

**Evaluación del uso de bioestimulantes para el aumento en el rendimiento de arándano (*Vaccinium* spp.) cv. Biloxi en el municipio de Chocontá (Cundinamarca)**

José Duvan Chávez González

Asesor:

William Javier Cuervo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Tecnología en producción agrícola

2025

## Resumen

En Colombia, el cultivo de arándanos (*Vaccinium spp.*) ha experimentado un crecimiento exponencial debido al aumento de su demanda mundial. Sin embargo, los cultivares no alcanzan su máximo rendimiento. Esta investigación evaluó la aplicación de bioestimulantes en plantas cv. Biloxi y sus efectos sobre el rendimiento, número y masa promedio de frutos, calibre y sólidos solubles totales, considerando la capacidad de estos productos para intervenir en diferentes procesos metabólicos de las plantas. Se realizó un diseño completamente aleatorizado (DCA), donde se evaluaron tres tratamientos: ácido giberélico más ácido glutámico (0,05 g/L y 0,1 g/L de agua, respectivamente), extracto de *Ascophyllum nodosum* (1 cm<sup>3</sup>/L de agua), y un control (sin producto). El tratamiento con ácidos giberélico y glutámico mostró diferencias significativas en rendimiento y número de frutos, con un aumento de hasta 120% en comparación con los otros tratamientos. El control presentó los mejores resultados en sólidos solubles totales, mientras que no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en masa promedio del fruto y calibre. Si bien el uso de bioestimulantes contribuyó al aumento de las variables productivas, no se observaron efectos en las variables de calidad del fruto. El extracto de algas no generó cambios en ninguna de las variables evaluadas, posiblemente debido a que su efecto está más relacionado con el desarrollo vegetativo del cultivo. Se recomienda aplicar ácido giberélico más ácido glutámico para maximizar producción, mientras se promueven investigaciones a diferentes dosis, momentos de aplicación y combinaciones de bioestimulantes para optimizar resultados.

**Palabras clave:** nutrición de cultivos, desarrollo agrícola, bioactivos, productividad

### Abstract

In Colombia, blueberry cultivation (*Vaccinium spp.*) has experienced exponential growth due to the increase in global demand. However, the cultivars do not reach their maximum yield. This research evaluated the application of biostimulants in cv. plants. Biloxi and its effects on yield, average number and mass of fruits, size, and total soluble solids, considering the ability of these products to intervene in different metabolic processes of the plants. A completely randomized design (CRD) was conducted, where three treatments were evaluated: gibberellic acid plus glutamic acid (0.05 g/L and 0.1 g/L of water, respectively), *Ascophyllum nodosum* extract (1 cm<sup>3</sup>/L of water), and a control (without product). The treatment with gibberellic and glutamic acids showed significant differences in yield and number of fruits, with an increase of up to 120% compared to the other treatments. The control showed the best results in total soluble solids, while no significant differences were observed between treatments in average fruit weight and size. While the use of biostimulants contributed to the increase in productive variables, no effects were observed on the fruit quality variables. The seaweed extract did not cause changes in any of the evaluated variables, possibly because its effect is more related to the vegetative development of the crop. It is recommended to apply gibberellic acid plus glutamic acid to maximize production, while promoting research on different doses, application times, and combinations of biostimulants to optimize results.

**Keywords:** crop nutrition, agriculture development, bioactive substances, productivity.

## Tabla de contenido

Resumen .....	2
Abstract .....	3
Introducción .....	6
Planteamiento del problema .....	8
Justificación.....	10
Marco teórico .....	11
Objetivos .....	15
Objetivo general .....	15
Objetivos específicos.....	15
Materiales y métodos .....	16
Sitio experimental .....	16
Material vegetal y manejo agronómico.....	16
Diseño experimental.....	16
Variables medidas .....	18
Resultados y discusión .....	20
Rendimiento y número de frutos .....	20
Solidos solubles totales (°Bx) .....	22
Masa promedio del fruto y calibre .....	24

Conclusiones .....	28
Recomendaciones .....	29

## Introducción

El cultivo del arándano (*Vaccinium* spp.) ha ganado relevancia mundial en los últimos años, con un crecimiento notable en Latinoamérica, como el aumento del 484% en Perú entre 2010 y 2019 (Escalante Yaulilahua et al., 2023) Colombia muestra potencial por sus condiciones climáticas favorables para la producción continua y bajos costos de mano de obra (Peña Baracaldo et al., 2023). Para 2023, el país contaba con aproximadamente 500 ha, principalmente en Cundinamarca y Boyacá, con un 90% de pequeños productores (Instituto Colombiano Agropecuario ICA, 2023). Sin embargo, existe una deficiencia bibliográfica sobre la producción y el comportamiento de los cultivares (Cortés-Rojas et al., 2016; Montañez & Neira, 2020), así como sobre la influencia de las condiciones climáticas en la calidad del fruto (Prada-Muñoz & Coy-Barrera, 2024).

La fertilización es un tema de preocupación debido a las limitaciones de los análisis foliares y de suelos (Pinzón-Sandoval et al., 2022). Algunas investigaciones sugieren que tanto el aumento de materia orgánica como un equilibrio adecuado de nutrientes pueden mejorar el desarrollo vegetativo, productivo y la calidad del fruto (Tasnim et al., 2022; Viencz et al., 2021; Wang et al., 2022). Los fertilizantes foliares y bioestimulantes han mostrado efectos variables en el crecimiento de las plantas y la calidad de los frutos (Murakami et al., 2023; Tasnim et al., 2022; Zydlik et al., 2022).

Estudios recientes indican que ciertos bioestimulantes pueden aumentar el rendimiento y mejorar las características del fruto, incluyendo el contenido de antioxidantes, polifenoles, sólidos solubles totales, peso y calibre (García-Vázquez et al., 2023; Lenart, Wrona, & Krupa, 2022). Entre los bioestimulantes más prometedores se encuentran el ácido giberélico con un efecto casi sustituyente de la polinización (Hooks & Kenworthy, 2022), también el ácido

glutámico como potencializador (Pérez-León et al., 2023) y los extractos de algas marinas como bioactivos (Lenart, Wrona, Klimek, et al., 2022).

Esta investigación se enfocó en evaluar el efecto de la aplicación de bioestimulantes en el desarrollo del fruto de arándano (*Vaccinium* spp.) cv. Biloxi, con el objetivo de aumentar el rendimiento y mejorar la calidad.

## Planteamiento del problema

El cultivo de arándano (*Vaccinium spp.*), incluyendo tanto variedades introducidas como especies nativas como *Vaccinium meridionale Swartz* (agraz), ha adquirido una importancia creciente en Colombia. Este interés se debe principalmente a su potencial nutracéutico, alto contenido de antioxidantes y las prometedoras proyecciones en mercados nacionales e internacionales (Escobar-Barranco et al., 2025; Quevedo-Rubiano et al., 2021). La región del altiplano cundiboyacense concentra la mayor superficie establecida del país, beneficiándose de sus condiciones edafoclimáticas favorables (Peña Baracaldo et al., 2023). No obstante, a pesar de este auge productivo, existe una notable escasez de investigaciones locales que permitan comprender de manera integral el comportamiento agronómico del cultivo bajo las diversas condiciones de suelos y climas regionales.

La literatura indica que el arándano se adapta favorablemente a altitudes comprendidas entre 2.200 y 3.000 metros sobre el nivel del mar (Cleves, 2021 citado por Peña-Baracaldo et al., 2023). Sin embargo, la información disponible proviene principalmente de experiencias desarrolladas en otros países o de investigaciones de carácter exploratorio, por lo que aún no existe un cuerpo sólido de conocimiento sobre manejo agronómico, fertilización y prácticas de cultivo específicas para las condiciones colombianas. Esta situación contrasta significativamente con el crecimiento acelerado del área sembrada, que alcanzó 550 hectáreas en 2020 en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá (Red Agrícola - Asocolblue, 2020 citado por Peña-Baracaldo et al., 2023), así como con las altas expectativas de exportación hacia mercados internacionales que demandan fruta de calidad con características específicas, particularmente mayor dulzura y menor acidez (Rubiano-Moreno et al., 2024).

Los estudios de caracterización de sistemas agroalimentarios revelan que, aunque el agraz y otros arándanos andinos demuestran una adaptación excepcional a las condiciones biofísicas del territorio colombiano, la carencia de información técnica especializada limita considerablemente la toma de decisiones acertadas por parte de los productores. Esta limitación afecta directamente los rendimientos y la competitividad del cultivo (Quevedo-Rubiano et al., 2021). A esta problemática se suma el hecho de que gran parte de las investigaciones sobre la familia Ericaceae en Colombia se han concentrado en sus propiedades químicas y funcionales, mientras persiste un vacío significativo en cuanto a su manejo agronómico, fertilización y productividad bajo condiciones locales específicas (Escobar-Barranco et al., 2025).

La ausencia de lineamientos claros en aspectos fundamentales como la nutrición mineral, los requerimientos específicos de suelo y las estrategias de manejo adaptadas a las condiciones particulares del altiplano cundiboyacense ocasiona que numerosos agricultores adopten prácticas empíricas o extrapoladas de otros contextos geográficos. Esta situación se traduce inevitablemente en rendimientos bajos e inestables, lo cual amenaza la sostenibilidad económica de los productores, reduce la competitividad frente a países líderes en producción y exportación como Perú y México, y limita significativamente la consolidación del arándano como una alternativa agroindustrial estratégica para el desarrollo del sector agrícola colombiano.

Considerando este contexto, resulta imperativo adelantar investigaciones rigurosas que definan parámetros específicos de fertilización y manejo agronómico para el cultivo de arándano en la región cundiboyacense. Estas investigaciones deberían orientarse hacia la optimización de rendimientos, el mejoramiento de la calidad de la fruta y el fortalecimiento tanto de la sostenibilidad como de la competitividad del sistema productivo en su conjunto.

## Justificación

El arándano (*Vaccinium spp.*) se ha posicionado como uno de los cultivos de mayor interés en Colombia durante los últimos años. Este crecimiento se debe principalmente a sus reconocidas propiedades nutracéuticas, la demanda cada vez mayor en mercados nacionales e internacionales, y la expansión continua del área cultivada, especialmente en la región cundiboyacense (Peña Baracaldo et al., 2023b; Quevedo-Rubiano et al., 2021). No obstante, Colombia enfrenta una limitación importante: la escasez de investigaciones enfocadas en el manejo agronómico del cultivo, particularmente en temas relacionados con la fertilización y la implementación de tecnologías que mejoren tanto la productividad como la calidad de los frutos (Escobar-Barranco et al., 2025).

Ante esta realidad, la realización de estudios aplicados directamente en fincas de la región representa una contribución valiosa para el desarrollo del conocimiento local. El presente trabajo, desarrollado en el municipio de Chocontá, Cundinamarca, responde precisamente a la necesidad de identificar alternativas prácticas y bien adaptadas a las condiciones específicas de suelo y clima del altiplano cundiboyacense. La evaluación de bioestimulantes para incrementar el rendimiento y mejorar características fundamentales de calidad como el peso, calibre y grados Brix de los frutos constituye un paso importante hacia la optimización de la producción local.

Estos parámetros de calidad resultan determinantes para la aceptación comercial del fruto, tanto en el mercado de consumo fresco como en las exportaciones internacionales, donde se valora especialmente la fruta de mayor tamaño, dulzor y consistencia (Rubiano-Moreno et al., 2024). La relevancia de esta investigación trasciende los beneficios directos para el productor participante, ya que también contribuye a la construcción de un cuerpo de conocimiento colectivo que está tomando forma para beneficio de todos los agricultores de la región.

Los avances generados por este tipo de estudios permiten orientar decisiones de manejo más informadas y técnicamente fundamentadas. Esto reduce la dependencia de prácticas empíricas o de técnicas simplemente trasladadas de otros países sin adaptación local, fortaleciendo tanto la sostenibilidad como la competitividad del cultivo de arándano en Colombia.

Este proyecto encuentra su justificación en su función como herramienta de transferencia tecnológica y aprendizaje aplicado, lo cual está en completa concordancia con la misión de la Universidad Abierta y a Distancia de Colombia de promover la generación de conocimiento útil y pertinente para el desarrollo agrícola nacional. Al proporcionar evidencias concretas sobre los efectos de los bioestimulantes en el cultivo de arándano, se establecen bases sólidas para investigaciones futuras que profundicen en diversos aspectos del manejo agronómico.

De esta manera, el estudio contribuye al crecimiento ordenado y rentable de una actividad agrícola emergente con alto potencial en el territorio colombiano, apoyando la consolidación del arándano como una alternativa productiva viable y competitiva para los agricultores de la región.

### Marco teórico

El arándano (*Vaccinium* spp.) es una fruta de la familia Ericaceae que se ha vuelto muy popular por su alto valor nutricional. Esta pequeña fruta contiene importantes antioxidantes, antocianinas y otros compuestos beneficiosos para la salud, lo que ha llevado a un rápido crecimiento de su producción en todo el mundo durante los últimos años (Escobar-Barranco et al., 2025; Quevedo-Rubiano et al., 2021). En América Latina, países como Perú han mostrado un crecimiento impresionante, con un aumento del 484% en la producción entre 2010 y 2019 (Escalante Yaulilahua et al., 2023). Colombia, aunque aún está comenzando en este cultivo, tiene un gran potencial gracias a las condiciones favorables del altiplano cundiboyacense, ubicado entre 2.200 y 3.000 metros sobre el nivel del mar, donde es posible producir arándanos durante todo el año. Además, los costos de mano de obra en el país son menores comparados con otros productores internacionales (Peña-Baracaldo et al., 2023). Para 2023 se calculaba que existían alrededor de 500 hectáreas establecidas, principalmente en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, donde predominan los pequeños productores (ICA, 2023).

La capacidad del arándano para adaptarse y producir bien depende mucho de las condiciones del suelo y el clima del lugar donde se cultiva. Aunque Colombia cuenta con ambientes favorables para este cultivo, los estudios sobre cómo se comportan las diferentes variedades y cómo interactúan con los factores climáticos locales siguen siendo escasos (Cortés-Rojas et al., 2016; Montañez & Neira, 2020). Investigaciones recientes muestran que factores como la temperatura, la cantidad de luz solar y la disponibilidad de agua tienen una influencia directa en la calidad del fruto, afectando características importantes como el dulzor, la acidez y el contenido de compuestos beneficiosos para la salud (Prada-Muñoz & Coy-Barrera, 2024). Esta

falta de información específica para las condiciones colombianas se convierte en una barrera para que los productores puedan tomar decisiones técnicas acertadas en el manejo de sus cultivos.

Uno de los principales retos que enfrentan los productores de arándano es la fertilización adecuada. Los análisis tradicionales de suelos y hojas presentan limitaciones específicas para este frutal debido a sus características fisiológicas particulares y sus necesidades nutricionales específicas (Pinzón-Sandoval et al., 2022). Diversos estudios han demostrado que aumentar la materia orgánica en el suelo y mantener un equilibrio adecuado de nutrientes mejora tanto el crecimiento de la planta como la productividad y la calidad del fruto (Tasnim et al., 2022; Viencz et al., 2021; Wang et al., 2022). Esta situación ha despertado el interés en estrategias complementarias como la fertilización foliar y, especialmente, el uso de bioestimulantes.

Los bioestimulantes son sustancias naturales o sintéticas que ayudan a las plantas a absorber mejor los nutrientes, estimulan sus procesos internos y las hacen más resistentes al estrés. Su aplicación en el cultivo de arándano ha mostrado resultados variables según el producto utilizado y las condiciones del cultivo, pero en general representan una alternativa muy prometedora para mejorar el crecimiento, el rendimiento y la calidad de los frutos (Murakami et al., 2023; Tasnim et al., 2022; Zydlik et al., 2022). Entre los resultados más destacados se encuentran mejoras en características importantes de calidad como el peso del fruto, su tamaño, el contenido de azúcares (grados Brix), los polifenoles y los antioxidantes. Estas características son fundamentales para que el fruto sea aceptado comercialmente (García-Vázquez et al., 2023; Lenart, Wrona, & Krupa, 2022).

Entre los bioestimulantes más estudiados se destacan tres tipos principales. El ácido giberélico puede llegar a reemplazar parcialmente el efecto de la polinización natural y mejora tanto la formación como el tamaño del fruto (Hooks & Kenworthy, 2022). El ácido glutámico es

reconocido como un potenciador de los procesos metabólicos de la planta (Pérez-León et al., 2023). Los extractos de algas marinas, por su parte, son ricos en hormonas vegetales y otros compuestos bioactivos que contribuyen tanto a la productividad como a la calidad de la fruta (Lenart, Wrona, Klimek, et al., 2022).

La investigación sobre el uso de bioestimulantes en el cultivo de arándano en Colombia es especialmente importante, ya que la información disponible sobre el manejo agronómico de este cultivo en condiciones locales es limitada (Escobar-Barranco et al., 2025; Quevedo-Rubiano et al., 2021). La generación de conocimiento aplicado directamente en las fincas del altiplano cundiboyacense no solo favorece la productividad y competitividad de este cultivo emergente, sino que también se convierte en una herramienta valiosa de transferencia de tecnología para pequeños y medianos productores. De esta manera, se contribuye a consolidar el arándano como una alternativa agrícola estratégica para el desarrollo del sector agrícola colombiano.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Evaluar el efecto de la aplicación de bioestimulantes sobre el fruto de arándano cv. Biloxi en cuanto a la calidad y contenido de SST para el aumento en el rendimiento del cultivo.

### **Objetivos específicos**

Comparar la eficacia de distintos tipos de bioestimulantes en términos de rendimiento, masa promedio del fruto, calibre y número de frutos.

Determinar el potencial de los bioestimulantes como alternativa para mejorar la producción de arándanos.

Monitorear la influencia de las condiciones climáticas en relación con el desarrollo de los frutos tratados con bioestimulantes.

## **Materiales y métodos**

### **Sitio experimental**

El experimento se llevó a cabo en la finca El Medio (N 5° 9' 19.782" O 73° 41' 18.898") ubicada en la vereda Pueblo Viejo del municipio de Chocontá, Cundinamarca. El sitio se encuentra a una altitud de 2.655 m.s.n.m., con una temperatura media de 13°C y una precipitación anual de 734 mm. El lote evaluado está cubierto por una malla antigranizo situada a 2,30 m sobre el nivel del suelo. Esta malla está compuesta de polietileno virgen de alta densidad (HDPE) 100%, de color blanco, y cuenta con un tratamiento estabilizado U.V. con aditivos.

### **Material vegetal y manejo agronómico**

Se utilizaron plantas de arándano (*Vaccinium* spp.) cv. Biloxi de cinco años de edad (Fall Creek, Oregón EE. UU.). Las plantas están sembradas en bolsas de plástico negro calibre 6 con capacidad de 60 L, utilizando un sustrato compuesto por 60 % de suelo franco arcilloso y 40 % de cascarilla de arroz cruda. La distancia de siembra fue de 0,6 m entre plantas y de 1,8 m entre surcos, resultando en una densidad de 9.259 plantas por ha. El manejo de plagas, enfermedades, fertilización y control de arvenses se realizó siguiendo el modelo comercial extensivo.

### **Diseño experimental**

El experimento se estructuró como un arreglo unifactorial con tres niveles, en el que cada tratamiento se repitió 10 veces, totalizando 30 unidades experimentales, correspondientes a las plantas de arándano evaluadas al final del periodo experimental. Se utilizó un diseño completamente al azar. A continuación, en la Tabla 1, se presentan los tres tratamientos propuestos con sus respectivas dosis.

**Tabla 1.**

*Descripción de tratamientos y dosis.*

<b>Tratamiento</b>	<b>Composición</b>	<b>Dosis</b>
	Ácido giberélico	Ácido giberélico 0,05 g/L de agua
T1	+	+
	Ácido glutámico	Ácido glutámico 0,1 g/L de agua
	Extracto de algas marinas	
T2	con potasio y carbono orgánico	1 cm <sup>3</sup> /L de agua
T3	Control	Ninguna aplicación

*Nota.* Los bioestimulantes empleados en los tratamientos incluyen: ácido giberélico (ProGibb 10 SP, Bayer) a una concentración de 100 g/Kg, ácido glutámico (Smart Chemical) con una concentración del 98,5%, y extracto de algas (Expertgrow, ADAMA) que contiene 25% de extracto de *Ascophyllum nodosum*, además de potasio soluble en agua (K<sub>2</sub>O) a 47,4 g/L y carbono orgánico oxidable a 130,3 g/L.

Los tratamientos se aplicaron mediante aspersión foliar cada quince días, durante tres meses, en las primeras horas de la mañana para evitar las fuertes corrientes de viento y altas temperaturas. Se marcaron los surcos correspondientes a cada tratamiento y se eliminó el efecto borde.

Durante los tres meses de aplicaciones se registraron datos de temperatura y humedad relativa cada hora (SONOFF TH R3/ Elite Smart Temperature and Humidity Monitoring Switch). La pluviometría se midió diariamente con un pluviómetro de plástico rígido de 140 mm de

capacidad. Estos datos climáticos se recopilaron para analizar su relación con los resultados obtenidos.

### **Variables medidas**

Las variables se midieron al final del período experimental de tres meses.

#### ***Rendimiento (g/ planta)***

Se midió en gramos por planta empleando una balanza analítica (Trumax ALAXKA), se determinó mediante una cosecha realizada en horas de la mañana para evitar la deshidratación y sobremaduración de los frutos. Este proceso se ejecutó en cada unidad experimental, recolectando los frutos en recipientes individuales para mantener la trazabilidad.

#### ***La masa promedio del fruto (g)***

Se calculó dividiendo la masa total de frutos por el número de frutos de cada planta. Este cálculo se realizó después de obtener los datos de rendimiento, utilizando la misma información recopilada durante la cosecha.

#### ***Sólidos Solubles Totales (°Bx)***

Se midieron utilizando un refractómetro HANNA instruments HI96801, con un rango de 0,0 a 85% Brix. El análisis se realizó después de la determinación de la masa, tomando un fruto por unidad experimental para obtener una muestra representativa de cada tratamiento.

#### ***Calibre (mm)***

El calibre se evaluó clasificando los frutos de cada unidad experimental en tres categorías: menores de 11 mm, entre 12 y 15 mm, y de 16 mm en adelante. Los resultados se expresaron como porcentaje del número de frutos en cada categoría respecto al total cosechado. Para la

medición se utilizó un calibrador pie de rey manual con escala 1/128 de 6" y rango de 0,05 a 150 mm.

### *Análisis de datos*

Para el análisis estadístico, las variables cuantitativas continuas (rendimiento, masa promedio del fruto y sólidos solubles totales) se analizaron mediante ANOVA o regresión lineal. En los casos en que se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, se aplicaron pruebas de comparación múltiple de Tukey. La variable categórica ordinal (calibre) se procesó mediante regresión logística ordinal, mientras que el número de frutos se analizó con regresión binomial. Todos los análisis se realizaron utilizando el software R versión 4.3.2 (R Core Team, 2023), empleando bibliotecas como stats (para ANOVA y modelos lineales), agricolae y multcomp (para comparaciones múltiples) y MASS (para regresión logística ordinal).

## Resultados y discusión

### Rendimiento y número de frutos

El estudio reveló diferencias significativas en el rendimiento entre los tratamientos evaluados (Tabla 2). El tratamiento con ácido giberélico más ácido glutámico mostró un aumento significativo ( $p = 0,0133$ ) en la masa del fruto cosechado por planta, superando al control en un 115%. Este incremento se relaciona directamente con un mayor número de frutos producidos, siendo un 120% superior al control ( $p = 0.0095$ ), observado en la tabla 2. Por otro lado, el tratamiento con extracto de algas no presentó diferencias significativas en comparación con el control ni con el tratamiento de biorreguladores, tanto en el peso de la fruta cosechada como en el número de frutos por planta.

La magnitud del incremento observado con la combinación de ácido giberélico y ácido glutámico resulta particularmente relevante desde una perspectiva comercial y económica. Un aumento del 115% en el peso de fruta cosechada por planta representa una mejora sustancial que podría traducirse en una mayor rentabilidad para los productores, especialmente considerando los altos costos de establecimiento y mantenimiento que caracterizan el cultivo de arándano. Esta respuesta positiva sugiere que la aplicación estratégica de bioestimulantes específicos puede ser una herramienta efectiva para optimizar la productividad en las condiciones edafoclimáticas del altiplano cundiboyacense.

El efecto sinérgico observado entre los dos compuestos aplicados indica que sus mecanismos de acción se complementan durante los procesos críticos del desarrollo reproductivo. Mientras el ácido giberélico actúa principalmente como regulador del crecimiento, promoviendo la elongación celular y la superación de la dormancia de yemas, el ácido glutámico contribuye como precursor metabólico en la síntesis de proteínas y otros compuestos esenciales para el

desarrollo del fruto. Esta complementariedad funcional podría explicar por qué la combinación resulta más efectiva que la aplicación individual de cualquiera de estos compuestos.

Estos resultados son consistentes con los obtenidos por García-Vázquez et al. (2023), donde el tratamiento que combinaba ácido giberélico y ácido glutámico incrementó el rendimiento del cultivo de arándanos (*Vaccinium* spp.) cv. Biloxi. Este aumento se atribuye a una mayor tasa de división celular promovida por las giberelinas, junto con la inducción de una mayor cantidad de yemas reproductivas por parte del ácido glutámico. Además, el ácido glutámico interviene en el cuajado al inducir la producción de metabolitos secundarios (Pérez-León et al., 2023). La consistencia de estos resultados en diferentes cultivares y condiciones geográficas refuerza la robustez de la respuesta y sugiere que este tratamiento podría ser aplicable de manera más amplia en sistemas productivos de arándano.

La fase de transición de flor a fruto representa uno de los momentos más críticos en el ciclo reproductivo del arándano, donde se define gran parte del potencial productivo de la planta. Durante este período, las demandas energéticas y nutricionales se incrementan significativamente, requiriendo un suministro adecuado de carbohidratos, aminoácidos y reguladores de crecimiento para garantizar un cuajado exitoso y un desarrollo óptimo del fruto. La aplicación de ácido glutámico durante esta fase crítica proporciona precursores metabólicos que facilitan la síntesis de compuestos necesarios para sostener el crecimiento del fruto, mientras que el ácido giberélico estimula los procesos de división y elongación celular que determinan el tamaño final del fruto.

Sin embargo, al igual que en el presente estudio, el tratamiento con extractos de algas no mostró resultados significativos en cuanto al rendimiento. Esta respuesta diferencial puede

atribuirse a varios factores, incluyendo la composición específica del extracto utilizado, la concentración aplicada, el momento de aplicación, y las condiciones ambientales prevalentes durante el estudio. Los extractos de algas contienen una mezcla compleja de compuestos bioactivos, incluyendo citoquininas, auxinas, betaínas, oligoelementos y polisacáridos, cuya efectividad puede variar considerablemente según las condiciones específicas del cultivo y el estado fisiológico de la planta. Es posible que estos compuestos requieran condiciones particulares para expresar su potencial o que sus efectos se manifiesten en otros aspectos del crecimiento y desarrollo que no fueron evaluados en este estudio.

Es importante destacar que el rendimiento del arándano no solo depende de la expresión genotípica de los cultivares, sino también de las hormonas y el manejo nutricional proporcionado durante la transición de flor a fruto (Gao et al., 2021). Esta observación subraya la importancia de adoptar un enfoque holístico en el manejo del cultivo, donde la aplicación de bioestimulantes se integre con prácticas agronómicas apropiadas, incluyendo la fertilización balanceada, el manejo del agua, el control de plagas y enfermedades, y la poda adecuada. Solo mediante esta aproximación integral se puede optimizar el potencial productivo del cultivo y garantizar la sostenibilidad del sistema productivo a largo plazo.

### **Sólidos solubles totales (°Bx)**

En cuanto a la variable de sólidos solubles totales, se observaron diferencias significativas ( $p = 0,057$ ) entre el control y los otros dos tratamientos (Tabla 2), siendo el control el que obtuvo un mayor contenido de sólidos solubles totales. Esta observación puede explicarse por el hecho de que el ácido giberélico no parece tener efecto sobre los sólidos solubles totales, como lo señalan Hooks & Kenworthy (2022).

El mayor contenido de sólidos solubles en el tratamiento control sugiere que existe un equilibrio metabólico entre el crecimiento vegetativo y reproductivo y la acumulación de

azúcares en los frutos. Cuando las plantas no reciben aplicaciones de bioestimulantes que promuevan el crecimiento y desarrollo de un mayor número de frutos, como ocurrió con la combinación de ácido giberélico y ácido glutámico, los fotoasimilados disponibles se concentran en los frutos existentes, resultando en una mayor concentración de azúcares. Este fenómeno refleja la competencia natural por recursos dentro de la planta, donde un menor número de frutos permite una mayor concentración de sólidos solubles por fruto individual.

La ausencia de efecto del ácido giberélico sobre los sólidos solubles totales es consistente con su modo de acción primario, el cual se centra en la promoción del crecimiento celular y la inducción de la floración, más que en los procesos de acumulación de carbohidratos. Este regulador de crecimiento actúa principalmente durante las fases tempranas del desarrollo del fruto, influyendo en el tamaño final pero no necesariamente en la concentración de azúcares.

Por otra parte, el *Ascophyllum nodosum* muestra un mayor efecto en lo que respecta al crecimiento de la planta, aumentando la biomasa y mitigando el estrés que pueda experimentar el vegetal (Chiomento et al., 2024; Villa e Vila et al., 2023). Los extractos de esta alga marina contienen compuestos bioactivos que estimulan el crecimiento vegetativo y mejoran la tolerancia a condiciones adversas, lo que podría resultar en una dilución de los sólidos solubles debido a un mayor contenido de agua en los frutos o a una redistribución de los recursos hacia el crecimiento vegetativo.

Estos resultados sugieren que los tratamientos aplicados pueden influir de manera diferencial en distintos aspectos del desarrollo y la calidad de la fruta. Esta observación tiene implicaciones importantes para el manejo comercial del cultivo, ya que los productores deben

considerar el equilibrio entre rendimiento y calidad según los requerimientos específicos del mercado objetivo.

### **Masa promedio del fruto y calibre**

En cuanto a las variables de masa promedio del fruto ( $p = 0,1043$ ) y calibre (Tabla 2), no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. Respecto al ácido giberélico, parece no tener efecto en el diámetro final de los frutos (Hooks & Kenworthy, 2022). Además, se ha observado que este biorregulador está relacionado con el retraso en la maduración de los frutos (Fujisawa et al., 2019; Zang et al., 2016).

La ausencia de diferencias significativas en la masa promedio y calibre del fruto, a pesar del incremento notable en el número total de frutos, sugiere que los bioestimulantes evaluados influyeron principalmente en la inducción floral y el cuajado, más que en los procesos de llenado y crecimiento individual de los frutos. Este patrón de respuesta indica que las plantas direccionaron los recursos disponibles hacia la producción de un mayor número de frutos manteniendo un tamaño relativamente constante, lo cual puede interpretarse como una estrategia reproductiva que maximiza el éxito reproductivo total.

El hecho de que el ácido giberélico no haya mostrado efecto en el diámetro final de los frutos es consistente con la literatura científica y refuerza la importancia del momento oportuno en la aplicación de reguladores de crecimiento. Las giberelinas ejercen su mayor influencia durante las fases tempranas del desarrollo reproductivo, particularmente en la diferenciación floral y la elongación inicial de los tejidos, pero su efecto disminuye conforme avanza el desarrollo del fruto hacia las etapas de maduración.

Estos hallazgos sugieren que el momento idóneo para utilizar el ácido giberélico es en la etapa inicial de la floración, suspendiendo su aplicación en el momento del cuajado para evitar afectar la maduración. Esta recomendación tiene implicaciones prácticas importantes para los productores, ya que una aplicación tardía de giberelinas podría resultar contraproducente al interferir con los procesos naturales de maduración, potencialmente afectando no solo el momento de cosecha sino también la calidad organoléptica final del fruto.

El retraso en la maduración asociado con aplicaciones de ácido giberélico puede tener tanto ventajas como desventajas desde una perspectiva comercial. Por un lado, podría permitir una extensión del período de cosecha y una mejor distribución de la mano de obra, pero, por otro lado, podría afectar la concentración de azúcares y otros compuestos que determinan la calidad sensorial del fruto.

Por otra parte, el *Ascophyllum nodosum* representa una fuente de diversos compuestos fenólicos que promueven el crecimiento y mejoran la translocación de carbohidratos. Sin embargo, los efectos en el desarrollo de las plantas pueden variar dependiendo de los métodos de extracción y la composición específica de cada extracto (Dash et al., 2021; Shukla et al., 2019). Esta variabilidad en la composición y efectividad de los extractos de algas marinas explica en parte la inconsistencia de resultados observada en diferentes estudios y subraya la importancia de estandarizar los procesos de extracción y caracterización de estos productos.

Esto sugiere que el *Ascophyllum nodosum* podría ser mejor aprovechado durante las etapas vegetativas del cultivo, cuando las plantas requieren un mayor aporte de compuestos que estimulen el crecimiento foliar y radicular, así como el fortalecimiento general de la estructura vegetativa que posteriormente soportará la producción de frutos.

Estos resultados resaltan la importancia de considerar tanto el tipo de tratamiento como el momento de su aplicación para optimizar el desarrollo y la calidad de los frutos en el cultivo de arándanos. La sincronización adecuada entre la aplicación de bioestimulantes y las fases fenológicas específicas del cultivo emerge como un factor crítico para maximizar la eficiencia de estos insumos y lograr los objetivos productivos deseados sin comprometer la calidad final del producto.

**Tabla 2**

*Características de los frutos de arándano (Vaccinium spp.) cv. Biloxi cultivados bajo cubierta en el altiplano Cundiboyacense*

Tratamiento	Rendimiento (g/planta)	Número de frutos	Masa	Sólidos	Calibre (% de la producción)		
			promedio del fruto (g)	solubles totales (°Bx)	Calibre 1 (≤11mm)	Calibre 2 (12- 15mm)	Calibre 3 (≥16mm)
T1	66,1 b	39,3 b	1,6 a	11,3 ab	8,3 a	61,7 a	30 a
T2	53,8 ab	28,3 ab	1,9 a	10,8 a	6,7 a	39,2 a	54,1 a
T3	30,8 a	17,5 a	1,7 a	11,8 b	5,3 a	51,1 a	43,6 a
<i>p</i> -valor	0,0133	0,0095	0,1043	0,057	0,4325	0,1562	0,1451

Medias con distinta letra en las columnas son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0,05$ ).

*Nota.* Efectos de los tratamientos sobre el rendimiento, cantidad, masa promedio, contenido de sólidos solubles totales y distribución por calibre.

En cuanto a las variables climáticas monitoreadas durante los tres meses en los que se realizaron las aplicaciones, se observó un comportamiento normal en relación con la

precipitación y la temperatura promedio de la zona. La temperatura media registrada fue de 17 °C, mientras que la precipitación alcanzó los 75 mm. Estos valores se encuentran dentro de los rangos típicos para la región, lo que sugiere que las condiciones climáticas no tuvieron un efecto adverso que pudiera haber comprometido la eficacia de los bioestimulantes en relación con las variables evaluadas.

Este comportamiento climático estable durante el período de estudio proporciona un contexto favorable para la interpretación de los resultados obtenidos, ya que minimiza la posibilidad de que factores ambientales inusuales hayan interferido con la acción de los tratamientos aplicados o con el desarrollo normal de las plantas.

## Conclusiones

La investigación evidenció que la aplicación combinada de ácido giberélico y ácido glutámico se consolidó como la estrategia más eficaz para mejorar la productividad del arándano cv. Biloxi bajo las condiciones del altiplano cundiboyacense, logrando aumentos significativos de más del 100% en el peso total y en el número de frutos por planta, sin afectar de manera negativa atributos de calidad como la masa promedio o el calibre del fruto. De igual manera, se comprobó la especificidad en la acción de los bioestimulantes, pues mientras la mezcla de reguladores de crecimiento mostró un efecto marcado durante la fase reproductiva, los extractos de *Ascophyllum nodosum* no generaron cambios relevantes en los parámetros productivos, lo que sugiere que su utilidad podría estar asociada a otras etapas fenológicas o a condiciones particulares de manejo.

Finalmente, se identificó una relación inversa entre el incremento en el número de frutos y la concentración de sólidos solubles totales, lo que refleja la existencia de un equilibrio metabólico entre rendimiento y calidad; además, las condiciones climáticas estables durante el ensayo permitieron atribuir con confianza estas diferencias directamente a los tratamientos aplicados, reforzando la validez de los resultados obtenidos.

## Recomendaciones

Se recomienda la implementación de la aplicación combinada de ácido giberélico y ácido glutámico como estrategia prioritaria para productores de arándano que cuenten con condiciones climáticas y sistemas productivos similares a los de la zona de estudio, y que busquen maximizar el rendimiento por unidad de área, especialmente si su objetivo es abastecer mercados que priorizan el volumen de producción. Para optimizar la efectividad de esta práctica, resulta fundamental establecer protocolos de aplicación sincronizados con las fases fenológicas específicas del cultivo, en particular durante la transición de floración a cuajado.

Las futuras investigaciones deberían orientarse a establecer las dosis óptimas y los momentos de aplicación de los bioestimulantes más efectivos, de manera que se logre incrementar el rendimiento sin comprometer parámetros de calidad como los sólidos solubles. Asimismo, es necesario reevaluar el uso de extractos de *Ascophyllum nodosum* bajo diferentes concentraciones, métodos de extracción y fases fenológicas. Estos estudios deben extenderse a otros cultivares de interés comercial en la región cundiboyacense y a localidades con variaciones en altitud, suelos y microclimas, con el fin de generar recomendaciones más adaptadas a la diversidad productiva. Finalmente, resulta prioritario incorporar evaluaciones económicas que permitan cuantificar la rentabilidad de estas prácticas, considerando tanto los costos de los insumos como los beneficios en rendimiento, lo cual facilitará la toma de decisiones por parte de los productores.

### Referencias bibliográficas

- Chiomento, J. L. T., Fracaro, J., Görgen, M., Fante, R., Dal Pizzol, E., Welter, M., Klein, A. P., Trentin, T. dos S., Suzana-Milan, C. S., & Palencia, P. (2024). Arbuscular Mycorrhizal Fungi, *Ascophyllum nodosum*, *Trichoderma harzianum*, and Their Combinations Influence the Phyllochron, Phenology, and Fruit Quality of Strawberry Plants. *Agronomy*, *14*(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy14040860>
- Cortés-Rojas, M. E., Mesa-Torres, P. A., Grijalba-Rativa, C. M., & Pérez-Trujillo, M. M. (2016). Rendimiento y calidad de frutos de los cultivares de arándano Biloxi y Sharpblue en Guasca, Colombia. *Agronomia Colombiana*, *34*(1), 33–41. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1.54897>
- Dash, A., Samant, D., Dash, D. K., Dash, S. N., & Mishra, K. N. (2021). Influence of *Ascophyllum nodosum* extract, homobrassinolide and triacontanol on fruit retention, yield and quality of mango. *Journal of Environmental Biology*, *42*(4), 1085–1091. <https://doi.org/10.22438/jeb/42/4/MRN-1541>
- Escalante Yaulilahua, D. A., Olivera Recuay, J. M., Miranda Galván, M. R., & Venegas Rodríguez, P. B. (2023). Peruvian Agro-Export Sector: a Competitiveness Study on Their Main Products in the Period 2010-2019. *Journal Globalization, Competitiveness and Governability*, *17*(2), 34–50. <https://doi.org/10.58416/GCG.2023.V17.N2.01>
- Escobar-Barranco, N., Gil Archila, E., Villamil, R. A., & Bonilla, A. (2025). Chemical and nutritional value of Colombian Ericaceae with edible fruits. In *Food Chemistry Advances* (Vol. 8). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.101045>
- Fujisawa, H., Kawai, Y., & Ishikawa, K. (2019). Application of gibberellic acid and CPPU increases berry size and yield of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) ‘Spartan.’ *Acta Horticulturae*, *1265*, 85–90. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1265.12>

- Gao, X., Wang, L., Zhang, H., Zhu, B., Lv, G., & Xiao, J. (2021). Transcriptome analysis and identification of genes associated with floral transition and fruit development in rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*). *PLoS ONE*, *16*(10 October).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259119>
- García-Vázquez, I., Calderón-Zavala, G., & Arévalo-Galarza, M. de L. (2023). Bioregulators and biostimulants on development, growth and fruit yield of blueberry cv. Biloxi. *Revista Fitotecnica Mexicana*, *46*(4), 383–388. <https://doi.org/10.35196/RFM.2023.4.383>
- Hooks, R. F., & Kenworthy, A. L. (2022). The Influence of Gibberellin A3 (GA3) on Fruit of the Highbush Blueberry, *Vaccinium corymbosum* L. cv. ‘Jersey’1. *HortScience*, *6*(2).  
<https://doi.org/10.21273/hortsci.6.2.139>
- Lenart, A., Wrona, D., Klimek, K., Kaplan, M., & Krupa, T. (2022). Assessment of the impact of innovative fertilization methods compared to traditional fertilization in the cultivation of highbush blueberry. *PLoS ONE*, *17*(7 July). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271383>
- Lenart, A., Wrona, D., & Krupa, T. (2022). Health—Promoting Properties of Highbush Blueberries Depending on Type of Fertilization. *Agriculture (Switzerland)*, *12*(10).  
<https://doi.org/10.3390/agriculture12101741>
- Montañez, P., & Neira, S. (2020). Planificación del sistema de producción-Recolección del agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) en el municipio de Ráquira, Boyacá-Colombia Planning the production system of andean berry (*Vaccinium meridionale* Swartz) in the municipality of Ráquira, Boyacá. Colombia. *Revista Espacios*, *41* (41). <https://www.revistaespacios.com>
- Murakami, K., de Pinho, G. S., de Lima, F. N., Cruz, A. F., & Yamanishi, O. K. (2023). Effect of applying bio-inputs on production of high bush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. biloxi in Brazil’s federal district. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, *11*(6), 1010–1020. [https://doi.org/10.18006/2023.11\(6\).1010.1020](https://doi.org/10.18006/2023.11(6).1010.1020)

- Peña Baracaldo, F., Africano Franco, D. R., & Moreno-Ortiz, C. A. (2023a). Cost analysis of a blueberry producing farm in the Cundiboyacense highlands, Colombia: A case study. *Agronomia Colombiana*, 41(2). <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v41n2.103525>
- Peña Baracaldo, F., Africano Franco, D. R., & Moreno-Ortiz, C. A. (2023b). Cost analysis of a blueberry producing farm in the Cundiboyacense highlands, Colombia: A case study. *Agronomia Colombiana*, 41(2). <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v41n2.103525>
- Pérez-León, M. I., González-Fuentes, J. A., Valdez-Aguilar, L. A., Benavides-Mendoza, A., Alvarado-Camarillo, D., & Castillo-Chacón, C. E. (2023). Effect of Glutamic Acid and 6-benzylaminopurine on Flower Bud Biostimulation, Fruit Quality and Antioxidant Activity in Blueberry. *Plants*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/plants12122363>
- Pinzón-Sandoval, E. H., Almanza-Merchán, P. J., Cely-Reyes, G. E., Serrano-Cely, P. A., & Ayala-Martínez, G. A. (2022). Correlation between SPAD and chlorophylls a, b and total in leaves from *Vaccinium corymbosum* L. cv. Biloxi, Legacy and Victoria in the high tropics. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 16(2). <https://doi.org/10.17584/rcch.2022v16i2.14693>
- Prada-Muñoz, J., & Coy-Barrera, E. (2024). Targeted Anthocyanin Profiling of Fruits from Three Southern Highbush Blueberry Cultivars Propagated in Colombia. *Molecules*, 29(3). <https://doi.org/10.3390/molecules29030691>
- Quevedo-Rubiano, S., Aranda-Camacho, Y., Ligarreto-Moreno, G. A., & Magnitskiy, S. (2021). Characterization of the Localized Agri-Food System (SYAL) for the Andean blueberry (*Vaccinium meridionale* Swartz) in the Boyaca Department, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(1). <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i1.11593>
- Rubiano-Moreno, J., Corona, V., Rodríguez-Magaña, A., & García-Segovia, P. (2024). Comparison of consumer perception of Colombian and Mexican blueberries (*Vaccinium*

corymbosum L. cv. Biloxi). *Revista U.D.C.A Actualidad and Divulgacion Cientifica*, 27(2).

<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n2.2024.2199>

Shukla, P. S., Mantin, E. G., Adil, M., Bajpai, S., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2019).

Ascophyllum nodosum-based biostimulants: Sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 10). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00655>

Tasnim, R., Calderwood, L., Tooley, B., Wang, L., & Zhang, Y. J. (2022). Are Foliar Fertilizers Beneficial to Growth and Yield of Wild Lowbush Blueberries? *Agronomy*, 12(2).

<https://doi.org/10.3390/agronomy12020470>

Viencz, T., Santana, K., Ayub, R. A., & Botelho, R. V. (2021). Development, photosynthesis and yield of blueberry cultivar ‘climax’ growth with different substrates and nitrogen

fertilization under protected cultivation. *Ciencia Rural*, 51(6). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190367>

Villa e Vila, V., Marques, P. A. A., Rezende, R., Wenneck, G. S., Terassi, D. de S., Andrian, A.

F. B. A., Nocchi, R. C. de F., & Matumoto-Pintro, P. T. (2023). Deficit Irrigation with Ascophyllum nodosum Extract Application as a Strategy to Increase Tomato Yield and Quality. *Agronomy*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/agronomy13071853>

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 and Agriculture*, 34(12), 991–996.

<https://doi.org/10.9755/ejfa.2022.v34.i12.2950>

Zang, Y. X., Chun, I. J., Zhang, L. L., Hong, S. B., Zheng, W. W., & Xu, K. (2016). Effect of gibberellic acid application on plant growth attributes, return bloom, and fruit quality of

rabbiteye blueberry. *Scientia Horticulturae*, 200, 13–18.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.057>

Zydlik, Z., Zydlik, P., Kafkas, N. E., Yesil, B., & Cieśliński, S. (2022). Foliar Application of Some Macronutrients and Micronutrients Improves Yield and Fruit Quality of Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Horticulturae*, 8(7).

<https://doi.org/10.3390/horticulturae8070664>