

## Optimización de las proporciones de nitrógeno para arándanos cultivados bajo medio salino

Luis E. Espinoza-Orozco<sup>1</sup>

Rocío M. Peralta-Manjarrez<sup>2,§</sup>

Marcelino Cabrera-De la Fuente<sup>3</sup>

Adalberto Benavides-Mendoza<sup>3</sup>

Alberto Sandoval-Rangel<sup>3</sup>

Emilio Olivares-Sáenz<sup>4</sup>

1 Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Departamento de Horticultura. Calzada Antonio Narro 1923, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315. ([enrique.espinoza.orozco@gmail.com](mailto:enrique.espinoza.orozco@gmail.com)).

2 Postdoctorante SECITHI-Departamento de Horticultura-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315.

3 Departamento de Horticultura-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315. ([asandoval@gmail.com](mailto:asandoval@gmail.com); [cafum7@yahoo.com](mailto:cafum7@yahoo.com); [abenmen@gmail.com](mailto:abenmen@gmail.com)).

4 Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Nuevo León. Francisco I. Madero S/N, Hacienda el Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. CP. 66050. ([emolivares@gmail.com](mailto:emolivares@gmail.com)).

Autor para correspondencia: [rperaltam@hotmail.com](mailto:rperaltam@hotmail.com).

### Resumen

La producción de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) en México se encuentra en rápida expansión; sin embargo, el manejo del nitrógeno y el estrés salino siguen siendo desafíos importantes. Este estudio evaluó los efectos de la fertilización con amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), con o sin cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ , 30 mM), sobre el crecimiento, el rendimiento y la calidad del fruto del arándano 'Biloxi' cultivado en sustrato de fibra de coco. Se empleó un diseño factorial 3x3 completamente aleatorizado más un control, variando la fuente de nitrógeno, la concentración (75% y 100%) y la salinidad. El  $\text{NH}_4^+$  incrementó significativamente la biomasa (121.2%), la producción de flores (316%), el número de frutos (231%) y el rendimiento (162.7%) en comparación con el  $\text{NO}_3^-$ . Una dosis de N del 100% mejoró los brotes (19.5%) y el conteo de frutos (43.4%), pero redujo el tamaño del fruto. La salinidad redujo el número de frutos (-70.3%) y el rendimiento (-53.1%) sin afectar el crecimiento vegetativo. Las interacciones significativas entre la fuente de nitrógeno, su concentración y la salinidad influyeron en la floración, la calidad y las características agronómicas. Los resultados indican que la fertilización con  $\text{NH}_4^+$  mejora la productividad del arándano en condiciones salinas, lo que favorece estrategias de gestión del nitrógeno más eficientes.

### Palabras clave:

amonio, calidad, estrés, nitrato, rendimiento, *Vaccinium corymbosum* L.

## Introducción

En la última década, México se ha convertido en uno de los cinco principales productores mundiales de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.), con un crecimiento anual en el área cultivada y un rendimiento superior al 15%, concentrado principalmente en Jalisco, Michoacán, Sinaloa, Baja California y Guanajuato (Trejo-Pech *et al.*, 2024). Esta expansión está impulsada por la creciente demanda internacional y las reconocidas propiedades nutraceuticas de la fruta (Krishna *et al.*, 2023), fomentando el cultivo en regiones con condiciones edafoclimáticas específicas: altitudes entre 1 500-4 700 m, temperaturas que oscilan entre 3-17 °C, suelos ácidos (pH 4-5) y conductividad eléctrica (CE) entre 0.25 y 1.5 dS m<sup>-1</sup> (Meléndez-Jácome *et al.*, 2021).

Como especie calcífuga, el arándano muestra una preferencia por el amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>); no obstante, varios estudios informan que el nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) puede mejorar la asimilación de nitrógeno y mejorar los rasgos fisiológicos y agronómicos (Alt *et al.*, 2017; Anwar *et al.*, 2024). Si bien el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> puede estimular el crecimiento temprano, también aumenta la CE del sustrato, lo que puede inducir estrés salino y limitar el desarrollo de las plantas (Machado *et al.*, 2014; Hirzel *et al.*, 2024).

Por el contrario, se ha demostrado que la fertilización con NO<sub>3</sub><sup>-</sup> promueve la fotosíntesis, la acumulación de compuestos antioxidantes y la tolerancia al estrés, particularmente en condiciones salinas (Leal-Ayala *et al.*, 2021; Cárdenas-Navarro *et al.*, 2024). Dado que el estrés salino interrumpe procesos fisiológicos clave, pero también puede inducir una síntesis antioxidante beneficiosa (Krishna *et al.*, 2023), es crucial evaluar estrategias nutricionales que mitiguen sus efectos. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de diferentes relaciones NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, combinadas con NaCl, en el crecimiento y rendimiento del arándano, con el objetivo de optimizar el manejo del nitrógeno bajo estrés por salinidad.

## Materiales y métodos

### Condiciones experimentales y material vegetal

El experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero de baja tecnología en Ascensión, Aramberri, Nuevo León, México (24° 20' 14.96" N, 99°56' 9.5" W; 1 961 msnm; temperatura media anual 15.6 °C). Las plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), variedad Biloxi, propagadas *in vitro* y adquiridas en macetas de 1 L, se trasplantaron el 2 de octubre de 2023 en bolsas de plástico de 50 x 50 cm llenas con 20 L de fibra de coco prelavada de textura media. Durante la aclimatación, las plantas recibieron una solución nutritiva estándar (SN1) compuesta de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 4H<sub>2</sub>O, MgSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y micronutrientes, de acuerdo con Frías-Ortega *et al.* (2020).

### Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño completamente al azar con nueve tratamientos: ocho de una combinación factorial 3 x 3 de fuente de nitrógeno (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> o NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), concentración (75% o 100%) y salinidad (0 o 30 mM NaCl), y 50/50 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (control). Los tratamientos fueron: T1: NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 100%; T2: NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 100% + NaCl; T3: NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 75%; T4: NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 75% + NaCl; T5: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 100%; T6: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 100% + NaCl; T7: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 75%; T8: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 75% + NaCl; T9: 50% NH<sub>4</sub><sup>+</sup> / 50% NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Cada tratamiento tuvo 10 repeticiones (una planta por maceta), dispuestas en un área de 48 m<sup>2</sup>, con hileras orientadas de norte a sur, con espaciamiento de 0.3 m entre macetas y 0.8 m entre hileras. Se utilizó malla antiáfidos para evitar el contacto con el suelo.

### Aplicación de tratamientos y fertirriego

Los tratamientos comenzaron el 1 de abril de 2024. El riego fue manual y diario, utilizando soluciones nutritivas específicas para el tratamiento (Cuadro 1), con drenaje de 6-20%. Características del agua: CE 0.51 dS m<sup>-1</sup>, pH 6.95, y contenía Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

Los fertilizantes incluidos fueron: A)  $K_2SO_4$ ; B)  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ; C)  $(NH_4)_2SO_4$ ; D)  $KH_2PO_4$ ; E)  $KNO_3$ ; F)  $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ; G)  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ; H)  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ; I)  $(NH_4)_2SO_4$  y J) micronutrientes (Cuadro 1). Para los tratamientos de salinidad (T2, T4, T6 y T8), el riego una vez a la semana incluyó solo 30 mM de NaCl.

**Cuadro 1. Fertilizantes utilizados en la formulación de soluciones nutritivas ( $g L^{-1}$ ).**

Tratamientos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	(g $L^{-1}$ )									
T1-T2	0.17		0.08				0.22	0.19	0.35	0.02
T3-T4	0.17		0.08			0.14	0.1	0.19	0.25	0.02
T5-T6	0.04	0.22		0.09	0.19	0.26	0.06			0.02
T7-T8	0.11	0.22		0.09	0.03	0.26			0.09	0.02
T9	0.13			0.09		0.26		0.19	0.16	0.02

## Mediciones de crecimiento y rendimiento

Cada 14 días durante 182 días, a dos tallos marcados por planta se les midió la longitud (cm), el diámetro (mm), el número de hojas, los brotes secundarios y las yemas. El recuento de flores incluyó corolas blancas completamente desarrolladas. Se contaron frutos con diámetro  $>5$  mm. El 4 de marzo de 2025 se recolectó biomasa de brotes cortando tallos a 30 cm por encima de la corona, se cortó en trozos de 3-5 cm, se pesó en fresco y se secó a  $28.3^\circ C$  hasta un peso constante.

## Parámetros de calidad y rendimiento del fruto

La cosecha comenzó 180 días después del inicio del tratamiento. Para cada cosecha, a un fruto aleatorio se le midió el diámetro polar y ecuatorial (mm). Para el análisis de rendimiento se consideraron todos los frutos con un diámetro de 8-13 mm, excluyendo los valores atípicos (Cortés-Rojas *et al.*, 2016). Se registró el número total de frutos y el rendimiento acumulado (g) por planta. Se extrajo el jugo (0.5 mL) y se midió el contenido de sólidos solubles ( $^{\circ}Brix$ ) y la temperatura del jugo utilizando un refractómetro digital (HANNA HI96801).

## Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando IBM SPSS v25. Se aplicó Anova para detectar los efectos del tratamiento y se utilizó la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) para las comparaciones *post hoc* donde se encontraron diferencias significativas.

## Resultados

### Características agronómicas

Las plantas fertilizadas con  $NH_4^+$  exhibieron valores significativamente más altos en todas las variables medidas en comparación con las tratadas con  $NO_3^-$ : longitud del tallo (18.1%), diámetro (21.3%), número de hojas (41.7%), brotes secundarios (70.6%), brotes totales (42.5%), flores (316%) y frutos (193.5%). La biomasa también aumentó un 121.2% (209.4 g vs 94.7 g con  $NO_3^-$  (Cuadro 2). Estos hallazgos se alinean con los informes que muestran que el  $NH_4^+$  promueve el desarrollo de las raíces y la absorción de nutrientes (Arias *et al.*, 2024), aunque el manejo adecuado del pH es fundamental para una asimilación efectiva (Jiang *et al.*, 2019).

**Cuadro 2. Comportamiento agronómico del arándano bajo diferentes fuentes de nitrógeno en medio salino.**

Factor	Nivel	LT (cm)	DT (mm)	NH (Nº)	BS (Nº)	BT (Nº)	Fo (Nº)	Fr (Nº)	MS (g)
(N)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	42.1a	4.2a	27.9a	2.1a	66.8a	100.4a	140.4a	209.4a
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	35.6b	3.4a	19.7b	1.2b	46.9c	24.2c	47.9c	94.6c
	Control	38.7ab	4a	25.2a	1.8ab	53.6b	41.7b	80.8b	168.8b
(C)	100	39a	3.8a	22.5a	1.7a	61.9a	67.9a	110.9a	155.3a
	75	38.7a	3.8a	25.1a	1.7a	51.8b	56.6b	77.4b	148.7a
	Control	38.7a	4a	25.2a	1.8a	53.6b	41.7a	80.8ab	168.8a
(S)	30	37.9a	3.6a	22.9a	1.4b	54.9a	51.8b	78.2b	165.3a
	0	39.9a	4a	24.7a	2a	58.8a	72.7a	110a	138.7b
	Control	38.7a	4a	25.2a	1.8ab	53.6a	41.7b	80.8ab	168.8a
Interacción									
N x C		0.01	0.05	0.01	0.11	0	0	0	0
N x S		0.74	0.34	0.8	0.64	0.81		0.93	0.69
C x S		0.17	0.59	0.18	0.11	0.53		0.94	0.13
N x C x S		0.13	0.05	0.02	0.04	0.44	0.01	0.12	0.58

LT= longitud del tallo (cm); DT= diámetro del vástago (mm); NH= número de hojas; BS= brotes secundarios; BT= brotes totales; Fo= número de flores; Fr= número de frutos; MS= materia seca; tipo de N (N); concentración (C) y NaCl (S, mM). Diferentes letras en las medias por columna en cada factor indican diferencias significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Por el contrario, la menor eficiencia del NO<sub>3</sub><sup>-</sup> puede deberse a sus mayores demandas energéticas de reducción (Ali, 2020; Berger *et al.*, 2020). No obstante, Alt *et al.* (2017) observaron que las plantas de arándano pueden adaptarse al NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y activar la nitrato reductasa, destacando su plasticidad metabólica. El aumento de la concentración de nitrógeno al 100% mejoró aún más el número de brotes (19.5%), flores (20.1%) y frutos (43.4%) en comparación con N al 75% (Cuadro 2). Estos resultados respaldan el papel del nitrógeno en la síntesis de aminoácidos, enzimas y hormonas esenciales para el desarrollo floral (Santiago y Sharkey, 2019; Cárdenas-Navarro *et al.*, 2024). Cabe destacar que la producción de frutos aumentó un 43.3% en plantas con N al 100% vs 75% (Cuadro 2) y un 87.4% en frutos cosechados (Cuadro 3).

La salinidad a 30 mM de NaCl redujo los brotes secundarios (-30.4%), las flores (-28.8%) y los frutos (-28.9%), mientras que el crecimiento vegetativo (LT, DT, NH y BT) no se vio afectado (Cuadro 2). Estos efectos se atribuyen a que Na<sup>+</sup> desplaza a K<sup>+</sup>, lo que inhibe las enzimas relacionadas con la floración (Wu, 2018; Atta *et al.*, 2023). Los hallazgos se alinean con Molnar *et al.* (2024), quienes documentaron la supresión del crecimiento de brotes bajo estrés salino *in vitro*. Se observaron interacciones significativas entre la fuente de N x la concentración (N x C) para la mayoría de los rasgos agronómicos (LT, DT, NH, BT, Fo, Fr y MS (Cuadro 2). NH<sub>4</sub><sup>+</sup> al 100% mostró la respuesta más fuerte. Con un 75%, las diferencias entre las fuentes de N disminuyeron, pero el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aún superó al NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en términos de brotes, flores y materia seca. Esto sugiere una modulación iónica dependiente de la concentración (Cárdenas-Navarro *et al.*, 2024).

Bajo salinidad, la fertilización con NH<sub>4</sub><sup>+</sup> redujo aún más la floración, mientras que el NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mantuvo la producción, probablemente debido a la acidificación apoplástica inducida por NH<sub>4</sub><sup>+</sup> que exacerba la entrada de Na<sup>+</sup> y limita la absorción de K<sup>+</sup> y Ca<sup>2+</sup> (Shilpha *et al.*, 2023). Por lo tanto, la forma y la concentración de nitrógeno deben optimizarse conjuntamente en condiciones salinas.

## Comportamiento productivo

El NH<sub>4</sub><sup>+</sup> superó significativamente al NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en número total de frutos (231%) y rendimiento acumulado (162.7%) en comparación con el NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y 147.8% y 68% frente al control, respectivamente (Cuadro 3). Los tamaños de fruto 9-12 predominaron tanto en los tratamientos de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> como en los de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, aunque el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aumentó ligeramente la participación (81.4% vs 78.5%). Con N al 100%, el recuento de frutos por planta aumentó en un 87.2% vs N al 75% y en un 110.2% vs el control.

El rendimiento acumulado aumentó un 35.7% sobre el control y un 40.8% sobre N al 75% (Cuadro 3). Los tamaños de fruto 9-12 también predominaron a un N más alto.

**Cuadro 3. Comportamiento productivo del arándano bajo diferentes fuentes de nitrógeno en medio salino.**

Factor	Nivel	8	9	10	11	12	13	FT	RA
Tamaño									
(N)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	8.9a	22.2a	39.9a	31.6a	22.5a	10.7a	142.4a	71.7a
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.3b	5.3b	10.1b	9.8b	8.5b	4.4b	43b	27.3b
	Control	0.8b	3.3b	12.6ab	14.3b	13.9b	8.1ab	57.5b	42.6b
(C)	100	9.4a	21.6a	36a	23.5a	17.9a	7.5a	120.9a	57.9a
	75	1.9b	5.9b	14a	17.9a	12.75a	7.6a	64.6b	41.1a
	Control	0.8b	3.3b	12.6a	14.3a	13.9a	8.1a	57.5b	42.6a
(S)	30	3.7ab	11.4ab	17a	16.9a	10.95b	5.4a	68.6b	39.1b
	0	7.6a	16.13a	33a	24.5a	19.7a	9.7a	116.8a	59.9a
	Control	0.8b	3.3b	12.6a	14.3a	13.9ab	8.1a	57.5ab	42.6a
Interacción									
N x C		0.02	0	0.03	0.05	0.03	0.08	0.01	0.03
N x S		0.02	0.5	0.23	0.6	0.58	0.75	0.27	0.79
C x S		0.09	0.25	0.11	0.91	0.95	0.45	0.3	0.95
N x C x S		0.12	0.95	0.4	0.87	0.5	0.55	0.76	0.62

Los factores 8 a 13 corresponden al número de frutos por tamaño, frutos totales cosechados (FT, cantidad), rendimiento acumulado (RA, g), tipo de N (N), concentración (C) y NaCl (S, mM). Diferentes letras en cada columna para cada factor indican diferencias significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Estos resultados resaltan la importancia del N en la producción de clorofila y la fotosíntesis, mejorando la disponibilidad de energía para el desarrollo reproductivo (Zhang *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2023). Se han reportado puntos de saturación alrededor de 206-222 kg N ha<sup>-1</sup> (Fang *et al.*, 2020b), validando el 100% como óptimo. Doyle *et al.* (2021) enfatizaron la eficiencia de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en la translocación de carbohidratos sin causar estrés osmótico.

La salinidad (30 mM de NaCl) redujo la producción total de frutos en un 70.3% en comparación con las condiciones no salinas (116.9 vs. 68.6 frutos planta<sup>-1</sup>), y el rendimiento disminuyó un 53.1% (Cuadro 3). Los tamaños de los frutos disminuyeron, especialmente el tamaño 10 (-94.3%), lo que indica una restricción en la expansión del parénquima debido al estrés osmótico (Denaxa *et al.*, 2022). La interacción N x C fue significativa para los tamaños de fruto 8-12, frutos totales y rendimiento. El NH<sub>4</sub><sup>+</sup> al 100% alcanzó los valores más altos, mientras que el NO<sub>3</sub><sup>-</sup> se comportó mejor al 75%, lo que confirma la importancia de optimizar tanto la fuente como la concentración. Ni las interacciones C x S ni N x C x S mostraron diferencias significativas, excepto para el tamaño 8 (Cuadro 3), lo que indica que los efectos de la salinidad fueron en gran medida independientes de la fuente de N.

## Comportamiento de calidad

Los tratamientos con NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no mostraron diferencias significativas en el diámetro, peso, firmeza o sólidos solubles de la fruta (Cuadro 4), lo que es consistente con estudios previos (Petridis *et al.*, 2018; Anwar *et al.*, 2024). Estos rasgos están controlados principalmente por la genética y están vinculados a la dinámica fuente-sumidero (Ferrão *et al.*, 2018).





**Cuadro 4. Comportamiento de calidad del arándano bajo diferentes fuentes de nitrógeno en medio salino.**

Factor	Niveles	DE	DP	P	SST	T
(N)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	11.87 b	8.92 a	0.78 a	14.51 a	20.61 a
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	11.8 b	8.91 a	0.75 a	13.42 ab	17.49 b
	Control	12.25 a	9.12 a	0.81 a	13.35 b	17.11 a
(C)	100	11.58 b	8.75 b	0.72 b	14.41 a	19.19 a
	75	11.86 b	8.96 a	0.77 a	13.51 a	18.91 a
	Control	12.47 a	9.26 a	0.86 a	13.35 a	17.11 b
(S)	30	11.47 c	8.7 b	0.7 b	14.4 a	19.51 a
	0	11.98 b	9.01 b	0.79 a	13.52 a	18.59 b
	Control	12.47 a	9.26 a	0.86 a	13.35 a	17.11 c
Interacción						
N x C		0.78	0.29	0.40	0.79	0
N x S		0	0	0.05	0.01	0
C x S		0.39	0.05	0.09	0.15	0
N x C x S		0.85	0.73	0.92	0.46	0

Diámetro ecuatorial (DE, mm), diámetro polar (DP, mm), peso (g), sólidos solubles totales (SST, oBrix) y temperatura del jugo de fruta (T, °C). Diferentes letras por columna para cada factor indican diferencias significativas (prueba de Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Sin embargo, el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aumentó la temperatura del jugo en un 17.9%, probablemente debido a una mayor respiración y acumulación de azúcar (Shilpha *et al.*, 2023; Duan *et al.*, 2023). Los azúcares solubles aumentaron un 8.7% con NH<sub>4</sub><sup>+</sup> vs un 0.5% con NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Con N al 100%, el tamaño y el peso de los frutos disminuyeron (-7.1% DE, -5.5% DP, -16.3% peso), probablemente debido a la dilución de recursos entre más frutos (Jorquera-Fontena *et al.*, 2018; Doyle *et al.*, 2021). Los sólidos solubles permanecieron estables, lo que indica un transporte homeostático de azúcares (Sellami *et al.*, 2019). La temperatura del jugo aumentó en un 12.2% (100%) y un 10.6% (75%).

La salinidad (30 mM de NaCl) causó una reducción significativa en el DE, DP y el peso (-8%, -6%, -18.6% (Cuadro 4). Los sólidos solubles aumentaron ligeramente (7.9%) como respuesta al estrés, y la temperatura del jugo aumentó un 14%. La interacción N x S fue significativa para el DE, DP, la firmeza y los SST. La interacción combinada de N x C x S solo afectó la temperatura del jugo, lo que indica que la acumulación térmica es particularmente sensible a las interacciones entre nutrientes y salinidad (Cuadro 4). Los suministros moderados de N mejoran el transporte de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, la actividad de GS/GOGAT y la osmoprotección (Nazir *et al.*, 2023; Farvardin *et al.*, 2020). Además, la señalización redox apoplástica explica la reducción de la floración bajo altos niveles de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y salinidad (Kesawat *et al.*, 2023).

## Conclusiones

La fuente y concentración de nitrógeno, en interacción con la salinidad, influyó significativamente en el rendimiento vegetativo y reproductivo de las plantas de arándano. La fertilización con amonio promovió consistentemente un mayor vigor de los brotes, floración y cuajado de frutos en comparación con el nitrato, particularmente a concentraciones más altas de nitrógeno. Por el contrario, las condiciones salinas redujeron notablemente el desarrollo reproductivo, al tiempo que ejercieron efectos mínimos sobre el crecimiento vegetativo. Estos hallazgos resaltan la importancia crítica de optimizar la forma y la dosis de nitrógeno para mejorar la productividad y mitigar los efectos adversos de la salinidad. Las interacciones significativas entre la fuente de nitrógeno, la concentración y el estrés por salinidad refuerzan la necesidad de estrategias integradas de manejo de nutrientes adaptadas a ambientes salinos en el cultivo de arándanos.

## Agradecimientos

Al personal investigador de apoyo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) y a la beca para estudiantes de posgrado del CONACYT.

## Bibliografía

- 1 Ali, A. 2020. Nitrate assimilation pathway in higher plants: critical role in nitrogen signaling and utilization. *Plant Science Today*. 7(2):182-192. <https://doi.org/10.14719/PST.2020.7.2.637>.
- 2 Alt, D. S.; Doyle, J. W. and Malladi, A. 2017. Nitrogen-source preference in blueberry (*Vaccinium* sp.): enhanced shoot nitrogen assimilation in response to direct supply of nitrate. *J. Plant Physiol*. 216(1):79-87. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.05.014>.
- 3 Anwar, A.; Zheng, J.; Chen, C.; Chen, M.; Xue, Y.; Wang, J.; Su, W.; Chen, R. and Song, S. 2024. Effects of  $\text{NH}_4^+$ -N:  $\text{NO}_3^-$ -N ratio on growth, nutrient uptake and production of blueberries (*Vaccinium* spp.) under soilless culture. *Front Plant Sci*. 15(1438811):1-16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1438811>.
- 4 Arias, M. I.; Nario, A.; Rojas, K.; Blanc, P. and Bonomelli, C. 2024. Newly established blueberry plants: the role of inorganic nitrogen forms in nitrogen and calcium absorption. *Horticulturae*. 10(11):1-11. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10111168>.
- 5 Atta, K.; Mondal, S.; Gorai, S.; Singh, A. P.; Kumari, A.; Ghosh, T.; Roy, A.; Hembram, S.; Gaikwad, D. J.; Mondal, S.; Bhattacharya, S.; Jha, U. C. and Jespersen, D. 2023. Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. *Front Plant Sci*. 14(1241736):1-21. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1241736>.
- 6 Berger, A.; Boscari, A.; Horta-Araújo, N.; Maucourt, M.; Hanchi, M.; Bernillon, S.; Rolin, D.; Puppo, A. and Brouquisse, R. 2020. Plant nitrate reductases regulate nitric oxide production and nitrogen-fixing metabolism during the medicago truncatula-sinorhizobium meliloti symbiosis. *Front Plant Sci*. 11(1313):1-16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01313>.
- 7 Cárdenas-Navarro, R.; Luna-Béjar, J. A.; Castellanos-Morales, V. C.; Bravo-Hernández, N. L. and 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.). *Biotecnia*. 26(e2325):9. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v26.2325>.
- 8 Denaxa, N. K.; Nomikou, A.; Malamos, N.; Liveri, E.; Roussos, P. A. and Papatotiroopoulos, V. 2022. Salinity effect on plant growth parameters and fruit bioactive compounds of two strawberry cultivars, coupled with environmental conditions monitoring. *Agronomy*. 12(10):1-20. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102279>.
- 9 Doyle, J. W.; Nambeesan, S. U. and Malladi, A., 2021. Physiology of nitrogen and calcium nutrition in blueberry (*Vaccinium* sp.). *Agronomy*. 11(4):765:1-25. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040765>.
- 10 Duan, Y.; Yang, H.; Wei, Z.; Yang, H.; Fan, S.; Wu, W.; Lyu, L. and Li, W. 2023. Effects of different nitrogen forms on blackberry fruit quality. *Foods*. 12(2):1-18. <https://doi.org/10.3390/foods12122318>.
- 11 Fang, Y.; Nunez, G. H.; Silva, M. N.; Phillips, D. A. and Munoz, P. R. 2020a. A review for Southern Highbush Blueberry alternative production systems. *Agronomy*. 10(10):1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101531>.
- 12 Farvardin, A.; González-Hernández, A. I.; Llorens, E.; García-Agustín, P.; Scalschi, L. and Vicedo, B. 2020. The apoplast: a key player in plant survival. *Antioxidants*. 9(7):1-25. <https://doi.org/10.3390/antiox9070604>.
- 13 Ferrão, L. F. V.; Benevenuto, J.; Oliveira, I. B.; Cellon, C.; Olmstead, J.; Kirst, M.; Resende, M. F. R. and Munoz, P. 2018. Insights into the genetic basis of blueberry fruit-related traits

- using diploid and polyploid models in a was context. *Front Ecol. Evol.* 6(107):1-16. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00107>.
- 14 Frías-Ortega, C. E.; Alejo-Santiago, G.; Bugarín-Montoya, R.; Aburto-González, C. A.; Juárez-Rosete, C. R.; Urbina-Sánchez, E. y Sánchez-Hernández, E. 2020. Concentración de la solución nutritiva y su relación con la producción y calidad de arándano azul. *Ciencia Tecnología Agropecuaria.* 21(3):1-14. <https://doi.org/10.21930/RCTA>.
- 15 Hirzel, J.; Muñoz, V. P.; Moya-Elizondo, E.; Lagos, O.; Balbontín, C. and Uribe, H. 2024. Use of increasing rates of ammonia nitrogen in pot-grown blueberries and its effect on fruit yield and macronutrient concentration in leaves. *Chil. J. Agric. Res.* 84(3):454-466. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392024000300454>.
- 16 Jiang, Y.; Zeng, Q.; Wei, J.; Jiang, J.; Li, Y.; Chen, J. and Yu, H. 2019. Growth, fruit yield, photosynthetic characteristics, and leaf microelement concentration of two blueberry cultivars under different long term soil pH treatments. *Agronomy.* 9(7):1-13. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10111168>.
- 17 Kesawat, M. S.; Satheesh, N.; Kherawat, B. S.; Kumar, A.; Kim, H. U.; Chung, S. M. and Kumar, M. 2023. Regulation of reactive oxygen species during salt stress in plants and their crosstalk with other signaling molecules current perspectives and future directions. *Plants.* 12(4):1-37. <https://doi.org/10.3390/plants12040864>.
- 18 Krishna, P.; Pandey, G.; Thomas, R. and Parks, S. 2023. Improving blueberry fruit nutritional quality through physiological and genetic interventions: a review of current research and future directions. *Antioxidants.* 12(4):810-830. <https://doi.org/10.3390/antiox12040810>.
- 19 Leal-Ayala, O. G.; Sandoval-Villa, M.; Trejo-Téllez, L. I.; Sandoval-Rangel, A.; Fuente, M.C. and Benavides-Mendoza, A. 2021. Nitrogen form and root division modifies the nutrimental and biomolecules concentration in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Not. Bot. Horti. Agrobot. Cluj. Napoca.* 49(1):1-12. <https://doi.org/10.15835/nbha49111998>.
- 20 Machado, R. M. A.; Bryla, D. R. and Vargas, O. 2014. Effects of salinity induced by ammonium sulfate fertilizer on root and shoot growth of highbush blueberry. *Acta Hortic.* 1017(49):407-414. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1017.49>.
- 21 Meléndez-Jácome, M. R.; Flor-Romero, L. E.; Sandoval-Pacheco, M. E.; Vasquez-Castillo, W. A. and Racines-Oliva, M. A. 2021. *Vaccinium* spp. karyotypic and phylogenetic characteristics, nutritional composition, edaphoclimatic conditions, biotic factors and beneficial microorganisms in the rhizosphere. *Scientia Agropecuaria.* 12(1):109-120. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.013>.
- 22 Molnar, S.; Clapa, D.; Pop, V. C.; Hăreșă, M.; Andrean, F. A. and Bunea, C. I. 2024. Investigation of salinity tolerance to different cultivars of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) grown *in vitro*. *Not. Bot. Horti. Agrobot. Cluj. Napoca.* 52(1):13691:1-17. <https://doi.org/10.15835/nbha52113691>.
- 23 Nazir, F.; Mahajan, M.; Khatoon, S.; Albaqami, M.; Ashfaq, F.; Chhillar, H.; Chopra, P. and Khan, M. I. R. 2023. Sustaining nitrogen dynamics: a critical aspect for improving salt tolerance in plants. *Front Plant Sci.* 14(108796):1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1087946>.
- 24 Santiago, J. P. and Sharkey, T. D. 2019. Pollen development at high temperature and role of carbon and nitrogen metabolites. *Plant Cell Environ.* 42(10):1-17. <https://doi.org/10.1111/pce.13576>.
- 25 Sellami, S.; Le-Hir, R.; Thorpe, M. R.; Vilaine, F.; Wolff, N.; Brini, F. and Dinant, S. 2019. Salinity affects sugar homeostasis and vascular anatomy in the stem of the arabidopsis thaliana inflorescence. *Int. J. Mol. Sci.* 20(13):3167-1-19 <https://doi.org/10.3390/ijms20133167>.



- 26 Shilpha, J.; Song, J. and Jeong, B. R. 2023. Ammonium phytotoxicity and tolerance: an insight into ammonium nutrition to improve crop productivity. *Agronomy*. 13(6):11-23. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061487>.
- 27 Trejo-Pech, C. O.; Rodríguez-Magaña, A.; Briseño-Ramírez, H. and Ahumada, R. 2024. A Monte Carlo simulation case study on blueberries from Mexico. *International Food and Agribusiness Management Review*. 27(2):359-377. <https://doi.org/10.22434/ifamr2023.0052>.
- 28 Wu, H. 2018. Plant salt tolerance and Na<sup>+</sup> sensing and transport. *Crop Journal*. 6(3):215-225. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.01.003>.
- 29 Yang, Y.; Huang, Z.; Wu, Y.; Wu, W.; Lyu, L. and Li, W., 2023. Effects of nitrogen application level on the physiological characteristics, yield and fruit quality of blackberry. *Sci Hortic*. 313. 111915. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111915>.
- 30 Zhang, X.; Li, S.; An, X.; Song, Z.; Zhu, Y.; Tan, Y.; Guo, X. and Wang, D. 2023. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium formula fertilization on the yield and berry quality of blueberry. *PLoS One*. 20(1):1-13. e0318032. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283137>.



## Optimización de las proporciones de nitrógeno para arándanos cultivados bajo medio salino

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 1 May 2025
Date accepted: 1 September 2025
Publication date: 14 December 2025
Publication date: Nov-Dec 2025
Volume: 16
Issue: 8
Electronic Location Identifier: e4138
DOI: 10.29312/remexca.v16i8.4138

### Categories

Subject: Artículo

### Palabras clave:

#### Palabras clave:

amonio  
calidad  
estrés  
nitrato  
rendimiento  
*Vaccinium corymbosum* L.

### Counts

Figures: 0  
Tables: 4  
Equations: 0  
References: 30