Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4167

Artículo

Influencia de los sistemas pulverizadores y aplicadores en surco en la viabilidad de los inoculantes bacterianos

Bruno Rosini [1]
Bianca Rosini [1]
Cláudia Cristina Leite Fiori [1]
Kátia Regina Freitas Schwan Estrada [2]
Angélica Calandrelli [3, §]

1 Forbio Agrociência Ltda., Carretera BR-376 No. 2753, Lote 114/Rem., Gleba Patrimônio Apucarana, Paraná, Brasil. Forbio Agrociência Ltda.

2 Programa de Posgrado en Agroecología-Universidad Estatal de Maringá. Avenida Colombo 5790, Bloque J45, Maringá, Paraná, Brasil.

3 Programa de Posgrado en Agronomía-Universidad Estatal de Maringá. Avenida Colombo 5790, Bloque J45, Maringá, Paraná, Brasil.

Corresponding author: a.calandrelli@hotmail.com

Resumen

Este estudio evaluó los efectos de dos sistemas de agitación de mezcla de pulverización - mecánico (hélice) e hidráulico (vórtice)- combinados con diferentes caudales y tipos de boquillas sobre la viabilidad de *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense*. Se realizaron cuatro experimentos de bloques al azar para evaluar el modo de agitación, el caudal y el tipo de boquilla en condiciones simuladas de aplicación. La viabilidad se cuantificó mediante el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC) en 2023. El tipo de agitación, el caudal, el tipo de boquilla y la configuración del sistema completo no aumentaron la mortalidad bacteriana. Se concluye que el sistema de pulverizador agrícola y sus parámetros operativos no influyen en la viabilidad de los inoculantes evaluados.

Palabras clave:

tecnología de aplicación, bioinsumos, inoculantes microbianos, viabilidad microbiana.



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4167

Introduccin

Los rizobios se encuentran entre los inoculantes más antiguos y utilizados. Estas bacterias diazotróficas colonizan la rizosfera y forman nódulos radiculares, especialmente en leguminosas, lo que permite la fijación biológica de nitrógeno en niveles que a menudo satisfacen los requerimientos de nitrógeno completos de la planta (Alemneh *et al*., 2020; Nakei *et al*., 2022). Otras bacterias diazotróficas, como *Azospirillum* spp., establecen asociaciones menos íntimas con las raíces de las plantas, pero aun así contribuyen significativamente a la absorción de nitrógeno (Santos *et al*., 2019; Cassán *et al*., 2020; Bhattacharjee *et al*., 2023).

Tradicionalmente, el tratamiento de semillas ha sido el principal método para aplicar agentes microbianos, lo que asegura el contacto directo entre las semillas y los inoculantes. Sin embargo, se utilizan cada vez más métodos alternativos de aplicación, como la aplicación en surco y la pulverización foliar, debido a su flexibilidad operativa y al potencial para optimizar la distribución microbiana en el entorno rizosférico (O'Callaghan *et al*., 2022; Sivasakthivelan *et al*., 2023).

El uso creciente de bioinsumos microbianos en la agricultura ha generado nuevos retos técnicos relacionados con la formulación, manipulación, almacenamiento y aplicación en condiciones de campo. Los inoculantes microbianos son productos basados en organismos vivos y su desempeño agronómico depende de mantener la viabilidad celular hasta su entrega en el sitio objetivo.

Revisiones recientes han destacado que los biofertilizantes y los inoculantes microbianos son cada vez más importantes para la agricultura sostenible, pero su desempeño en campo puede verse afectado por limitaciones asociadas a la estabilidad de la formulación, la vida útil y los procedimientos de aplicación (O'Callaghan *et al*., 2022; Díaz-Rodríguez *et al*., 2025).

A pesar de la necesidad de estudios que validen las tecnologías de aplicación e identifiquen los factores operativos que puedan afectar la supervivencia microbiana durante el uso agrícola, la información sobre los efectos de los componentes del pulverizador, los sistemas de agitación, la presión, el caudal y el paso por la boquilla en la viabilidad del inoculante bacteriano sigue siendo limitada.

Durante la pulverización mecanizada, la mayoría de las formulaciones de inoculantes son sometidas a agitación, presurización y atomización mediante boquillas hidráulicas. Aunque estos sistemas están bien establecidos para aplicar insumos químicos, sus efectos sobre la viabilidad microbiana siguen siendo poco comprendidos (Oliveira *et al*., 2022; Kumar *et al*., 2023; Beltrán-Martí *et al*., 2024).

Dada esta escasez de información, se planteó la hipótesis de que las variables operativas de los sistemas de pulverizadores podrían reducir la viabilidad de los microorganismos en las formulaciones de inoculantes. Por ello, este estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos de dos sistemas de agitación de mezcla (hélice y vórtice), combinados con cuatro tipos de boquillas de pulverización a una presión de aplicación de 4 bar, sobre la viabilidad de *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense*.

Material y mtodos

Procedimientos experimentales generales

Los experimentos se llevaron a cabo entre agosto y noviembre de 2023 en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Forbio Agrociência Ltda. (Apucarana, Paraná, Brasil). Se realizaron cuatro experimentos independientes de bloques al azar: dos con *B. japonicum* (cepas SEMIA 5079 y 5080; Aladin Plus Nod®, el cual contiene 7×10^9 unidades formadoras de colonias UFC ml^{-1}, aplicado a 300 ml ha^{-1}), y dos con *A. brasilense* (cepas Ab-V5 y Ab-V6; Grammy Crop®, el cual contiene 2×10^8 UFC ml^{-1}, aplicado a 200 ml ha^{-1}).

Cada experimento se organizó en un diseño de bloques al azar con nueve tratamientos y tres repeticiones, con dos formas de agitación (hélice y vórtice), aplicación a 4 bar y cuatro boquillas de

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4167

pulverización. La unidad experimental consistió en una muestra de mezcla de pulverización de 0.3 L recolectada del simulador de pulverizador agrícola bajo cada condición de tratamiento. El factor de bloqueo correspondió a la ejecución experimental, la cual se utilizó para controlar la posible variación asociada a la preparación de la mezcla de pulverización, a la operación del simulador, a la recolección de muestras y al cultivo microbiano en placa. Así, cada experimento comprendió 27 observaciones, lo que sumó un total de 108 observaciones entre los cuatro experimentos independientes.

Los experimentos 1 y 3 usaron agitación por hélice (para *B. japonicum* y *A. brasilense*, respectivamente), mientras que los experimentos 2 y 4 emplearon agitación por vórtice bajo el mismo conjunto de tratamientos.

Las boquillas fueron seleccionadas por su representatividad en operaciones de campo, de la siguiente manera: dos boquillas para aplicación foliar (COAP 90° 015 y LBD 110° 015) y dos boquillas para aplicación en surco (MJS M1041 y MJS M1040), según lo descrito por Mota y Raetano (2019).

Para mantener una presión constante (4 bar) en todas las condiciones de flujo, se utilizaron válvulas calibradas para igualar caudales nominales de 0.68, 0.25 y 0.21 L min^{-1}, correspondientes a los conjuntos de boquillas evaluados. Todos los tratamientos se realizaron a 25 ±1 °C.

Se utilizaron los siguientes tratamientos: T1= control (mezcla de pulverización agitada manualmente); T2= agitación de 2 h; T3= agitación de 2 h, aplicada a 4 bar y 0.68 L min^{-1}; T4= agitación de 2 h, aplicada a 4 bar y 0.68 L min^{-1} usando COAP 90° 015; T5= agitación de 2 h, aplicada a 4 bar y 0.68 L min^{-1} usando LBD 110° 015; T6= agitación de 2 h, aplicada a 4 bar y 0.25 L min^{-1}; T7= agitación de 2 h, aplicada a 4 bar y 0.25 L min^{-1} usando MJS M1041; T8= agitación de 2 h, aplicada a 4 bar y 0.21 L min^{-1}; y T9= agitación de 2 h, aplicada a 4 bar y 0.21 L min^{-1} usando MJS M1040.

Simulador de pulverizacin

Un simulador de pulverizador agrícola fue desarrollado por Atomizer de Brasil y se utilizó para reproducir una circulación hidráulica similar a la de campo y el paso por la boquilla bajo condiciones controladas, permitiendo comparaciones entre sistemas de agitación y configuraciones de bombas (Figura 1).



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas
DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4167

Figura 1. Representación esquemática de los componentes del simulador de pulverizador agrícola: A) tanque; B) motor eléctrico (agitación por hélice); C) manómetro (presión del vórtice); D) bomba eléctrica (presión de aplicación); E) bomba eléctrica (agitación por vórtice); F) sistema de pulverización equipado con dos boquillas; y G) manómetro (presión de aplicación).



Recolección de muestras

En todos los experimentos, se recolectaron muestras en nueve puntos predefinidos (T1-T9) para aislar los efectos de agitación, presurización, circulación y paso por la boquilla. T1 fue el control de manipulación manual, T2 se recolectó después de 2 h de agitación (2.76 bar) y T3 tras exposición a 4 bar sin paso por la boquilla; T4-T9 se recolectaron tras pasar por el sistema bajo cada condición de boquilla/caudal. Entre tratamientos, el sistema se desinfectó con tres ciclos de enjuague y el arrastre se comprobó mediante el cultivo en placa.

Determinación de la viabilidad microbiana

Las muestras de cada tratamiento se sometieron a diluciones seriadas en condiciones asépticas. Para cada dilución, se transfirió una alícuota de 1 ml a un tubo de ensayo que contenía 9 ml de agua peptonada estéril al 0.1% (dilución 1:10). La mezcla se homogeneizó utilizando un Vortex Mixer® (Gilson) para asegurar una dispersión uniforme. Este proceso se repitió sucesivamente hasta alcanzar una concentración de 10^{-4} para *B. japonicum* y 10^{-3} para *A. brasilense*.

La viabilidad de los agentes biológicos se determinó mediante el recuento de UFC aplicando el método de siembra en placa por expansión, según lo descrito por Pereira (2020). Para ello, se esparcieron alícuotas de 100 µl de cada dilución sobre la superficie solidificada de un medio de cultivo específico para cada bacteria utilizando un asa Drigalski. Las placas se prepararon en triplicado e incubaron en una incubadora bacteriológica (SolidSteel) a 30 ±2 °C.

En los experimentos 1 y 2, *B. japonicum* se cultivó en agar levadura manitol suplementado con rojo Congo e incubado durante 7-10 días, según Fred y Waksman (1928). En los experimentos 3 y 4, *A. brasilense* se cultivó en agar rojo Congo y se incubó durante 3-5 días, según Cassán *et al*. (2010).

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4167

Anlisis estadstico

Los datos se sometieron a un análisis de varianza (Anova). Los residuos se evaluaron utilizando las pruebas de Jarque-Bera, Cochran y aditividad para evaluar los supuestos de normalidad, homocedasticidad y aditividad, respectivamente. Posteriormente, se analizaron las medias mediante la prueba de Holm unidireccional al nivel de significancia del 5% (α) para determinar si los componentes aislados del pulverizador, o el sistema completo, influían en la viabilidad de *B. japonicum* o *A. brasilense*.

Los efectos del tratamiento se evaluaron utilizando 12 contrastes planificados a priori. El contraste $\hat{C}_1$ (T1 vs T2) evaluó el efecto de la agitación por sí sola. Los contrastes $\hat{C}_2$ (T2 vs T3), $\hat{C}_5$ (T2 vs T6) y $\hat{C}_7$ (T2 vs T8) evaluaron el efecto de la aplicación a 4 bar sin paso por la boquilla a caudales de 0.68, 0.25 y 0.21 L min^{-1}, respectivamente.

Los contrastes $\hat{C}_3$ (T3 vs T4) y $\hat{C}_4$ (T3 vs T5) evaluaron el paso a través de las boquillas COAP 90° 015 y LBD 110° 015, respectivamente, mientras que $\hat{C}_6$ (T6 vs T7) y $\hat{C}_8$ (T8 vs T9) evaluaron el paso a través de las boquillas MJS M1041 y MJS M1040, respectivamente. Los contrastes $\hat{C}_9$ (T1 vs T4), $\hat{C}_{10}$ (T1 vs T5), $\hat{C}_{11}$ (T1 vs T7) y $\hat{C}_{12}$ (T1 vs T9) evaluaron las configuraciones de los sistemas completos utilizando las boquillas COAP 90° 015, LBD 110° 015, MJS M1041 y MJS M1040, respectivamente.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software SPEED Stat, versión 3.3, desarrollada en Brasil por la Universidad Federal de Viçosa (Carvalho *et al*., 2020).

Resultados y discusión

Los resultados de viabilidad de *B. japonicum* mostraron que ni la agitación por hélice ni la agitación por vórtice afectaron a los recuentos de UFC (Cuadro 1 y 2). En el experimento 1 (agitación por hélice) y el experimento 2 (agitación por vórtice), $\hat{C}_1$ (T1 × T2) indicó que la agitación por sí sola no causó mortalidad bacteriana significativa en comparación con el control agitado manualmente.

Cuadro 1. Recuentos (10^6 UFC ml^{-1}) y estimaciones de contraste correspondientes de *Bradyrhizobium japonicum* tras el paso de la mezcla de pulverización a través de un sistema de pulverización con agitación por hélice (experimento 1).

Tratamiento		Recuento	T1 vs	T2 vs	T3 vs	T6 vs	T8 vs
T1	Control	8.23^{ns}					
T2	Hélice	7.97	0.267^{ns}				
T3	Hélice + V1	8.9		-0.933^{ns}			
T4	Hélice + V1 + COAP 90°015	8.39	-0.156^{ns}		0.511^{ns}		
T5	Hélice + V1 + LBD 110°015	10.99	-2.76^{ns}		-2.09^{ns}		
T6	Hélice + V2	8.59		-0.622^{ns}			
T7	Hélice + V2 + MJS M1041	8.91	-0.678^{ns}			-0.322^{ns}	
T8	Hélice + V3	9.28		-1.31^{ns}			
T9	Hélice + V3 + MJS M1040	9.33	-1.1^{ns}				-0.056^{ns}

V1= 0.68 L min^{-1}; V2= 0.25 L min^{-1}; V3= 0.21 L min^{-1}; ns= no significativo; p= 0.19 (Anova); CV= 13.4%. Un asterisco indica diferencias significativas (p< 0.05) según la prueba de Holm unidireccional.



DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4167

Cuadro 2. Recuentos (10^6 UFC ml^{-1}) y estimaciones de contraste correspondientes de *Bradyrhizobium japonicum* tras el paso de la mezcla de pulverización a través de un sistema de pulverización con agitación por vórtice (experimento 2).

Tratamiento		Recuento	T1 vs	T2 vs	T3 vs	T6 vs	T8 vs
T1	Control	8.41^{ns}					
T2	Vórtice	9.04	-0.633^{ns}				
T3	Vórtice + V1	9.22		-0.178^{ns}			
T4	Vórtice + V1 + COAP 90°015	9.55	-1.14^{ns}		-0.331^{ns}		
T5	Vórtice + V1 + LBD 110°015	9.38	-0.97^{ns}		-0.159^{ns}		
T6	Vórtice + V2	8.6		0.442^{ns}			
T7	Vórtice + V2 + MJS M1041	9.47	-1.06^{ns}			-0.872^{ns}	
T8	Vórtice + V3	9.58		-0.535^{ns}			
T9	Vórtice + V3 + MJS M1040	9.11	-0.702^{ns}				0.467^{ns}

V1= 0.68 L min^{-1}; V2= 0.25 L min^{-1}; V3= 0.21 L min^{-1}; ns= no significativo; p= 0.584 (Anova); CV= 8.6. Un asterisco indica diferencias significativas (p< 0.05) según la prueba de Holm unidireccional.

Se obtuvieron resultados consistentes para $\hat{C}_9$, $\hat{C}_{10}$, $\hat{C}_{11}$ y $\hat{C}_{12}$, que evaluaron el sistema completo de pulverizador, incluyendo el tipo de agitador (hélice o vórtice), la aplicación a 4 bar y los diferentes caudales asociados a las boquillas de pulverización. Estos contrastes planificados mostraron que las configuraciones de los sistemas de pulverizador completos no afectaron la viabilidad bacteriana.

Los otros contrastes planificados, que involucraban diferentes caudales y boquillas de pulverización, tampoco resultaron en efectos significativos. En el experimento 1, los recuentos de *B. japonicum* oscilaron entre 7.97 y 10.99 × 10^6 UFC ml^{-1}, mientras que en el experimento 2 el rango fue de 8.41 a 9.58 × 10^6 UFC ml^{-1}. De manera similar, los sistemas de agitación no afectaron la viabilidad de *A. brasilense* en los experimentos 3 (Cuadro 3) y 4 (Cuadro 4).

Cuadro 3. Recuentos (10^6 UFC ml^{-1}) y estimaciones de contraste correspondientes de *Azospirillum brasilense* tras el paso la mezcla de pulverización a través de un sistema de pulverización con agitación por hélice (experimento 3).

Tratamiento		Recuento	T1 vs	T2 vs	T3 vs	T6 vs	T8 vs
T1	Control	3.43^{ns}					
T2	Hélice	2.87	0.561^{ns}				
T3	Hélice + V1	2.39		0.478^{ns}			
T4	Hélice + V1 + COAP 90°015	2.97	0.461^{ns}		-0.578^{ns}		
T5	Hélice + V1 + LBD 110°015	2.32	1.11^{ns}		0.071^{ns}		
T6	Hélice + V2	2.64		0.225^{ns}			
T7	Hélice + V2 + MJS M1041	2.66	0.768^{ns}			-0.018^{ns}	
T8	Hélice + V3	2.76		0.11^{ns}			
T9	Hélice + V3 + MJS M1040	3.06	0.371^{ns}				-0.301^{ns}

V1= 0.68 L min^{-1}; V2= 0.25 L min^{-1}; V3= 0.21 L min^{-1}; ns; p= 0.704 (Anova); CV= 25.9%. Un asterisco indica diferencias significativas (p< 0.05) según la prueba de Holm unidireccional.

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4167

Cuadro 4. Recuentos (10^6 UFC ml^{-1}) y estimaciones de contraste correspondientes de *Azospirillum brasilense* tras el paso de la mezcla de pulverización a través de un sistema de pulverización con agitación por vórtice (experimento 4).

Tratamiento		Recuento	T1 vs	T2 vs	T3 vs	T6 vs	T8 vs
T1	Control	5.14^{ns}					
T2	Vórtice	4.77	0.378^{ns}				
T3	Vórtice + V1	5.38		-0.611^{ns}			
T4	Vórtice + V1 + COAP 90°015	5.1	0.044^{ns}		0.278^{ns}		
T5	Vórtice + V1 + LBD 110°015	7.1	-1.96^{ns}		-1.72^{ns}		
T6	Vórtice + V2	4.7		0.067^{ns}			
T7	Vórtice + V2 + MJS M1041	6.17	-1.02^{ns}			-1.47^{ns}	
T8	Vórtice + V3	5.59		-0.822^{ns}			
T9	Vórtice + V3 + MJS M1040	4.76	0.389^{ns}				0.833^{ns}

V1= 0.68 L min^{-1}; V2= 0.25 L min^{-1}; V3= 0.21 L min^{-1}; ns= no significativo; p= 0.24 (Anova); CV= 20.8. Un asterisco indica diferencias significativas (p< 0.05) según la prueba de Holm unidireccional.

Los recuentos oscilaron entre 2.32 y 3.43 × 10^6 UFC ml^{-1} en el experimento 3 y de 4.7 a 7.1 × 10^6 UFC ml^{-1} en el experimento 4, sin diferencias significativas entre tratamientos. Es decir, ninguna de las condiciones operativas comprometió la viabilidad de los inoculantes bacterianos.

Pocos estudios han investigado tecnologías de aplicación de bioinsumos desde la perspectiva de cómo los sistemas de pulverización influyen en la supervivencia microbiana. La investigación existente es limitada y se centra en productos fúngicos (Hidalgo *et al*., 2003; Gouli *et al*., 2011; Zampiroli *et al*., 2019; Ru *et al*., 2020; Loeblein *et al*., 2022), lo que dificulta aislar los factores directamente asociados con el sistema de aplicación.

Estudios recientes en biofertilizantes, biopesticidas y tecnologías de aplicación han demostrado que el desempeño microbiano depende no solo del potencial biológico del organismo activo, sino también de la calidad de la formulación, la viabilidad celular, la estabilidad de almacenamiento y la compatibilidad con los procedimientos de aplicación. Para los biofertilizantes microbianos, mantener células viables durante el almacenamiento, transporte y aplicación en campo sigue siendo uno de los principales factores asociados con un desempeño inconsistente en campo (Fadiji *et al*., 2024; Díaz-Rodríguez *et al*., 2025).

Además, revisiones recientes han enfatizado el creciente uso agrícola de inoculantes microbianos y la necesidad de integrar estos productos de forma segura y eficiente en los sistemas de producción actuales (dos Reis *et al*., 2024; Díaz-Rodríguez *et al*., 2025). En cuanto a los biopesticidas, estudios que simulan condiciones de aplicación de pulverización han demostrado que el estrés mecánico, el estrés térmico, las bombas hidráulicas, los filtros y las condiciones operativas pueden afectar la supervivencia microbiana, especialmente en los propágulos fúngicos (Grella *et al*., 2023; Beltrán-Martí *et al*., 2024).

En este contexto, la ausencia de reducciones significativas en la viabilidad de *B. japonicum* y *A. brasilense* observadas en el presente estudio indica que los sistemas de pulverizador y aplicador en surco evaluados fueron compatibles con estos inoculantes bacterianos bajo las condiciones evaluadas.

Las bacterias son organismos unicelulares cuya estructura protectora principal es la pared celular, una matriz rígida de cadenas adyacentes unidas por puentes cruzados de aminoácidos. Esta estructura mantiene la forma celular, proporciona resistencia mecánica y previene la lisis bajo presión osmótica interna, que en condiciones naturales alcanza ~2 atm (2.03 bar) (Madigan *et al*., 2016).

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4167

En el rango de operación evaluado aquí (4 bar), la recirculación y el paso por la boquilla no redujeron de forma medible los recuentos viables, lo cual es consistente con la tolerancia bacteriana a cambios de presión transitorios bajo condiciones típicas de pulverizador terrestre (Mota y Raetano, 2019). Por tanto, la presión utilizada en este estudio refleja entornos de campo comunes.

Estos resultados respaldan la compatibilidad de los sistemas de aplicación de pulverización con inoculantes bacterianos. Aunque muchos bioproductos actuales se formulan con bacterias en estado vegetativo o como endosporas, aún se necesita más investigación para profundizar en nuestra comprensión de cómo los sistemas de pulverización interactúan con diferentes grupos microbianos y condiciones operativas, incluyendo variaciones en el caudal, tipo de pulverizador, presión y duración de aplicación, temperatura del tanque y tiempo de retención tras la preparación de la mezcla de pulverización (Zampiroli *et al*., 2019; Grella *et al*., 2023). Por lo tanto, deberían realizarse estudios adicionales para esclarecer estos aspectos y fortalecer la base científica para el uso seguro y eficiente de los bioinsumos.

Conclusiones

Los sistemas de pulverizadores agrícolas operados a 4 bar fueron compatibles con inoculantes que contenían *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense*. La agitación por hélice y por vórtice, los caudales evaluados y las boquillas utilizadas para aplicaciones foliares y en surcos no redujeron la viabilidad bacteriana.

Bibliografía

1 Alemneh, A. A.; Zhou, Y.; Ryder, M. H. and Denton, M. D. 2020. Mechanisms in plant growth# promoting rhizobacteria that enhance legume-rhizobial symbioses. Journal of Applied Microbiology. 129(5):1133-1156. https://doi.org/10.1111/jam.14754.

2 Beltrán-Martí, R.; Garcerá, C.; Cuquerella, J. J.; Catalá-Senent, L.; Izquierdo-Sanz, H.; Garrido-Jurado, I. and Chueca, P. 2024. Do hydraulic pumps and filters of sprayers influence the viability of *Beauveria bassiana* based mycoinsecticide Botanigard®? Crop Protection. 180:106639. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106639.

3 Bhattacharjee, A.; Dubey, S. and Sharma, S. 2023. 'Next-generation bioformulations' for plant growth promotion and stress mitigation: a promising approach for sustainable agriculture. Journal of Plant Growth Regulation. 42(10):6741-6759. https://doi.org/10.1007/s00344-023-10996-z.

4 Carvalho, A. M. X.; Mendes, F. Q.; Mendes, F. Q. and Tavares, L. F. 2020. Speed stat: a free, intuitive and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. Crop Breeding and Applied Biotechnology. 20(3):e327420312. https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n3s46.

5 Cassán, F.; Coniglio, A.; López, G.; Molina, R.; Nievas, S.; de Carlan, C. L. N.; Donadio, F.; Torres, D.; Rosas, S.; Pedrosa, F. O.; Souza, E.; Zorita, M. D.; de Bashan, L. and Mora, V. 2020. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. Biology and Fertility of Soils. 56(4):461-479. https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y.

6 Cassán, F.; Penna, C.; Creus, C.; Radovancich, D.; Monteleone, E.; García-de Salamone, I.; Di Salvo, L.; Mentel, I.; García, J.; Mayans-Pasarello, M. C.; Lett, L.; Puente, M.; Correa, O.; Valerio-Punschke, K.; Massa, R.; Catafesta, M.; Rossi, A.; Díaz, M.; Righes, S.; Carletti, S. and Rodríguez-Cáceres, E. 2010. Protocolo para el control de calidad de inoculantes que contienen *Azospirillum* sp. Argentina, Asociación Argentina de Microbiología. Documento de Procedimientos de la Redcai, núm 2, vol. 1 (Ed.). Buenos Aires, Argentina.13 p.

7 Díaz-Rodríguez, A. M.; Parra-Cota, F. I.; Cira-Chávez, L. A.; García-Ortega, L. F.; Estrada-Alvarado, M. I.; Santoyo, G.; and de los Santos-Villalobos, S. 2025. Microbial inoculants in sustainable agriculture: advancements, challenges, and future directions. Plants. 14(2):191. https://doi.org/10.3390/plants14020191.

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4167

8 dos Reis, G. A.; Martínez-Burgos, W. J.; Pozzan, R.; Pastrana Puche, Y.; Ocán-Torres, D.; Mota, P. Q. F.; Rodrigues, C.; Serra, J. L.; Scapini, T.; Karp, S. G. and Soccol, C. R. 2024. Comprehensive review of microbial inoculants: agricultural applications, technology trends in patents and regulatory frameworks. Sustainability. 16(19):8720. https://doi.org/10.3390/su16198720.

9 Fadiji, A. E.; Santoyo, G.; Yadav, A. N. and Babalola, O. O. 2024. Formulation challenges associated with microbial biofertilizers in sustainable agriculture and paths forward. Sustainable Agriculture and Environment. 3(4):e70006. https://doi.org/10.1002/sae2.70006.

10 Fred, E. B. and Waksman, S. A. 1928. Laboratory manual of general microbiology, McGraw-Hill Book Company, New York. 250 p.

11 Gouli, V.; Kassa, A.; Skinner, M. and Parker, B. L. 2011. Fungal conidia distribution on chrysanthemum: varying spray parameters. Archives of Phytopathology and Plant Protection. 44(6):567-574. https://doi.org/10.1080/03235400903187451.

12 Grella, M.; Gioelli, F.; Marucco, P.; Zwertvaegher, I.; Mozzanini, E.; Pittarello, M.; Balsari, P.; Fountas, S.; Nuyttens, D.; Mezzala, M. and Pugliese, M. 2023. Assessment of microbial biocontrol agent (BCA) viability to mechanical and thermal stress by simulating spray application conditions. Pest Management Science. 79(11):4423-4438.

13 Hidalgo, E.; Bateman, R.; Krauss, U.; Hoopen, M. and Martínez, A. 2003. A field investigation into delivery systems for agents to control *Moniliophthora roreri*. European Journal of Plant Pathology. 109(9):953-961. https://doi.org/10.1023/b:ejpp.0000003746.16934.e2.

14 Kumar, M.; Mehta, C. R.; Bhargav, V. K.; Tripathi, M. K.; Agrawal, K. N. and Babu, V. B. 2023. Effect of spray operating parameters on viability of *Bacillus thuringiensis* based biopesticide under laboratory conditions. Agricultural Research. 12(2):189-196. https://doi.org/10.1007/s40003-022-00639-2.

15 Loeblein, J. S.; Alves, L. F. A.; Nascimento, C. B.; Rode, P. D. A. and Almeida, J. E. M. D. 2022. Association of adjuvants and *Beauveria bassiana* fungus to control of Paraguay tea ampul. Ciência Rural. 52(12):e20210455. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210455.

16 Madigan, M. T.; Martinko, J. M.; Bender, K. S.; Buckley, D. H. and Stahl, D. A. 2016. Estruturas celulares microbianas e suas funções. In: Madigan, M. T.; Martinko, J. M.; Bender, K. S.; Buckley, D. H. and Stahl, D. A. (Eds.). Microbiologia de brock. Artmed, Porto Alegre, 14 Ed. 25-72 pp.

17 Mota, A. A. B. and Raetano, C. G. 2019. Pontas de aplicação hidráulicas: classificação das pontas de pulverização. In: Antuniassi, U. R.; Boller, W. and Raetano, C. G. (Eds.). Tecnologia de Aplicação para Culturas Anuais. Passo Fundo, FEPAF e Aldeia Norte, 2 Ed. 67-90 pp.

18 Nakei, M. D.; Venkataramana, P. B. and Ndakidemi, P. A. 2022. Soybean-nodulating rhizobia: Ecology, characterization, diversity and growth promoting functions. Frontiers in Sustainable Food Systems. 6:824444. https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.824444.

19 O'Callaghan, M.; Ballard, R. A. and Wright, D. 2022. Soil microbial inoculants for sustainable agriculture: limitations and opportunities. Soil Use and Management. 38(3):1340-1369. https://doi.org/10.1111/sum.12811.

20 Oliveira, R. B.; Antuniassi, U. R.; Loureiro, E. S.; Pessoa, L. G. A. and Baio, F. H. R. 2022. Tecnologia de aplicação foliar de bioinsumos. In: Meyer, M. C.; Bueno, A. F.; Mazaro, S. M. and Silva, J. C. (Eds.). Bioinsumos na cultura da soja. Embrapa Soja, Londrina, 1 Ed. 107-126 pp.

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4167

21 Pereira, F. S. G. 2020. Laboratório de microbiologia. Brasil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Ipojuca. 28 p. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19169.25445.

22 Ru, Y.; Liu, Y.; Qu, R. and Patel, M. K. 2020. Experimental study on spraying performance of biological pesticides in aerial rotary cage nozzle. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 13(6):1-6. https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201306.5511.

23 Santos, M. S.; Nogueira, M. A. and Hungria, M. 2019. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. AMB Express. 9(1):205. https://doi.org/10.1186/s13568-019-0932-0.

24 Sivasakthivelan, P.; Mawar, R.; Sayyed, R. Z.; Sharma, S. K. and Sattiraju, K. S. 2023. Inoculant production and formulation of *Azospirillum* species. In: Mawar, R.; Sayyed, R. Z.; Sharma, S. K. and Sattiraju, K. S. (Eds.). Plant growth promoting microorganisms of arid regions. Singapura, Springer. 393-414 pp.

25 Zampiroli, R.; Alvarenga, C. B. D.; Vieira, B. S.; Prado, J. R. D.; Rinaldi, P. C. N. and Horácio, L. F. 2019. Effect of phytosanitary spray solution storage time on the viability of *Beauveria bassiana* conidia. Pesquisa Agropecuária Tropical. 49:e55513. https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4955513.



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4167

Influencia de los sistemas pulverizadores y aplicadores en surco en la viabilidad de los inoculantes bacterianos

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: 01 June 2026
Date accepted: 01 August 2026
Publication date: 07 November 2026
Publication date: 2026
Volume: 17
Issue: 7
Electronic Location Identifier: e4167
DOI: 10.29312/remexca.v17i7.4167

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

tecnología de aplicación
bioinsumos
inoculantes microbianos
viabilidad microbiana

Counts

Figures: 1
Tables: 4
Equations: 0
References: 25