

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERO AGRONOMO EN HORTICULTURA



Eficiencia Productiva del Arándano Cultivado con Dos Fuentes Nitrogenadas y
Suplementado con NaCl

Por:

MARIANA ISABEL OBREGON MONTELONGO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México
Diciembre, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Eficiencia Productiva del Arándano Cultivado con Dos Fuentes Nitrogenadas y
Suplementado con NaCl

Por:

MARIANA ISABEL OBREGÓN MONTELONGO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



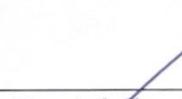
Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Asesor Principal



Dr. Rocío Maricela Peralta Manjarrez
Asesor Principal Externo



M.C. Luis Enrique Espinoza Orozco
Coasesor



Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2024

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.

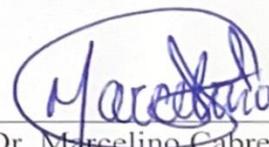
Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

A t e n t a m e n t e.

Alma Terra Mater



Mariana Isabel Obregón Montelongo
Autor Principal



Dr. Marcelino Cabrera
Asesor Principal

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a **Dios** por la bendición de permitirme esta oportunidad y guiarme a lo largo de este camino.

Agradezco a la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** y a toda la comunidad educativa por su apoyo, dedicación y compromiso con mi desarrollo académico, ya que, gracias a ellos pude culminar mi licenciatura.

Agradezco **al Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente**, por su paciencia y apoyo a lo largo de mi formación académica, por brindarme conocimientos y guiarme, haciendo posible la culminación de este proyecto y esta etapa.

Agradezco **al M.C. Luis Enrique Espinoza Orozco** por la disposición de formar parte de mi orientación para este proyecto.

Agradezco a **mis compañeros y amigos de la UAAAN**, especialmente a **Luis Mario Hernández Torres, Juan Pablo Velasco Lepe, Fabián González Linares y Angélica María Muñoz Arroyo**, por su comprensión, su ayuda cuando la necesité y, sobre todo, por haber compartido tantas experiencias y momentos inolvidables durante el transcurso de mi licenciatura.

Agradezco a mi familia, amigos y a todas las personas que formaron parte y estuvieron conmigo durante esta etapa de mi vida, por siempre alentarme y acompañarme.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con todo mi cariño y gratitud a mis padres, **Consuelo Cecilia Montelongo Cárdenas** y **José Alberto Obregón Aguirre**, quienes me dieron esta oportunidad, y a mis hermanas **Ana Cecilia Obregón Montelongo** y **María Fernanda Obregón Montelongo**, ya que, mi familia ha creído en mí, me han brindado su apoyo incondicional, su cuidado y me han enseñado el verdadero valor del esfuerzo y la perseverancia. Sin su amor y sacrificio, no habría sido posible alcanzar esto.

A mis abuelos **Herminio Montelongo Escobedo †**, **José Guadalupe Obregón Rubio †**, **María del Refugio Cárdenas Bermea**, **María de la Luz Aguirre Uribe**, por su apoyo y cariño a lo largo de mi vida.

Los que sembraron con lágrimas,

Con regocijo segarán.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIA	V
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
INDICE DE TABLAS.....	X
INDICE DE GRÁFICAS	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	14
JUSTIFICACIÓN.....	15
1.2 Objetivo General	16
1.2.1 Objetivos Específicos	16
1.3 Hipótesis.....	16
II. LITERATURA REVISADA.....	17
2.1 Origen del cultivo.....	17
2.2 Descripción Botánica	18
2.3 Descripción Taxonómica.....	18
2.4 Morfología de la planta	18
2.4.1 Raíz	18
2.4.2 Hojas.....	19
2.4. 3 Flores.....	19
2.4.4. Fruto	19
2.5 Requerimientos edafoclimáticos	19
2.5.1 Temperatura	19
2.5.2 Suelo.....	19
2.5.3 Radiación.....	20

2.5.2 Necesidades hídricas	20
2.6 Fenología del cultivo	20
2.6.1 Dormancia invernal.....	20
2.6.2 Brotación.....	21
2.6.3 Crecimiento Vegetativo	21
2.6.4 Floración	21
2.6.5 Coloración del fruto.....	21
2.6.7 Cosecha.....	21
2.7 Importancia del cultivo	23
2.7.1 Superficie Establecida	23
2.7.2 Volumen de Producción	24
2.8 Problemáticas	25
2.8.1 Estrés Abiótico.....	25
2.8.2 Estrés Salino.....	25
2.8.4 Efectos del NaCl en la calidad nutracéutica de cultivos.....	26
2.9 Características productivas y comerciales del arándano	27
2.9.1. Producción de Biomasa.....	27
2.9.2. Calidad Comercial del Fruto	28
2.9.1 Calidad nutricional del arándano	29
2.9.1 Potencial antioxidante	29
2.9.2 Actividad Enzimática en Frutos	30
2.9.3 Actividad no Enzimática	30
2.9.4 Fenoles Totales	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3. 1 Ubicación del experimento.....	31
3.2 Material vegetal utilizado.....	31
3.3 Establecimiento de cultivo.....	31
3.3.2 Tratamientos a evaluados.	31
3.3.2 Variables de respuesta	32
3.4 Manejo agronómico	32
3.5 Diseño estadístico	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34

4.1 Variables Agronómicas	34
4.1.1 Altura de Tallo.....	34
4.1.2 Diámetro de tallo.....	34
4.1.3 Número de hojas	35
4.1.4 Brotes Secundarios	36
4.1.5 Brotes totales.....	37
4.1.6 Número de Flores	37
4.1.7 Número de Frutos.....	37
4.2 Variables de Calidad	40
4.2.1 Diámetro ecuatorial.....	40
4.2.2 Diámetro Polar.....	40
4.2.3 Peso.....	41
4.2.4 Sólidos Solubles Totales	41
4.2.5 Temperatura	42
4.3 Comparativas	44
V. CONCLUSIONES.....	46
VI. LITERATURA CITADA	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Crecimiento vegetativo.	22
Figura 2. Estados del desarrollo de la yema floral y flor.	22
Figura 3. Estadios del desarrollo del Fruto	23

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Calidad nutraceútica del arándano por cada 100 g.	29
Tabla 2. Tratamientos.	31
Tabla 3. Solución base.	33
Tabla 4. Resultado de análisis estadístico de variables agronómicas evaluadas.	39
Tabla 5. Resultados del análisis estadístico de variables de calidad de frutos.	

¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Variables Agronómicas.....	44
Gráfica 2. Variables de Calidad de fruto.....	45

RESUMEN

Los sistemas de producción del arándano azul han evolucionado hacia métodos más eficientes y controlados, especialmente en cuanto a la nutrición, destacándose el uso de nitrógeno en su forma de amonio. Sin embargo, se ha observado en ciertos cultivos un aumento en la concentración de compuestos antioxidantes cuando se emplea nitrato como fuente de nitrógeno, incrementando así la calidad nutracéutica de sus productos.

Por otro lado, la salinidad es un factor determinante en la productividad de los cultivos, ya que, puede llegar a dificultar la capacidad de las plantas para absorber agua. Altos niveles de sodio en el suelo pueden reemplazar al calcio y al magnesio, o combinarse con estos para formar bicarbonatos, esto provoca la desintegración de las partículas del suelo, reduciendo la permeabilidad y, en consecuencia, disminuyendo la velocidad de infiltración.

En el caso del cultivo del arándano azul, no se recomienda el riego con agua salina, ya que, esta especie prospera en suelos con condiciones ácidas. Estas condiciones pueden alterarse si se utiliza agua con un contenido elevado de iones.

No obstante, diversos estudios han demostrado que factores de estrés abiótico, como la salinidad y las condiciones de baja iluminación, pueden influir positivamente en la acumulación de compuestos no enzimáticos de este fruto, mejorando así las propiedades antioxidantes.

En este experimento, se llevó a cabo el sistema de producción bajo condiciones de invernadero, se manejaron diferentes tratamientos a base de amonio, nitrato y cloruro de sodio, con la finalidad de determinar las condiciones óptimas para maximizar el rendimiento del cultivo y la calidad del fruto en función del manejo nutrimental y del medio salino.

Palabras clave: Arándano azul, salinidad, calidad, nitrogenados, rendimiento.

ABSTRACT

Blueberry production systems have evolved toward more efficient and controlled methods, especially regarding nutrition, with a focus on the use of nitrogen in its ammonium form. However, an increase in the concentration of antioxidant compounds has been observed in certain crops when nitrate is used as a nitrogen source, thus increasing the nutraceutical quality of their products.

On the other hand, salinity is a determining factor in crop productivity, as it can hinder plants' ability to absorb water. High levels of sodium in the soil can replace calcium and magnesium or combine with them to form bicarbonates. This causes the disintegration of soil particles, reducing permeability and, consequently, decreasing infiltration speed.

In the case of blueberry cultivation, irrigating with saline water is not recommended, as this species thrives in acidic soil conditions. These conditions can be altered when water with a high ion content is used.

However, several studies have shown that abiotic stress factors, such as salinity and low light conditions, can positively influence the accumulation of non-enzymatic compounds in the fruit, thus improving its antioxidant properties.

This experiment was carried out under greenhouse conditions, with different treatments based on ammonium, nitrate, and sodium chloride, to determine the optimal conditions to maximize crop yield and fruit quality based on nutrient management and saline environment.

Keywords: Blueberry, salinity, quality, nitrogen, yield.

INTRODUCCIÓN

El arándano azul, es uno de los frutales de más reciente domesticación, su cultivo ha traspasado las fronteras de su lugar de origen: el norte de Europa, Asia y America, cultivándose, en este último continente, desde Canadá hasta Chile (SADER, 2018).

El arándano azul también conocido como blueberry es un arbusto caducifolio, este puede llegar a medir hasta los 60 cm de altura. El objeto de interés de este cultivo es su fruto, el cual es una baya de forma globosa, su diámetro ronda entre 1 a los 2 cm y su color varia de azul intenso a azul suave. (SIAP, 2023)

En México la producción de arándano está localizada principalmente en los estados de Jalisco, Michoacán y Sinaloa. Jalisco es el estado que cuenta con las mejores condiciones edafológicas y climáticas para su producción, además dicha entidad posee los recursos y tecnología necesaria para la comercialización del fruto (ASERCA, 2018). Durante los últimos cuatro años México ha sido el octavo exportador mundial de arándano azul fresco, la comercialización total de la producción mexicana de este fruto se divide principalmente en tres países, Estados Unidos es el primer lugar de exportaciones con un 96.2 por ciento, en segundo lugar, se encuentra Japón con 2.2 por ciento y con 0.6 por ciento en tercer lugar, Canadá. Las ventas al exterior de este fruto fueron de 490 millones de dólares con una tasa media anual de crecimiento de 15.5 por ciento (SADER 2023). El arándano azul en los últimos años ha incrementado su comercialización ya que cuenta con distintos beneficios a la salud, es uno de los alimentos con más alto contenido de antioxidantes, además de ser rico en vitamina A, B y C, el arándano también aporta potasio y fibra. Este fruto ayuda a fortalecer el sistema inmune y a su vez a disminuir la incidencia de diferentes enfermedades como lo son el cáncer, cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares e infecciones (SADER, 2017).

JUSTIFICACIÓN

Esta investigación se enmarca en el objetivo 2 de la agenda 2030 de la ONU: Hambre cero, que hace referencia al sector alimentario y el sector agrícola, ya que, dichos sectores ofrecen soluciones claves para el desarrollo y son vitales para la eliminación del hambre y pobreza. Este objetivo se centra en aumentar la productividad agrícola y los ingresos de los productores de alimentos, garantizando acceso seguro y justo a la tierra, recursos productivos, insumos, conocimientos, servicios financieros, mercados y oportunidades para crear valor añadido y empleos fuera del sector agrícola. También hace alusión a garantizar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y adoptar prácticas agrícolas resilientes que incrementen la productividad y la producción, favoreciendo así, la conservación de los ecosistemas y reforzando la capacidad de adaptación al cambio climático, fenómenos meteorológicos extremos, sequías, inundaciones y otros desastres, promoviendo la mejora continua de la calidad del suelo y la tierra.

1.2 Objetivo General

Evaluar la respuesta del arándano variedad Biloxi ante las diferentes fuentes nitrogenadas y tratamientos de NaCl tomando en cuenta el rendimiento del cultivo y calidad comercial del fruto.

1.2.1 Objetivos Específicos

1.2.1.1. Evaluar el rendimiento agronómico del cultivo del arándano cultivado con dos fuentes nitrogenadas y adiciones de cloruro de sodio.

1.2.1.2. Analizar la calidad de los frutos de arándano variedad Biloxi ante los efectos de la fuente nitrogenada y el medio salino.

1.2.1.3. Determinar la concentración salina y el medio nitrogenado adecuado para obtener frutos de calidad comercial.

1.3 Hipótesis

El comportamiento productivo del arándano var. Biloxi, se verá influenciado por la fuente nitrogenada y la adición de cloruro de sodio como inductor de la calidad.

II. LITERATURA REVISADA

2.1 Origen del cultivo

Según la Universidad de Illinois (2019), los arándanos son originarios de América del Norte, estos forman parte del género *Vaccinium*. Esta especie es tan variada que se ajustan a una diversidad de climas; existen especies adaptadas a ciertos climas calurosos del sur de México. Acorde a la USDA ARS (2014) el arándano es nombrado así por su color azul profundo y aterciopelado, es una de las pocas frutas nativas de América del Norte. Los nativos americanos usaban las bayas, hojas y raíces con fines medicinales, mientras que la fruta era utilizada como tinte para telas. Originalmente, los arándanos se encontraban de manera silvestre, en la actualidad son cultivadas en distintas regiones. Los arándanos silvestres, también conocidos como arándanos de arbusto bajo, son abundantes en Maine siendo esta la fruta oficial del estado. Gracias a Elizabeth White y Frederick Coville (botánico del USDA) comenzó el desarrollo de los arándanos cultivados. White al vivir en una granja en Nueva Jersey realizó una investigación sobre los arándanos silvestres en 1890, mientras que Coville comenzó en 1908, en la cual obtuvo el primer híbrido del arándano (USHBC, 2020). Gracias a este suceso se expandió la producción comercial a todos los continentes excepto la Antártida. El arándano se cultiva en más de 30 países con diversidad de climas. Existen diferentes tipos de plantas de arándanos, actualmente se cultivan principalmente highbush, lowbush, half-high, Rabbiteye y Southern highbush. El ciclo de producción varía, de corta a larga duración, al igual que su cantidad de ciclos productivos, pueden variar desde 1-5 años hasta los 40- 60 años. (USDA, 2016; 2020).

2.2 Descripción Botánica

Los *Vaccinium corymbosum*, conocidos ante la sociedad como arándanos azules son arbustos perennes de origen norteamericano, este cultivo se ha establecido en distintos lugares del mundo, incluyendo Europa, el sur de Asia y América. (Today, 2023).

Este tipo de arándano es perteneciente al grupo Southern highbush, como resultado de la combinación de cuatro variedades diferentes: *V. corymbosum*, *V. angustifolium*, *V. ashei* y *V. darrowii*. Originados principalmente en Florida, Estados Unidos, fueron seleccionados por su capacidad para producir frutos más grandes y adaptarse a una amplia variedad de suelos (Hydro Environment, 2024).

2.3 Descripción Taxonómica

Reino: *Plantae*

Subreino: *Tracheobionta*

Superdivisión: *Spermatophyta*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Subclase: *Dilleniidae*

Orden: *Ericales*

Familia: *Ericaceae Juss.*

Género: *Vaccinium L.*

Especie: *Vaccinium corymbosum L.*

2.4 Morfología de la planta

2.4.1 Raíz

El sistema radical del arándano es superficial, de poca extensión y fibrosos, se compone de finas raicillas, sin pelos radiculares ya que las raíces jóvenes se encargan de la absorción (Akimova *et al.*, 2022).

2.4.2 Hojas

Las hojas se localizan a lo largo de los tallos en forma simple y alterna. Estas son ovaladas y miden entre 3 a 8 cm de largo y 1 a 3 cm de ancho. Su color es verde oscuro en el haz y tienden a ser más claras en el envés (Leguízamo, 2021).

2.4.3 Flores

Están presentes en racimos, y cuentan con alrededor de 6 a 10 flores por yema. Son de forma acampanada, con un tamaño aproximado de 5 a 10 mm y se caracterizan por un color rosa pálido o blanco (Giacalone et al., 2015). La corola de la flor es de color verde y esférica, poseen entre 4 a 5 pétalos y 8 a 10 estambres. Los ovarios inferiores están compuestos por lóculos y dentro de cada lóculo se localizan los óvulos (Baldomero *et al.*, 2017).

2.4.4. Fruto

El fruto es una baya de forma casi esférica de un característico color azul aterciopelado, su diámetro ronda entre 7 a 15 mm (Hancock et al., 2003). Las bayas de los arándanos son el atractivo principal, por su sabor dulce con ligera acidez, pero aún más por su alto contenido de antioxidantes y nutrientes beneficiosos para la salud (Leguízamo, 2021).

2.5 Requerimientos edafoclimáticos

2.5.1 Temperatura

Este es un factor de gran importancia, la brotación requiere de temperaturas de 24°C (García y García, 2010). La temperatura nocturna ideal es de 10°C, mientras que diurna es de 26°C. Además, el óptimo de temperatura rondan de los 20°C y 25°C (Meyer y Prinslo, 2023; Torres, 2015).

2.5.2 Suelo

El cultivo de arándano prefiere suelos con textura ligera, con presencia de materia orgánica, al menos de 3%, buen drenaje y buena retención de humedad, ya que, permite un buen desarrollo de las raíces. Un pH óptimo de 4.5 - 5.5, demandando rangos ácidos, menores a 5.5 (Valenzuela, 1988; Camarena 2022).

2.5.3 Radiación

Según, Matamala, (2023), el arándano azul logra una fotosíntesis máxima entre 800 y 1500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ de PAR, niveles menores a estos disminuyen la tasa fotosintética notablemente, afectando la calidad y rendimiento del cultivo. Una exposición desproporcionada puede generar estrés por luz, afectando al fruto en su firmeza.

Para regular la radiación y proteger al cultivo de un estrés térmico o exceso de luz se utilizan sistemas como estructuras o mallas de sombreado sin afectar el rendimiento, disminuyendo quemaduras solares (Long, *et. al.*, 2024).

2.5.2 Necesidades hídricas.

Según un estudio de ASHS las necesidades hídricas del cultivo de arándano azul es de 570 mm de agua a lo largo de dos temporadas, esto logra un desarrollo óptimo del arándano, siendo el riego por goteo el sistema ideal para el cultivo, ante diferentes métodos (Bryla, *et al.*, 2011).

2.6 Fenología del cultivo

El arándano presenta un ciclo de crecimiento anual alternando períodos de dormancia y períodos de crecimiento. Los órganos como raíces, coronas y tallos son permanentes y están presentes durante todo el año, mientras que, brotes, hojas, flores y frutos se consideran transitorios al estar solo en la etapa de crecimiento (Retamales & Hancock, 2018).

2.6.1 Dormancia invernal

Durante el invierno con la disminución de temperatura, los arbustos entran en dormancia para protegerse del frío. En este periodo las plantas requieren de una acumulación de horas frío (alrededor 200 a 1200 horas) para prepararse para la brotación (Phillips, *et al.*, 2020). Durante esta etapa, las plantas necesitan acumular una cierta cantidad de horas de frío, definidas como horas en las que la temperatura se mantiene por debajo de 7 °C. Este requisito permite que la planta rompa su estado de dormancia, estimulando una brotación uniforme y una floración adecuada en primavera.

2.6.2 Brotación

La yema es una estructura densa recubierta de escamas que dará un brote vegetativo o floral. Una yema floral esta cubierta por escamas de color café, formando un ramillete floral. Mientras que las yemas vegetativas son más pequeñas y menos redondas que las florales (Quintana, 2021). Esta etapa ocurre entre 1 y 2 semanas antes de la floración, con el aumento de temperatura y la acumulación de suficientes horas de frío en el invierno. Las yemas vegetativas latentes y formadas en la temporada anterior se hinchan y dan lugar a la formación de nuevos brotes (Pritts, *et al.*, 1992).

2.6.3 Crecimiento Vegetativo

El crecimiento vegetativo inicial del Biloxi se lleva a cabo a través del primer año, en el cual crecen las raíces y su estructura básica se desarrolla. Actividades como la fertilización y poda son necesarias para esta etapa, estimula el sistema radicular y la formación de brotes vegetativos. (Schmidt, 2019).

2.6.4 Floración

Las yemas florales crecen y se abren dando lugar a racimos, posteriormente, las flores se abren como se observa en la Figura 1, lo que ayuda a extender el periodo de polinización. (Kuepper, *et al.*, 2004).

2.6.5 Coloración del fruto

La polinización exitosa es importante para el desarrollo del fruto, las flores fecundadas se transforman en pequeños frutos verdes, los cuales maduran cambiando su color de verde a rojo hasta llegar a azul oscuro como se observa en la Figura 2 (Undurraga, & Vargas, 2013).

2.6.7 Cosecha

Cuando los frutos alcanzan su madurez, la cosecha debe realizarse. Esta se evalúa según el color, tamaño y firmeza del fruto. Es de gran importancia no realizar la cosecha en condiciones climáticas perjudiciales, como lluvia o rocío, ya que, puede verse afectada la calidad del fruto, favoreciendo su hidratación o el daño por congelación (Avilés, 2020).



Figura 1. Crecimiento vegetativo.

Nota: V1. Punta Verde, Yema vegetativa abierta. V2. Brotación. Entrenudos cortos. V3. Brote Nuevo. Alargando entrenudos, Hojas expandiendo. V4. Rama Nueva. Hojas expandidas, Entrenudos largos. (Schilder *et al.* 2004)

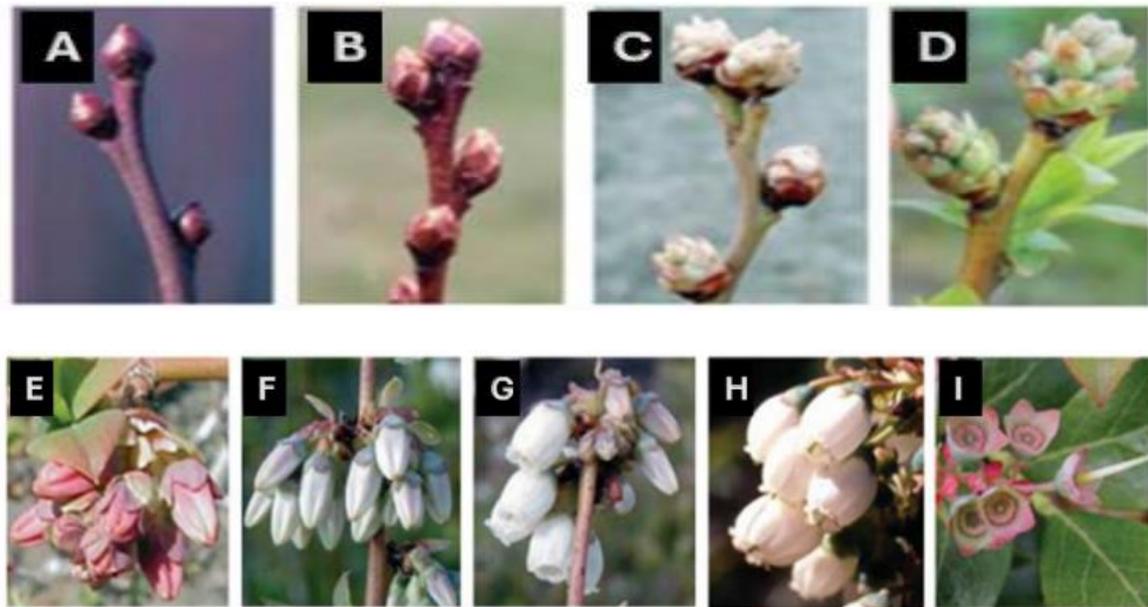


Figura 2. Estados del desarrollo de la yema floral y flor.

Nota: A. Yema floral cerrada, B. Yema floral hinchada, C. Quiebre de yema flora, D. Racimo apretado, E. Botón rosado temprano, F. Botón tardío, G. Inicio floración, H. Floración, I. Caída de pétalos. (Pinochet, *et al.* 2014)



Figura 3. Estadios del desarrollo del Fruto (Pinochet et al. 2014).

2.7 Importancia del cultivo

El arándano azul es un cultivo de importancia mundial, en los últimos años ha mostrado un crecimiento promedio anual de 3.000 ha. En el año 2016, México ocupó el cuarto lugar con una producción de 18.031 t, de las cuales se exportaron 17.345 t con un valor comercial de 187,9 millones de dólares (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020). Ante la importancia que gana constantemente el cultivo, existe la necesidad de satisfacer el requerimiento del mercado en cuanto a calidad y cantidad. En el proceso de reconversión productiva en los últimos años en México, se ha optado por la adopción de nuevos cultivos y tecnologías de producción, particularmente el de frutillas en condiciones de agricultura protegida (Álvarez-Bravo, et al., 2019).

En el 2023 México se posicionó en el octavo lugar como exportador de arándanos frescos durante los últimos 4 años, generando ventas de 490 millones de dólares y una tasa anual aproximada del 15.5 por ciento de crecimiento. (SADER, 2023).

2.7.1 Superficie Establecida

2.7.1.1 Nacional

Según Blueberries Consulting (2023) en México la superficie establecida con cultivos de arándanos ronda en las 11, 400 hectáreas, el principal productor es Jalisco, con un aproximado de 4.910 ha, es decir 43.1% de la superficie total; Sinaloa cuenta con 2.440 ha (21.4%); Michoacán representa el 16.1% con 1.830 ha; con 970 ha Guanajuato (8.5%); Baja California el 5%, con 565 ha; con 270 ha (2.4%) se encuentra Puebla; Nayarit 1.8% con 200 ha; Querétaro 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 aporta el 0.2% con 25 ha y Chihuahua con 10 ha el 0.1%. Mientras que, de este, aproximadamente el 88% de la superficie establecida es cultivo de manera convencional (10.032 ha) y el 12% restante, representa 1.368 ha, es orgánico. La producción bajo estructura ronda las 8.778 hectáreas representando el 77%, en cielo abierto-malla sombra equivale al 23% con 2.622 hectáreas. En cuanto a las variedades plantadas, en México el 74% de la superficie esta cultivada con variedades protegidas, 2.627 hectáreas con la variedad Biloxi, representando el 23% y el 3% restante con diferentes variedades. Por último, el arándano cultivado en sustrato alcanza las 8.930 hectáreas, representando el 78% de las granjas, y las que se encuentran de manera silvestre alcanzan las 2.470 hectáreas, (22%), del total de 11.400 hectáreas.

2.7.1.2 Mundial

Según Ampuero (2024) la superficie mundial establecida del cultivo del arándano azul, tomando en cuenta todas las variedades, se calculan 248,550 hectáreas, consiguiendo una producción de 1.86 millones de toneladas métricas anuales. Los países productores principales son China con 78,000 hectáreas, en segundo lugar, se encuentra Estados Unidos con 48,000 hectáreas y en tercer lugar se posiciona Perú con 22,000 hectáreas.

2.7.2 Volumen de Producción

2.7.2.1 Nacional

Datos de Grupo Consultor de Mercados Agrícolas, con ayuda de la información del Banco de México (BdeM), muestran cálculos sobre el producto agroalimentario más exportado de México y son las berries, además han mostrado un crecimiento del 20% consolidándose como el cultivo con mayor crecimiento en los últimos años. Los arándanos equivalen al 15% de las exportaciones de berries mexicanas y se mantiene creciendo de manera continua (GCMA, 2023).

En la campaña finalizada en 2022, En 2022 México produjo más de 80.000 toneladas de arándanos. En 2023, se esperase que se llegue a las 95.802 toneladas. Para la campaña de 2024 se proyecta que la industria mexicana del arándano alcance las 111.484 toneladas, lo que se traduciría en un aumento significativo y que colocaría a México en los primeros lugares de la industria global del arándano (Blueberry Consulting, 2023).

2.7.2.2 Mundial

Según Blueberry Consulting (2024), China ocupa el primer lugar en producción de arándano azul, encabeza con 78,000 hectáreas de superficie establecida, los cuales produce 525,000 toneladas métricas, en segundo lugar, se encuentra Estados Unidos con 48,000 hectáreas con un rendimiento de 277,000 toneladas métricas, Perú, en tercer lugar, produce 225,000 toneladas métricas.

2.8 Problemáticas

2.8.1 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-Vargas, *et al.*, 2024).

De igual manera, el arándano está expuesto al estrés térmico, el cultivo puede sufrir alteraciones en su crecimiento debido a las temperaturas extremas, ya que, interrumpe el metabolismo y la sincronización de la floración con la polinización (Sánchez-García, 2018). 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).

2.8.2 Estrés Salino

2.8.2.1 Estrés por Cloruro de Sodio

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 comulación excesiva de iones como Na^+ y Cl^- provoca 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- Vargas, *et al.*, 2014).

Los niveles de salinidad por encima de los 2 dS/m provocan estrés osmótico y toxicidad, principalmente si provienen de cloruro de sodio, lo que limita el crecimiento y calidad del cultivo (Sierra, 2010).

El estrés salino repercute en la biomasa disminuyendo el tamaño de las hojas, reduciendo así, la fotosíntesis y el crecimiento de la planta. En el fruto se ve reflejado en el peso y tamaño, afectando su rendimiento (Casierra y García, 2005).

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).

Para el manejo es recomendable utilizar aguas de riego con una conductividad eléctrica menor a 0.6 dS/m y realizar análisis periódicos del suelo y agua para monitorear la salinidad de estos. También se sugiere evitar plantaciones en suelos previamente salinizados o donde se utilizó un riego contante con una salinidad mayor o similar a 0.75 dS/m y no se ha lavado adecuado con agua de buena calidad. (Sierra, 2010).

2.8.4 Efectos del NaCl en la calidad nutracéutica de cultivos

El estrés salino producido especialmente por la presencia de NaCl a bajas concentraciones causa efectos positivos en la calidad nutracéutica del arándano. La planta del arándano puede almacenar iones de sodio y cloruro en las hojas. En altas concentraciones puede inducir a una toxicidad celular, mientras que en bajas concentraciones favorece el crecimiento. Además, el estrés salino puede impulsar la concentración de glucosa, sorbitol y fructosa, provocando un ajuste osmótico, esto puede alterar compuestos bioactivos y antioxidantes, tales como antocianinas, flavonoides, cruciales para la calidad nutracéutica del arándano (Muralitharan, 2017).

Según un estudio de Improving Blueberry Fruit Nutritional Quality through Physiological and Genetic Interventions (2023), el estrés salino moderado puede incrementar la presencia de compuestos antioxidantes del arándano. La aplicación de técnicas tales como, túneles de

polietileno pueden contribuir positivamente a la calidad nutraceútica del arándano, incrementando los compuestos fenólicos y antioxidantes.

2.9 Características productivas y comerciales del arándano

En contexto de la producción del arándano azul (*Vaccinium corymbosum*), las ‘condiciones normales’ suelen referirse a un rango estándar de parámetros ambientales, prácticas agronómicas y requerimientos fisiológicos del cultivo que permiten su óptimo desarrollo. Las cuales incluyen lo siguiente:

Clima moderado, con temperaturas que no sean extremas y suficiente acumulación de horas frío, las horas frío requeridas por la var. Biloxi generalmente son menos de 300 horas frío, en temperaturas menores a 7.2 °C (Wilmer, 2023). Junto con un suelo ácido con un pH de 4.5 – 5.5, bien drenado y con alta materia orgánica (García, 2023).

Prácticas como fertirriego balanceado, evitando acumulación de sales, y uso de bioestimulantes o reguladores de crecimiento. Aplicación de nutrientes de manera constante y ajustada a las necesidades de la planta en cada etapa fenológica. (Wilmer, 2023).

Monitoreo constante y manejo integrado para controlar plagas como ácaros, trips y enfermedades como la pudrición de raíces o mohos (Bastida, 2024).

2.9.1. Producción de Biomasa

Bajo condiciones normales, la tasa de crecimiento y producción de biomasa del arándano azul (*Vaccinium corymbosum*) varían según la variedad, manejo agronómico y condiciones ambientales específicas (IBO, 2022).

Según estudios realizados en cultivos bien manejados, la biomasa total puede alcanzar entre 150 – 300 gramos por planta al final de la temporada de crecimiento, dependiendo del sistema de producción y la edad de las plantas (Valenzuela, 2008)

En condiciones óptimas de fertilización y riego, se reportan promedios de tasa de crecimiento relativo del 0.03 – 0.05 g/g/día, variando durante las etapas fenológicas. La mayor asignación de biomasa ocurre durante la floración y fructificación. (Valenzuela, 2009).

La distribución de biomasa aproximada es de 60/70% se concentra en las partes aéreas, mientras que el resto se asigna a las raíces, las cuales tienen un papel crucial en el soporte del sistema hídrico y nutricional del cultivo.

Investigaciones muestran una disminución en el desarrollo vegetativo a causa del estrés salino, con tasas de reducción de biomasa que pueden alcanzar entre un 30 – 50% en función de la intensidad y duración de este (Longfei, 2022).

2.9.2. Calidad Comercial del Fruto

La calidad comercial de los frutos del arándano azul bajo condiciones normales incluye mediciones de peso, tamaño, y contenido de sólidos solubles (Grados Brix). En condiciones óptimas del cultivo los frutos presentan un peso promedio de 1.5 a 2 gramos, y diámetro entre 12 y 16 mm dependiendo la variedad. Estas características están influenciadas por factores como las condiciones climática y factores como el manejo de agua durante la temporada de crecimiento (Babiker et al. 2023). El contenido de sólidos solubles en los frutos suelen oscilar entre 10 y 15 °Brix, lo que determina su dulzura y calidad organoléptica. De igual manera este parámetro está influenciado por el tipo de manejo agronómico y las características del cultivar. (Bryla, 2012).

El estrés salino puede reducir el peso y diámetro del fruto, ya que, existe una disminución en la disponibilidad del agua y nutrientes esenciales para el desarrollo del fruto. Además, el tamaño se ve afectado negativamente, debido a la limitación de la expansión celular y la acumulación de reservas en el fruto generado por la salinidad (Hirzel, *et al.*, 2014). Mientras que el contenido de sólidos solubles, puede aumentar debido a una mayor concentración de azúcares como un mecanismo de defensa de la planta para el equilibrio osmótico. Sin embargo, en niveles altos el metabolismo del fruto suele deteriorarse (Cappai, *et al.*, 2018).

2.9.1 Calidad nutricional del arándano

Valor nutricional del arándano (*Vaccinium corymbosum*) por cada 100g de este.

Tabla 1. Calidad nutricional del arándano por cada 100g.

Componente	Cantidad/ 100g
Energía	60 kcal
Proteína	0.74 g
Lípidos	0.33 g
Carbohidratos	14.49 g
Azucares	9.96 g
Fibra Dietética	2.4 g
Cenizas	0.21 g
Agua	84.61 g
Calcio	6.0 g
Hierro	0.17 mg
Magnesio	5.0 mg
Fosforo	10.0 mg
Potasio	79.0 mg
Sodio	6,0 mg
Zinc	0.11 mg
Vitamina C	9.7 mg
Tiamina	0.05 mg
Riboflavina	0.5 mg
Niacina	0.36 mg
Vitamina B6	0.4 mg
Vitamina E	1.0 mg

.USDA (2020)

2.9.1 Potencial antioxidante

El fruto del arándano contiene fuertes propiedades antioxidantes, debido a su alto contenido de compuestos poli fenólicos, principalmente las antocianinas (Wang, 2024).

Según un artículo publicado en USHBC la capacidad antioxidante del arándano es condicionado por factores ambientales, de igual manera el proceso de madurez del fruto repercute en la concentración de los compuestos antioxidantes presentes, aumentando conforme este alcanza su madurez.

2.9.2 Actividad Enzimática en Frutos

Los perfiles bioquímicos y la actividad enzimática no solo son de suma importancia para la protección antioxidante del fruto a lo largo de su desarrollo, si no que aportan a la calidad nutraceútica del fruto. Los factores ambientales, tales como, la intensidad lumínica puede modificar la actividad de enzimas relacionada y la síntesis de antocianinas (Tianyu-Tan, *et al.*, 2023).

2.9.3 Actividad no Enzimática

La actividad no enzimática en el fruto del arándano está vinculada con los compuestos bioactivos. Los antioxidantes como los polifenoles, flavonoides y ácidos fenólicos aportan a la protección a formas de daño celular como la protección de las células contra el estrés oxidativo (Wang, *et al.*, 2024). Estas investigaciones demuestran que el estrés abiótico, principalmente la salinidad o las condiciones lumínicas, influyen en la acumulación de compuestos no enzimáticos, optimizando la concentración antioxidante.

2.9.4 Fenoles Totales

Los compuestos fenólicos forman gran parte de los metabolitos especializados presentes en el fruto del arándano. El contenido total de los fenoles se ven representados principalmente por los flavonoides, incluyendo las antocianinas, Las antocianinas empiezan a acumularse en las primeras etapas de maduración del fruto, obteniendo el nivel más alto al terminar su maduración (Giovani, 2022).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del experimento

El experimento se ubicó en la localidad de La Ascensión, en el municipio de Amberri, 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 de cultivo.

El experimento fue desarrollado bajo condiciones de invernadero de mediana tecnología, con un área total 48m², con el objetivo de crear un ambiente controlado para favorecer el crecimiento de las plantas donde se establecieron los tratamientos con diferentes niveles de fertilización. Las condiciones ambientales tuvieron un promedio de temperatura máxima 24.3 °C, temperatura mínima de 9 °C, las cuales fueron monitoreadas diariamente mediante sensores electrónicos.

3.3.2 Tratamientos a evaluados.

El experimento consistió en la evaluación de nueve tratamientos de fertilización a base nitrato, amonio y cloruro de sodio, dependiendo del tratamiento.

Tratamiento	Composición
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	NH ₄ ⁺ 50% + NO ₃ ⁻ 50%

Tabla 2. Tratamientos.

La aplicación de NaCl fue semanal, en una solución de concentración de 30 mMol. Cada uno de los tratamientos contó con 10 repeticiones, las cuales corresponden a una planta cada una.

3.3.2 Variables de respuesta

Las siguientes variables se evaluaron para tener un control sobre los datos fisiológicos y la calidad del fruto, permitiendo evaluar el rendimiento agronómico de las plantas de arándano azul (*Vaccinium corymbosum L.*) var. Biloxi utilizadas en el experimento.

VARIABLES AGRONÓMICAS

Altura de tallo (La unidad de medida utilizada fue cm).

Diámetro de tallo (La unidad de medida utilizada fue mm).

Numero de hojas

Brotes secundarios

Brotes totales por planta

Numero de flores

Numero de frutos

VARIABLES DE CALIDAD DEL FRUTO.

Diámetro ecuatorial (La unidad de medida utilizada fue mm).

Diámetro polar (La unidad de medida utilizada fue mm).

Peso: (La unidad de medida utilizada fue g).

Grados Brix (La unidad de medida utilizada fue °Bx).

Temperatura (La unidad de medida utilizada fue °C).

3.4 Manejo agronómico

El material vegetal utilizado se adquirió, el 22 de mayo del 2023, en una presentación de maceta de 1 litro de capacidad, con un sustrato a base de Peat Moss y perlita a una relación de 3:1, el riego constó de 250 ml diarios de manera manual de solución nutritiva ‘base’.

El día 02 de octubre del 2023 se realizó el trasplante de las plantas de arándano azul, en contenedores de 20 litros, al sustrato se le añadió fibra de coco, previamente lavado y se le

suministro la solución nutritiva denominada ‘base’ (Tabla 3), 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.

Los datos de las variables fueron tomados una vez a la semana, día en el que se aplicaba el tratamiento.

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

Tabla 3. Solución base utilizada en el cultivo.

3.5 Diseño estadístico

El diseño experimental utilizado fue un Bloques completamente al azar, con 9 tratamientos, incluyendo el testigo, cada uno de estos tratamientos consto de 10 repeticiones cada uno, de las cuales se deslindaron 90 unidades experimentales. 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. La comparación de medias fue por medio de la DMS (Diferencia mínima significativa) al 95% de probabilidad estadística. Posteriormente a los análisis de varianza (ANOVA) se utilizó el software SPSS para realizar la prueba Turkey, el nivel de significancia se fijó en 0.05, en el sistema estadístico IBM SPSS Statistics 25.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Variables Agronómicas

4.1.1 Altura de Tallo

La variable altura de tallo se evaluó en plantas sometidas a nueve tratamientos diferentes, mostrando diferencias significativas entre ellos. Los tratamientos basados en amonio destacaron por promover mayores alturas en comparación con los tratamientos de nitrato, especialmente los cuales no tenían NaCl añadido.

En la Tabla 4, se observa que el tratamiento amonio 100% presentó la mayor altura (46.1 cm) superando un 46.8% al tratamiento de nitrato a la misma concentración, y destacándose como el más efectivo para promover el crecimiento sobre los tratamientos con menor concentración sin solución salina. Por otro lado, también podemos observar que al disminuir la concentración tanto de amonio como de nitrato con NaCl hubo una inhibición del crecimiento, sugiriendo que dicho efecto se debe a la salinidad.

El tratamiento con amonio 50% y nitrato 50% mostró un crecimiento 17.6% menor al tratamiento de amonio al 100% y 24.8% superior al tratamiento con nitrato al 100% sin solución salina y un crecimiento similar a los de amonio y nitrato reducido.

4.1.2 Diámetro de tallo

Los resultados de la Tabla 4 indican que los tratamientos basados en amonio fueron los más efectivos para promover un mayor grosor del tallo, destacándose el tratamiento amonio 100%, que alcanzó el mayor diámetro promedio en relación con el resto de los tratamientos. Este tratamiento fue significativamente superior con un incremento de 55% en el diámetro del tallo con relación al de nitrato a la misma concentración.

La adición de NaCl al amonio redujo ligeramente el diámetro del tallo, sin diferencias estadísticas respecto a otros tratamientos con amonio reducido. En el caso del amonio al 75% no se presentaron diferencias de diámetro de tallo de las plantas con o sin NaCl.

En cuanto, los tratamientos con nitrato mostraron diámetros significativamente menores, como podemos observar en el tratamiento con nitrato al 100% y el reducido al 75% con adición de NaCl, indicando un impacto adverso de la salinidad.

El tratamiento con amonio al 50% y nitrato al 50% mostro un diámetro similar a los de amonio y nitrato reducido sin NaCl.

El tratamiento a base de amonio al 100% fue el tratamiento más favorable para el diámetro del tallo, reforzando su eficacia como fuente de nitrógeno para el cultivo del arándano azul. La salinidad inhibió ligeramente el engrosamiento del tallo en todos los tratamientos, siendo más evidente en los basados de nitrato. Los tratamientos con nitrato puro presentaron consistentemente los valores más bajos, mientras que las reducciones de nitrógeno mejoraron el diámetro en algunos casos. En general, los tratamientos con amonio lograron los mayores diámetros, y los efectos negativos del nitrato se acentuaron en presencia de NaCl.

4.1.3 Número de hojas

Los tratamientos basados en amonio destacaron por su efectividad para promover el desarrollo foliar con o sin presencia de NaCl. El tratamiento con amonio al 100% (Tabla 4) alcanzó el mayor número promedio de hojas, superando un 82.6% a los tratamientos de nitrato, lo que lo sugiere que es el más eficiente para esta variable. Los tratamientos con amonio con y sin NaCl no presentaron diferencias significativas, sin embargo, en ambas concentraciones mostraron menor número de hojas respectivamente en presencia de la solución salina.

En los tratamientos donde está presente el nitrato, el desempeño fue menor. El nitrato al 100% produjo el menor número promedio de hojas, evidenciando que el uso de nitratos en arándano no favorece el desarrollo foliar, aunque con la adición de NaCl mejoró ligeramente este valor no hubo diferencias estadísticas, manteniéndose por debajo de los resultados obtenidos con amonio. En el caso del nitrato 75%, se observó un incremento de % en el número de hojas en relación al nitrato al 100%, no obstante, al adicionar la solución salina la producción de hojas se vio disminuida sugiriendo que el NaCl en combinación con el nitrato provoca efectos negativos en la producción de biomasa, cabe señalar que el tratamiento amonio 50% + nitrato 50%, presento efectos similares a los del nitrato al 75%.

De manera general para la variable de número de hojas, el tratamiento de amonio al 100% fue el más efectivo para fomentar un mayor desarrollo foliar, mientras que la salinidad redujo consistentemente el valor de esta variable en todos los tratamientos, con un impacto más visible en los tratamientos con nitrato, destacando su importancia como fuente de nitrógeno para esta variable agronómica.

4.1.4 Brotes Secundarios

El tratamiento con el mayor promedio de brotes secundarios fue el compuesto por amonio al 100% (Tabla 4) superando 107% al tratamiento con nitrato al 100%; cabe señalar que entre los tratamientos de amonio con y sin NaCl no se obtuvieron diferencias significativas, sin embargo, se observó un efecto moderado limitante en presencia de la solución salina.

Los tratamientos con amonio 75% y nitrato al 75% fueron estadísticamente iguales, y al adicionar NaCl presentaron una reducción en el número de brotes secundarios, demostrando así que la salinidad impacta negativamente al crecimiento de brotes secundarios.

Respecto a los tratamientos con nitrato, el tratamiento de nitrato al 100% con o sin NaCl mostró un promedio significativamente menor de brotes secundarios en relación a los de amonio en la misma concentración.

El tratamiento de amonio 50% + nitrato 50% presentó resultados estadísticamente iguales al tratamiento de amonio 100% con NaCl y al de amonio reducido con y sin NaCl, mostrando una tendencia superior a los tratamientos con nitratos.

En la variable brotes secundarios, el tratamiento de amonio 100% fue el más efectivo para promover su desarrollo. La salinidad disminuyó los valores de esta variable en todos los tratamientos, siendo más pronunciado su impacto en los tratamientos con nitrato. Los tratamientos con nitrato al 100% presentaron los valores más bajos, mientras que la reducción de nitrato mejoro en ciertos casos. Los tratamientos de amonio demostraron ser más favorables para el desarrollo de brotes secundarios, destacando la importancia de esta fuente de nitrógeno para optimizar el crecimiento de brotes secundarios.

4.1.5 Brotes totales

El tratamiento compuesto por amonio al 100% (Tabla 4) registró un mayor promedio de brotes totales, el cual con o sin NaCl fue estadísticamente igual, superando al resto de los tratamientos. En la Tabla 4 podemos observar que los tratamientos de amonio y nitrato al 100% y reducido al adicionar el NaCl presentan un efecto moderadamente limitante en la producción de brotes totales, lo que indica que la combinación con salinidad afecta negativamente esta variable.

Respecto al tratamiento con amonio 50% + nitrato 50% presento un efecto similar a los tratamientos de amonio al 75% con y sin NaCl y al resto de los tratamientos con nitratos.

4.1.6 Número de Flores

En los tratamientos con amonio, el tratamiento amonio 100% registró el mayor promedio de flores, siendo significativamente superior a los demás tratamientos. Al agregar NaCl al amonio 100%, se redujo 55% el número de flores, lo que indica un efecto negativo moderado de la salinidad. El tratamiento de amonio al 75% obtuvo un promedio ligeramente inferior al tratamiento amonio 100%, pero 31.7% más alto que el tratamiento con NaCl, lo que indica un efecto negativo de esta combinación.

En cuanto, los tratamientos con nitrato y la combinación amonio 50% y nitrato 50% mostraron resultados significativamente menores con relación a los tratamientos con amonio en cuanto a la producción floral.

4.1.7 Número de Frutos

En la Tabla 4, el tratamiento con amonio al 100% mostró el mayor número de frutos, con un valor de 138.7 frutos, superando significativamente al tratamiento reducido y a los tratamientos con nitratos, el tratamiento de amonio al 100% y 75% presentó un incremento de numero de frutos del 144% y 106% en relación con el nitrato al 100% y 75% respectivamente.

En todos los tratamientos de amonio y nitrato al adicionar NaCl el número de frutos se vio disminuido, lo que indica un efecto negativo de la salinidad sobre la producción de frutos.

El tratamiento amonio 50% + nitrato 50% presento un valor promedio de 49.0 frutos, siendo estadísticamente igual a los tratamientos con amonio 75% + NaCl, nitrato al 100% y 75%.

Los resultados obtenidos en las variables agronómicas (Tabla 4) se pueden atribuir a que generalmente el amonio es más eficiente en su absorción durante las primeras etapas de crecimiento, ya que las plantas pueden utilizarlo rápidamente para la síntesis de aminoácidos. En concentraciones altas, el amonio puede ser tóxico, generando una acumulación de compuestos como el ácido glutámico, que inhibe el crecimiento (Zhang, *et al.*, 2019). A pesar de estos riesgos, el amonio en suministros adecuados puede mejorar el desarrollo de la planta como producción de hojas, brotes y frutos, especialmente cuando se combina con nitrato en balance adecuado (Zhang, *et al.*, 2019; Zhang & Wang, 2020). Sin embargo, el nitrato puro en altas concentraciones puede llegar a tener efectos negativos en la salud de las plantas debido a su conversión en compuestos nocivos cuando se acumula en el suelo sin la cantidad adecuada de amonio (Zhang, *et al.*, 2019). La combinación de nitrato con NaCl parece acentuar los efectos inhibitorios en el crecimiento y desarrollo vegetativo, probablemente debido a un aumento en el estrés osmótico y la inhibición de la asimilación de nitrógeno (Zhang & Wang, 2020).

Por lo que, los tratamientos con amonio puro o combinados con nitrato en una proporción equilibrada tienden a ser más efectivos para la producción de frutos ya que el amonio favorece el desarrollo temprano, mientras que el nitrato apoya el crecimiento vegetativo y la formación de compuestos esenciales para la calidad del fruto (Lin, *et al.*, 2023).

Tabla 4. Resultado de análisis estadístico de variables agronómicas evaluadas.

Tratamiento	Variables Agronómicas						
	AP	DT	NH	BS	BT	Fr	Fo
1. Amonio 100%	46.1 a	4.5 a	29.4 a	2.7 a	79.4 a	113.0 a	138.7 a
2. Amonio 100% + 30 mmol de NaCl	41.3 ab	4.2 ab	26.8 a	2.1 abc	75.4 a	62.4 bc	129.1 ab
3. Amonio 75%	40.9 ab	4.0 ab	28.2 a	2.2 ab	58.6 b	88.7 ab	81.7 bc
4. Amonio 75% + 30 mmol de NaCl	39.6 ab	4.0 ab	27.7 a	1.8 abc	54.1 bc	67.3 bc	53.5 cd
5. Nitrato 100%	31.4 b	2.9 b	16.1 c	1.0 bc	49.4 bc	27.4 de	56.8 cd
6. Nitrato 100% + 30 mmol de NaCl	33.9 b	3.4 ab	18.1 c	1.2 bc	43.6 c	9.8 e	19.3 d
7. Nitrato 75%	41.2 ab	4.2 ab	25.5 ab	2.3 ab	47.9 c	29.0 de	39.6 cd
8. Nitrato 75% + 30 mmol de NaCl	33.6 b	3.1 b	19.4 bc	0.7 c	46.8 c	33.4 de	20.5 d
9. NH ₄ ⁺ 50% + NO ₃ 50%	39.2 ab	3.9 ab	25.2 ab	1.9 abc	53.6 bc	46.0 cd	49.0 cd

Nota: AP: Altura de tallo (cm), DT: Diámetro de tallo (mm), NH: Número de hojas, BS: Brotes secundarios,

BT: Brotes totales/planta, Fr: Número flores (g) y Fo: Número de frutos. Variables con diferentes literales presentan diferencia significativa ($\alpha=0.05$).

4.2 Variables de Calidad

4.2.1 Diámetro ecuatorial

En general, los tratamientos con amonio, nitrato y la combinación de ambos al 50% sin aplicación de NaCl fueron los más efectivos para promover el diámetro ecuatorial de los frutos de arándano. En la Tabla 5 podemos observar que el tratamiento 2 con amonio al 100% + NaCl registro un incremento en el diámetro ecuatorial con relación al tratamiento de nitrato 100% + NaCl y nitrato 75% + NaCl de un 20% y 19.8% respectivamente, esto sugiere que la adición de NaCl tuvo un efecto estimulante sobre el crecimiento del diámetro ecuatorial cuando se utilizó amonio.

Sin embargo, los tratamientos con la combinación de nitrato con NaCl tuvo un impacto negativo considerable en el crecimiento del diámetro ecuatorial.

El tratamiento amonio 50% y nitrato 50% obtuvo un valor promedio de 12.7, estadísticamente similar a los tratamientos con amonio puro y nitrato, lo que sugiere que esta combinación también favoreció el crecimiento del diámetro ecuatorial del fruto.

4.2.2 Diámetro Polar

Los tratamientos con amonio en las dos concentraciones con y sin NaCl, los tratamientos con nitrato en sus dos concentraciones sin NaCl y la combinación de amonio 50% y nitrato al 50% presentaron efectos positivos en el diámetro polar de los frutos superando estadísticamente a los tratamientos de nitrato en sus dos concentraciones con NaCl (Tabla 5). El tratamiento del amonio al 100% + NaCl el diámetro polar fue superior un 25.6% que el del tratamiento de nitrato al 100% + NaCl, y en el caso del tratamiento del amonio al 75% + NaCl el diámetro polar fue superior un 13.4% que el del tratamiento de nitrato al 75% + NaCl.

En el tratamiento de amonio 50% + nitrato 50% presento un diámetro polar superior a los tratamientos de nitrato 100% y 75% con NaCl un 20.5% y 14.6% respectivamente, lo que sugiere que la combinación de ambas fuentes de nitrógeno puede ser una alternativa válida para promover el crecimiento del fruto.

4.2.3 Peso

Todos los tratamientos con amonio y lo de nitrato al 100% y 75% sin NaCl fueron estadísticamente iguales (Tabla 5), superando a los tratamientos con nitrato 100%+NaCl y nitrato 75%+NaCl, lo que sugiere que el amonio, incluso en dosis reducidas y en presencia de sales, sigue promoviendo el peso del fruto.

Los tratamientos con nitrato presentaron valores variables, El nitrato al 100% y al 75% sin salinidad presentaron un incremento de 66.6% y 50% respectivamente en el peso del fruto sobre los tratamientos a las mismas concentraciones adicionadas con NaCl, lo que indica un efecto negativo de la salinidad combinada con nitrato.

El tratamiento combinado amonio 50% + nitrato 50% obtuvo un peso similar a los tratamientos de amonio y nitrato sin NaCl, lo que sugiere que la combinación de estas fuentes de nitrógeno puede ser eficaz para mantener un peso adecuado.

4.2.4 Solidos Solubles Totales

La variable de solidos solubles totales mide la concentración de azúcares, compuestos orgánicos hidrosolubles. En la Tabla 5 al igual que la variable de peso de fruto, observamos que todos los tratamientos con amonio y lo de nitrato al 100% y 75% sin NaCl, así como la mezcla de amonio 50% + nitrato 50% fueron estadísticamente iguales, superando a los tratamientos con nitrato 100%+NaCl y nitrato 75%+NaCl, lo que sugiere que el amonio, incluso en dosis reducidas y en presencia de sales, promueve la concentración de solidos solubles totales.

En cuanto a los tratamientos con nitrato, el nitrato al 100% y 75% presento un incremento en el contenido de solidos solubles totales de 21.7% y 10.4% en relación a los tratamientos con las mismas concentraciones adicionadas con NaCl respectivamente, lo que indica que el nitrato favoreció la acumulación de azúcares, y que en presencia de salinidad tiene un efecto negativo en la concentración de azúcares cuando se utiliza nitrato como fuente nitrogenada.

4.2.5 Temperatura

En cuanto a esta variable, en la Tabla 5 se observa que el tratamiento de amonio con 75% de amonio con y sin NaCl y el tratamiento con nitrato 100% aumentaron significativamente la temperatura del fruto con relación al resto de los tratamientos, con un valor promedio de 21.8 °C. Por el contrario, los tratamientos de amonio 100% con y sin NaCl, mostraron una disminución de esta variable.

El tratamiento con nitrato al 100% sin NaCl mostro la temperatura mayor ante todos los tratamientos, con una temperatura promedio de 21.9 °C, al agregar NaCl se observó una temperatura 31.9%; así mismo, el tratamiento de nitrato al 75% presentó una temperatura 38.6% menor a la de nitrato al 100%, en cuanto a la combinación de amonio 50% + nitrato 50% presentó una temperatura similar a las del nitrato + NaCl.

En cuanto a las variables de calidad del fruto, en el contenido de solidos solubles totales en frutos de arándano suele oscilar entre 10 y 15 °Brix, lo que determina su dulzura y calidad organoléptica (Babiker et al. 2023). Los resultados obtenidos en el contenido de azúcares solubles y peso fueron mayores en la concentración de amonio al 75% sin NaCl, reflejando su capacidad para mejorar la calidad del producto final, mientras que el nitrato combinado con 30 mmol de NaCl dio lugar a los frutos más pequeños y contenido de azúcares, indicando que las concentraciones de salinidad tienen efectos negativos con el nitrato en el cultivo de arándano azul.

En los cultivos de arándano, el tipo de nitrógeno y la presencia de salinidad afectan significativamente el crecimiento y la calidad del fruto. El amonio favorece el crecimiento vegetativo y productivo debido a la conversión en aminoácidos esenciales y aumenta la absorción de nutrientes promoviendo la mejora de las características de calidad del fruto (Anwar, 2024).

El nitrato, aunque es beneficioso en muchas especies vegetales, en el caso del arándano, cuando se combina con salinidad, puede provocar efectos negativos, ya que, aumenta la presión osmótica en el suelo, reduciendo el desarrollo de la planta, dando resultados de menor calidad al fruto (Strik, 2011).

La salinidad en el suelo, al generar un ambiente de alta concentración de sales, también afecta la turgencia celular y el metabolismo general de la planta, lo que puede disminuir la producción de azúcares y, por ende, la calidad organoléptica de los frutos (Anwar, 2024).

Una proporción adecuada de nitrato a amonio, como 30/70, combinada con niveles de salinidad moderados, una conductividad aproximada a 1.5 dS/m, promueve una acumulación de biomasa y rendimiento de frutos. Esto se debe a que el nitrato favorece un crecimiento balanceado, mientras que el amonio mejora la eficiencia en la absorción de ciertos nutrientes presentes en suelos ácidos (Pineda, 2018).

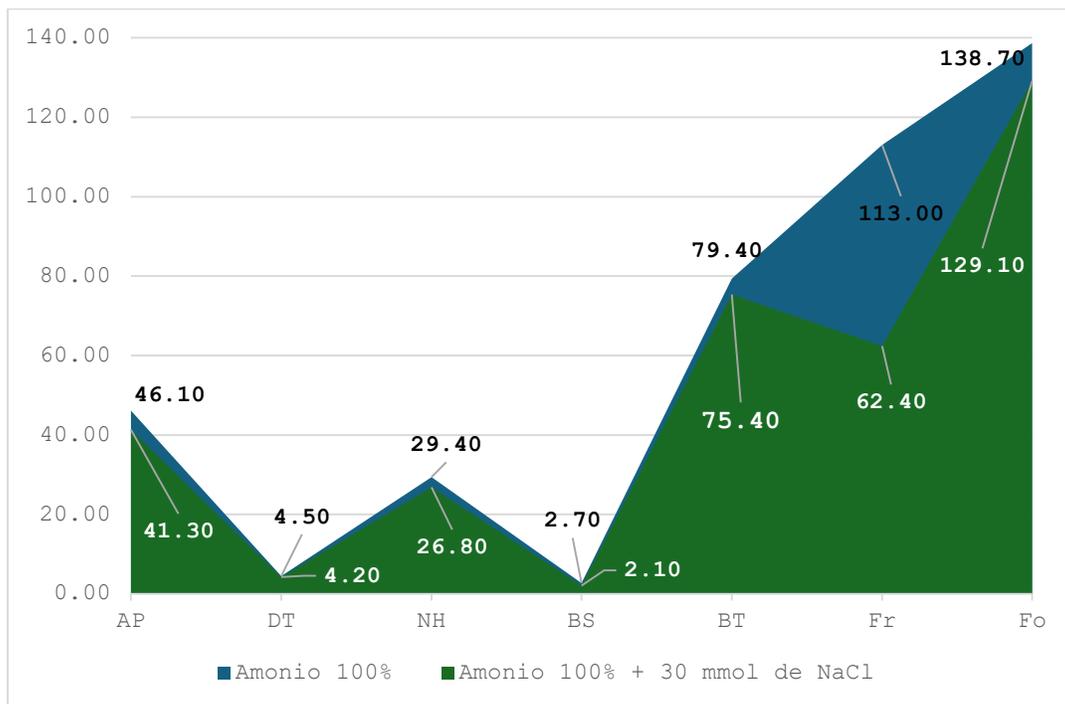
Tabla 5. Resultados del análisis estadístico de variables de calidad de frutos.

Tratamiento	Variables de Calidad				
	DE	DP	Peso	SST	T°
1. Amonio 100%	12.9 a	9.1 ab	0.9 ab	15.1 a	18.6 c
2. Amonio 100% + 30 mmol de NaCl	12.7 a	9.8 a	1.0 a	14.9 ab	20.3 b
3. Amonio 75%	12.6 a	9.6 a	1.0 a	13.9 ab	21.8 a
4. Amonio 75% + 30 mmol de NaCl	11.7 ab	9.3 ab	0.8 abc	14.3 ab	21.7 a
5. Nitrato 100%	12.9 a	9.6 a	1.0 a	15.1 a	21.9 a
6. Nitrato 100% + 30 mmol de NaCl	10.5 b	7.8 c	0.6 bc	12.4 b	16.6 de
7. Nitrato 75%	12.8 a	9.9 a	0.9 a	13.7 ab	15.8 e
8. Nitrato 75% + 30 mmol de NaCl	10.6 b	8.2 bc	0.6 bc	12.4 b	16.4 de
9. NH ₄ ⁺ 50% + NO ₃ 50%	12.7 a	9.4 a	0.9 ab	13.3 ab	17.1 d

Nota: DE: Diámetro ecuatorial (mm), DT: Diámetro polar (mm), Peso (g), SST: Sólidos solubles totales (°Bx), T°: Temperatura (°C). Variables con diferentes literales presentan diferencia significativa ($\alpha=0.05$).

4.3 Comparativas

Las concentraciones de amonio al 100% con y sin NaCl obtuvieron una buena respuesta en cuanto las variables agronómicas ya que sugieren ser más efectivo en términos de desarrollo general, biomasa y producción de flores y frutos. Mientras que en las variables de calidad los tratamientos que muestras con mejor rendimiento fueron las soluciones de amonio al 100%, amonio al 100% con NaCl añadida y de nitrato al 100%. Los resultados muestran que el amonio es generalmente más beneficioso para el desarrollo y la calidad del arándano, mientras que la salinidad y el nitrato pueden tener efectos negativos en el desarrollo y producción del arándano.

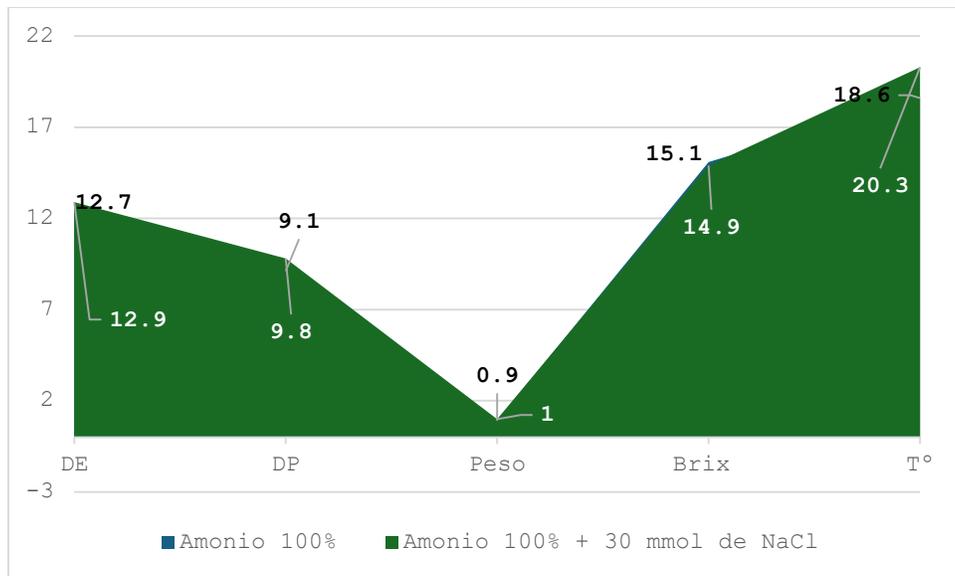


Gráfica 1. Variables Agronómicas

AP: Altura de tallo (cm), DT: Diámetro de tallo (mm), NH: Número de hojas, BS: Brotes secundarios,

BT: Brotes totales/planta, Fr: Número flores (g) y Fo: Número de frutos.

Nota: Valores color negro, amonio 100%; valores color blanco, amonio 100% + NaCl



Gráfica 2. Variables de Calidad de fruto.

DE: Diámetro ecuatorial (mm), DT: Diámetro polar (mm), Peso (g), Brix (°Bx) y T° (°C).

Nota: Valores color negro, amonio 100%; valores color blanco, amonio 100% + NaCl

V. CONCLUSIONES

El estudio permitió destacar el impacto significativo del uso de NH_4^+ , asociado a la limitada capacidad de las raíces para absorber y metabolizar NO_3^- , Principalmente en suelos ácidos. Sugiriendo que el NH_4^+ favorece la absorción de calcio y otros nutrientes esenciales, promoviendo un mayor desarrollo vegetativo, mayor biomasa de raíces y mayor producción de frutos.

La interacción entre NH_4^+ , NO_3^- y NaCl tiene efectos diferenciados en el desarrollo y calidad de este cultivo, lo que permitió determinar las condiciones óptimas para maximizar su rendimiento.

Las concentraciones de amonio al 100% con y sin NaCl promueven el crecimiento, incremento de biomasa y producción de flores y frutos.

Las concentraciones de amonio al 100%, amonio al 100% con NaCl añadida y de nitrato al 100% promueven la calidad de los frutos de arándano.

La suplementación con NaCl puede tener efectos negativos en la producción de arándano, especialmente cuando se combinan con nitratos, teniendo como conclusión que los tratamientos con mayor eficacia son las soluciones de NH_4^+ 100% y NH_4^+ 100% + NaCl (30 mmol).

VI. LITERATURA CITADA

- Ampuero, C. (2024, 2 agosto). *Global Blueberry Supply Falling Short of Growing Demand*. Blueberry International Organization. <https://www.internationalblueberry.org/2024/07/10/global-blueberry-supply-falling-short-of-growing-demand/>
- Ampuero, C. (2022, 3 octubre). *Organización Internacional del Arándano (IBO) revela en su reporte 2022 información clave para el sector*. Blueberry International Organization. <https://www.internationalblueberry.org/2022/09/20/organizacion-internacional-del-arandano-ibo-revela-en-su-reporte-2022-informacion-clave-para-el-sector/>
- Arteaga, A., & Arteaga, H. (2016). Optimization of the antioxidant capacity, anthocyanins and rehydration in powder of cranberry (*Vaccinium corymbosum*) microencapsulated with mixtures of hydrocolloids. *Scientia Agropecuaria*, 7, 191-200. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.05>
- An, X., Tan, T., Song, Z., Guo, X., Zhang, X., Zhu, Y., & Wang, D. (2023). Physiological response of anthocyanin synthesis to different light intensities in blueberry. *PLoS ONE*, 18(6), e0283284. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283284>
- Anwar, A., Zheng, J., Chen, C., Chen, M., Xue, Y., Wang, J., Su, W., Chen, R., & Song, S. (2024). *Effects of NH₄⁺-N: NO₃⁻-N ratio on growth, nutrient uptake and production of blueberry (*Vaccinium* spp.) under soilless culture*. *Frontiers In Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1438811>
- Avilés, R. (2020). *Manual de manejo agronómico del arándano*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/f5e8c8a0-8bc7-4759-891a-4115523d82a4/content>
- Babiker, E., Stringer, S. J., Sakhanokho, H. F., & Muñoz, P. (2023). *Combining High-throughput Phenotyping and Multivariate Analysis to Assess Fruit Quality Traits in Southern Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* Interspecific Hybrids) Germplasm Collection*. *HortScience*, 58(7), 750-755. <https://doi.org/10.21273/hortsci17185-23>
- Bastida Cañada, O. A. (2024, 14 julio). *Principales plagas y enfermedades del cultivo del arándano*. Blog Agricultura. <https://blogagricultura.com/plagas-enfermedades-arandano/>
- Beatriz, S. B. C. (2024). *Manejo del cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L. cv. Biloxi) en contenedores bajo las condiciones de Ica*. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/85662cac-9862-466b-af42-43a1609dc635>
- Blueberries Around the Globe – Past, Present, and Future*. (2021, 21 octubre). USDA Foreign Agricultural Service. <https://fas.usda.gov/data/blueberries-around-globe-past-present-and-future>
- Bryla, D. R., Gartung, J. L., & Strik, B. C. (2011). Evaluation of Irrigation Methods for Highbush Blueberry—I. Growth and Water Requirements of Young Plants. *HortScience*, 46(1), 95-101. <https://doi.org/10.21273/hortsci.46.1.95>

- Bryla, D. R., Ehret, D. L., Frey, B., Forge, T., & Helmer, T. (2012). Effects of Drip Irrigation Configuration and Rate on Yield and Fruit Quality of Young Highbush Blueberry Plants. *HortScience*, 47(3), 414-421. <https://doi.org/10.21273/hortsci.47.3.414>
- Bryla, D. R., Scagel, C. F., Lukas, S. B., & Sullivan, D. M. (2021). Ion-specific limitations of sodium chloride and calcium chloride on growth, nutrient uptake, and mycorrhizal colonization in northern and southern highbush blueberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 146(6), 399-410.
- Cappai, F., Benevenuto, J., Ferrão, L. F. V., & Muñoz, P. (2018). Molecular and genetic bases of fruit firmness variation in blueberry: A review. *Agronomy*, 8(9), 174. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090174>
- Christopher, S. V., Volke-Haller, V. H., B, C. L. M. T., Christopher, S. V., Sánchez-García, P., Volke-Haller, V. H., & B, C. L. M. T. (2018). *Respuesta agronómica de arándano (Vaccinium corymbosum L.) al estrés osmótico*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000200231
- Comité de Arándanos de Chile. (2019). *Manual post cosecha del arándano*. <https://comitedearandanos.cl/wp-content/uploads/2019/12/Manual Post Cosecha completo.pdf>
- De Agricultura y Desarrollo Rural, S. (2023). *Rico y delicioso arándano*. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/rico-y-delicioso-arandano>
- De Agricultura y Desarrollo Rural, S. (2018). *Cultivo del arándano en México, reto superado*. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-del-arandano-en-mexico-reto-superado>
- 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>
- Espinoza, C. M., & Reyna, M. Á. V. (2019). Mecanismos de respuesta al estrés abiótico: hacia una perspectiva de las especies forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(56). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.567>
- FRÍAS-ORTEGA, Carlos Enrique, et al. Concentración de la solución nutritiva y su relación con la producción y calidad de arándano azul. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 2020, vol. 21, no 3, p. 1-14.
- García-Vázquez, I., Calderón-Zavala, G., & De Lourdes Arévalo-Galarza, M. (2023). BIORREGULADORES y BIOESTIMULANTES EN EL DESARROLLO, CRECIMIENTO y RENDIMIENTO DE FRUTO DE ARÁNDANO BILOXI. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(4), 383. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4.383>
- GUAMÁN, Karen Macas; GRANJA, Fernando. Influencia de podas y nutrición nitrogenada en el desarrollo vegetativo del arándano (*Vaccinium corymbosum* L. cv. Biloxi). *CEDAMAZ*, 2022, vol. 12, no 2.
- Hirzel, J., et al. (2024). Impacto de nutrientes en calidad de frutos de arándano. *Plants*. <https://www.mdpi.com/imp-ar-1729/2095>.

- Ivan, E. y. C. (2019). *Identificación de especies fúngicas asociadas al decaimiento de plantas en el cultivo de arándano (Vaccinium corymbosum) en la Región Ica y el valle de Cañete*. <https://repositorio.unica.edu.pe/items/cbae7e1f-946d-493f-ba8d-67f6d5447d7f>
- Krishna, P., Pandey, G., Thomas, R., & Parks, S. (2023). Improving Blueberry Fruit Nutritional Quality through Physiological and Genetic Interventions: A Review of Current Research and Future Directions. *Antioxidants*, 12(4), 810. <https://doi.org/10.3390/antiox12040810>
- Long, J., Tan, T., Zhu, Y., An, X., Zhang, X., & Wang, D. (2024). Response of blueberry photosynthetic physiology to light intensity during different stages of fruit development. *PLoS ONE*, 19(9), e0310252. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0310252>
- Luis, F. S. J., Del Pilar, L. S. M. R., & Luz, Y. A. I. (2020). *Sinergia antimicrobiana entre el extracto acuoso del fruto de Vaccinium corymbosum L. "arándano" y vancomicina sobre Staphylococcus aureus resistente a meticilina*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60258>
- Matamala, M. F., Bastías, R. M., Urra, I., Calderón-Orellana, A., Campos, J., & Albornoz, K. (2023). Rain Cover and Netting Materials Differentially Affect Fruit Yield and Quality Traits in Two Highbush Blueberry Cultivars via Changes in Sunlight and Temperature Conditions. *Plants*, 12(20), 3556. <https://doi.org/10.3390/plants12203556>
- Margarito, G. M. A., Fernando, R. G., & Joaquín, S. R. (2021, 31 marzo). *Evaluación de productos bioestimulantes por etapa fenológica y determinación de áreas agroecológicas aptas para el cultivo de arándano azul en el Estado de Aguascalientes*. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/2095>
- MS Muralitharan (2017). Effects of NaCl and Na₂SO₄ on Growth and Solute Composition of Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum*). *Australian Journal of Plant Physiology* 19(2) 155 – 164. CSIRO PUBLISHING | Functional Plant Biology <https://www.publish.csiro.au/fp/PP9920155>
- Norma Rojas Marroquin . (2017, 1 diciembre). *Cultivo del arándano variedad biloxy, los cuidados que hay que tener*. AgroNegociosPerú. <https://agronegociosperu.org/2017/11/30/cultivo-del-arandano-variedad-biloxi-los-cuidados-que-hay-que-tener/>
- Prior, R.L., Cao, G., Martin, A., Sofic, E., McEwen, J., O'Brien, C., Lischner, N., Ehlenfeldt, M., Kalt, W., Krewer, G., Mainland, C.M. Blueberry U.S. HighBrush Council, *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 46,7 pp. 2686-2693. <https://healthprofessionals.blueberry.org/research/antioxidant-capacity-as-influenced-by-total-phenolic-and-anthocyanin-content-maturity-and-variety-of-vaccinium-species/>
- Quintana, L. R., & Gloria, M. A. C. (2021, 1 agosto). *Yemas frutales en arándanos (Vaccinium corymbosum L.) para determinar el potencial productivo del huerto*. <https://biblioteca.inia.cl/items/b06f9edc-5487-4eb7-9500-dd9aa5640bb5>
- Resumen del mercado global del arándano*. (2024, 3 mayo). <https://www.freshplaza.es/article/9623124/resumen-del-mercado-global-del-arandano/>

- Rossi, G., Woods, F. M., & Leisner, C. P. (2022). Quantification of Total Phenolic, Anthocyanin, and Flavonoid Content in a Diverse Panel of Blueberry Cultivars and Ecotypes. *HortScience*, 57(8), 901-909. <https://doi.org/10.21273/hortsci16647-22>
- Sánchez-García, P., Volke-Haller, V. H., B, C. L. M. T., Christopher, S. V., Sánchez-García, P., Volke-Haller, V. H., & B, C. L. M. T. (2018). *Respuesta agronómica de arándano (Vaccinium corymbosum L.) al estrés osmótico*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000200231
- Schmidt, J., Ames, Z. R., & Deltsidis, A. (2019). *Recognizing Flower and Vegetative Buds in Blueberries: Blueberry Phenology*. UGA Cooperative Extension. <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=C1293>
- Spinardi, A., Cola, G., Gardana, C. S., & Mignani, I. (2019). Variation of Anthocyanin Content and Profile Throughout Fruit Development and Ripening of Highbush Blueberry Cultivars Grown at Two Different Altitudes. *Frontiers In Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01045>
- Staff View: *Factibilidad para la implementación de un cultivo de arándano (Vaccinium Corymbosum L.) en la vereda Llano Verde del municipio de Umbita, Boyacá.* (s. f.). https://redcol.minciencias.gov.co/Record/REPOUPTC2_b4c99334803683d97c9e0b5eb8751f4b/Details
- Strik, B. C. (2011). *Blueberry nutrition*. University of California Agriculture and Natural Resources. <https://cetulare.ucanr.edu/files/99648.pdf>
- Team, B. E. (2023). *The Antioxidant Properties of Blueberries*. <https://blog.bioticsresearch.com/the-antioxidant-properties-of-blueberries>
- USDA Plants Database. (2020). <https://plants.usda.gov/plant-profile/VACO>
- Valenzuela-Estrada, L. R. (2008). *Above- and belowground physiology in Vaccinium corymbosum L. (northern highbush blueberry) in response to water stress and reproductive effort*. <https://etda.libraries.psu.edu/catalog/8527>
- Valenzuela-Estrada, L. R., Richards, J. H., Diaz, A., & Eissensat, D. M. (2009). Patterns of nocturnal rehydration in root tissues of *Vaccinium corymbosum* L. under severe drought conditions. *Journal Of Experimental Botany*, 60(4), 1241-1247. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern367>
- Wang, L., Lan, W., & Chen, D. (2024). Blueberry (*Vaccinium* spp.) Anthocyanins and Their Functions, Stability, Bioavailability, and Applications. *Foods*, 13(17), 2851. <https://doi.org/10.3390/foods13172851>
- Wang, X., Jiao, B., Yin, Z., Liu, J., Bie, Y., Li, J., & Wang, J. (2022). Optimization of chemical fertilizer application for blueberry vegetative growth, fruit quality and soil condition. *Emirates Journal of Food & Agriculture (EJFA)*, 34(12).
- Wilmer, A. M. (2023, 12 mayo). *Manejo agronómico del cultivo de arándano (Vaccinium Corymbosum L.) var. Ventura, en Jayanca - Lambayeque*. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4306>

Zhang, J., Lv, J., Dawuda, M. M., Xie, J., Yu, J., Li, J., Zhang, X., Tang, C., Wang, C., & Gan, Y. (2019). Appropriate Ammonium-Nitrate Ratio Improves Nutrient Accumulation and Fruit Quality. *Agronomy*, 9(11), 683. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110683>