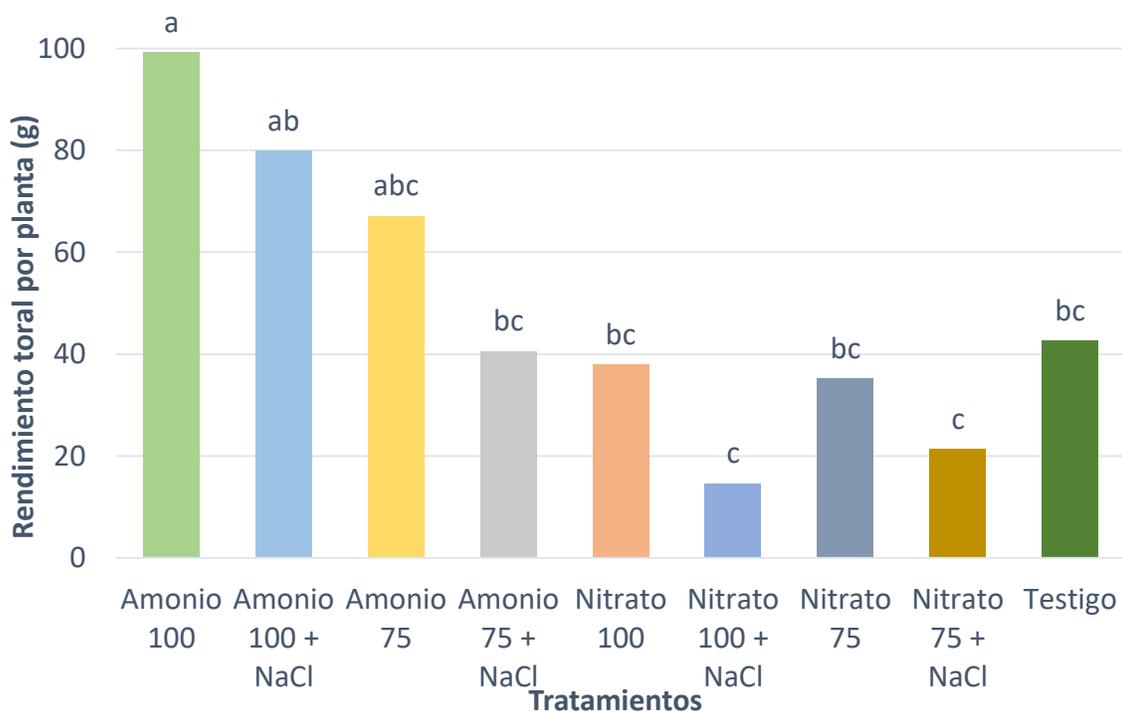


Figura 9 Rendimiento total por planta de arándano en función del manejo nitrogenado.

CONCLUSIÓN

El nitrato aplicado al 100 % incrementa la eficiencia fotosintética y la conductancia estomática, el cual en presencia de NaCl induce un decremento en la fotosíntesis y en la conductancia estomática.

El amonio y el nitrato al 75 % con y sin NaCl no muestran diferencias en la actividad fotosintética, concentración de CO₂ interna y conductancia estomática de las plantas de arándano.

El amonio al 100 % + NaCl promueve el aumento de la concentración de CO₂ interno en las hojas de las plantas, la tasa de transpiración y conductancia estomática.

Las fuentes de nitrógeno utilizadas no influyeron sobre la regulación y distribución equitativamente los fotoasimilados que produce la planta entre sus órganos de demanda reflejada en la similitud del peso de los frutos.

Las plantas de arándanos *Vaccinium corymbosum* bajo fertilización con amonio presentaron mejor rendimiento en términos de números de frutos y rendimiento total de frutos, y en medio salino el número de frutos y rendimiento se ve afectado, pero con valores superiores al nitrato y al testigo.

Las plantas de arándano pueden tolerar salinidad en niveles controlados sin que esto repercuta de manera adversa en su productividad. Sin embargo, es importante considerar que la salinidad en niveles más altos podría inducir un estrés que afecta negativamente la absorción de nutrientes y el crecimiento de los frutos.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Alt, D. S., Doyle, J. W. & Malladi, A. (2017). Nitrogen-source preference in blueberry (*Vaccinium* sp.): enhanced shoot nitrogen assimilation in response to direct supply of nitrate. *Journal of Plant Physiology*, 216:79-87
2. Alt, D. S., Doyle, J. W., and Malladi, A. (2017). Nitrogen-source preference in blueberry (*Vaccinium* sp.): Enhanced shoot nitrogen assimilation in response to direct supply of nitrate. *Journal of Plant Physiology* 216: 79-87.
3. Araya, T., Noguchi, K. y Terashima, I. 2010. Effect of nitrogen nutrition on the carbohydrate repression of photosynthesis in leaves of *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of Plant Research*. 123:371-379. <https://doi.org/10.1007/s10265-009-0279-8>
4. Ascón Bieto, J., y Talon, M. (2008). *Fundamentos de la Fisiología Vegetal* 2da Edición. Madrid: MacGraw-Hill Interamericana.
5. Asociación Gremial de Exportadores de Productos No Tradicionales AGEXPRONT) (2002). *Manual del cultivo de Arándano*, Guatemala. p52.
6. Austin, M. E. (1994). *Rabbiteye blueberries: Development, production and marketing*. USA. Florida Science Source. 134 pp.
7. Azcón-Bieto, J. y M.Talón. 2013. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. 2da edición. Megraw-Hill-Interamericana. Madrid.
8. Bañón, S., Martínez, F., Alarcón, JJ y García, JM (2003). Efectos de la salinidad sobre el crecimiento y la fisiología de diferentes cultivares de arándano. *Scientia Horticulturae*, 98 (2), 135-145. [https://doi.org/10.1016/S0304-4202\(02\)00212-3](https://doi.org/10.1016/S0304-4202(02)00212-3)
9. Bernal A, A. (2010). *Arándano: Perfil Comercial*. Colima, México. Fundación Bolaños A., Ma. N. (2018). Relaciones nitrato/amonio y conductividad eléctrica en el crecimiento y dinámica nutrimental de arándano azul cv. Biloxi. [Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. 119 pp.]
10. Brewer, J.W. and Dobson, R.C. (1969) Seed count and berry size in relation to pollinator level and harvest date for the highbush blueberry, *Vaccinium corymbosum*. *Journal of Economic Entomology* 62, 1353-1356.
11. Bryla, D.R., Strik, B.C., (2015). Nutrient requirements, leaf tissue standards, and new options for fertigation of northern highbush blueberry. *HortTechnology* 25, 464– 470. <https://doi.org/10.21273/horttech.25.4.464>
12. Caird, A. M. Rixhards, H. J. and Donovan, A. L. 2007. Nighttime Stomatal Conductance and Transpiration in C3 and C4 plants. *Plant Physiology*. Vol. 143, 4-10 p.
13. Cao, W., and T.W. Tibbitts. (1994). Responses of potatoes to solution pH levels with different form of nitrogen. *Journal of Plant Nutrition* 17: 109-126.

- Carillo, P.; M.G. Annunziata; G. Pontecorvo. (2011). "Salinity stress and salt tolerance". In: Shanker, A and Venkateswarlu. *Abiotic stress in plants. Mechanisms and adaptations*, p. 21- 38. Editorial InTech, USA.
14. Castillo GAM, Avitia GE, Valdez ALA, Pineda PJ, Aguilar SS (2016). Dinámica nutrimental en hoja y fruto de arándano tipo Ojo de Conejo (*Vaccinium ashei* Reade)
 15. Centro de Información de Recursos Naturales, CIREN Santiago, Chile Diciembre, 2020 <https://epochileagricola.cl/wp-content/uploads/2021/03/Guia-para-el-cultivo-de-especies-hortofruticulas.pdf>
 16. Coruzzi, GM, y Zhou, L. (2001). Detección y señalización de carbono y nitrógeno en plantas: un enfoque integrado. *Fisiología vegetal*, 125 (1)
 17. Coville, F.V. (1916) The will blueberry tamed. *National Geographic* 29, 535-546.
 18. Crisóstomo, M. N., Hernández Rodríguez, O. A., López Medina, J., Manjarrez- Dominguez, C., & Pinedo-Alvárez, A. (2014). Relaciones amonio/nitrato en soluciones nutritivas ácidas y alcalinas para arándano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(3): 525-532.
 19. Croxdale, J. 2000. Stomatal patterning in angiosperms. *American Journal of Botany* 87 (8): 1069-1080
 - DaMatta, FM (2007). "Ecofisiología de los cultivos de árboles tropicales: una descripción general". **Revista Brasileña de Fisiología Vegetal*,* 19(4), 239-2544.
 20. Darnell, R.L. (1991) Photoperiod, carbon partitioning and reproductive development in rabbiteye blueberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116, 856-860.
 21. Daubresse, M. C., Vedele, F. D., Dechorgnat, J., Chardon, F., Gaufichon, L., and Suzuki, A.
 22. De Agricultura y Desarrollo Rural, S. (2023). Cultivo del arándano en México, reto superado. [gob.mx. https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/cultivo-del-arandano-en-mexico-reto-superado](https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/cultivo-del-arandano-en-mexico-reto-superado)
 23. Demiral, A. 2005. Comparative response of two olive (*Olea europea* L.) cultivars to salinity. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 29(4): 267-274.
 24. Doyle, J.W., Nambeesan, S.U. y Malladi, A. 2021. Fisiología de la nutrición de nitrógeno y calcio en arándano (*Vaccinium* sp.). *Agronomy*. 11:765. [agronomy11040765](https://doi.org/10.3390/agr11040765)
 25. Echeverría, H., E., & H. R. Sainz. (2005). Nitrógeno en el suelo. In: Echeverría, H. E., y F. García (eds). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. 69-97 p.
 26. Eck, P., Gough, R. E., Hall, I. V. & Spiers, J. M. (1990) Blueberry management (pp. 273- 333). In: Galletta, G. J. and Himelrick, D. G. (eds.), *Small fruit crop management*. USA. Prentice Hall.

27. Effect of Salt Stress on Na Accumulation, (2015) Antioxidant Enzyme Activities and Activity of Cell Wall Peroxidase of Huckleberry (*Solanum scabrum*) and Eggplant (*Solanum melongena*). *Int. J. Agric. Biol.* 17:1149-1156.
28. Ehlenfeldt, M.K. (2009) Domestication of the highbush blueberry at Whitesbog, New Jersey, 1911-1916. *Acta Horticulturae* 810, 147-152.
29. Escalera, V. J.C. 2009. Propagación vegetativa de blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
30. Fageria N. K. (2009). The use of nutrients in crops plants. CRS Press. Boca Raton, FL, USA. 31-76 p.
31. Flowers, T. J. y A. R. Yeo. 1989. Effects of salinity on plant growth and crop yields. pp. 101-119. In: J. H. Cherry (ed.). *Environmental stress in plants*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, Germany.
32. Franceschi, V. R. & Nakata, P. A. (2005) Calcium oxalate in plants: formation and function. *Annual Review of Plant Biology*, 56:41-71.
33. FUHRER, J. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 97, p.1-20, 2003
34. Gómez, D.M. (2018). *Función de los factores c/s1 bzip en las redes reguladoras de la respuesta a estrés abiótico en arabidopsis thaliana* [Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/52869/1/DENNYS_MARCELA_GOMEZ_PAEZ.pdf
35. González, A. M., y Arbo, M. M. (2019). *Morfología de Plantas Vasculares*. Argentina
36. González G. A., Riquelme S. J., France I. A., Uribe C. H., Robledo M. P., Morales A. C. G., Hirzel C. J., Pedreros L. A., Defilippi B. B. y Becerra C. C. (2017). *Manual de manejo agronómico del arándano*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago de Chile. 120 p.
37. González KL, Rugeles NL, Magnitskiy S (2018). Effect of different sources of nitrogen on the vegetative growth of Andean blueberry (*Vaccinium meridionale Swartz*). *Agronomía Colombiana* 36:58-67. <http://dx.doi.org/10.15446/agron.colomb.v36n1.69304>
38. Granato, D., Santos, J. S., Maciel, L. G., and Nunes, D. S. (2016). Chemical perspective and criticism on selected analytical methods used to estimate the total content of phenolic compounds in food matrices. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 80, 266-279. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.03.010>
39. Guo, S., Zhou, Y., Shen, Q. y Zhang, F. (2007). Efecto de la nutrición con amonio y nitrato en algunos procesos fisiológicos en plantas superiores: crecimiento, fotosíntesis, fotorrespiración y relaciones hídricas. *Plant Biology*, 9 (1) <https://doi.org/10.1055/s-2006-92454>
40. Gurrola, J.E. (2020). Respuesta del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) a la fertilización de amonio y nitrato en hidroponía con raíces separadas [Maestra

en ciencias, Colegio de posgraduados].
http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/4345/Gurrola_Nieblas_JE_MC_Edafologia_2020.pdf?sequence=1

41. Gutiérrez, R. M., San M., C. R., Nava, S. T. Larqué, S. A. 1998. Métodos avanzados en fisiología vegetal experimental. In: determinación de fotosíntesis, asimilación neta. Colegio de posgraduados en ciencias agrícolas y recursos naturales, especialidad en botánica. 93 pp
Hagemeyer, J. y Y. Waisel. 1989. Influence of NaCl, Cd(NO₃)₂ and air humidity on transpiration of Tamarix aphylla. Physiol. Plant. 75: 280-284.
42. Hall, I.V., Craig, D.L. and Aalders, L.E. (1963) The effect of photoperiod on the growth and flowering of the highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). Proceedings of the American Society for Horticultural Science 82, 260-263.
43. Hamamoto, S., Horie, T., Hauser, F., Deinlein, U., Schroeder, J.I., Uozumi, N. (2015). HKT transporters mediate salt stress resistance in plants: from structure and function to the field. *Curr Opin Biotechnol.*, 3, 113-120.
44. Hanson, E. J. & Hancock, J. F. (1996). Managing the nutrition of highbush blueberries. USA. Michigan State University Extension. Bulletin E-2011. 6 pp
Hanson, E. J. (2006). Nitrogen fertilization of highbush blueberry. *Acta Horticulturae*, 715:347-352
45. Hart, J., Strik, B., White, L. & Yang, W. (2006). Nutrient management for blueberries in Oregon. USA. Oregon State University Extension Service. Publication Num. EM 8918. 14 pp
46. Hirzel, C. J. (2010). Acumulación de nutrientes en frutos de arándano. Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Consultado el 10 de marzo del 2020. <https://www.redagricola.com/cl/acumulacion-nutrientes-frutos-arandano/>.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7853091/pdf/41437_2020_Article_362.pdf
47. Hurkova, K., Uttl, L., Rubert, J., Navratilova, K., & Hajslova, J. (2019). Cranberries versus lingonberries: A challenging authentication of similar *Vaccinium* fruit. *Food Chemistry*, 284, 162-170.
48. Jacobs, L.A., Davies, F.S. and Kimbrough, J.M. (1982) Mycorrhizal distribution in Florida rabbiteye blueberries. *HortScience* 17, 951-953.
49. Johnson, C., Albrecht, J., Ketterings, Q., Beckman, J. and Stocking, K. (2005) Nitrogen Basics: the Nitrogen Cycle. Fact Sheet 2, Agronomy Fact Sheet Series. Cornell Cooperative Extension, Ithaca, New York.
50. Kaluthota S, Pearce DW, Evans LM, Letts MG, Whitham TG, Rood SB. Mayor capacidad fotosintética a mayor latitud: Foliar characteristics and gas exchange of southern, central and northern populations of *Populus angustifolia*. *Fisiología de los árboles*. 2015;35(9):936-48.
Korcak, R. F. 1988. Nutrition of blueberry and other calcifuges. Horticultural Reviews 10:183-227.

51. Kotsiras, A., Olympios, C. M., and Passam, H. C. (2005). Effects of nitrogen form and concentration on yield and quality of cucumbers grown on rockwool during spring and winter in southern Greece. *Journal of Plant Nutrition* 28: 2027-2035.
52. Krewer, G. and NeSmith, D. S. (1999). Blueberry fertilization in soil. USA. University of Georgia Ext. Fruit Publication 01-1. 12 pp.
53. Lawlor, D. and Tezara, W. 2009. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. *Annals of Botany* 103:561-579
54. Leal, O.G. (2021). *Nutrición de arándano azul (vaccinium corybosum) con nitrato y amonio en sistema de raíces divididas en hidroponía* [Doctor en ciencias en agricultura protegida, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, subdirección de postgrado]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/47814/Oliver%20Gabriel%20Leal%20Ayala.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
55. Ledesma, A. (2011). Estimadores de fotosíntesis en selecciones de zapote mamey (*pouteria sapota* (jacq.) h. e.moore & stearn) [Maestría, Colegio de posgraduados]. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/411/Ledesma_Miramontes_A_MC_Fructicultura_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y
56. Lima, F. J. 2004. Gas exchange of the umbu tree under semi-arid conditions. *Revista Brasileña de Fructicultura* 26: 206-208
57. Lin, J., Tian, J., Shu, C., Cheng, Z., Liu, Y., Wang, W., and Wang, Y. (2020). Malvidin-3-galactoside from blueberry suppresses the growth and metastasis potential of hepatocellular carcinoma cell Huh-7 by regulating apoptosis and metastases pathways. *Food Science and Human*
58. Llerena, W., Samaniego, I., Ramos, M., & Brito, B. (2014). Caracterización Físicoquímica y Funcional de Seis Frutas Tropicales y Andinas Ecuatorianas. *Alimentos, Ciencia e Ingeniería*, 22(2), 13-22. [[Links](#)]
59. Loera, M.E. (2016). Técnica de manejo y fisiología para la programación de cosechas en arándano (*Vaccinium spp*) [Tesis de maestría, Colegio de posgraduados]. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/3491/Loera_Alvarado_ME_MC_Fructicultura_2016.pdf?sequence=1
60. Lončarić, A., Celeiro, M., Jozinović, A., Jelinić, J., Kovač, T., Jokić, S., and Lores, M. (2020). Green extraction methods for extraction of polyphenolic compounds from blueberry pomace. *Foods* 9 (11), 1521. <https://doi.org/10.3390/foods9111521>
61. LONG S.P.; AINSWORTH E.A.; ROGERS A.; ORT D.R. Rising atmospheric carbon dioxide: plants FACE the future. *Annual Review of Plant Biology* 55, 2004. p. 591–628.
62. Long, S.P., Zhu, X.G. Zhu, Naidu, S.L. and Ort, D.R. (2006) Can improvement in photosynthesis increase crop yields? *Plant, Cell and Environment* 29, 315-330.

63. Maathius, F. (2009). Physiological functions of mineral nutrients. *Current Opinion in Plant Biology* 12: 250-258.
64. Machado, R. M. A., Bryla, D. R., & Vargas, O. (2014). Effects of salinity induced by ammonium sulfate fertilizer on root and shoot growth of highbush blueberry. *Acta Horticulturae*, 1017, 407-414. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1017.49>
65. Marius A., D. V., L. Lui, A. M. M. Mekawy, A. Ueda, T. Nagaoka, H. Saneoka. Marschner H (2012). Marschner's Mineral nutrition of higher plants. Academic Press.
66. Martínez Villavicencio, N., C. V. López Alonzo, M. Basurto Sotelo, R. Perez Leal. 2011. Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *Tecnociencia Chihuahua*. 5:156-161.
67. Martínez-Ballesta, M.C., Lopez-Perez, L. Muries, B, Muñoz-Azcarate, O., Carvajal, M. (2009) Climate change and plant water balance. The role of aquaporins. *Sustainable Agricultural Reviews* (E. Lichtfouse, Ed.) Vol 2, 71-89. Orsini F, Alnayef M, Bona S, Maggio A, Gianquinto G. Low stomatal density and reduced transpiration facilitate strawberry adaptation to salinity. *Environmental and Experimental Botany*. 2012;81:1–10. doi:10.1016/j.envexpbot.2012.02.005
68. Maticorena, M. (2017). Cinco tipos de poda en arándanos (*Vaccinium corymbosum* L. cv. Biloxi) y su influencia en determinados parámetros productivos [Tesis para optar el título de ingeniero agrónomo, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio institucional UNALM
69. Meléndez-Jácome, MR; Flor-Romero, LE; Vásquez-Castillo, WA; Racines-Oliva, MA. 2021. *Vaccinium* spp.: Karyotypic and phylogenetic characteristics, nutritional composition, edaphoclimatic conditions, biotic factors and beneficial microorganisms in the rhizosphere *Vaccinium*. *Scientia Agropecuaria* 12(1):109-120.
70. Mickelbart, M. V., P. M. Hasegawa and J. Bailey-Serres. 2015. *Genetic mechanisms of abiotic stress tolerance that translate to crop yield stability. Nature Reviews Genetics* 16 (4): 237-251. Doi: 10.1038/nrg3901.
- Monti, A. Bezzi, G. and Venturi, G. 2009. Internal conductance under different light conditions along the plant profile of Ethiopian mustard (*Brassica carinata* A. Brown). *Journal of experimental Botany* 60:2341-2350
71. Moreno, I. E.; Ojeda, B. C.; Avila, Q. G.; Prieto, G. B.; Parra, Q. R. and Anchondo, R. T. 2015. Sodium sulfate exposure slows growth of native pecan seedlings. *Rev. Inter. Bot. Exp.* 84(1):80-85. <https://doi.org/10.32604/phyton.2015.84.080>.
- Mu, X. y Chen, Y. 2021. The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*. 158:76-82. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.019>
- Munns, R. and King, W. 1988. Abscisic acid is not the only stomatal inhibitor in the transpiration stream of wheat plants. *Plant Physiology* 88: 703-708

- Munns, R., y Tester, M. (2008). *Mecanismos de tolerancia a la salinidad*. *Revista anual de biología vegetal*, 59 (1), <https://doi.org/10.1/Ana.a.59.0326>
72. Munns, R., y Tester, M. (2008). Mecanismos de tolerancia a la salinidad. *Revisión anual de biología vegetal*, 59 , 651-681. <https://doi.org/10.1146/anuncio.planta> .
73. Nesom, G. (2002). Highbush Blueberry *Vaccinium corymbosum* L. USDA NRCS National Plant Data Center and the Biota of North America Program. USA. United States Department Agriculture. 2 pp.
74. Nishiyama, S., Fujikawa, M., Yamane, H., Shirasawa, K., Babiker, E., and Tao, R. (2020). Genomic insight into the developmental history of southern highbush blueberry populations. *Heredity* 1-12. doi.org/10.1038/s41437-020-00362-0
75. Nitrogen uptake, (2010) assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Journal of the Annals of Botany* 105: 1141-1157.
76. Nobel, P. S. 1999. *Physicochemical and environmental plant physiology*. 2a edition. Academic Press. USA. 474 pp
77. Nutrient dynamics in leaf and fruit of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade)]. *Tecnociencia Chihuahua* 10, 64-71.
78. Orozco-Vidal, Jorge Arnaldo, Ramírez-Torres, Rosibel, Segura-Castruita, Miguel Ángel, Yescas-Coronado, Pablo, Trejo-Valencia, Radames, & Vidal-Alamilla, José Antonio. (2016). Fuentes de nitrógeno en el crecimiento y producción de biomasa en maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(1), 185-194.
79. Osorio, R., Cáceres, C. y Covarrubias, J.I. 2020. Respuestas vegetativas y fisiológicas del arándano "Esmeralda" a fuentes amoniacales con un inhibidor de la nitrificación. *Revista de Edafología y Nutrición Vegetal*. 20:507-515. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00135-7>
80. Osorio, R., Cáceres, C., and Covarrubias, J. I. (2019). Vegetative and physiological responses of "emerald" blueberry to ammoniacal sources with a nitrification inhibitor. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 1-9
81. Paiva AS, Fernandes EJ, Rodrigues TJD, Turco JEP. Conduta estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. *Engenharia Agrícola*. 2005;25:161-9. [pdf](https://doi.org/10.1590/S0100-06702005000300009)PRODUCE. 54 pp.
82. Ratnaparkhe, M. B. (2007). Blueberry (pp. 217-227). In: Kole C. (ed.), *Fruits and nuts. Genome mapping and molecular breeding in plants*. Vol. 4. USA. Springer.
83. Salgado-Vargas, C; Sánchez-García, P; Volke-Haller, VH; Colinas-León, MTB. 2018. Respuesta agronómica de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) al estrés osmótico. *Agrociencia* 52(2):231-239.
84. Shabala, Sergey; Munns, Rana. 2017. Salinity stress: physiological constraints and adaptive mechanisms. In: S. Shabala, (Eds). *Plant Stress Physiology*, 2nd Edition. CABI; 2017.24-63p.

- Smith, JM y Brown, LA (2021). *Influencia de la fuente de nitrógeno en el crecimiento de arándanos y la producción de frutos en suelos ácidos*. *Journal of Horticultural Science*, 76(4), 587-595. <https://doi.org/10/jhs.2021.02136>
85. Soares, H. R. E., E. Farias de Franca E Silva, G. Ferreira Da Silva, R. Mendes de Lira, R. Revôredo Bezerra. 2016. Mineral nutrition of crisphead lettuce grown in a hydroponic system with brackish water. *Rev: Caatinga*. 29:656-664.
86. Spiers, J. M., Stringer, S. J., Draper, A. D., & Gupton, C. L. (2002). 'Biloxi' southern highbush blueberry. *Acta Horticulturae*, 574:153-155.
87. Stiles, W. C. and Reid, W. S. (1991). Orchard nutrition management. USA. Cornell Cooperative Extension. Information Bulletin Num. 219. 24 pp.
88. Subbarao, G.V., Ito, O., Sahrawat, K.L., Berry, W.L., Nakahara, K., Ishikawa, T., Watanabe, T., Suenaga, K., Rondon, M. and Rao, I.M. (2006) Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems: challenges and opportunities. *Critical Reviews in Plant Science* 25, 303-335.
89. TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. p.174-219.
90. Tapia, A.B (2024). Tendencia de la precipitación y temperatura debido al cambio climático observados en dos estaciones meteorológicas de la región de Arequipa [Licenciatura, Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12304/4/IV_FI_N_107_TE_Tapia_Ramos_2022.pdf
91. Todd-Brown, K. E. O., Randerson, J. T., Hopkins, F., Arora, V., Hajima, T., Jones, C., Shevliakova, E., Tjiputra, J., Volodin, E., Wu, T., Zhang, Q., and Allison, S. D.: Changes in soil organic carbon storage predicted by Earth system models during the 21st century, *Biogeosciences*, 11, 2341–2356, <https://doi.org/10.5194/bg-11-2341-2014>, 2014.
92. Townsend, L. R. 1970. Effect of form of N and pH on nitrate reductase activity in low bush blueberry leaves and roots. *Canadian J. PlantSci.* 50:603-605.
93. Tuteja, N. and S. K. Sopory. 2008. Chemical signaling under abiotic stress environment in plants. *Plan Signaling Behavior* 3 (8): 525-536. Doi: doi.org/10.4161/psb.3.8.6186.
94. Valenzuela-Estrada, L.R., Vera-Caraballo, V., Ruth, L.E. and Eissenstat, D.M. (2008) Root anatomy, morphology and longevity among root orders in *Vaccinium corymbosum* (Ericaceae). *American Journal of Botany* 95, 1506-1514.
- Webb, A. R. and Baker, A. J. 2002. Stomatal biology: New techniques, new challenges. *New Phytologist* 153:365-370
95. Yang, J., Shi, W., Li, B., Bai, Y., and Hou, Z. (2019). Preharvest and postharvest UV radiation affected flavonoid metabolism and antioxidant capacity differently in developing blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Food Chemistry* 301, 125248. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125248>

96. Zamora, R.N. (2024). Índice de estrés hídrico estimado con información de un VANT y conductancia estomática del cultivo de arroz en el distrito de Chongoyape, Lambayeque [Licenciatura, Universidad nacional "Pedro Ruiz Gallo"]file:///C:/Users/HP/Downloads/Zamora_Acu%C3%B1a_Rosa_Nelida.
97. Zhu, J. 2016. Abiotic stress signaling and responses in plants. Cell 167: 313-324. Doi: [dx.doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.029](https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.029).