



Received: Nov 24, 2025 / Accepted: Dec 01, 2025

Artículo Original

Reducción de la salinidad de un suelo agrícola y crecimiento del tomate (*Solanum lycopersicum*) usando *Bacillus velezensis* en invernadero

Reduction of salinity of an agricultural soil and growth of tomato (*Solanum lycopersicum*) using *Bacillus velezensis* in a greenhouse

J. A. Llontop-Llaque^{1*} , S. V. Chozo-Mestanza² , J. E. Jiménez-Ventura² , R. A. Tiparra-Montoya² , A. Risco-León³ , A. J. Carhuapoma-Aldaz³ 



<https://doi.org/10.51431/par.v7i2.1081>

Resumen

Objetivo: Determinar el efecto de la bacteria *Bacillus velezensis* en la reducción de la salinidad de un suelo agrícola y en el crecimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* 'Río Grande') en condiciones de invernadero. **Metodología:** El estudio comenzó con la búsqueda de cepas de bacterias halófilas en suelos agrícolas con problemas de salinidad y luego con la selección de cepas tolerantes al cloruro de sodio, identificadas como *Bacillus velezensis*. En invernadero, se utilizó suelo agrícola de la región Lambayeque, Perú, con tres niveles de salinidad (baja: 1,36 dS·m⁻¹, moderada: 3,84 dS·m⁻¹ y suelo salino: 6,26 dS·m⁻¹), como sustrato en macetas de 2 kg de capacidad y en ellas fueron sembradas plantas de tomate. En el suelo fue aplicado *B. velezensis* (1×10⁷ UFC·mL⁻¹) y se comparó con un testigo sin inocular. Durante 60 días se evaluó la conductividad eléctrica del suelo, la altura, vigor y desarrollo radicular de las plantas. Los datos se analizaron mediante ANOVA y la prueba de Duncan (p ≤ 0,05). **Resultados:** *B. velezensis* redujo la conductividad eléctrica del suelo hasta en 30,38 % y persistió en 2,1 × 10⁴ UFC·g⁻¹ en suelo salino, mostrando su capacidad desalinizadora y de sobrevivencia como bacteria halófila. Incrementó significativamente la altura de las plantas hasta 23,75 %, el vigor y el desarrollo radicular, respecto al testigo, en suelo salino. **Conclusiones:** *B. velezensis* mostró ser una bacteria halófila con capacidad para reducir significativamente la salinidad de un suelo agrícola y sobrevivir en él. Además, mostró ser promotora del crecimiento de las plantas de tomate.

Palabras claves: *Bacillus velezensis*, salinidad, promotor de crecimiento, tomate, invernadero.

Abstract

Objective: To determine the effect of the bacterium *Bacillus velezensis* on the reduction of salinity of an agricultural soil and on the growth of tomato plants (*Solanum lycopersicum* 'Rio Grande') under greenhouse conditions. **Methodology:** The study began with the search for strains of halophilic bacteria in agricultural soils with salinity problems and then with the selection of sodium chloride-tolerant strains, identified as *Bacillus velezensis*. In the greenhouse, agricultural soil from the Lambayeque region, Peru, with three salinity levels (low: 1,36 dS·m⁻¹, moderate: 3,84 dS·m⁻¹ and saline soil: 6,26 dS·m⁻¹) was used as a substrate in pots of 2 kg capacity and tomato plants were planted in them. *B. velezensis* (1×10⁷ CFU·mL⁻¹) was applied to the soil and compared with an uninoculated control. For 60 days, the electrical conductivity of the soil, height, vigor and root development of the plants were evaluated. Data were analyzed using ANOVA and Duncan's test (p ≤ 0,05). **Results:** *B. velezensis* reduced the electrical conductivity of the soil by up to 30,38 % and persisted at 2,1 × 10⁴ CFU·g⁻¹ in saline soil, showing its desalination and survival capacity as a halophilic bacterium. It significantly increased the height of the plants up to 23,75 %, the vigor and root development, with respect to the control, in saline soil. **Conclusions:** *B. velezensis* was shown to be a halophilic bacterium capable of significantly reducing the salinity of an agricultural soil and surviving in it. In addition, it was shown to promote tomato plant growth.

Keywords: *Bacillus velezensis*, salinity, growth promoter, tomato, greenhouse.

¹Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú

²Fitosanidad Perú EIRL, Lambayeque, Perú.

³Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque, Perú.

*Autor para correspondencia: jllontop@unprg.edu.pe

Introducción

La salinización del suelo se ha consolidado como un problema creciente de gran relevancia global. Los suelos afectados presentan una acumulación excesiva de sales solubles, sodio intercambiable o ambos, lo que resulta en la pérdida de la fertilidad y la biodiversidad, el deterioro de la estructura y estabilidad del suelo, y finalmente, la desertificación de las tierras agrícolas (Corrales et al., 2020).

Según el informe de la FAO (2024), la acumulación excesiva de sales no solo reduce la fertilidad del suelo y compromete la sostenibilidad ambiental, sino que también provoca pérdidas de rendimiento de hasta un 70 % en cultivos básicos como arroz y frijol. Se estima que, actualmente, 1 381 millones de hectáreas (equivalentes al 10,7 % de la superficie terrestre) están afectadas por la salinidad, incluyendo cerca del 10 % de las tierras agrícolas de regadío y de secano. Este fenómeno representa una amenaza directa para la seguridad alimentaria mundial, y las proyecciones advierten que el incremento de la temperatura global podría expandir las áreas salinizadas hasta cubrir entre el 24 % y el 32 % de la superficie terrestre total.

Omuto et al. (2021) mencionan que los cationes dominantes en suelos salinos son sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+) y los aniones dominantes son cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) y nitratos (NO_3^-). Los suelos afectados por esta condición y que presentan altas cantidades de iones de sodio son conocidos como suelos sódicos. El alto contenido de iones de sodio en estos suelos causa la dispersión de arcilla y materia orgánica que se asientan en las superficies de las partículas de suelo para darles un aspecto negro parduzco.

Lavado (2025), sostiene que los suelos afectados por sales en América Latina se ubican desde zonas áridas a húmedas, en condiciones de secano o irrigadas, áreas costeras y en zonas tropicales. La mayoría de estos suelos se originaron en condiciones naturales, pero el área aumenta con la salinización secundaria, la cual es causada por procesos antrópicos, principalmente

asociados a cambios hidrológicos provocados por el riego y otras prácticas insostenibles. En Perú, la salinidad del suelo es un problema que afecta aproximadamente al 40 % del área agrícola total de la costa. Para mitigar el problema de la salinidad, recomienda dos tecnologías emergentes: la agricultura biosalina y la fitorremediación. Montano et al. (2022), definen a la fitorremediación como la remediación con plantas y la biorremediación como la remediación con otros organismos vivos, como una estrategia de mitigación que permite reducir la concentración de metales pesados en suelos y/o aguas contaminadas.

Las bacterias halófilas son microorganismos que prosperan en ambientes con alta concentración de sales, encontrándose en hábitats extremos como lagos salados, salinas y suelos salinos (Ventosa et al., 2015). Su característica principal es la adaptación a un amplio rango de concentraciones de sal, clasificándose desde halófilas leves, que requieren solo un 6 % de sal, hasta halófilas extremas, que toleran concentraciones del 15 al 36 % de sal (DasSarma & DasSarma, 2012). Para contrarrestar el estrés osmótico, las bacterias halófilas acumulan solutos compatibles en su citoplasma, manteniendo así el equilibrio celular (Roberts, 2005). Gracias a su gran tolerancia, estas bacterias poseen un potencial significativo para la rehabilitación de suelos salinizados y diversas aplicaciones biotecnológicas.

Ante la problemática expuesta, el objetivo de la presente investigación fue buscar en suelos salinos bacterias halófilas nativas como *Bacillus velezensis*, con capacidad para reducir la salinidad de un suelo agrícola y promover el crecimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* 'Río Grande') en condiciones de invernadero.

Metodología

Recolección y análisis de suelo rizosférico de frijol caupí

En enero del 2025, fueron colectadas muestras de suelo rizosférico de plantas de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) sobreviviendo en suelos con diferentes niveles de salinidad. Estos suelos mostraban costras blanquecinas que

afloaban sobre la superficie del suelo agrícola. Fueron colectadas tres muestras de suelo de 10 kg cada una, en un área de 3 ha, en el Fundo La Peña, en la Región Lambayeque, Perú (coordenadas: 6° 42' 56" S, 6° 54' 59" W).

Las muestras de suelo rizosférico fueron sometidas a un análisis físico y químico para conocer su concentración y clase de sales en el Laboratorio Agrícola de análisis de suelos y aguas (CYSAG EIRL) y análisis microbiológico en el Laboratorio de Fitosanidad Perú EIRL, para determinar los microorganismos existentes, con atención principal a las bacterias halófilas. Las muestras analizadas tuvieron una textura francoarenoso, con $\text{pH} > 8,13$ (moderadamente alcalino); $\text{CaCO}_3 > 2,18 \%$ (alto); $\text{CIC} > 8,15$ meq/100 g; P extraíble $> 24 \text{ mg.kg}^{-1}$ (alto); K extraíble $> 244 \text{ mg.kg}^{-1}$ (alto). Respecto a la Conductividad Eléctrica (CE), el suelo fue calificado como suelo de salinidad baja ($1.36 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), moderada ($3.84 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) y suelo salino ($6.26 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$).

Aislamiento e identificación de bacterias halófilas

A partir de suelo salino rizosféricos de frijo caupíl, se realizaron diluciones seriadas y éstas se sembraron en placas de Petri conteniendo Agar Nutritivo Modificado (ANM) suplementado con 3,75 % de NaCl. Las placas se incubaron a 30 °C durante 24 a 48 horas. Las colonias desarrolladas fueron transferidas a medio líquido TSA modificado con cloruro de sodio desde 5 % hasta 20 % e incubadas a 30 °C por 24 horas.

Fue seleccionada la cepa que logró crecer en la más alta concentración de NaCl (13 %) y fue enviada al Laboratorio de Micología y Biotecnología (LMB) “Marcel Gutiérrez Correa” de la Universidad Nacional agraria La Molina, en Lima, Perú, para su identificación molecular. Con el método de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), amplificación de la región 16 S ARNr con cebadores universales 27 F y 1492 F, secuenciamiento Sanger y análisis bioinformático de bases de datos NCBI y EZBioCloud. la cepa fue identificada como *Bacillus velezensis* FZB42

Instalación del ensayo en invernadero

Se utilizaron plantas de tomate de la variedad Río Grande, de 30 días de edad,

seleccionadas por su homogeneidad en altura, vigor y sanidad. Fueron trasplantadas dos plantas por maceta de 2 kg de capacidad, totalizando 54 macetas. De ellas, 27 macetas correspondieron a suelo de salinidad baja, moderada y salino (9 macetas por cada nivel de salinidad), aplicadas con *B. velezensis* y 27 macetas correspondieron al Testigo sin aplicación (9 macetas por cada nivel de salinidad). El suelo usado no fue esterilizado, fue el mismo colectado en el campo donde fue hallada la bacteria.

Las plantas fueron regadas de manera interdiaria con agua potable de $\text{CE} = 0,2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y nutridas cada 7 días con las soluciones hidropónicas clásicas A (N, P y K) y B (Mn, B, Zn y Mo).

Inoculación de B. velezensis en la rizósfera de tomate en tomate

Tres días después del trasplante, fue aplicada la bacteria. De una concentración de $1 \times 10^7 \text{ UFC}\cdot\text{mL}^{-1}$, preparada en medio de cultivo líquido TSA (Agar - Trypticase - Soya), fueron vertidos 10 mL en 1 Litro de agua potable y de esta dilución fueron aplicados 100 mL por maceta, abarcando la rizósfera de la planta de tomate. La cantidad de agua aplicada mantuvo el suelo en capacidad de campo.

Variables evaluadas

Independientes

1. **Nivel de salinidad del suelo usado como sustrato en las macetas:** tres niveles clasificados por conductividad eléctrica en baja: $1,36 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, moderada: $3,84 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y salina: $6,26 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.
2. **Inoculo:** *B. velezensis* y un Testigo sin inocular (T0), en cada nivel de salinidad.

Dependientes

Reducción de la salinidad del suelo en las macetas: Se midió la C.E de muestras de suelo a los 0 días (antes de la inoculación de la bacteria) y 60 días después de la inoculación, usando un potenciómetro marca Hanna HI98103. La muestra analizada fue de 100 g de suelo por cada maceta (tres macetas por repetición). Con los datos de C.E, fue estimado el efecto de la bacteria respecto a la reducción de la salinidad del suelo, de dos maneras:

Respecto a la C: E: inicial: Dato útil para saber

Peruvian Agricultural Research 7(2), 58-67, 2025

en qué porcentaje la bacteria redujo la C.E final en relación a la salinidad inicial, en el mismo suelo de la maceta.

Reducción de la salinidad (%) = $[(C.E \text{ inicial} - C.E \text{ final}) \times 100] / (C.E \text{ inicial})$

Respecto al testigo sin aplicación: Dato útil para saber en qué porcentaje la bacteria redujo la C.E final en relación al Testigo sin aplicación (a los 60 días), en el suelo del mismo nivel de salinidad.

Reducción salinidad (%) = $[(C.E \text{ Testigo} - C.E \text{ Aplicado}) \times 100] / (C.E \text{ Testigo})$

Sobrevivencia de la bacteria en el suelo: Se cuantificó el número de Unidades Formadoras de Colonias por gramo de suelo (UFC.g⁻¹) de *Bacillus velezensis* presentes en la rizosfera de tomate a los 60 días después de la inoculación. Se empleó la técnica de diluciones seriadas y siembra en placas con medio Agar Nutritivo Modificado (ANM), suplementado con 3,75 % de NaCl. La concentración inicial fue 1×10^7 UFC.mL⁻¹.

Altura de planta (cm): Se midió la longitud del tallo desde su base hasta la razante horizontal de la planta. La evaluación se realizó a los 15 y 60 días después de la inoculación de la bacteria.

Se calculó el porcentaje de incremento para la variable altura a los 60 días después de la inoculación.

Incremento altura (%) respecto a 15 días = $[(\text{altura final} / \text{altura inicial}) \times 100] - 100$

Incremento altura (%) respecto al Testigo = $[(\text{altura Tratamiento} / \text{altura Testigo}) \times 100] - 100$

Vigor de planta (Grado): La evaluación se realizó de forma visual utilizando una escala convencional que facilitó calificar el vigor en seis Grados, G 6: planta muy vigorosa y frondosa; G 5: planta muy vigorosa pero menos frondosa; G 4: planta moderadamente vigorosa y menos frondosa; G 3: planta débil o raquítica; G 2: planta muy débil; G 1: planta casi muerta. La evaluación se realizó a los 15 y 60 días después de la inoculación.

Desarrollo radicular (Grado): Se empleó una escala convencional que permitió estimar el desarrollo de la masa radicular, expresado en Grados, G 6: raíz muy vigorosa y abundante; G 5: raíz muy vigorosa pero menos abundante; G 4: raíz moderadamente vigorosa y menos abundante; G 3: raíz débil o raquítica; G 2: raíz

muy débil; G 1: raíz casi ausente. La evaluación se realizó a los 60 después de la inoculación.

Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó usando el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS). Se realizó el Análisis de Variancia, y las comparaciones de tratamientos con la prueba de significación Duncan con un nivel de significación de $P \leq 0,05$.

Resultados y Discusión

La cepa de *Bacillus velezensis*, mostró ser eficiente en la reducción de la salinidad del suelo, como bacteria halófila y como promotora del crecimiento vegetal de las plantas de tomate, prometiendo ser un potencial biotecnológico para la recuperación de suelos agrícolas degradados en la Región Costa de Perú.

Reducción de la salinidad del suelo

Respecto a la salinidad inicial, *B. velezensis* redujo la C.E en los tres niveles de salinidad. Esta reducción fue mayor en el suelo de salinidad moderada y salino en 53.91 y 53.51 %, respectivamente (Tabla 1, Figura 1). La disminución de la salinidad en el Testigo sin aplicación de la bacteria, fue siempre menor, atribuida al lavado del suelo con los riegos inter diarios. Por este motivo fue calculada la disminución de la salinidad debido a la bacteria en relación al Testigo sin aplicación.

La reducción real efectuada por *B. velezensis* fue mayor en el suelo con salinidad baja (37.40 %) sin desmerecer su contribución en los suelos de salinidad media (20.62 %) y suelo salino (30.38 %). Estos resultados confirman la capacidad de la cepa de esta bacteria para promover la lixiviación o exclusión iónica, reduciendo la acumulación de Na⁺ en la rizosfera. Resultados similares fueron observados por Ramírez-Ramírez et al. (2023), quienes registraron una reducción de la C.E. del suelo de 2,35 a 1,81 dS·m⁻¹, tras la aplicación de bacterias halófilas en frambuesa, y por Damodaran et al. (2023), que evidenciaron la exclusión eficiente de Na⁺ y mayor absorción de K⁺ en tomate inoculado con consorcios halotolerantes de *Lysinibacillus* y *Bacillus* spp.

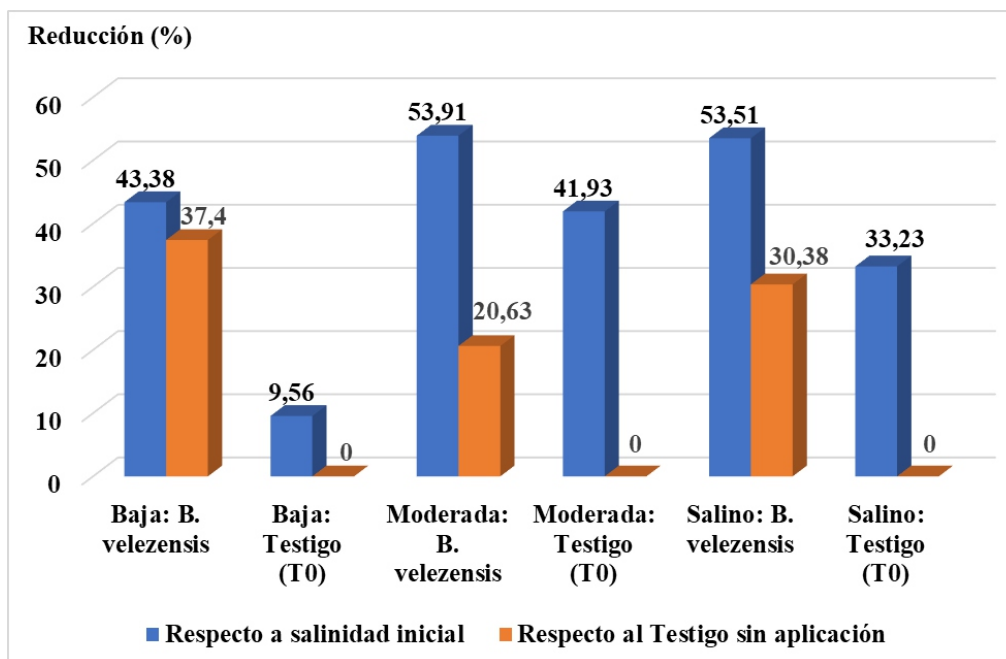
Tabla 1

Reducción de la salinidad (%) respecto a la inicial (0 días) y al testigo sin aplicación, a los 60 días después de la inoculación de *B. velezensis* con diferentes niveles de salinidad del suelo

Tratamiento	Nivel de salinidad (dS·m ⁻¹)	Momento de evaluación (días)				
		Conductividad eléctrica (dS·m ⁻¹) a:			Reducción (%) respecto a:	
		0 (inicial)	60	0 - 60	0 (inicial)	Testigo
<i>Bacillus velezensis</i>	Baja (1,36)	1,36 c	0,77 f	0,59	43,38 b	37,40 a
Testigo sin aplicación		1,36 c	1,23 e	0,13	9,56 e	0,00 d
<i>Bacillus velezensis</i>	Moderada (3,84)	3,84 b	1,77 d	2,07	53,91 a	20,63 c
Testigo sin aplicación		3,84 b	2,23 c	1,61	41,93 c	0,00 d
<i>Bacillus velezensis</i>	Salino (6,26)	6,26 a	2,91 b	3,35	53,51 a	30,38 b
Testigo sin aplicación		6,26 a	4,18 a	2,08	33,23 d	0,00 d

Figura 1

Reducción de la salinidad (%) respecto a la inicial (0 días) y al testigo sin aplicación, a los 60 días después de la inoculación de *B. velezensis* con diferentes niveles de salinidad del suelo.



Sobrevivencia de la bacteria en el suelo

A la capacidad desalinizadora de *B. velezensis*, se sumó su capacidad de sobrevivencia en suelo salino (6,26 dS.m⁻¹) con una concentración de 21 x 10⁴ UFC.g⁻¹ a los 60 días después de la inoculación (Tabla 2). En suelos con salinidad moderada (3,84 dS.m⁻¹), la población fue aún mayor, con 8,9 x 10⁴ UFC.g⁻¹. Esta colonización activa explica la mejora en las

propiedades fisicoquímicas del suelo y el crecimiento vegetal. Investigaciones recientes también evidencian que cepas de *Bacillus velezensis* pueden mantener poblaciones estables en condiciones salinas y favorecer el desarrollo del tomate, aumentando la biomasa total, contenido de clorofila y peso de raíces (Mekonnen et al., 2025; Valencia-Marín et al., 2025)

Tabla 2

Sobrevivencia de *Bacillus velezensis* a los 60 días después de la inoculación en la rizósfera de plantas de tomate en macetas, con diferentes niveles de salinidad del suelo

Nivel de salinidad (dS.m ⁻¹)	Inicial (medio líquido) 1 x 10 ⁷ UFC.mL ⁻¹	Final (60 días) UFC.g ⁻¹
Baja (1,36)	1 x 10 ⁷	3,7 x 10 ⁴
Moderada (3,84)	1 x 10 ⁷	8,9 x 10 ⁴
Salino (6,26)	1 x 10 ⁷	2,1 x 10 ⁴

Efecto promotor del crecimiento de plantas de tomate

La inoculación con *B. velezensis* tuvo un impacto positivo y significativo en el crecimiento de las plantas de tomate ante el efecto del estrés salino.

Altura de la planta de tomate

La altura las plantas de tomate a los 60 días, respecto a los 15 días después de la inoculación de la bacteria, aquellas inoculadas tuvieron un incremento de la altura de 93,44, 61,37 y 67,83 % en suelos con salinidad baja, moderada y suelo salino, respectivamente (Tabla 3). Este incremento fue significativamente menor en las plantas no inoculadas, en el mismo nivel de salinidad. Respecto al Testigo sin aplicación de la bacteria, hubo tendencia a un mayor incremento de la altura de las plantas inoculadas, conforme el

nivel de salinidad aumentó, debido a que las plantas no inoculadas fueron significativamente afectadas por la salinidad y con mayor severidad en el suelo calificado como salino (Figura 2).

Este resultado coincide con lo reportado por Latif et al. (2023), quienes demostraron que rizobacterias halotolerantes como *Pseudarthrobacter oxydans* y *Staphylococcus pasteuri* promovieron significativamente la altura y biomasa de tomate bajo 150 mM de NaCl. De forma similar, Yan et al. (2024) encontraron que la inoculación con bacterias halófilas redujo la conductividad eléctrica del suelo y mejoró la altura, biomasa y contenido de clorofila en tomate bajo estrés salino, información que refuerza la eficacia de estos microorganismos para mitigar la toxicidad iónica de las sales y promover el crecimiento.




Tabla 3

Incremento de la altura de planta de tomate (%) respecto a la inicial y al testigo sin aplicación, a los 60 días después de la inoculación de *Bacillus velezensis* con diferentes niveles de salinidad del suelo

Tratamiento	Nivel de salinidad (dS.m ⁻¹)	Momento de evaluación (días)			
		Altura (cm)		Incremento (%) respecto a:	
		15 (inicial)	60	15 (inicial)	Testigo
<i>Bacillus velezensis</i>	Baja (1,36)	30,33 b	58,67 a	93,44 a	15,79 b
Testigo sin aplicación		32,67 a	50,67 b	55,10 d	0,00 c
<i>Bacillus velezensis</i>	Moderada (3,84)	30,57 b	49,33 bc	61,37 b	18,42 b
Testigo sin aplicación		31,00 b	41,67 d	34,42 e	0,00 c
<i>Bacillus velezensis</i>	Salino (6,26)	29,00 c	48,67 c	67,83 c	23,75 a
Testigo sin aplicación		28,67 c	39,33 e	37,18 e	0,00 c

Figura 2

Incremento (%) de la altura (h) y vigor de la planta de tomate, respecto al Testigo (T0), a los 60 días después de la inoculación de *Bacillus velezensis* (B.v) con diferentes niveles de salinidad del suelo. Escala de vigor: G 1 - 6).

Salinidad (dS.m ⁻¹) Baja (1,36): Incremento h = 16 %		Moderada (3,84) h = 18 %		Salino (6,26) h = 24 %	
					
Vigor G = 4,3	5,3	4,3	5,0	2,7	4,3
Control	<i>B.v</i>	Control	<i>B.v</i>	Control	<i>B.v</i>

Vigor de planta

Ante el estrés producido en las plantas por las sales en el suelo, el vigor de las plantas de tomate fue mitigado, por un lado, por el efecto desalinizador de *B. velezensis* y también por el efecto promotor de crecimiento. Hubo tendencia que, a mayor salinidad del suelo, el vigor fue disminuyendo progresivamente, siendo este menor en las plantas Testigo sin la bacteria y de manera muy severa en el suelo salino, con planta muy débiles con principios de marchitez (Grado 2,7). En la Figura 2, se observa, de manera evidente, el efecto detrimental de las sales sobre el vigor y la altura de las plantas de tomate sin *B. velezensis*.

El efecto promotor del crecimiento vegetal, se produce debido a la producción de fitohormonas (como AIA) y solutos compatibles que ayudan a mantener el equilibrio osmótico (Haque et al., 2022), a la capacidad de *Bacillus* para inducir resistencia sistémica y mejorar la absorción de nutrientes bajo exceso de NaCl (Rodríguez et al., 2023; Kapadia et al., 2021). Además, se producen mecanismos indirectos que incluyen una mejor nutrición vegetal mediante la solubilización de fosfato, la movilización de micronutrientes y, en algunas cepas, la fijación atmosférica de nitrógeno (Cultivar, 2025).

Desarrollo radicular

B. velezensis promovió el mayor desarrollo radicular de las plantas de tomate sometidas al estrés producido por la salinidad del suelo, aunque este desarrollo fue menor conforme la salinidad aumentó (Figura 3). En suelo calificado como salino, las plantas fueron más afectadas, tanto en suelo con la bacteria y sin ella, siendo notablemente mayor el daño en las raíces con suelo sin la bacteria. Estos resultados concuerdan con aquellos encontrados para altura y vigor de planta (Figura 2).

Lo hallado en el presente estudio, coincide con lo reportado por Khumairah et al. (2022), quienes señalaron que rizobacterias halotolerantes mejoran la longitud y biomasa radicular en condiciones salinas. Un sistema radicular más robusto también incrementa la absorción de agua y nutrientes y facilita la colonización bacteriana, lo que contribuye a una mayor tolerancia al estrés osmótico.

El efecto integral observado puede atribuirse a mecanismos múltiples: producción de exopolisacáridos que retienen iones, secreción de enzimas antioxidantes, y acumulación de solutos compatibles (Corrales et al., 2020; Roberts, 2005; Ventosa et al., 2015). Estos procesos contribuyen a mejorar la estructura del suelo, disminuir la toxicidad iónica y aumentar la tolerancia fisiológica de la planta.

Figura 3

Desarrollo radicular (Grados 1 -6) de plantas de tomate a los 60 días después de la inoculación de *B. velezensis* (*B.v*) en comparación con el Testigo sin aplicación (*T0*), con diferentes niveles de salinidad del suelo.

Salinidad (dS.m ⁻¹) Baja (1,36)		Moderada (3,84)		Salino (6,26)	
Grado = 4,7	5,0	3,0	4,7	2,3	3,5
T0	<i>B.v</i>	T0	<i>B.v</i>	T0	<i>B.v</i>

En conjunto, los resultados de este estudio confirman que *Bacillus velezensis* es una bacteria halófila eficaz para reducir la salinidad del suelo y mejorar el crecimiento del tomate en condiciones de estrés por salinidad. Su uso como bioinoculante puede ser una alternativa biotecnológica sostenible para la recuperación de suelos salinos en la costa peruana, coherente con los lineamientos de sostenibilidad agrícola propuestos por la FAO (2024) y respaldada por estudios recientes en diversos cultivos.

Conclusiones

La cepa aislada de suelos salinos agrícolas sembrados con frijol caupí (*Vigna unguiculata*) en el distrito Lambayeque, Perú, fue identificada como *Bacillus velezensis*. Esta especie mostró tener capacidad para reducir la salinidad de los suelos de salinidad baja, media y salinos,, respecto al testigo. *B. velezensis*, tuvo capacidad para sobrevivir en suelo salino después de la inoculación; asimismo, mostró ser promotora del crecimiento de las plantas de tomate.. Las plantas no inoculadas fueron notablemente afectadas por la salinidad del suelo y con mayor severidad en el suelo calificado como salino. Estos hallazgos respaldan el uso de *B. velezensis* como una estrategia biotecnológica sostenible y viable para

el manejo de la salinidad en suelos costeros de Perú.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la empresa Fitosanidad Perú por el apoyo financiero y uso de su laboratorio de diagnóstico e investigación fitosanitaria, para la ejecución de la presente investigación.

Referencias

- Corrales, M. L., Iglesias, S., y Carreño, C. (2020). Potencialidades de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, aisladas de *Portulaca oleracea* L. en suelos con salinidad. *Pastos y Forrajes*, 43 (2), 147 - 156. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942020000200093&lng=es&tlng=es.
- Cultivar (2025). *Bacillus velezensis*. *Revista Sanidad Vegetal*. <https://revistacultivares.com/fitossanidade/bacillus-velezensis>
- DasSarma, S., & DasSarma, P. (2012). *Halophiles* (4th ed.). *Encyclopedia of microbiology*. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a000394.pub3>

- Damodaran, T., Jha, S. K., Kumari, S., Gupta, G., Mishra, V. K., Sharma, P. C., Gopal, R., Singh, A., & Jat, H. S. (2023). Development of halotolerant microbial consortia for salt stress mitigation and sustainable tomato production in sodic soils: an enzyme mechanism approach. *Sustainability*, 15(6), 5186. <https://doi.org/10.3390/su15065186>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2024). *launches first major global assessment of salt-affected soils in 50 years (diciembre)*. <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-launches-first-major-global-assessment-of-salt-affected-soils-in-50-years/en>
- Haque, M. M., Biswas, M. S., Mosharaf, M. K., Haque, M. A., Islam, M. S., Nahar, K., Islam, M. M., Shozib, H. B., Islam, M. M., & Ferdous, E. E (2022). Halotolerant biofilm-producing rhizobacteria mitigate seawater-induced salt stress and promote growth of tomato. *Scientific reports*, 12(1), 5599. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09519-9>
- Kapadia, C., Sayyed, R. Z., El Enshasy, H. A., Vaidya, H., Sharma, D., Patel, N., Malek, R. A., Syed, A., Elgorban, A. M., Ahmad, K., & Zuan, A. T. (2021). Halotolerant microbial consortia for sustainable mitigation of salinity stress, growth promotion, and mineral uptake in tomato plants and soil nutrient enrichment. *Sustainability*, 13(15), 8369. <https://doi.org/10.3390/su13158369>
- Khumairah, F. H., Setiawati, M. R., Fitriatin, B. N., Simarmata, T., Alfaraj, S., Ansari, M. J., Enshasy, H. A., Sayyed, R. Z., & Najafi, S. (2022). Halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria isolated from saline soil improve nitrogen fixation and alleviate salt stress in rice plants. *Frontiers in Microbiology*, 13, 905210. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.905210>
- Latif, A., Ahmad, R., Ahmed, J., Shah, M. M., Ahmad, R., & Hassan, A. (2023). Novel halotolerant rhizobacterial strains mitigated the salt stress in vitro and in vivo and improved the growth of tomato plants. *Scientia Horticulturae*, 319(112115), 112115. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112115>
- Lavado, R.S. (2025). *Estado y manejo de suelos afectados por sales en Latinoamérica. Evento Regional: Conmemoración del Día Mundial del Suelo*. CONICET, INBA y F A U B A . A r g e n t i n a . 16 p. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/world_soil_day/Webinar_LAC/day1/Ppt_Rau%CC%811_Lavado.pdf
- Mekonnen, H., Kibret, M., Assefa, F., & Kabtimer, N. (2025). Potential of plant growth-promoting rhizobacteria to enhance tomato growth. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 8(1), e70036. <https://doi.org/10.1002/agg2.70036>
- Montano, Y., Tapia, P. M., Fow, A. y Fuentealba, B. (2022). *Fitorremediación, una alternativa para tratar la contaminación ambiental* (Folleto). Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña – Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (DIEM-INAIGEM). (Web publicación online). <https://repositorio.inaigem.gob.pe/items/5bda3e9a-b2da-4cfa-abd5-de671ee77870>
- Omuto, C. T., Vargas, R. R., El Mobarak, A. M., Mohamed, N., Viatkin, K. y Yigini, Y. (2021). *Mapeo de suelos afectados por salinidad*. Manual Técnico. Roma, FAO. 108 p. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bd007ae9-18ef-4f5e-abd3-6194eb8a8100/content>
- Ramirez, F., Ramirez, M., Peralta J., Amador, O., Gama, L., Murguía, C., Diaz, S., & Tapia, E. (2023). Effect of halophilic bacteria as a sustainable strategy to reduce soil salinity in raspberry (*Rubus idaeus*) cultivation. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i11.2729>
- Roberts, M. F. (2005). Organic compatible

- solutes of halotolerant and halophilic microorganisms. *Saline Systems*, 1(5). <https://doi.org/10.1186/1746-1448-1-5>
- Rodríguez M., Hernández, G., y Busa P. (2023). Perspectivas en biorremediación para la recuperación de suelos salinos. *Revista Guarracuco Sostenible*, 1(1). <https://doi.org/10.52043/g.s.v1i1.463>
- Ventosa, A., de la Haba, R. R., Sánchez, C., & Papke, R. T. (2015). Microbial diversity of hypersaline environments: a metagenomic approach. *Current Opinion in Microbiology*, 25, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2015.05.002>
- Valencia, M. F., Chávez, S., Sepúlveda, E., Delgado, C. S., Meza, J. J., Orozco, M. D., De Los Santos, S., Babalola, O. O., Hernández, R., & Santoyo, G. (2025). Stress-tolerant bacillus strains for enhancing tomato growth and biocontrol of *Fusarium oxysporum* under saline conditions: functional and genomic characterization. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 41(3), 96. <https://doi.org/10.1007/s11274-025-04308-8>
- Yan, N., Wang, W., Mi, T., Zhang, X., Li, X., & Du, G. (2024). Enhancing tomato growth and soil fertility under salinity stress using halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria. *Plant Stress*, 14, 100638. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100638>