

Evaluación de relaciones nitrato/amonio y mezclas de sustratos en la fase de endurecimiento en el cultivo de arándano, variedad Biloxi (*Vaccinium corymbosum*), en invernadero

Evaluation of nitrate/ammonium ratios and substrate mixtures in the hardening phase of blueberry cultivation, variety Biloxi (*Vaccinium corymbosum*), under greenhouse conditions

Damian Alejandro Orellana Zuleta¹ , Víctor Julio Moreno Izquierdo² ,
Yamil Everaldo Cartagena Ayala² , Dafne Isaac Serrano Pérez¹ 

Siembra 13 (2) (2026): e10144

DOI: [10.29166/siembra.v13i2.10144](https://doi.org/10.29166/siembra.v13i2.10144)

Recibido: 06/05/2026

Revisado: 06/08/2026

Aceptado: 04/09/2026



¹ Universidad Técnica del Cotopaxi. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Av. Simón Rodríguez. C.P. 050108. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

² Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIA]. Estación Experimental Santa Catalina. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Panamericana Sur km 1. C.P. 170518. Mejía, Pichincha, Ecuador.

Correspondencia: damianorellana74@gmail.com

Resumen

Esta investigación evaluó cómo diferentes formas de nitrógeno (nitrato y amonio) y mezclas de sustrato (turba y cascarilla de arroz) influyen en el crecimiento del arándano durante su fase de endurecimiento en invernadero, con el objetivo de identificar la opción más eficiente para producir plantas de mejor calidad. Los resultados mostraron que la combinación óptima fue la solución nutritiva con predominio de amonio (75%) junto con un sustrato con alto contenido de turba (80%), la cual generó plantas con mayor altura, mayor grosor de tallo y hasta el doble de biomasa en comparación con otras mezclas. El estudio concluye que esta sinergia entre amonio y turba produce plantas más vigorosas y de mejor calidad integral, confirmando además que el Índice de Calidad de Dickson es el mejor indicador para evaluar las plántulas, ofreciendo así recomendaciones técnicas claras para optimizar la producción de arándano bajo condiciones controladas.

Palabras clave: crecimiento vegetativo, índice de calidad de Dickson, nutrición nitrogenada, turba.

Abstract

This research evaluated how different forms of nitrogen (nitrate and ammonium) and substrate mixtures (peat and rice husk) influence blueberry growth during its hardening-off phase in a greenhouse, with the aim of identifying the most efficient option for producing higher-quality plants. The results showed that the optimal combination was the nutrient solution with a predominance of ammonium (75%) together with a substrate with a high peat content (80%), which generated plants with greater height, greater stem thickness and up to double the biomass compared with other mixtures. The study concludes that this synergy between ammonium and peat produces more vigorous plants of better overall quality, further confirming that the Dickson Quality Index is the best indicator for evaluating the seedlings, thus offering clear technical recommendations for optimizing blueberry production under controlled conditions.

Keywords: Dickson quality index, nitrogen nutrition, peat, vegetative growth.

SIEMBRA

<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA>

ISSN-e: 2477-8850

Periodicidad: semestral

vol. 13, núm 2, 2026

siembra.fag@uce.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución - NoComercial

© Los Autores 2026

1. Introducción

El arándano (*Vaccinium corymbosum*), perteneciente a la familia Ericaceae, es una especie nativa del hemisferio norte que ha adquirido gran relevancia económica global, siendo Estados Unidos, Perú, Canadá y Chile los principales productores tradicionales; demostrando, así, el enorme potencial de la región para este cultivo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2025; Undurraga Díaz y Vargas Schüldes, 2013).

En este contexto, Ecuador ha comenzado a introducir el arándano como alternativa productiva para exportación, específicamente la variedad Biloxi proveniente de Chile, la cual destaca por su adaptación, vigor y productividad, requiriendo un mínimo de 400 horas de frío y produciendo fruta de tamaño mediano, firme y excelente sabor (Fall Creek Farm & Nursery, 2026; Morales Alcayaga, 2017; Retamales et al., 2014; Spiers et al., 2002; Undurraga Díaz y Vargas Schüldes, 2013; Vásquez-Castillo et al., 2026).

No obstante, el principal desafío para su cultivo en Ecuador radica en los exigentes requerimientos de suelo de la especie, que demanda suelos sueltos, pH ácido entre 4 y 5, y alto contenido de materia orgánica (10 a 20%), siendo el manejo del pH especialmente crítico durante los primeros años (Gordó, 2008).

Ante la dificultad de encontrar estas condiciones edáficas naturalmente y la variabilidad de los suelos existentes (Cruzatty y Vollmann, 2012), los agricultores ecuatorianos han optado por sistemas de cultivo en sustrato, una tendencia global que busca superar limitaciones edáficas y optimizar el uso de agua y fertilizantes (Rivière y Caron, 2001). La elección de materiales y mezclas es crucial, pues deben garantizar propiedades físicas adecuadas como elevada porosidad (>85%) y equilibrio entre retención de humedad y drenaje, pudiendo la incorporación de materiales orgánicos, como la turba, mejorar estas características (Jones et al., 2025; Ortiz-Delvasto et al., 2023; Schaffer y Lerner, 2022).

Sin embargo, en Ecuador estas mezclas se elaboran sin caracterización fisicoquímica previa, generando problemas de desarrollo radicular, desbalances hídricos y nutricionales que comprometen la viabilidad del cultivo. A esta problemática se suma la necesidad de optimizar la nutrición nitrogenada durante la fase de endurecimiento en invernadero, desconociéndose cómo interactúan las diferentes mezclas de sustrato con la relación nitrato/amonio, factor clave para esta especie acidófila.

Por ello, esta investigación busca evaluar cómo influyen diferentes relaciones nitrato/amonio y mezclas de sustratos en el crecimiento del arándano, durante

su fase de endurecimiento en invernadero, con el objetivo de identificar la opción más eficiente para producir plantas de mejor calidad.

El estudio se justifica por la necesidad de generar conocimiento local que permita estandarizar y optimizar el cultivo en sustrato, abandonando prácticas empíricas que han ocasionado fracasos productivos, y abordando el vacío de conocimiento sobre la interacción entre sustrato y nutrición nitrogenada, con el fin de proporcionar recomendaciones técnicamente fundamentadas que mejoren la producción y calidad de este nuevo rubro de interés para la exportación ecuatoriana.

A través de este estudio se busca determinar la combinación óptima de sustrato y relación nitrato/amonio que maximice el crecimiento y vigor de las plantas durante la fase de endurecimiento, logrando caracterizar el comportamiento agronómico de la variedad bajo diferentes condiciones para generar una recomendación técnicamente fundamentada que reduzca la incertidumbre en el establecimiento del cultivo y sienta las bases para una producción local de arándano más eficiente, competitiva y sostenible, acorde con las exigencias del mercado internacional.

2. Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló en el invernadero del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas [DMSA] de la Estación Experimental Santa Catalina [EESC] del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], en Cutuglagua, cantón Mejía, provincia de Pichincha, a una altitud de 3 059 m s.n.m., en la latitud 0° 22' 2,07" S y longitud 78° 33' 18,72" O. El invernadero tuvo, en promedio, 33,7, 6,0 y 19,85 °C, como máxima, mínima y promedio de temperatura, respectivamente; así como 75,6% de humedad relativa.

En el experimento se estudió dos factores: soluciones nutritivas [S] y mezcla de sustratos [M] (Tabla 1), a partir de los cuales se formó los diferentes tratamientos (Tabla 2). El material biológico fue plántulas clonales de arándano variedad Biloxi. Se utilizó un diseño completamente al azar [DCA]. La unidad experimental fue una planta dentro de una funda de plástico de 2 litros de capacidad. De cada tratamiento se obtuvo 10 observaciones, para un total de 50 plantas en el experimento.

En cuanto a la fertilización química (Tablas 3 y 4), la solución nutritiva se aplicó manualmente a razón de 200 ml por planta por día para todos los tratamientos evaluados, realizándose además un control semanal de la conductividad eléctrica y el pH de la solu-

Tabla 1. Factores en estudio.**Table 1.** Factors under study.

Factor en estudio	Descripción
Soluciones nutritivas [S]	
s1	75% nitrato y 25% amonio
s2	25% nitrato y 75% amonio
Mezclas de sustratos [M]	
m1	80% cascarilla de arroz y 20% turba
m2	20% cascarilla de arroz y 80% turba

Tabla 2. Tratamientos.**Table 2.** Treatments.

Tratamiento	Código	Solución nutritiva	Mezclas de sustratos
T1	s1m1	s1	m1
T2	s1m2	s1	m2
T3	s2m1	s2	m1
T4	s2m2	s2	m2
T5	Testigo	Solo agua	100% cascarilla arroz

Tabla 3. Concentración de los fertilizantes químicos utilizados.**Table 3.** Concentration of the chemical fertilizers used.

Fertilizante	Fórmula	PM*	N	P	K	Ca	Mg	S
			(%)					
Nitrato de potasio	KNO ₃	101	13		38			
Nitrato de calcio	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	236	15			18		
Nitrato de amonio	NO ₃ (NH ₄)	80	33					
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	174			41			18
Sulfato de magnesio	MgSO ₄ ·7H ₂ O	246					9	13
Sulfato de amonio	(NH ₄) ₂ ·SO ₄	132	21					24
Ácido fosfórico	H ₃ PO ₄	98		30				
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄	98						32

* PM = Peso molecular. Para los micronutrientes de utilizó Tradecorp AZ (5.5, 3, 0.7, 0.4, 1.4 y 0.2% de Fe, Mn, Zn, Cu, B y Mo, respectivamente).

* PM = Molecular weight. Tradecorp AZ was used for the micronutrients (5.5, 3, 0.7, 0.4, 1.4 and 0.2% Fe, Mn, Zn, Cu, B and Mo, respectively).

ción aplicada. Se realizó, en el Laboratorio de Manejo de Suelos, Plantas y Aguas de la EESC, el análisis químico al agua de riego (proveniente de vertientes o captaciones entubadas del cerro Atacazo, que se aplica de forma directa, sin ningún proceso de osmotización) (Tabla 5), para lo cual se tomó 1 L de muestra.

Las variables de respuesta se evaluaron durante un período de cuatro meses, con registros realizados cada 30 días a partir de la fecha de trasplante. La altura de planta se determinó midiendo la longitud del tallo principal desde el cuello de la planta hasta la yema terminal mediante el uso de una regla, expre-

sando los resultados en centímetros (Mesa Torres, 2015). El diámetro basal del tallo principal se registró en milímetros mediante un calibrador pie de rey, efectuando la medición a 1 cm de altura sobre el cuello de la planta (Mesa Torres, 2015). Con estos datos, se calculó el Índice de Robustez [IR] o índice de esbeltez, mediante la relación altura/diámetro, el cual es un indicador de la calidad morfológica de las plantas: valores bajos indican plantas más robustas (gruesas y de menor altura relativa), mientras que valores altos señalan plantas más esbeltas (más altas en relación con su grosor), que pueden ser más susceptibles al doblez

Tabla 4. Composición iónica de las soluciones nutritivas utilizadas.
Table 4. Ionic composition of the nutrient solutions used.

Solución nutritiva	pH	CE*	Especies iónicas (meq L ⁻¹)							NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻
		(dS m ⁻¹)	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	
s1	5,0	1,00	1,50	1,25	7,25	2,31	1,37	1,82	4,50	75/25
s2	5,0	1,00	4,50	1,25	7,25	2,31	1,37	1,82	1,50	25/75

* CE = Conductividad Eléctrica. Micronutrientos (mg L⁻¹) Fe: 1,5; Mn: 1,5; Zn: 0,15; Cu: 0,10; B:0,6.
* CE = Electrical Conductivity. Micronutrients (mg L⁻¹) Fe: 1.5; Mn: 1.5; Zn: 0.15; Cu: 0.10; B: 0.6.

Tabla 5. Análisis químico del agua de riego utilizada.
Table 5. Chemical analysis of irrigation water used.

Elemento	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	B	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Resultado (meq L ⁻¹)	0,36	0,97	0,07	0,42	0	0,01	0,48	2,19	0	0	0	0,01

y al estrés post-trasplante (Mollericona Alfaro y Calle Laime, 2021). Al finalizar el período de evaluación (cuatro meses después del trasplante), se procedió a la obtención de biomasa, separando la parte aérea y la raíz de cada planta. Cada muestra fue colocada en bolsas de papel debidamente identificadas por tratamiento y observación, y se introdujo en una estufa de secado con ventilación forzada, marca Shel Lab, a 65 °C, por 48 horas o hasta alcanzar peso constante. Posteriormente, las muestras se pesaron en una balanza de precisión (marca Shimadzu: Libror EB-4300S), obteniéndose los valores de biomasa seca aérea y radical expresados en gramos por planta (g planta⁻¹), cuya suma permitió determinar la biomasa total. La relación biomasa seca aérea/biomasa seca raíz (BSA/BSR), que se calculó dividiendo el peso seco de la parte aérea entre el peso seco de la raíz, es un indicador importante del equilibrio entre la parte aérea (fuente de fotosintatos) y la parte radical (órgano de absorción), donde valores altos indican mayor asignación de biomasa a la parte aérea, mientras que valores bajos indican mayor inversión en raíces (Mollericona Alfaro y Calle Laime, 2021). Finalmente, se determinó el Índice de Calidad de Dickson [ICD], que integra múltiples atributos morfológicos (altura, diámetro, biomasa) en un solo valor, donde valores más altos indican mejor calidad de planta, mediante la ecuación [1] (Mollericona Alfaro y Calle Laime, 2021).

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{(IR + BSA/BSR)}$$

[1]

A los resultados obtenidos, de las variables analizadas, se les aplicó el análisis estadístico respectivo, así: para determinar la distribución normal se aplicó la prueba de Shapiro-Wilks; y para determinar la ho-

mogeneidad de la varianza, la prueba de Levene. Se calculó el análisis de la varianza [ADEVA], donde se determinó el coeficiente de variación en porcentaje. Se aplicó pruebas de separación de medias a los tratamientos (Tukey al 5%) y a los factores en estudio (DMS), cuando existió diferencia significativa. Asimismo, se realizó pruebas de correlación (Pearson) entre las variables evaluadas. El análisis de los datos se realizó en el programa estadístico SAS versión 9.4.

3. Resultados y Discusión

3.1. Altura de planta

De acuerdo con el análisis de varianza para la altura de planta (Tabla 6), durante los primeros 60 días después del trasplante [ddt] no se registraron diferencias significativas entre tratamientos, factores solución nutritiva [S], mezcla de sustrato [M] y su interacción, lo que refleja un crecimiento homogéneo en la fase inicial. A los 90 ddt comenzaron a manifestarse diferencias, con un efecto significativo únicamente del factor M, indicando que la composición del medio de crecimiento empezaba a influir en la altura. Fue a los 120 ddt cuando se observaron diferencias altamente significativas para ambos factores principales (S y M) y su interacción, evidenciando que, al final del período experimental, tanto la relación nitrato/amonio como la proporción de turba y cascarilla en el sustrato, y su combinación, afectaron determinantemente el crecimiento de la planta. El contraste testigo vs. demás tratamientos no mostró significancia en ninguna evaluación, aunque sí existieron diferencias entre tratamientos específicos al final del ensayo (Tabla 7); los coeficientes de variación (11,48% a 20,30%) fueron

Tabla 6. Análisis de la varianza para la variable altura de planta.*

Table 6. Variance analysis for plant height.*

Fuentes de Variación	GL	Cuadrado Medio							
		1 ddt		30 ddt		60 ddt		90 ddt	
Total	49								
Tratamientos	4	11,20	ns	6,12	ns	2,48	ns	51,83	*
S (Solución)	1	12,10	ns	14,04	ns	1,71	ns	31,39	ns
M (Mezcla)	1	14,40	ns	9,70	ns	3,19	ns	163,05	*
S x M	1	0,62	ns	0,07	ns	0,74	ns	11,96	ns
Testigo vs. Resto	1	17,68	ns	0,68	ns	5,72	ns	0,93	ns
Error	45	5,00		4,34		3,22		14,31	
CV (%)		20,30		15,68		11,48		18,03	
Promedio (cm)		11,02		13,28		15,63		20,97	

* GL = grados de libertad; CV = coeficiente de variación; ** = diferencia altamente significativa (p-valor < 0,01); * = diferencia significativa (p-valor < 0,05); ns = no significativo (p-valor ≥ 0,05); ddt = días después del trasplante.

* df = degrees of freedom; CV = coefficient of variation; ** = highly significant difference (p-value < 0.01); * = significant difference (p-value < 0.05); ns = not significant (p-value ≥ 0.05); ddt = days after transplanting.

Tabla 7. Promedios de la altura de planta por tipo de solución nutritiva y por tipo de mezcla de sustrato.*

Table 7. Average plant height by type of nutrient solution and by type of substrate mixture.*

Factor en estudio	Altura promedio (cm)					
	1 ddt	30 ddt	60 ddt	90 ddt*	120 ddt*	
Solución nutritiva (S)						
s1	11,28	13,94	16,01	20,16	24,46	b
s2	10,18	12,75	15,60	21,93	29,35	a
Mezcla de sustrato (M)						
m1	11,33	13,84	16,09	19,02	b 23,05	b
m2	10,13	12,85	15,52	23,06	a 30,76	a

* Debido a que solo en estos periodos hubo significancia estadística se aplicó la prueba de DMS; ddt= días después del trasplante.

* Because statistical significance was only found in these periods, the LSD test was applied; ddt = days after transplanting.

aceptables, y el promedio general de altura aumentó progresivamente de 11,02 cm a 26,39 cm, confirmando un crecimiento continuo durante toda la fase de endurecimiento.

La aparición tardía de las diferencias, a partir de los 90 ddt, es coherente con la naturaleza del arándano, que requiere un período de establecimiento antes de que los tratamientos nutricionales y de sustrato manifiesten su efecto sobre el crecimiento en altura; la significancia de ambos factores principales al final del experimento confirma la importancia de optimizar tanto la nutrición nitrogenada (relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) como las características físicas del sustrato para maximizar el crecimiento vegetativo durante la fase de endurecimiento (Anwar et al., 2024).

En cuanto al factor solución nutritiva [S] (Tabla 7), durante los primeros 90 ddt no se observaron diferencias estadísticas significativas entre s1 y s2. Fue a los 120 ddt cuando se consolidaron diferencias altamente significativas: la solución s2 (25/75 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) alcanzó 29,35 cm, superando en 4,89 cm (aproximada-

mente un 20%) a la solución s1 (24,46 cm), confirmando que el predominio de amonio en la nutrición nitrogenada promueve un mayor crecimiento en altura del arándano durante la fase final de endurecimiento.

Este resultado es consecuente con la fisiología del arándano, una especie acidófila de la familia Ericaceae, que presenta una preferencia natural por la absorción de nitrógeno amoniacal [NH_4^+] en lugar de nítrica [NO_3^-], debido a que en sus ecosistemas de origen son suelos ácidos de bosques y turberas, el amonio es la forma predominante de nitrógeno disponible; la absorción de NH_4^+ favorece el mantenimiento del pH ácido en la rizosfera, condición esencial para la correcta nutrición de esta especie (Espinoza-Orozco et al., 2025; Mshweshwe et al., 2025; Osorio et al., 2020).

En cuanto al efecto del factor mezcla de sustrato [M] sobre la altura de planta (Tabla 7), durante los primeros 60 ddt no se observaron diferencias estadísticas significativas entre m1 (20% turba) y m2 (80% turba), lo que indica que ambas mezclas ofrecieron

condiciones físicas adecuadas para el establecimiento inicial. A los 90 ddt comenzaron a manifestarse diferencias significativas: la mezcla m2 alcanzó 23,06 cm, superando en 4,04 cm (aproximadamente 21%) a m1 (19,02 cm), evidenciando que el mayor contenido de turba empezaba a favorecer el crecimiento. Esta tendencia se consolidó a los 120 ddt con diferencias altamente significativas, donde m2 logró 30,76 cm frente a 23,05 cm de m1, lo que representa una ventaja de 7,71 cm (cerca del 33% superior), confirmando que la mayor proporción de turba en el sustrato optimiza el crecimiento en altura del arándano durante la fase de endurecimiento.

Este resultado puede ser posible debido a las propiedades físico-químicas de la turba (donde la mezcla con 80% de turba -m2- generó las condiciones más favorables para el crecimiento del arándano), por su alta capacidad de retención de humedad (500-800%), elevado intercambio catiónico (garantizando un ambiente húmedo estable y una eficiente disponibilidad de nutrientes), y su carácter ácido (pH 3,5-4,5), esencial para la absorción de micronutrientes, con excepción del molibdeno (Ortiz-Delvasto et al., 2023).

De acuerdo con los promedios de altura para los cinco tratamientos evaluados (Tabla 8), durante los primeros 60 ddt no se observaron diferencias estadísticas significativas, lo que confirma la homogeneidad del material vegetal al inicio. A los 90 ddt comenzaron a manifestarse diferencias significativas, formándose un grupo superior (a) integrado por T2 (s1m2) con 22,72 cm y T4 (s2m2) con 23,40 cm, ambos caracterizados por compartir el sustrato con 80% de turba (m2), independientemente de la solución nutritiva; un grupo intermedio (ab) conformado por T3 (s2m1) y el testigo T5; y un grupo inferior (b) ocupado por T1 (s1m1) con 17,59 cm, evidenciando que a los tres meses el factor determinante fue el sustrato.

Finalmente, a los 120 ddt las diferencias se acentuaron de forma significativa, formándose cuatro grupos claramente definidos: T4 (s2m2) lideró con 31,90 cm, superando significativamente a los demás; T2 (s1m2) le siguió con 29,61 cm sin diferir estadísticamente del anterior; en un nivel inferior se ubicaron T3 (s2m1) con 26,80 cm y el testigo T5 con 24,34 cm; mientras que T1 (s1m1) presentó el peor desempeño con 19,30 cm.

Este comportamiento confirma que la combinación de un sustrato rico en turba con una fuente nitrogenada amoniacal optimiza el crecimiento en altura del arándano durante la fase de endurecimiento. Resultados que se alinean por los reportados por Anwar et al. (2024), en cultivos sin suelo, donde concentraciones altas de NH_4^+ incrementaron el crecimiento vegetativo; y por Ortiz-Delvasto et al. (2023), quienes hallaron mayor altura en sustratos con alta turba, debido a que favoreció la retención de humedad y la capacidad de intercambio catiónico.

Por otro lado, resulta relevante destacar que T5 (solo agua + 100% cascarilla de arroz) fue estadísticamente similar a T3 (25% nitrato, 75% amonio + 80% cascarilla de arroz + 20% turba), aunque inicialmente se esperaba que el testigo presentara el menor crecimiento. Esto sugiere que una mayor proporción de amonio no garantizó por sí sola una respuesta superior, probablemente porque en arándano el efecto del N depende de su interacción con el sustrato y del equilibrio entre ambas formas nitrogenadas (Anwar et al., 2024; Ortiz-Delvasto et al., 2023; Xu et al., 2021). También es posible que la mezcla m1, al contener solo 20% de turba, no haya ofrecido condiciones físicas y químicas suficientes para que la fertilización amoniacal expresara una ventaja clara, ya que la turba mejora la retención de agua, la capacidad de intercambio catiónico y la acidez del medio, factores clave en este cultivo (Anwar et al., 2024; Bignami et al., 2022; Ta-

Tabla 8. Promedios de la altura de planta por tratamiento.*
Table 8. Average plant height per treatment.*

Tratamiento	Altura promedio (cm)					
	1 ddt	30 ddt	60 ddt	90 ddt*	120 ddt*	
T1 (s1m1)	11,75	14,47	16,16	17,59	b	19,30 d
T2 (s1m2)	10,80	13,40	15,87	22,72	a	29,61 ab
T3 (s2m1)	10,90	13,20	16,02	20,46	ab	26,80 bc
T4 (s2m2)	9,45	12,30	15,18	23,40	a	31,90 a
T5 (Testigo)	12,21	13,05	14,96	20,70	ab	24,34 c

* Debido a que solo en estos periodos hubo significancia estadística se aplicó la Prueba de Tukey 5% (valores con la misma letra no son significativamente diferentes: $p \geq 0,05$); ddt= días después del trasplante.
* Because statistical significance was only found in these periods, Tukey's 5% test was applied (values with the same letter are not significantly different: $p \geq 0.05$); ddt = days after transplanting.

mir et al., 2025). Por tanto, la similitud entre T5 y T3 refuerza que el crecimiento durante el endurecimiento dependió más de la calidad del sustrato y del balance $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ que de la sola adición de N (Anwar et al., 2024; Arias et al., 2024; Yang et al., 2025).

3.2. Diámetro del tallo principal

El análisis de varianza para el diámetro del tallo principal (Tabla 9) mostró que durante los primeros 30 ddt no hubo diferencias significativas entre tratamientos, indicando un desarrollo homogéneo en la fase inicial, con coeficientes de variación no significativos (23,07% y 22,93%). A los 60 ddt comenzaron a manifestarse diferencias altamente significativas entre tratamientos, atribuibles principalmente al contraste testigo vs. demás tratamientos, lo que indica que las plantas con solución nutritiva ya superaban en diámetro al testigo. A los 90 ddt se consolidaron diferencias altamente significativas, con efectos significativos de ambos factores principales (solución nutritiva S y mezcla de sustrato M) y de su interacción, evidenciando que tanto la nutrición nitrogenada como las características del sustrato, y su combinación, influían determinadamente en el engrosamiento del tallo. Finalmente, a los 120 ddt se mantuvieron las diferencias altamente significativas para S y M, aunque la interacción perdió significancia, sugiriendo efectos independientes y aditivos al final del ciclo.

El contraste testigo vs. demás tratamientos solo fue significativo a los 60 ddt, mientras que los promedios generales aumentaron progresivamente de 0,68 mm a

2,12 mm, reflejando un engrosamiento continuo durante toda la fase de endurecimiento, con coeficientes de variación que alcanzaron una alta precisión (2,56% a los 90 ddt).

La significancia de ambos factores principales al final del experimento indica la importancia de optimizar tanto la nutrición nitrogenada (relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) como las características físicas del sustrato para maximizar el engrosamiento del tallo durante la fase de endurecimiento (Gurrola Nieblas, 2020).

El análisis del diámetro del tallo principal por tipo de solución nutritiva (Tabla 10) mostró que, durante los primeros 60 ddt, no se registraron diferencias significativas entre s1 (75% nitrato) y s2 (75% amonio); sin embargo, a los 90 ddt las diferencias se hicieron altamente significativas, con la solución s2 alcanzando 1,96 mm, lo que representó una ventaja de 0,35 mm (aproximadamente 22%) sobre s1 (1,61 mm). Esta tendencia se consolidó a los 120 ddt, donde s2 logró 2,38 mm frente a 1,99 mm de s1, ampliando la diferencia a 0,39 mm (cerca del 20% superior), lo que confirma que la solución con predominio de amonio (s2: 25/75 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) promueve un mayor engrosamiento del tallo en el arándano durante la fase final de endurecimiento.

Este resultado es coherente con la fisiología del arándano, una especie acidófila adaptada a absorber nitrógeno preferentemente en forma amoniacal [NH_4^+], por lo que la solución s2 (75% amonio) proporcionó la fuente nitrogenada más compatible con su metabolismo, favoreciendo la mantención de un pH ácido en la rizosfera que optimiza la disponibilidad

Tabla 9. Análisis de la varianza para la variable diámetro del tallo principal.*

Table 9. Analysis of variance for the main stem diameter variable.*

Fuentes de Variación	GL	Cuadrado Medio									
		1 ddt		30 ddt		60 ddt		90 ddt		120 ddt	
Total	49										
Tratamientos	4	0,04	ns	0,03	ns	0,18	**	0,78	**	1,25	**
S (Solución)	1	0,07	ns	0,01	ns	0,19	ns	1,20	**	1,52	*
M (Mezcla)	1	0,06	ns	0,03	ns	0,08	ns	1,73	**	2,69	**
S x M	1	0,01	ns	0,03	ns	0,09	ns	0,05	*	0,01	ns
Testigo vs. Resto	1	0,02	ns	0,06	ns	0,37	**	0,13	ns	0,81	ns
Error	45	0,02		0,04		0,04		0,13		0,29	
CV (%)		23,07		22,93		19,42		2,56		25,35	
Promedio (mm)		0,68		0,95		1,14		1,75		2,12	

* GL = grados de libertad; CV = coeficiente de variación; ** = diferencia altamente significativa (p-valor < 0,01); * = diferencia significativa (p-valor < 0,05); ns = no significativo (p-valor ≥ 0,05); ddt = días después del trasplante.

* GL = degrees of freedom; CV = coefficient of variation; ** = highly significant difference (p-value < 0.01); * = significant difference (p-value < 0.05); ns = not significant (p-value ≥ 0.05); ddt = days after transplanting.

Tabla 10. Promedios del diámetro del tallo principal por tipo de solución nutritiva y por tipo de mezcla de sustrato.*
Table 10. Average for the main stem diameter by type of nutrient solution and by type of substrate mixture.*

Factor en estudio	Diámetro del tallo principal promedio (mm)						
	1 ddt	30 ddt	60 ddt	90 ddt*	120 ddt*		
Solución nutritiva (S)							
s1	0,72	0,92	1,03	1,61	b	1,99	b
s2	0,63	0,94	1,18	1,96	a	2,38	a
Mezcla de sustrato (M)							
m1	0,72	0,90	1,06	1,58	b	1,93	b
m2	0,64	0,96	1,15	1,99	a	2,45	a

*Debido a que solo en estos periodos hubo significancia estadística se aplicó la prueba de DMS; ddt= días después del trasplante.
* Because statistical significance was only found in these periods, the LSD test was applied; ddt = days after transplanting.

de micronutrientes como hierro, manganeso y zinc, esenciales para el desarrollo vascular y el engrosamiento del tallo (Bowerman, 2012).

En relación con el análisis de los promedios del diámetro del tallo principal por tipo de mezcla de sustrato (Tabla 10), durante los primeros 60 ddt no se observaron diferencias significativas entre m1 (20% turba) y m2 (80% turba), lo que indica que ambas mezclas ofrecieron condiciones adecuadas para el desarrollo inicial del tallo durante la fase de establecimiento. Sin embargo, a los 90 ddt las diferencias se hicieron altamente significativas: la mezcla m2 alcanzó 1,99 mm, superando en 0,41 mm (aproximadamente 26%) a m1 (1,58 mm), evidenciando que el mayor contenido de turba comenzaba a favorecer el engrosamiento del tallo. Esta tendencia se consolidó y acentuó a los 120 ddt, donde m2 logró 2,45 mm frente a 1,93 mm de m1, ampliando la diferencia a 0,52 mm (cerca del 27% superior), lo que confirma que la mezcla con 80% de turba (m2) optimiza significativamente el diámetro del tallo del arándano durante la fase final de endurecimiento. Este resultado puede explicarse, según autores como Bowerman (2012) y Ortiz-Delvasto et al. (2023), por las características físico-químicas de la turba, que generó las condiciones más favorables para el engrosamiento del tallo del arándano debido a su alta capacidad de retención de humedad, que asegura un suministro hídrico constante para los procesos de división y elongación celular; su elevada capacidad de intercambio catiónico, que permite una liberación gradual y continua de nutrientes esenciales para la formación de tejidos estructurales; y su carácter ácido, que optimiza la disponibilidad de micronutrientes como hierro, manganeso y zinc, clave para la síntesis de lignina; además, el equilibrio agua-aire, al combinar una baja densidad aparente con una alta porosidad, que favorece un mayor crecimiento del tallo.

De acuerdo con el análisis de los promedios del diámetro del tallo principal para los cinco tratamientos evaluados (Tabla 11), durante los primeros 30 ddt no se observaron diferencias estadísticas significativas. A los 60 ddt comenzaron a manifestarse diferencias significativas, destacando un resultado inicialmente inesperado donde el testigo T5 (agua + 100% cascarilla de arroz) presentó el mayor diámetro (1,32 mm), posiblemente por menor tensión osmótica; sin embargo, se evidenció una tendencia clave: los tratamientos con solución con 75% de amonio (s2) (T4 y T3) conformaron el grupo intermedio y comenzaron a diferenciarse de aquellos con 75% de nitrato (s1) (T1 y T2), que ocuparon el grupo inferior, indicando que la fuente nitrogenada amoniacal ya ejercía un efecto favorable independientemente del sustrato. A los 90 ddt las diferencias se acentuaron, consolidándose una clara ventaja para T4 (s2m2) con 2,20 mm. Finalmente, a los 120 ddt las diferencias se consolidaron en dos grupos bien definidos: T4 (s2m2) lideró con 2,64 mm en el grupo superior (a), superando significativamente a los demás; en posición intermedia (ab) se ubicaron T2 (2,26 mm) y T3 (2,13 mm), sin diferenciarse estadísticamente de T4 ni del grupo inferior integrado por T1 (1,73 mm) y T5 (1,87 mm). Este resultado (a los 120 ddt) indica que el diámetro del tallo respondió a la interacción entre la forma de N y la composición del sustrato. El mayor valor en T4 (75% amonio + 80% turba) sugiere que una fracción alta de NH_4^+ fue más efectiva cuando se combinó con un sustrato con mayor contenido de turba, capaz de ofrecer mejor retención de agua, mayor capacidad de intercambio catiónico y un pH más adecuado para el arándano (Bignami et al., 2022; Tamir et al., 2021; Tamir et al., 2025). En cambio, T2 y T3 mostraron una respuesta intermedia, lo que indica que favorecer solo la fuente nitrogenada o solo el sustrato no fue suficiente para maximizar el engrosamiento del tallo. Así, los datos confirman que,

durante el endurecimiento, el crecimiento estructural del arándano dependió más de la combinación adecuada entre mayor turba y predominio de amonio que de cada factor por separado (Anwar et al., 2024; Arias et al., 2024; Bryla et al., 2025).

En síntesis, este comportamiento confirma que la sinergia entre una fuente nitrogenada amoniacal y un sustrato con alto contenido de turba optimiza el engrosamiento del tallo del arándano durante la fase final de endurecimiento. Estos resultados se alinean con los obtenidos por Espinoza-Orozco et al. (2025), donde el NH_4^+ aumentó biomasa y engrosamiento en condiciones salinas. El efecto de la turba coincide en estudios que indican que mejoró disponibilidad hídrica y nutrientes, enfatizando su rol en tejidos estructurales (Bowerman, 2012; Ortiz-Delvasto et al., 2023).

3.3. Índice de robustez [IR]

De acuerdo con el análisis de varianza para el IR (Tabla 12), durante los primeros 30 ddt no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, con coeficientes de variación relativamente altos (27,08% y 30,18%) propios de la etapa de establecimiento. A los 60 ddt se registraron diferencias altamente significativas entre tratamientos, donde el factor solución nutritiva [S] mostró un efecto significativo y el contraste testigo vs. demás tratamientos también resultó altamente significativo, indicando que la relación nitrato/amonio comenzaba a influir en la robustez de las plantas y que el testigo se diferenciaba claramente de los tratamientos con solución nutritiva; sin embargo, el factor sustrato [M] y su interacción

Tabla 11. Promedios del diámetro del tallo principal por tratamiento.*

Table 11. Average for the main stem diameter per treatment.*

Tratamiento	Diámetro del tallo principal promedio (mm)							
	1 ddt	30 ddt	60 ddt*	90 ddt*	120 ddt*			
T1 (s1m1)	0,77	0,92	1,04 b	1,44 b	1,73 b			
T2 (s1m2)	0,67	0,92	1,03 b	1,78 ab	2,26 ab			
T3 (s2m1)	0,66	0,89	1,08 ab	1,71 b	2,13 ab			
T4 (s2m2)	0,61	1,00	1,27 ab	2,20 a	2,64 a			
T5 (Testigo)	0,73	1,03	1,32 a	1,66 b	1,87 b			

* Debido a que solo en estos periodos hubo significancia estadística se aplicó la prueba de Tukey 5% (valores con la misma letra no son significativamente diferentes: $p \geq 0,05$); ddt= días después del trasplante.

* Because statistical significance was only found in these periods, Tukey's 5% test was applied (values with the same letter are not significantly different: $p \geq 0.05$); ddt = days after transplanting.

Tabla 12. Análisis de la varianza para la variable índice de robustez.*

Table 12. Analysis of variance for the robustness index variable.*

Fuentes de Variación	GL	Cuadrado Medio									
		1 ddt	30 ddt	60 ddt	90 ddt	120 ddt					
Total	49										
Tratamientos	4	2,04	ns	41,13	ns	53,79	**	9,12	ns	2,16	ns
S (Solución)	1	0,00	ns	60,12	ns	67,70	*	26,32	ns	0,08	ns
M (Mezcla)	1	0,30	ns	62,45	ns	37,36	ns	2,76	ns	0,48	ns
S x M	1	5,49	ns	0,55	ns	13,97	ns	5,92	ns	7,80	ns
Testigo vs. Resto	1	2,39	ns	41,42	ns	96,13	**	1,50	ns	0,28	ns
Error	45	20,40		19,81		12,19		7,72		10,36	
CV (%)		27,08		30,18		24,40		22,60		24,78	
Promedio		16,68		14,74		14,31		12,29		12,87	

* GL = grados de libertad; CV = coeficiente de variación; ** = diferencia altamente significativa (p -valor $< 0,01$); * = diferencia significativa (p -valor $< 0,05$); ns = no significativo (p -valor $\geq 0,05$); ddt = días después del trasplante.

* GL = degrees of freedom; CV = coefficient of variation; ** = highly significant difference (p -value < 0.01); * = significant difference (p -value < 0.05); ns = not significant (p -value ≥ 0.05); ddt = days after transplanting.

con la solución no alcanzaron significancia. A los 90 y 120 ddt las diferencias entre tratamientos dejaron de ser significativas, tanto para los factores principales como para su interacción, evidenciando una convergencia hacia el final del experimento donde las plantas tendieron a equilibrar su relación altura/diámetro, probablemente porque el crecimiento en altura y el engrosamiento del tallo ocurrieron de manera proporcionada en todos los tratamientos. Los coeficientes de variación oscilaron entre 22,60% y 30,18%, valores aceptables para este índice morfológico, mientras que el promedio general del IR mostró una tendencia decreciente de 16,68 a 12,87, lo que indica que el diámetro del tallo aumentó proporcionalmente más que la altura a lo largo del tiempo, resultando en plantas más robustas al final del período experimental.

En relación con el análisis de los promedios del índice de robustez por tipo de solución nutritiva (Tabla 13), durante los primeros 30 ddt no se observaron diferencias estadísticas significativas entre s1 (75% nitrato) y s2 (75% amonio). Sin embargo, a los 60 ddt se registraron diferencias significativas: las plantas con s1 presentaron un IR de 16,31 (morfología más esbelta), mientras que aquellas con s2 alcanzaron 13,70, lo que representa una reducción del 19% y evidencia una arquitectura más robusta favorecida por el predominio de amonio. En las evaluaciones finales (90 y 120 ddt), las diferencias dejaron de ser estadísticamente significativas: a los 90 días, s1 registró 13,02 y s2 un valor numéricamente inferior de 11,40; a los 120 días, ambos tratamientos alcanzaron valores prácticamente idénticos (12,90 para s1 y 13,00 para s2). Esta convergencia indica que, aunque la solución con amonio promovió una mayor robustez en etapas intermedias, hacia el final las plantas de ambos tratamientos equilibraron su relación altura/diámetro durante la fase de endurecimiento. Este comportamiento temporal

puede explicarse desde la fisiología del arándano a partir de tres procesos claves. Inicialmente, a los 60 días después del trasplante, la mayor robustez inducida por la solución con predominio de amonio (s2) refleja una respuesta temprana donde la acidificación de la rizosfera, derivada de la absorción de NH_4^+ , optimiza la disponibilidad de micronutrientes y estimula un engrosamiento acelerado del tallo en relación con el crecimiento en altura (Tamir et al., 2021; Yuan-Yuan et al., 2021). Hacia las evaluaciones finales (90-120 ddt), se produce una compensación morfológica (Yuan-Yuan et al., 2021). Esta convergencia obedece a un mecanismo de homeostasis morfológica propio de la especie, que tiende a restablecer proporciones estructurales equilibradas hacia el final del ciclo de crecimiento, independientemente de las alteraciones temporales inducidas por los tratamientos nutricionales (Cárdenas-Navarro et al., 2024; Cárdenas-Navarro et al., 2025; Yuan-Yuan et al., 2021).

El análisis de los promedios del índice de robustez por tipo de mezcla de sustrato (Tabla 13) muestra que no se observaron diferencias estadísticas significativas entre m1 (20% turba) y m2 (80% turba) en ningún momento de la evaluación (1, 30, 60, 90 y 120 ddt). Esto indica que, aunque las mezclas de sustrato tuvieron efectos significativos sobre la altura y el diámetro de manera individual, la relación entre ambas variables (el IR) se mantuvo similar entre ambos sustratos durante todo el experimento; la mezcla m2 produce plantas más grandes en términos absolutos, con mayor altura y mayor diámetro, mientras que el hecho de que la relación altura/diámetro se mantenga similar indica que la arquitectura básica de la planta no se ve comprometida por el uso de mezclas con menor contenido de turba.

El análisis de los promedios del índice de robustez por tratamiento (Tabla 14) indica que durante los

Tabla 13. Promedios del índice de robustez por tipo de solución nutritiva y por tipo de mezcla de sustrato.*
Table 13. Average robustness index by type of nutrient solution and by type of substrate mixture.*

Factor en estudio	Índice de robustez promedio				
	1 ddt	30 ddt	60 ddt*	90 ddt	120 ddt
Solución nutritiva (S)					
s1	16,57	16,43	16,31 a	13,02	12,90
s2	16,57	13,98	13,70 b	11,40	13,00
Mezcla de sustrato (M)					
m1	16,66	16,45	15,97	12,47	13,06
m2	16,48	13,95	14,04	11,95	12,84

* Debido a que solo en este periodo hubo significancia estadística se aplicó la prueba de DMS (para el factor S); ddt= días después del trasplante.
* Because statistical significance was only found in these periods, Tukey's 5% test was applied (values with the same letter are not significantly different: $p \geq 0.05$); ddt = days after transplanting.

Tabla 14. Promedios del índice de robustez principal por tratamiento.*
Table 14. Average robustness index per treatment.*

Tratamiento	Índice de robustez promedio				
	1 ddt	30 ddt	60 ddt*	90 ddt	120 ddt
T1 (s1m1)	16,29	17,56	16,68 a	12,90	12,57
T2 (s1m2)	16,85	15,30	15,93 ab	13,15	13,24
T3 (s2m1)	17,03	15,35	15,26 ab	12,05	13,55
T4 (s2m2)	16,12	12,61	12,15 b	10,75	12,45
T5 (Testigo)	17,12	12,93	11,54 b	12,65	13,14

* Debido a que solo en este periodo hubo significancia estadística se aplicó la prueba de Tukey 5% (valores con la misma letra no son significativamente diferentes: $p \geq 0,05$); ddt= días después del trasplante.

* Because statistical significance was only found in these periods, Tukey's 5% test was applied (values with the same letter are not significantly different: $p \geq 0.05$); ddt = days after transplanting.

primeros 30 ddt no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. A los 60 ddt se registraron diferencias significativas, formándose dos grupos opuestos: las plantas más esbeltas (mayor IR) correspondieron al grupo superior (a), integrado por T1 (s1m1) con 16,68 y T2 (s1m2) con 15,93, ambos caracterizados por la solución con 75% nitrato (s1); en contraste, las plantas más robustas (menor IR) conformaron el grupo inferior (b), con T4 (s2m2) alcanzando 12,15 y el testigo T5 con 11,54. En las evaluaciones finales (90 y 120 ddt), las diferencias dejaron de ser significativas, observándose una clara convergencia de los valores: a los 90 días, aunque T4 mantuvo el IR más bajo (10,75) y T1 y T2 los más altos (hasta 13,15), el rango se estrechó a 2,4 unidades; a los 120 días, todos los tratamientos convergieron en un rango aún más reducido de 1,1 unidades, con valores entre 12,45 (T4) y 13,55 (T3), reflejando que, independientemente de las diferencias iniciales, las plantas tienden a equilibrar su relación altura-diámetro hacia el final del ciclo, alcanzando una morfología proporcionalmente similar. Estos resultados coinciden con el estudio realizado por Yuan-Yuan et al. (2021), donde los tratamientos aplicados equilibraron altura/diámetro tardíamente. La desaparición de diferencias significativas en el índice de robustez a los 90 y 120 días después del trasplante puede explicarse por una convergencia morfológica propia de la etapa de endurecimiento, donde las plantas de arándano tienden a estabilizar su relación altura-diámetro, actuando como un atractor homeostático que prevalece sobre las diferencias iniciales inducidas por los tratamientos (Rojas Mego, 2024). Esta uniformidad final se debe a un crecimiento coordinado y compensatorio, ya que los tratamientos que promovieron mayor altura (como T4) también estimularon proporcionalmente el engrosamiento del tallo, manteniendo la relación dentro de márgenes similares (Peñuelas Montoya et al., 2024).

El tiempo redujo las diferencias entre tratamientos hasta hacerlas no significativas, reflejando un ajuste progresivo del crecimiento (Peñuelas Montoya et al., 2024; Rojas Mego, 2024).

3.4. Biomasa seca aérea [BSA], biomasa seca raíz [BSR], biomasa seca total [BST], relación BSA/BSR e Índice de Calidad de Dickson [ICD]

El análisis de varianza para las variables de biomasa y calidad evaluadas a los 120 ddt (Tabla 15) reveló que los tratamientos tuvieron efectos altamente significativos sobre todas las variables.

El factor solución nutritiva [S] mostró efectos altamente significativos sobre BSA, BST, relación BSA/BSR e ICD, pero no fue significativo para biomasa seca raíz [BSR], lo que sugiere que el desarrollo radical estuvo más influenciado por las características físicas del sustrato que por la forma de nitrógeno. El factor mezcla de sustrato [M] presentó efectos altamente significativos sobre todas las variables (BSA, BSR, BST, BSA/BSR e ICD), confirmando que la proporción de turba versus cascarilla de arroz modifica a todos los aspectos del crecimiento y calidad. La interacción S x M fue significativa solo para BSA y BSA/BSR, indicando que los factores actuaron de manera sinérgica en la partición de biomasa hacia la parte aérea, mientras que para BSR, BST e ICD los efectos fueron principalmente aditivos (independientes). El contraste testigo vs. demás tratamientos mostró diferencias significativas para BSA, BSR, BST e ICD, pero no para la relación BSA/BSR, evidenciando que las soluciones nutritivas incrementaron la producción de biomasa y la calidad sin alterar la partición relativa entre parte aérea y raíz. Los coeficientes de variación (25, 29% a 31,39%) fueron aceptables para este tipo de variables. La prueba DMS para las varia-

Tabla 15. Análisis de la varianza para las variables de biomasa y calidad.*
Table 15. Analysis of variance for the biomass and quality variables.*

Fuentes de Variación	GL	Cuadrados Medios						
		BSA		BSR		BST		ICD
Total	49							
Tratamientos	4	44,04	**	0,78	**	56,01	**	0,14 **
S (Solución)	1	29,73	**	0,10	ns	33,34	**	0,06 **
M (Mezcla)	1	131,44	**	2,44	**	169,74	**	0,44 **
S x M	1	6,31	*	0,04	ns	7,39	ns	0,01 ns
Testigo vs. Resto	1	8,69	*	0,54	*	13,58	*	0,04 *
Error	45	1,58		0,09		2,02		0,01
CV (%)		27,44		29,16		25,29		26,06
Promedio		4,58 g		1,03 g		5,62 g		0,32

* GL = grados de libertad; CV = coeficiente de variación; ** = diferencia altamente significativa (p-valor < 0,01); * = diferencia significativa (p-valor < 0,05); ns = no significativo (p-valor ≥ 0,05); ddt = días después del trasplante. BSA = biomasa seca aérea, BSR = biomasa seca raíz, BST = biomasa seca total, ICD = Índice de Calidad de Dickson.
* GL = degrees of freedom; CV = coefficient of variation; ** = highly significant difference (p-value < 0.01); * = significant difference (p-value < 0.05); ns = not significant (p-value ≥ 0.05); ddt = days after transplanting.” followed by “** BSA = aerial dry biomass, BSR = root dry biomass, BST = total dry biomass, ICD = Dickson Quality Index.”

bles de biomasa y calidad evaluadas (Tabla 16), en relación con el factor S, muestra que la solución con predominio de amonio (s2: 25% NO₃⁻ / 75% NH₄⁺) es superior a la solución con predominio de nitrato (s1: 75% NO₃⁻ / 25% NH₄⁺) para la producción de plantas de arándano durante la fase de endurecimiento. Las plantas cultivadas con s2 presentaron significativamente mayor biomasa aérea (44% de incremento), biomasa total (37% de aumento), relación BSA/BSR (44% de incremento) e Índice de Calidad de Dickson (27% de aumento). Aunque la biomasa radical no mostró diferencias significativas, la superioridad en las demás variables, particularmente en el ICD que integra múltiples atributos de calidad, confirma que la solución con 75% de amonio produce plantas de mejor calidad integral.

Los resultados observados tienen bases fisiológicas claras que explican el mejor desempeño de la solución con 75% de amonio (s2). En primer lugar, el arándano, como especie acidófila, está evolutivamente adaptado a suelos ácidos donde el amonio [NH₄⁺] predomina sobre el nitrato [NO₃⁻], lo que se traduce en una mayor eficiencia en su absorción y asimilación (Yuan-Yuan et al., 2021; Zhang et al., 2022). Desde el punto de vista energético, el amonio requiere menos costo metabólico, ya que puede incorporarse directamente a aminoácidos mediante las enzimas glutamina sintetasa y glutamato sintasa, a diferencia del nitrato que debe reducirse en un proceso que consume NADH y poder reductor, liberando recursos para una mayor producción de biomasa (Langenfeld y Bugbee,

2025; Zhang et al., 2022). Además, la absorción de NH₄⁺ induce la excreción de protones (H⁺) hacia la rizosfera, acidificando el entorno y favoreciendo la disponibilidad de micronutrientes como hierro, manganeso, zinc y cobre, esenciales para la fotosíntesis y la actividad enzimática (Tamir et al., 2021; Yang et al., 2025). La forma nitrogenada modula el balance hormonal: el amonio estimula citoquininas y crecimiento aéreo, mientras que el nitrato promueve auxinas y desarrollo radical (De la Peña et al., 2022; Langenfeld y Bugbee, 2025; Yang et al., 2025). Esto explicaría la mayor inversión en biomasa aérea con amonio (s2), aunque sin diferencias significativas en raíces.

Por otra parte, la prueba DMS para las variables de biomasa y calidad estudiadas, en relación con el factor M (Tabla 16), indica que la mezcla de sustrato con 80% de turba y 20% de cascarilla de arroz (m2) es superior a la mezcla con 20% de turba y 80% de cascarilla de arroz (m1) para la producción de plantas de arándano durante la fase de endurecimiento. Las plantas cultivadas en m2 presentaron: más del doble de biomasa aérea (122% de aumento), 60% más biomasa radical, más del doble de biomasa total (108% de incremento), 46% mayor relación BSA/BSR, 91% mejor Índice de Calidad de Dickson. Estas diferencias se explican por las propiedades de la turba: alta capacidad de retención de humedad, alta capacidad de intercambio catiónico, pH ácido adecuado para la especie, y estabilidad física (Bowerman, 2012; Ortiz-Delvasto et al., 2023). La prueba de Tukey 5% para las variables de biomasa y calidad analizadas por

Tabla 16. Prueba DMS para las variables de biomasa y calidad por tipo de solución nutritiva y por tipo de mezcla de sustrato.
Table 16. DMS test for the biomass and quality variables by type of nutrient solution and by type of substrate mixture.

Factor en estudio	Promedio									
	BSA (g)		BSR (g)		BST (g)		BSA/BSR		ICD	
Solución nutritiva (S)										
s1	3,93	b	1,04		4,97	b	3,61	b	0,30	b
s2	5,65	a	1,14		6,80	a	5,20	a	0,38	a
Mezcla de sustrato (M)										
m1	2,98	b	0,84	b	3,82	b	3,58	b	0,23	b
m2	6,61	a	1,34	a	7,94	a	5,23	a	0,44	a

Tabla 17. Prueba de Tukey 5% para las variables de biomasa y calidad por tratamiento.
Table 17. Tukey's test (5%) for the biomass and quality variables per treatment.

Tratamiento	Promedio*									
	BSA (g)		BSR (g)		BST (g)		BSA/BSR		ICD	
T1 (s1m1)	1,72	c	0,76	b	2,48	c	2,34	b	0,18	c
T2 (s1m2)	6,14	a	1,32	a	7,46	a	4,88	a	0,41	a
T3 (s2m1)	4,24	b	0,93	b	5,17	b	4,82	a	0,29	b
T4 (s2m2)	7,07	a	1,36	a	8,43	a	5,59	a	0,47	a
T5 (Testigo)	3,75	b	0,83	b	4,58	b	4,59	a	0,26	bc

* Valores con la misma letra no son significativamente diferentes ($p \geq 0,05$).

* Values with the same letter are not significantly different ($p \geq 0.05$).

tratamiento (Tabla 17) muestra que los tratamientos con sustrato m2 (80% turba) son superiores a aquellos con sustrato m1 (20% turba) en todas las variables de biomasa y calidad evaluadas. La combinación T4 (s2m2: solución 25/75 + sustrato 80% turba) produce los mejores resultados en todas las variables, con valores de biomasa aérea (7,07 g), biomasa radical (1,36 g), biomasa total (8,43 g) e ICD (0,47) significativamente superiores a los demás tratamientos, excepto T2 con el que forma un grupo homogéneo. El tratamiento T2 (s1m2) es una alternativa viable, sin diferencias estadísticas con T4, siempre que se utilice el sustrato m2. El tratamiento T1 (s1m1) debe evitarse, ya que produce la peor calidad de planta, con valores de biomasa e ICD incluso inferiores al testigo sin fertilización. El testigo (T5), aunque produce plantas sin fertilización (con sustrato 100% cascarilla de arroz), alcanza solo niveles moderados de biomasa y calidad, muy inferiores a los logrados con las combinaciones óptimas.

La superioridad de T4 se debe a la sinergia entre la turba, que aporta acidez, humedad y capacidad de intercambio catiónico (Ortiz-Delvasto et al., 2023) y el 75% de amonio, que aprovecha la preferencia del arándano y acidifica la rizosfera (Yang et al., 2025; Zhang et al., 2022). Esta combinación produce plantas con más del doble de biomasa y un índice de calidad 2,6 veces superior a la peor combinación. Estos resultados se alinean con los obtenidos por Espino-

za-Orozco et al. (2025) y Yang et al. (2025), donde el NH_4^+ favoreció biomasa al acidificar y liberar Fe/Mn; y con los de Ortiz-Delvasto et al. (2023), donde la turba optimizó raíces y asimilados.

3.5. Análisis de correlación de variables

Los coeficientes de correlación de Pearson, y sus respectivos niveles de significancia para todas las variables evaluadas al final del experimento (Tabla 18), revela un patrón de correlaciones que tiene importantes implicaciones para la evaluación de calidad de planta en arándano durante la fase de endurecimiento.

Existen correlaciones positivas fuertes a muy fuertes entre la mayoría de las variables morfológicas (AP, DTP) y de biomasa (BSA, BSR, BST), así como con el ICD. Esto indica que el crecimiento en altura, el engrosamiento del tallo y la acumulación de biomasa ocurren de manera coordinada y proporcionada. El ICD se confirma como el mejor indicador integrador de calidad, con correlaciones fuertes a muy fuertes con todas las variables excepto IR. Su correlación casi perfecta con BST ($r = 0,92$) y muy fuerte con BSA ($r = 0,90$) y BSR ($r = 0,81$) lo validan como una herramienta excelente para evaluar la calidad integral de las plantas. El IR no se correlaciona significativamente con ninguna variable de biomasa ni con el ICD, lo que indica que no debe utilizarse como único indicador de calidad. Una planta puede ser robusta (IR bajo)

pero tener poca biomasa, o esbelta (IR alto) pero tener mucha biomasa y buena calidad integral. La AP y el DTP son buenos predictores de calidad, con correlaciones fuertes con ICD (0,78 y 0,72 respectivamente), lo que justifica su uso como indicadores rápidos en evaluaciones de campo. La biomasa aérea [BSA] es un excelente predictor de la biomasa total ($r = 0,99$) y

del ICD ($r = 0,90$), lo que sugiere que, en ausencia de la posibilidad de calcular el ICD, la BSA puede ser un buen indicador sustituto.

Estos hallazgos tienen importantes implicaciones prácticas para la evaluación de calidad de planta en viveros de arándano: se recomienda utilizar el ICD como indicador principal de calidad, complementado

Tabla 18. Prueba de correlación de Pearson para las variables evaluadas.

Table 18. Pearson test correlation for evaluated variables.

Variable 1	Variable 2	Pearson*	p-valor**
AP	DTP	0,62	<0,0001
AP	IR	0,1	0,5107
AP	BSA	0,9	<0,0001
AP	BSR	0,6	<0,0001
AP	BST	0,89	<0,0001
AP	BSA/BSR	0,62	<0,0001
AP	ICD	0,78	<0,0001
DTP	IR	-0,65	<0,0001
DTP	BSA	0,57	<0,0001
DTP	BSR	0,28	0,0482
DTP	BST	0,55	<0,0001
DTP	BSA/BSR	0,48	0,0004
DTP	ICD	0,72	<0,0001
IR	BSA	0,07	0,6274
IR	BSR	0,17	0,2503
IR	BST	0,09	0,5458
IR	BSA/BSR	-0,06	0,6968
IR	ICD	-0,21	0,134
BSA	BSR	0,71	<0,0001
BSA	BST	0,99	<0,0001
BSA	BSA/BSR	0,64	<0,0001
BSA	ICD	0,9	<0,0001
BSR	BST	0,78	<0,0001
BSR	BSA/BSR	-0,04	0,7686
BSR	ICD	0,81	<0,0001
BST	BSA/BSR	0,56	<0,0001
BST	ICD	0,92	<0,0001
BSA/BSR	ICD	0,39	0,0047

* Coeficiente de correlación entre las correspondientes variables: un coeficiente igual a cero indica la falta de asociación; mientras que cuando se acerca a 1 o -1 es mayor la intensidad de asociación (Coyne y Thompson, 2006).

* Correlation coefficient between the corresponding variables: a coefficient equal to zero indicates a lack of association, while the closer it is to 1 or -1, the greater the strength of the association (Coyne & Thompson, 2006).

** Probabilidad asociada a la prueba de hipótesis de correlación nula (sin correlación) (Balzarini et al., 2008).

** Probability associated with the hypothesis test for null correlation (no correlation) (Balzarini et al., 2008).

con mediciones de altura y diámetro, coincidiendo con los estudios de Osorio-Espinoza et al. (2025). El IR, aunque útil para describir la morfología, no debe ser el único criterio de calidad, y la fuerte correlación entre BSA y BSR ($r = 0,71$) indica que las plantas están desarrollando sistemas aéreos y radicales balanceados, lo que es favorable para su posterior desempeño en campo.

4. Conclusiones

Tanto la relación nitrato/amonio como la mezcla de sustrato influyeron significativamente en el crecimiento vegetativo del arándano, siendo la combinación óptima el tratamiento T4 (s2m2), caracterizado por una solución nutritiva con predominio de amonio ($25\% \text{NO}_3^- / 75\% \text{NH}_4^+$) y un sustrato con alto contenido de turba (80%), especialmente a partir de los 90 días después del trasplante, consolidándose como la

mejor opción para producir plantas vigorosas.

La calidad integral de la planta, evaluada mediante el ICD, fue significativamente superior en el tratamiento T4, que combinó la fuente nitrogenada amoniacal (s2) con la mezcla rica en turba (m2), ya que produjo las mayores acumulaciones de biomasa seca aérea, radical y total, con valores más del doble en comparación con las combinaciones menos eficientes.

El análisis de correlación demostró que el ICD es este estudio fue el mejor indicador integrador de la calidad de planta, presentando correlaciones muy fuertes con la biomasa seca total y con la altura; por el contrario, el IR no mostró correlación significativa con la biomasa o el ICD, lo que sugiere que no debe ser utilizado como único criterio para determinar la calidad de las plántulas; mientras que la biomasa seca aérea se confirmó como un excelente predictor de la calidad integral.

Contribuciones de los autores

- Damian Alejandro Orellana Zuleta: conceptualización, investigación, metodología, recursos, análisis formal, visualización, redacción – borrador original.
- Víctor Julio Moreno Izquierdo: software, visualización, redacción – revisión y edición.
- Yamil Everaldo Cartagena Ayala: conceptualización, investigación, metodología, curación de datos, validación, redacción – revisión y edición.
- Dafne Isaac Serrano Pérez: validación, redacción – revisión y edición.

Disponibilidad de datos

Los datos estarán disponibles previa solicitud.

Declaración de Uso de Inteligencia Artificial

Durante la preparación de este manuscrito, los autores utilizaron SciSpace con el fin de consultar artículos científicos, en un 8%. Tras utilizar esta herramienta/servicio/software, los autores revisaron y editaron el contenido, para evitar sesgos, errores o fabricación de referencias, y asume toda la responsabilidad por el contenido del artículo publicado.

Implicaciones éticas

Los autores declaran que no existen implicaciones éticas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Referencias

- Anwar, A., Zheng, J., Chen, C., Chen, M., Xue, Y., Wang, J., Su, W., Chen, R., y Song, S. (2024). Effects of $\text{NH}_4^+\text{-N}$: $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 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>
- Arias, M. I., Nario, A., Rojas, K., Blanc, P., y Bonomelli, C. (2024). Newly Established Blueberry Plants: The Role of Inorganic Nitrogen Forms in Nitrogen and Calcium Absorption. *Horticulturae*, 10(11), 1168. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10111168>
- Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J.A., y Robledo, C.W. (2008). *Infostat. Manual del Usuario*. Editorial Brujas.
- Bignami, C., Melegari, F., Zaccardelli, M., Pane, C., y Ronga, D. (2022). Composted solid digestate and vineyard winter prunings partially replace peat in growing substrates for micropropagated Highbush Blueberry in the Nursery. *Agronomy*, 12(2), 337. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020337>
- Bowerman, J. R. (2012). *Propagation of Vaccinium arboreum by stem cuttings for use as a rootstock for commercial blueberry production*. Auburn University. <https://etd.auburn.edu/handle/10415/3037>
- Bryla, D. R., Machado, R. M. A., Leon-Chang, D. P., y Orr, S. T. (2025). Fertigation with nitrogen and other nutri-

- ents in northern highbush blueberry. *Acta Horticulturae*, (1440), 513–520. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2025.1440.70>
- Cárdenas-Navarro, R., Luna-Béjar, J. A., Castellanos-Morales, V. del C., Bravo-Hernández, N. L., y López-Pérez, L. (2024). Effect of the concentration and ionic form of nitrogen (N) on photosynthesis, growth and fruit production of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Biotechnia*, 26, e2325. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v26.2325>
- Cárdenas-Navarro, R., Torres-Huerta, D., Bravo-Hernández, N. L., y López-Pérez, L. (2025). Optimizing Ammonium Concentration in the Irrigation Solution of Pot-Grown Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) Plants for Yield and Quality. *Revista Terra Latinoamericana*, 43, e2103. <https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v43i.2103>
- Coyne, M. S., y Thompson, J. A. (2006). *Math for soil scientists*. Thomson/Delmar Learning.
- Cruzatty, L. C. G., y Vollmann, J. E. S. (2012). Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, 7(3), 456–464. <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i3a1736>
- De la Peña, M., Marín-Peña, A. J., Urmeneta, L., Coletto, I., Castillo-González, J., van Liempd, S. M., Falcón-Pérez, J. M., Álvarez-Fernández, A., González-Moro, M. B., y Marino, D. (2022). Ammonium nutrition interacts with iron homeostasis in *Brachypodium distachyon*. *Journal of Experimental Botany*, 73(1), 263–274. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab427>
- Espinoza-Orozco, L. E., Peralta-Manjarrez, R. M., Cabrera-De la Fuente, M., Benavides-Mendoza, A., Sandoval-Rangel, A., y Olivares-Sáenz, E. (2025). Optimización de las proporciones de nitrógeno para arándanos cultivados bajo medio salino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(8), e4138. <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i8.4138>
- Fall Creek Farm & Nursery. (2026). *Fall Creek®*. <http://www.fallcreeknursery.com>
- Gordó, M. (2008). *Guía práctica para el cultivo de arándanos en la zona norte de la Provincia de Buenos Aires*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], EEA San Pedro.
- Gurrola Nieblas, J. E. (2020). *Respuesta del arándano (Vaccinium corymbosum L.) a la fertilización de amonio y nitrato en hidroponía con raíces separadas*. Colegio de Postgraduados. <http://hdl.handle.net/10521/4345>
- Jones, A., Naroju, S. P., Nandwani, D., Witcher, A., y Chowdhury, S. (2025). Sustainable substrate strategies for urban vertical farming: A case study on organic leafy greens. *Urban Agriculture & Regional Food Systems*, 10(1), e70034. <https://doi.org/10.1002/uar.2.70034>
- Langenfeld, N. J. y Bugbee, B. (2025). Adding ammonium through automated pH control in zero-discharge liquid hydroponics to maintain low, steady-state concentrations. *HortScience*, 60(9), 1555–1560. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI18771-25>
- Mesa Torres, P. A. (2015). *Algunos aspectos de la fenología, el crecimiento y la producción de dos cultivares de arándano (Vaccinium corymbosum L. x V. darowii) plantados en Guasca (Cundinamarca, Colombia)*. Universidad Militar Nueva Granada. <https://hdl.handle.net/10654/6675>
- Mollericon Alfaro, M. D., y Calle Laime, E. E. (2021). Evaluación morfológica de plantines de cacao (*Theobroma cacao* L.) y palta (*Persiana americana* Mill) en fase de vivero, Estación Experimental Sapecho. *Apthapi*, 7(3), 2229–2235. <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/109>
- Morales Alcayaga, C. G. (Ed.). (2017). *Manual de manejo agronómico del arándano* (Boletín INIA N.º 371). Instituto de Investigaciones Agropecuarias [INIA]. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6673>
- Mshweshwe, A., Mfeka, N., Lewu, F. B., y Tanga, M. (2025). Blueberry cultivation under different nitrogen sources: A review. *Journal of Medicinal Plants for Economic Development*, 9(1), e293. <https://doi.org/10.4102/JOMPED.v9i1.293>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2025). *FAOSTAT: Cultivos y productos de ganadería* [Arándano, año 2024]. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Ortiz-Delvasto, N., García-Ibañez, P., Olmos-Ruiz, R., Bárzana, G., y Carvajal, M. (2023). Substrate composition affects growth and physiological parameters of blueberry. *Scientia Horticulturae*, 308, 111528. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111528>
- Osorio, R., Cáceres, C., y Covarrubias, J. I. (2020). Vegetative and physiological responses of “emerald” blueberry to ammoniacal sources with a nitrification inhibitor. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(2), 507–515. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00135-7>
- Osorio-Espinoza, H., Marroquín-Agreda, F. J., Falcón-Oconor, E., Toledo-Toledo, E., Barrera-Rodríguez, E., y Lerma-Molina, J. N. (2025). Organic substrates improve the quality of *Swietenia mahagoni* (L.) Jacq. under nursery conditions. *Agro Productividad*, 18(8), 15–24. <https://doi.org/10.32854/mdw8pb92>
- Peñuelas Montoya, F., Sánchez Portillo, J. F., Ruiz Martínez, F., y Fuentes Verduzco, C. (2024). Morfología de la planta de arándano *Vaccinium corymbosum* L. cv. “Biloxi” bajo mallas fotoselectivas en Sinaloa, México. *Temas Agrarios*, 29(2), 151–170. <https://doi.org/10.21897/ynpsv266>
- Retamales, J. B., Palma, M. J., Morales, Y. A., Lobos, G. A., Moggia, C. E., y Mena, C. A. (2014). Blueberry production in Chile: current status and future developments. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(1), 58–67. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-446/13>
- Rivière, L.-M., y Caron, J. (2001). Research on substrates: State of the art and need for the coming 10 years. *Acta Horticulturae*, (548), 29–42. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.548.1>
- Rojas Mego, K. C. (2024). *Efecto de la forma (NH₄⁺ o NO₃⁻) y momento de aplicación de fertilizantes nitrogenados en el establecimiento de arándano Vaccinium corymbosum L. en macetas en el Sur de Chile*. Pontificia Universidad Católica de Chile. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/86844>
- Schafer, G., y Lerner, B. L. (2022). Physical and chemical characteristics and analysis of plant substrate. *Ornamental Horticulture*, 28(2), 181–192. <https://doi.org/10.1590/2447-536x.v28i2.2496>
- Spiers, J. M., Stringer, S. J., Draper, A. D., y Gupton, C. L. (2002). “Biloxi” southern highbush blueberry. *Acta Horticulturae*, (574), 153–155. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.574.21>
- Tamir, G., Afik, G., Zilkah, S., Dai, N., y Bar-Tal, A. (2021). The use of increasing proportions of N-NH₄⁺ among the total applied inorganic N to improve acidification and the nutritional status and performance of blueberry plants in soilless culture. *Scientia Horticulturae*, 276, 109754. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109754>

- Tamir, G., Ziv, E., Bar-Tal, A., y Dai, N. (2025). Combined effects of N-NH₄ level and a nitrification inhibitor on the performance of blueberry in high and low pH-buffer media. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 25(2), 3391–3405. <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02341-y>
- Undurraga Díaz, P., y Vargas Schüldes, S. (2013). *Manual del arándano. Chillán, Chile: Boletín INIA, N° 263*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias [INIA], Centro Regional de Investigación Quilamapu. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7627>
- Vásquez-Castillo, W., Serrano-Ibarra, A., Escobar, S., Moncayo, P., y Meléndez-Jácome, M. R. (2026). Agro-morphological and physicochemical evaluation of blueberry varieties (*Vaccinium corymbosum* L.) in the Ecuadorian Andes. *Agronomy*, 16(13), 1288. <https://doi.org/10.3390/agronomy16131288>
- Xu, J., Fang, Y., Tavakkoli, E., Pan, X., Liao, F., Chen, W., y Guo, W. (2021). Preferential ammonium: nitrate ratio of blueberry is regulated by nitrogen transport and reduction systems. *Scientia Horticulturae*, 288, 110345. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110345>
- Yang, H., Wu, Y., Zhang, C., Lyu, L., Wu, W., Huang, Z., y Li, W. (2025). Growth and Physiological Traits of Blueberry Seedlings in Response to Different Nitrogen Forms. *Plants*, 14(10), 1444. <https://doi.org/10.3390/plants14101444>
- Yuan-Yuan, Z., Jun-Ping, T., Jun, C., Yu-Hui, H., y Yu-Shi, L. (2021). Effects of different NH₄⁺/NO₃⁻ ratios on the photosynthetic and physiology responses of blueberry (*Vaccinium* spp.) seedlings growth. *Journal of Plant Nutrition*, 44(6), 854–864. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1871754>
- Zhang, C., Luo, J.-J., Zuo, J.-B., Zhang, Z., Wang, S.-T., Zhang, X.-J., Fu, T.-S., y Feng, Y.-L. (2022). Transcripts related with ammonium use and effects of gibberellin on expressions of the transcripts responding to ammonium in two invasive and native *Xanthium* species. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1035137>