RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O
Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 15/09/2026 | aceito: 18/09/2026 | publicação: 21/09/2026

Evaluación de diferentes combinaciones de bioestimulantes en el desarrollo de la lechuga (*Lactuca sativa L.*)

Avaliação de diferentes combinações de bioestimulantes no desenvolvimento da alface (Lactuca sativa L.)

Evaluation of different combinations of biostimulants in the development of lettuce seedlings

Ednéia Gandra de Omena, Luiza Vitória Ribeiro Dias, Rebeca Ribeiro Sanches e Vanessa da Silva Gandra – Graduandos en Ingeniería Agronómica, Centro Universitario UniSALESIANO, Lins, SP, Brasil.
Tais Santo Dadazio e Carlos Suguitani – Docentes del Curso de Ingeniería Agronómica, Centro Universitario UniSALESIANO, Lins, SP, Brasil.
Autor para correspondencia: tais.dadazio@hotmail.com

Resumen:
La lechuga es una de las hortalizas de hoja de mayor relevancia económica y social en Brasil, y la calidad de las plántulas producidas constituye un factor determinante para el éxito de la cultura. Siendo así, el trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes combinaciones de bioestimulantes en el desarrollo de plántulas de lechuga cultivar Jade. El experimento fue conducido en ambiente protegido en la Hacienda Escuela del Centro Universitario UniSALESIANO, en Lins-SP, en diseño completamente casualizado con seis tratamientos y cinco repeticiones: T1 (Testemunha); T2 (Radicor, 3 mL L−1); T3 (Radicor + Trichodermaiz, 1 g L−1); T4 (Radicor + Trichodermaiz + Dunna, 2 mL L−1); T5 (Radicor + Trichodermaiz + Elmo, 2 mL L−1); T6 (Radicor + Trichodermaiz + Elmo + Dunna). A los 43 días después del trasplante, se evaluaron la longitud de la raíz (CR), la longitud total (CT), la masa fresca de la parte aérea (MFPA), la masa fresca de las raíces (MFR), el número de hojas (NF), la longitud de la parte aérea (CPA), el diámetro del caule (DC) y el diámetro de la parte aérea (DPA), los datos fueron sometidos al análisis de varianza y los promedios comparados por el test de Tukey al 5% de probabilidad, con auxilio del software SISVAR. Se concluyó que el tratamiento T6 proporcionó la mayor longitud radicular (49,92 cm), con diferencia significativa de los demás tratamientos. Para la masa fresca de las raíces, T4 y T6 registraron los mayores valores (32,00 g), siendo superiores a los demás. El tratamiento T3 resultó en la mayor longitud total de planta (73,48 cm) y T4 presentó el mayor diámetro de caule (1,97 cm). Las combinaciones que contienen Dunna — formulado a base de *Bacillus aryabhattai*, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Bacillus subtilis*— ejerceron un efecto positivo sobre el desarrollo radicular, mientras que la presencia de *Trichoderma harzianum* (Trichodermaiz) fue determinante para el crecimiento de la parte aérea. Los resultados indican que la bioestimulación microbiana vía aplicación al suelo promueve respuestas diferenciales en lechuga, con destaque para el sistema radicular.

Palabras clave: producción de plántulas; rizobacterias promotoras del crecimiento; bioestimulación; *Trichoderma harzianum*; bioinsumos.

Resumo:
A alface é uma das hortaliças folhosas de maior relevância econômica e social no Brasil, e a qualidade das mudas produzidas constitui um fator determinante para o sucesso da cultura. Sendo assim, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes combinações de bioestimulantes no desenvolvimento de mudas de alface cultivar Jade. O experimento foi conduzido em ambiente protegido na Fazenda Escola do Centro Universitário UniSALESIANO, em Lins-SP, em delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos e cinco repetições: T1 (Testemunha); T2 (Radicor, 3 mL L^{-1}); T3 (Radicor + Trichodermaiz, 1 g L^{-1}); T4 (Radicor + Trichodermaiz + Dunna, 2 mL L^{-1}); T5 (Radicor + Trichodermaiz + Elmo, 2 mL L^{-1}); T6 (Radicor + Trichodermaiz + Elmo + Dunna). Aos 43 dias após o transplantio, na colheita foram avaliados: comprimento da raiz (CR), comprimento total (CT), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca das raízes (MFR), número de folhas (NF), comprimento da parte aérea (CPA), diâmetro do caule (DC) e diâmetro da parte aérea (DPA). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do software SISVAR. Concluiu-se que o tratamento T6 proporcionou o maior comprimento radicular (49,92 cm), diferindo significativamente dos demais tratamentos. Para a massa fresca das raízes, T4 e T6 registraram

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O
Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 15/09/2026 | aceito: 18/09/2026 | publicação: 21/09/2026

os maiores valores (32,00 g), sendo superiores aos demais. O tratamento T3 resultou no maior comprimento total de planta (73,48 cm) e T4 apresentou o maior diâmetro de caule (1,97 cm). As combinações contendo Dunna — formulado à base de *Bacillus aryabhattai*, *Bacillus amyloliquefaciens* e *Bacillus subtilis* — exerceram efeito positivo sobre o desenvolvimento radicular, ao passo que a presença de *Trichoderma harzianum* (Trichodermaiz) foi determinante para o crescimento da parte aérea. Os resultados indicam que a bioestimulação microbiana via aplicação ao solo promove respostas diferenciais em alface, com destaque para o sistema radicular.

Palavras-chave: produção de mudas; rizobactérias promotoras do crescimento; bioestimulação; *Trichoderma harzianum*; bioinsumos.

Abstract:
Lettuce is one of the most economically and socially important leafy vegetables in Brazil, and the quality of the seedlings produced is a determining factor for the success of the crop. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of different combinations of biostimulants on the development of lettuce seedlings of the Jade cultivar. The experiment was conducted in a protected environment at the University Farm of the UniSALESIANO University Center, in Lins-SP, in a completely randomized design with six treatments and five replications: T1 (control); T2 (Radicor, 3 mL L^{-1}); T3 (Radicor + Trichodermaiz, 1 g L^{-1}); T4 (Radicor + Trichodermaiz + Dunna, 2 mL L^{-1}); T5 (Radicor + Trichodermaiz + Elmo, 2 mL L^{-1}); T6 (Radicor + Trichodermaiz + Elmo + Dunna). Forty-three days after transplanting, the following were evaluated: root length (RL), total length (TL), shoot fresh weight (SFW), root fresh weight (RFW), number of leaves (NL), shoot length (SL), stem diameter (SD), and aerial part diameter (APD). The data were subjected to analysis of variance, and the means were compared using Tukey's test at a 5% probability level, with the aid of the SISVAR software. It was concluded that treatment T6 provided the greatest root length (49.92 cm), differing significantly from the other treatments. For root fresh weight, T4 and T6 recorded the highest values (32.00 g), being superior to the others. Treatment T3 resulted in the greatest total plant length (73.48 cm), and T4 presented the largest stem diameter (1.97 cm). Combinations containing Dunna — formulated with *Bacillus aryabhattai*, *Bacillus amyloliquefaciens*, and *Bacillus subtilis* — had a positive effect on root development, while the presence of *Trichoderma harzianum* (Trichodermaiz) was crucial for shoot growth. The results indicate that microbial biostimulation via soil application promotes differential responses in lettuce seedlings, particularly in the root system.

Keywords: seedling production; growth-promoting rhizobacteria; biostimulation; *Trichoderma harzianum*; bio-inputs.

1 Introducción

La lechuga (*Lactuca sativa L.*), perteneciente a la familia Asteraceae, se destaca entre las hortalizas de hoja más producidas y consumidas mundialmente. Rica en macro y micronutrientes esenciales a la alimentación humana, la cultura presenta elevada importancia económica y alimentaria, siendo ampliamente consumida en forma de ensaladas y otros alimentos frescos (Santos-Naressi *et al.*, 2022).

Entre las huertas de mayor relevancia para la alimentación de la población brasileña, la lechuga presenta una amplia expresión productiva. El estado de São Paulo se destaca como líder nacional en la producción de esa cultura, con más de 220 mil toneladas producidas anualmente, además de ejercer papel estratégico en el abastecimiento de la Gran São Paulo y de otras regiones del país (SAA, 2026). Por tratarse de una cultura con alta demanda nutricional, la lechuga se beneficia de suelos ricos en materia orgánica para alcanzar elevadas

productividads (Meireles *et al.*, 2017). Además, por acumular gran cantidad de nutrientes en sus hojas, se torna bastante exigente en tratos culturales, siendo que, para obtener éxito en la producción, es necesaria la adopción de un manejo adecuado (Nick, 2019).

Ante el aumento de la demanda por alfaces de alta calidad y productividad, el uso de bioestimulantes ha ganado destaque en el cultivo de esa huerta (Nogueira *et al.*, 2023). En ese contexto, la aplicación de bioestimulantes interfiere positivamente en la dinámica metabólica de las culturas, promoviendo ajustes fisiológicos que potencializan el crecimiento y la productividad. Conforme destacan Mattos y Caires (2022), esas sustancias son fundamentales para mitigar los impactos negativos de estrés abióticos, optimizando el aprovechamiento de los recursos por las plantas.

Además, la utilización de biofertilizantes ha sido apuntada como una alternativa sostenible al uso excesivo de fertilizantes químicos, ya que estos insumos promueven la actividad microbiana, aumentan la fertilidad y la calidad del suelo y pueden contribuir a mejorar la agregación del suelo, favoreciendo el desarrollo de las culturas (Mahmud *et al.*, 2021). En Brasil, el sector de bioinsumos se expandió a una tasa anual del 22%, quadruplicando la media mundial, y en la safra 2024/2025 el área tratada con esos productos alcanzó 156 millones de hectáreas, con tasa de adopción tecnológica del orden del 26% (Blink/CropLife Brasil, 2025).

Entre los mecanismos más relevantes asociados a los bioestimulantes microbianos, se destacan las bacterias del género Bacillus, especialmente *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* y *B. aryabhattai*, que colonizan activamente la rizosfera y establecen biofilmes asociados a las raíces, trayendo numerosos beneficios a la planta, como un microambiente de mayor humedad y disponibilidad de nutrientes alrededor del sistema radicular, además de estimular la producción de exopolissacaridos que contribuyen para la agregación del suelo y la protección contra estrés hídrico (Nordgaard *et al.*, 2022).

Además de estas características, especies del género Bacillus son reconocidas por la capacidad de producir compuestos promotores del crecimiento vegetal, entre los cuales se destaca el ácido indol-3-acético (AIA), una auxina directamente relacionada al desarrollo del sistema radicular. La producción de ese fitomonio está asociada al alargamiento celular en las regiones meristemáticas de las raíces y a la mayor formación de raíces laterales, aumentando la superficie de absorción y el volumen radicular explorado. Además, algunas especies del género son capaces de solubilizar fosfatos inorgánicos insolubles, liberando fósforo para la solución del suelo y ampliando su disponibilidad a las plantas (Almeida, 2024).

De manera semejante, los efectos bioestimulantes observados en bacterias promotoras de crecimiento también pueden ser verificados en determinados hongos benéficos. En ese

contexto, el hongo *Trichoderma harzianum* representa otro agente eficaz. En un estudio conducido con lechuga en sistema hidropónico, Alzyoud *et al.* (2025) verificaron que la inoculación con T. harzianum, promovió incrementos significativos en la masa fresca de la parte aérea, en el área foliar, en el número de hojas y en el contenido de clorofila, resultados atribuidos por los autores a la capacidad de ese microorganismo de producir fitohormonios, solubilizar micronutrientes e inducir enzimas relacionadas al metabolismo primario de las plantas.

Además de los microorganismos promotores de crecimiento, otras sustancias de origen natural también han sido ampliamente utilizadas como bioestimulantes en la agricultura. Entre ellas, se destacan las sustancias húmedas, constituidas principalmente por ácidos húmicos y fúlvicos, que despiertan gran interés agronómica debido a su capacidad de estimular el desarrollo vegetal y mejorar las condiciones del suelo.

Al mimetizar la acción de la auxina, los ácidos húmicos inducen el crecimiento radicular por estimular la actividad de las H+-ATPases de membrana, favoreciendo la absorción de iones y el estiramiento celular. También contribuyen a la mejoría de las propiedades físico-químicas del suelo, aumentan la capacidad de intercambio catiónica y estimulan la microbiota beneficiosa de la rizosfera (Castro, 2023). Cuando asociadas a extractos de algas marinas, ricos en betaínas, manitol, poliaminas y citocininas naturales, las sustancias húmedas potencializan el efecto bioestimulante sobre el crecimiento y la resistencia de las plantas a condiciones adversas (El Boukhari *et al.*, 2020; Kocira *et al.*, 2020).

A pesar del creciente número de trabajos sobre bioestimulantes en horticultura, pocos son los que verifican el efecto de combinaciones de productos microbianos y organomineales aplicados vía suelo en el desarrollo de plantas de lechuga. La hipótesis central de este estudio fue la combinación de bioestimulantes de diferentes categorías — fertilizante organomineral a base de sustancias húmedas, extracto de algas y aminoácidos; biofungicida a base de *Trichoderma harzianum*; e inoculantes a base de Bacillus spp. — resulta en respuesta superior a la aplicación de productos aislados, especialmente sobre variables relacionadas al sistema radicular y al vigor estructural de las plantas.

En ese sentido, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes combinaciones de bioestimulantes sobre el crecimiento y el desarrollo de plántulas de lechuga cultivar Jade, por medio del análisis de parámetros biométricos.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 15/09/2026 | aceito: 18/09/2026 | publicação: 21/09/2026

2 Material y métodos

2.1 Local del experimento

El experimento fue conducido en ambiente protegido (casa de vegetación con cobertura de polietileno) en la Hacienda Escuela del Centro Universitario UniSALESIANO, en el municipio de Lins, Estado de São Paulo (21°42'21,3"S; 49°45'25,3"O; altitud: 390 m). El clima de la región es clasificado como Aw (tropical con estación seca en invierno), según Köppen-Geiger. El experimento fue realizado entre abril y mayo de 2026.

2.2 Caracterización química del suelo

Previamente a la implantación del experimento, muestras compuestas de suelo fueron recolectadas en la capa de 0-20 cm y encaminadas al laboratorio para análisis químico. Los resultados son presentados en la Tabla 1. Con base en las recomendaciones del Boletín 100 del Instituto Agronómica de Campinas (Raij *et al.*, 2022), se procedió a la adubación y a la calaje con superfosfato simple (1,44 kg para 9 m2 de área) y urea (0,0495 kg), adecuando el suelo a las exigencias nutricionales de la cultura. El suelo fue peneirado, homogeneizado y utilizado en el llenado de los vasos.

Tabla 1 – Análisis químico de suelo (camada 0-20 cm) utilizado en el experimento, Hacienda Escuela UniSALESIANO, Lins-SP, 2026.

Parámetro	Unidad	Valor
Matéria orgânica (MO)	g dm^{-3}	10
pH ($CaCl_2$)	—	5,5
Fósforo (P-resina)	mg dm^{-3}	5
Potássio (K^+)	mmolc dm^{-3}	4,1
Cálcio (Ca^{2+})	mmolc dm^{-3}	19
Magnésio (Mg^{2+})	mmolc dm^{-3}	6
Alumínio (Al^{3+})	mmolc dm^{-3}	<1
H + Al	mmolc dm^{-3}	14
Enxofre (SO_4^{2-})	mg dm^{-3}	8

Soma de bases (SB)	mmolc dm^{-3}	29,1
CTC	mmolc dm^{-3}	43,1
Saturação de bases (V%)	%	67,5

Fuente: Elaborada por las autoras (2026).

2.3 Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño utilizado fue el enteramente casualizado (DIC), con seis tratamientos y cinco repeticiones, totalizando 30 unidades experimentales. Cada unidad experimental correspondió a un vaso plástico con capacidad volumétrica de 12 litros (27 × 27 × 21 cm), llenado con suelo corregido y adubado. En cada vaso, fue trasplantado una muda de lechuga cultivar Jade (desenvolvida por Sakata Seed do Brasil), producida en vivo certificado, con 30 días de edad.

Los datos obtenidos fueron tabulados y sometidos al análisis de varianza (ANOVA). Cuando se constató un efecto significativo ($p \leq 0,05$), los promedios fueron comparados por el test de Tukey al 5% de probabilidad. Todos los análisis fueron procesados con el software SISVAR versión 5.8 (Ferreira, 2019).

2.4 Tratamientos

Se evaluaron seis tratamientos: T1 — testigo absoluto (sin aplicación de bioestimulantes); T2 — Radicor (3 mL L−1); T3 — Radicor (3 mL L−1) + Trichodermaiz (1 g L−1); T4 — Radicor (3 mL L−1) + Trichodermaiz (1 g L−1) + Dunna (2 mL L−1); T5— Radicor (3 mL L−1) + Elmo (2 mL L−1); T6 — Radicor (3 mL L−1) + Trichodermaiz (1 g L−1) + Elmo (2 mL L−1) + Dunna (2 mL L−1). + Dunna (2 mL L−1).

Los productos utilizados pertenecen al portafolio de la Compañía Nitro Química Brasileña (Nitro Agro) y fueron seleccionados por representar diferentes categorías funcionales de bioestimulantes. La Tabla 2 presenta la caracterización de cada producto conforme informaciones de las bulas y fichas técnicas oficiales del fabricante.

Tabla 2 – Caracterización de los bioestimulantes utilizados en el experimento, conforme informaciones oficiales del fabricante (Nitro Agro).

Nombre comercial	Fabricante	Clasificación	Ingrediente(s) Activos(S)	Finalidad Agronómica
Radicor	Nitro Agro	Fertilizante organomineral	Sustancias húmedas (COT: 12% m/m; N: 1% m/m); extracto de algas marinas; aminoácidos	Mejora de la salud del suelo; estímulo al desarrollo radicular; potencialización de la absorción de nutrientes

		(via solo)		
Trichoderma iz WP PRO	Nitro Agro	Biofungicida (pó molhável)	*Trichoderma harzianum* isolado IB19/17 (mín. 7 × 10^9 conídios viáveis g^{-1})	Control biológico de patógenos de suelo; promoción indirecta del crecimiento vegetal
Dunna	Nitro Agro	Inoculante microbiano (PGPR)	*Bacillus aryabhattai*, *Bacillus amyloliquefaciens* e *Bacillus subtilis*	Promoción del crecimiento radicular; formación de biofilme en la rizosfera; mejora de la absorción de nutrientes y tolerancia a estréss abióticos
Elmo (NT 5-24)	Nitro Agro	Nematicida microbiológico (suspensão concentrada)	*Bacillus amyloliquefaciens*, *B. subtilis* (cepas CCT 8100 e ATCC 6051), *B. licheniformis* (ATCC 14580) e *B. megaterium* (CCT 8101) — mín. 1 × 10^8 UFC mL^{-1} de pc, cada cepa	Controle biológico de Meloidogyne incognita; efeito secundário de promoção do crescimento via colonização radicular

Fuente: Bulas y fichas técnicas oficiales Nitro Agro (Companhia Nitro Química Brasileña, 2024/2025). PGPR: plant growth-promoting rhizobacteria; COT: carbono orgánico total; UFC: unidad formadora de colonia; pc: producto comercial.

Las dosis aplicadas fueron definidas conforme las recomendaciones constantes en las bulas y materiales técnicos oficiales disponibles por el fabricante (Nitro Agro), buscando reproducir las condiciones normalmente utilizadas por los productores en campo. Para el Radicor, la dosis fue de 3 mL L−1 de agua; para el Trichodermaiz WP PRO, 1 g L−1; y para Dunna y Elmo, 2 mL L−1 cada.

2.5 Conducción experimental

Las plántulas fueron trasplantadas en los vasos el día 04/04/2026. La primera aplicación de los productos ocurrió el día 08/04/2026, cuatro días después del trasplante; las aplicaciones subsiguientes fueron realizadas en intervalos de 10 días, en los días 18/04/2026 y 28/04/2026, totalizando tres aplicaciones a lo largo del ciclo experimental. La irrigación fue realizada de forma manual, de modo a mantener la humedad del suelo dentro de la franja adecuada al desarrollo de la lechuga.

Las aplicaciones fueron realizadas en el período de la mañana (entre 7h y 9h), horario de menor temperatura y mayor humedad relativa del aire, condiciones que favorecen la viabilidad de los microorganismos y la absorción de los compuestos orgánicos por las raíces. Los productos fueron diluidos en 1 L de agua potable, y cada vaso recibió 200 mL de la solución vía alrededor de la planta.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O
Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 15/09/2026 | aceito: 18/09/2026 | publicação: 21/09/2026

2.6 Evaluaciones

Al final del experimento, a los 43 días después del trasplante, las plantas fueron recolectadas y evaluadas en cuanto a las siguientes variables: (i) longitud de la raíz (CR, cm) — medido con cinta métrica del cuello al ápice radicular; (ii) longitud total de la planta (CT, cm) — distancia del ápice de la raíz a la hoja más alta, medida con trineo; (iii) masa fresca de la parte aérea (MFPA, g) — determinada en balanza analítica inmediatamente después de la separación del sistema radicular; (iv) masa fresca de las raíces (MFR, g) — obtenida después del lavado y secado superficial de las raíces; (v) número de hojas (NF) — conteo manual de todas las hojas expandidas; (vi) longitud de la parte aérea (CPA, cm) — distancia del cuello al ápice foliar, medida con trena; (vii) diámetro del caule (DC, cm) — aferido con paquímetro en la región del colo; (viii) diámetro de la parte aérea (DPA, cm) — anchura máxima de la roseta foliar, medida con tria.

3 Resultados y discusión

Los promedios obtenidos para las ocho variables evaluadas se encuentran en la Tabla 3. Los tratamientos con bioestimulantes promovieron respuestas diferentes en el desarrollo de la lechuga, con variación expresiva principalmente en las variables relacionadas al sistema radicular y al engrosamiento del caule, al paso que otros parámetros de la parte aérea (masa fresca, longitud, número de hojas y diámetro), no presentó diferencia estadística entre los tratamientos.

Tabla 3 – Longitud de raíz (CR), longitud total (CT), masa fresca de la parte aérea (MFPA), masa fresca de las raíces (MFR), número de hojas (NF), longitud de la parte aérea (CPA), diámetro del caule (DC) y diámetro de la parte aérea (DPA) de la lechuga cv. Jade sometidas a diferentes combinaciones de bioestimulantes. Lins-SP, 2026.

TRAT	CR (cm)	CT (cm)	MFPA (g)	MFR (g)	NF	CPA (cm)	DC (cm)	DPA (cm)
T1	35,00 b	60,80 b	157,60 a	18,00 b	23,60 a	25,60 a	1,50 c	33,20 a
T2	33,26 b	59,46 b	210,00 a	18,00 b	25,20 a	26,20 a	1,91 ab	34,00 a
T3	34,88 b	73,48 a	164,00 a	27,00 ab	23,20 a	24,60 a	1,84 ab	34,00 a
T4	33,84 b	65,64 ab	186,40 a	32,00 a	25,40 a	25,80 a	1,97 a	34,60 a
T5	29,96 b	60,50 b	202,80 a	21,00 b	24,20 a	27,40 a	1,84 ab	36,80 a
T6	49,92 a	67,62 ab	166,80 a	32,00 a	23,80 a	25,70 a	1,66 bc	34,20 a
Média geral	36,14	64,58	181,2	25	24,23	26,05	1,78	34,46
C.V.(%)	**14,3**	**7,84**	**18,15**	**22,86**	**11,25**	**9,30**	**8,00**	**7,02**

Medias seguidas de misma letra minúscula en la columna no difieren entre sí por el test de Tukey ($p \leq 0,05$). T1: testigo; T2: Radicor + Trichodermaiz; T4: Radicor + Trichodermaiz + Dunna; T5: Radicor + Trichodermaiz + Elmo; T6: Radicor + Trichodermaiz + Elmo + Dunna. Trat.: tratamiento; CR: longitud total; MFPA: masa fresca de la parte aérea; MFR: masa fresca de las raíces; NF: número de hojas; CPA: diámetro de la parte aérea; DPA: diámetro de la parte aérea. C.V.: coeficiente de variación.

Fuente: Elaborada por las autoras (2026).

La longitud radicular (CR) fue la variable que presentó la mayor diferencia estadística entre los tratamientos. El T6 (Radicor + Trichodermaiz + Elmo + Dunna) registró un promedio de 49,92 cm, valor 42,6% superior al del testigo (35,00 cm) y estadísticamente distinto de todos los demás tratamientos por el test de Tukey. Vale resaltar que T5 (Radicor + Trichodermaiz + Elmo), compuesto por la misma base de T6, pero sin el inoculante Dunna, fue el tratamiento con el menor longitud radicular entre los que contienen bioestimulantes (29,96 cm), evidenciando que el papel de Bacillus spp. presente en el Dunna fue determinante para el incremento observado en T6. Esa diferencia apunta que la ausencia del Elmo en T4 no impidió la expresión de los efectos radiculares del Dunna, pero que, en T6, la combinación con las especies del Elmo puede haber creado condiciones sinérgicas favorables para la profundización y extensión del sistema radicular.

El mecanismo central de ese efecto está relacionado con la capacidad de las especies de Bacillus presentes en el Dunna de colonizar la rizosfera y secretar compuestos bioactivos que alteran el balance hormonal en las raíces. La producción de ácido indol-3-acético (AIA) por *B. subtilis* y *B. amyloliquefaciens* es ampliamente documentada en la literatura y resulta en mayor división y elongación celular en la región meristemática de las raíces, estimulando la formación de raíces laterales y por los radiculares. Experimento conducido por Nordgaard *et al.* (2022) con *B. subtilis* en raíces de *Arabidopsis thaliana* demostró rápida adaptación del microambiente radicular, con formación de biofilmes densos y aumento expresivo de la colonización radicular a lo largo del tiempo. La formación de biofilms es fisiológicamente relevante porque los exopolissacaridos producidos crean una matriz hidratada alrededor de las raíces, favoreciendo la disponibilidad hídrica local y la difusión de nutrientes, además de proteger las células bacterianas contra fluctuaciones de temperatura y competidores (Nordgaard *et al.*, 2022). Esa interfaz biofilme-raiz amplifica la producción de fitohormonios y enzimas que incrementan el crecimiento radicular, lo que explicaría, al menos en parte, el comportamiento superior de T6.

El incremento en la masa fresca radicular (MFR) refuerza esa interpretación. Los tratamientos T4 y T6 presentaron las mayores medias (32,00 g), difiriendo significativamente

de T1 y T2 (18,00 g) y de T5 (21,00 g). La concordancia entre CR y MFR indica que la mayor longitud observada en T6 no resulta de raíces más finas o menos densas, pero de un sistema radicular genuinamente más robusto, con mayor superficie específica y presumiblemente mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes. Almeida (2024), en estudio con lechuga crespa, verificó que la inoculación con *B. subtilis* aumentó tanto la masa fresca como la sequía de las raíces, corroborando la hipótesis de que especies del género Bacillus promueven un incremento real de biomasa radicular, probablemente asociado a la solubilización de fosfatos inorgánicos — proceso que aumenta la disponibilidad de P en la rizosfera— y a la síntesis de sideróforos que facilitan la absorción de micronutrientes como hierro y zinc, esenciales a la síntesis de ácidos nucléicos y al metabolismo energético de las células radiculares.

La ausencia de respuesta significativa en CR para el T5 (sin Dunna, pero con Elmo) indica que el Elmo, aunque formulado con cepas de Bacillus spp. similares, no produjo el mismo efecto de promoción de crecimiento radicular cuando aplicado aisladamente o en asociación al Trichodermaiz sin el Dunna. Ese resultado puede estar relacionado a la composición de cepas específicas en cada producto: Elmo es registrado como niaticida microbiológico (NT 5-24), con cepas seleccionadas para el control de Meloidogyne incognita, mientras que el Dunna fue formulado con énfasis en la promoción de crecimiento. Las diferencias funcionales entre las cepas de Bacillus contenidas en cada producto — mismo perteneciendo al mismo género— determinan distintos perfiles de producción de metabolitos secundarios, lo que puede explicar las respuestas distintas observadas entre T5 y T6.

Para la longitud total de la planta (CT), que integra el crecimiento de la parte aérea y de la raíz, el tratamiento T3 (Radicor + Trichodermaiz) presentó la mayor media (73,48 cm), difiriendo estadísticamente de T1, T2 y T5, pero no de T4 y T6. El menor desempeño de T2 (Radicor aislado, 59,46 cm), incluso inferior al testigo (60,80 cm), sugiere que las sustancias húmedas, el extracto de algas y los aminoácidos del Radicor, cuando aplicados aisladamente, no promovieron un incremento suficiente en el crecimiento general de la planta en las condiciones evaluadas.

La superioridad de T3 en relación al testigo y a los T2 y T5 es atribuida al efecto bioestimulante de *Trichoderma harzianum* (isolado IB19/17), que va más allá de su acción biofungicida primaria. Este hongo actúa sobre el metabolismo vegetal por medio de la producción de fitohormonios — como giberelinas y auxinas— y de enzimas fosfatasas y celulases que aumentan la disponibilidad de nutrientes en la rizosfera. En lechuga cultivada en sistema hidropónico, Alzyoud *et al.* (2025) constataron que la inoculación con T. harzianum elevó significativamente la masa fresca de la parte aérea, el área foliar, el contenido de clorofila

y el número de hojas, indicando que el hongo estimula procesos metabólicos ligados a la asimilación de carbono y al crecimiento vegetativo. En ese sentido, los resultados del presente trabajo son coherentes con esa línea de evidencias, revelando que, en el contexto de las combinaciones comprobadas, la presencia de T. harzianum fue el principal responsable por el mayor CT. La estabilización de la respuesta en CT cuando otros ingredientes fueron adicionados (T4, T5 y T6) puede indicar que el efecto positivo del Trichodermaiz sobre la longitud total fue suficientemente fuerte para mantener resultados numéricamente elevados, pero sin diferencia estadística de los tratamientos más completos.

En relación al diámetro del caule (DC), variable asociada al vigor estructural de las plántulas y a la capacidad de soporte y translocación de fotoassimilados, el tratamiento T4 (Radicor + Trichodermaiz + Dunna) presentó el mayor valor (1,97 cm), siendo el único tratamiento clasificado exclusivamente en el grupo "a" por el test de Tukey, seguido de T2 (1,91 cm, grupo ab) y T3 y T5 (1,84 cm, grupo ab). El testigo (T1) registró el menor diámetro (1,50 cm, grupo c), mientras que T6 quedó en el grupo bc (1,66 cm), valor inferior al de T4, lo que merece análisis.

El rendimiento de T2 (Radicor aislado) para DC, superior al testigo y próximo al mejor tratamiento, indica que el fertilizante organomineral a base de sustancias húmedas, extracto de algas y aminoácidos ejerce una influencia considerable sobre el desarrollo estructural del caule. Castro (2023) demostró que sustancias húmedas actúan en la regulación hormonal, especialmente en la síntesis de citocininas, hormonas asociadas a la división celular y al engrosamiento de los tejidos vasculares. Los extractos de algas contribuyen con betaínas y poliaminas que participan de la síntesis de proteínas de pared celular, mientras que los aminoácidos libres proporcionan nitrógeno rápidamente disponible para la biosíntesis de compuestos estructurales. La asociación de esas tres fracciones explica el papel del Radicor en el favorecimiento del DC.

La superioridad de T4 sobre los demás tratamientos, incluyendo T6, que contiene los mismos productos más Elmo, sugiere que la adición del Elmo puede haber creado cierta antagonia funcional o competencia entre las cepas microbianas, comprometiendo parcialmente la expresión del efecto sobre el caule. Esa hipótesis es plausible delante del hecho de que el Elmo es formulado con cepas seleccionadas para biocontrol de nematoides, cuyo modo de acción envuelve la colonización intensa de la rizosfera, posible competencia con las cepas del Dunna por la superficie radicular. De cualquier forma, el DC de T6 permaneció superior al del testigo, y la diferencia entre T4 y T6 no debe ser interpretada como efecto negativo del Elmo,

sino como indicio de que la aditividad entre bioestimulantes no es lineal y depende de la compatibilidad entre los microorganismos involucrados.

Los resultados obtenidos demostraron que no todas las variables evaluadas respondieron de forma diferenciada a la aplicación de los bioestimulantes. La masa fresca de la parte aérea (MFPA), el número de hojas (NF), la longitud de la parte aérea (CPA) y el diámetro de la parte aérea (DPA) no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Tabla 3).

Desde el punto de vista agronómico, la ausencia de respuesta de la MFPA puede estar asociada al período experimental de apenas 43 días después del trasplante, intervalo que, en condiciones de cultivo comercial, correspondería al momento de la recolección, cuando la planta todavía no completó todo su potencial de acumulación de biomasa foliar. Los bioestimulantes evaluados, especialmente los inoculantes microbianos, actúan primariamente sobre el sistema radicular en las fases iniciales de colonización, con reflejo en la parte aérea esperado en períodos más largos de evaluación. Es posible que, en experimentos de mayor duración o con recolección en estadio más avanzado, las diferencias en MFPA se tornen estadísticamente detectables. Otrossim, las condiciones edáficas, con V% de 67,5% y P-resina de apenas 5 mg dm−3, abajo del nivel adecuado para la lechuga, pueden haber limitado la expresión diferencial de los bioestimulantes sobre la parte aérea.

4 Conclusión

Los resultados indican que las combinaciones que contienen el inoculante Dunna, a base de *Bacillus aryabhattai*, *B. amyloliquefaciens* y *B. subtilis*, fueron las más efectivas para el desarrollo radicular, mientras que la presencia de *Trichoderma harzianum* (Trichodermaiz) fue determinante para el mayor crecimiento total de la planta. Nuevos estudios con mayor número de evaluaciones a lo largo del ciclo, mayor nivel de fósforo disponible en el suelo y condiciones de campo son necesarios para confirmar y ampliar el entendimiento sobre la interacción entre esos bioestimulantes en la cultura de la lechuga.

Referencias

ALMEIDA, I. B. Promoção de crescimento por *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum* em alface crespa (*Lactuca sativa L.* var. crispa). 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2024.

ALZYOUD, L. *et al.* Influência de *Trichoderma harzianum* no crescimento, produtividade e qualidade da alface (*Lactuca sativa*) cultivada em sistema hidropônico. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, v. 53, n. 2, p. 14516, 2025.

BLINK/CROPLIFE BRASIL. Dados de mercado de bioinsumos – safra 2024/2025. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/publicacao/bioinsumos-do-brasil-dados-de-mercado-do-setor/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

CASTRO, T. A. V. T. Potencialidades das substâncias húmicas, extratos de algas

e suas combinações como bioestimulantes em plantas: características estruturais e modo de ação. 2023. 177 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2023. Disponível em: <http://rima.ufrrj.br/jspui/handle/20.500.14407/19245>. Acesso em: 24 maio 2026.

COMPANHIA NITRO QUÍMICA BRASILEIRA (Nitro Agro). Ficha técnica do produto Radicor (Fertilizante Organomineral). Disponível em: <https://agro.nitro.com.br/produto/radicor/>. Acesso em: 6 jun. 2026.

COMPANHIA NITRO QUÍMICA BRASILEIRA (Nitro Agro). Bula do produto Trichodermaiz WP PRO. Várzea Paulista, SP: Nitro Agro, 2025. (Registro MAPA n. 15721 – Biofungicida). Disponível em: <https://www.adapar.pr.gov.br>. Acesso em: 6 jun. 2026.

EL BOUKHARI, M. E. M.; BARAKATE, M.; BOUHIA, Y.; LYAMLOULI, K. Trends in seaweed extract based biostimulants: manufacturing process and benefactions. Plants, v. 9, n. 3, p. 359, 2020. DOI: 10.3390/plants9030359. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants9030359>. Acesso em: 24 maio 2026

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. Revista Brasileira de Biometria, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019.

KOCIRA, S. *et al.* Modification of yield and fiber fractions biosynthesis in *Phaseolus vulgaris L.* by treatment with biostimulants containing amino acids and seaweed extract. Agronomy, Basel, v. 10, n. 9, p. 1338, 2020.

MAHMUD, A. A.; UPADHYAY, S. K.; SRIVASTAVA, A. K.; BHOJIYA, A. A. Biofertilizers: A nexus between soil fertility and crop productivity under abiotic stress. Current Research in Environmental Sustainability, v. 3, 2021, art. 100063. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2021.100063>. Acesso em: 6 jun. 2026

MATTOS, J. V.; CAIRES, E. F. Efeito de bioestimulante de solo na nutrição e no

rendimento de grãos de soja e trigo. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 1206-1223, 2022. DOI: 10.34188/bjaerv5n1-093. Disponível em: <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-093>. Acesso em: 6 jun. 2026.

MEIRELLES, A. F. M.; BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Produtividade da alface (*Lactuca sativa L.*) em resposta à aplicação de ácidos húmicos e bactérias diazotróficas em condições de campo. Revista Ceres, v. 64, n. 5, p. 553-556, 2017. DOI: 10.1590/0034-737X201764050014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764050014>. Acesso em: 6 jun. 2026.

NICK, C.; BORÉM, A. Alface: do plantio à colheita. 1. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019. 228 p. ISBN 978-85-7269-585-5.

NOGUEIRA, M. S. *et al.* Aplicação de bioestimulantes sobre a produção de biomassa e de óleo essencial de manjericão. Recital – Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, Almenara, v. 4, n. 3, p. 29–40, 2023.

NORDGAARD, M. *et al.* Experimental evolution of *Bacillus subtilis* on *Arabidopsis thaliana* roots reveals fast adaptation and improved root colonization. iScience, Amsterdam, v. 25, n. 3, p. 103888, 2022.

RAIJ, B. van et al (ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 3. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 2022. (Boletim Técnico, 100).

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA). São Paulo é líder disparado na produção nacional de alface. [S. l.]: Notícias Agrícolas, 2026. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/hortifruti/413345-sao-paulo-e-lider-disparado-na-producao-nacional-de-alface.html>. Acesso em: 6 jun. 2026.

SANTOS-NARESSI, R. *et al.* Alface americana cultivada em diferentes sistemas de plantio e fontes de fertilizantes. Revista Brasileira de Biologia, São Carlos, v. 84, e255431, 2022.