



**Producto 05:** Mayor producción agrícola con menor emisión de óxido nitroso (ATN-RF-18786-RG).

Extensión en el uso de los inoculantes

**Autores:** Nicolás Ayub, Gabriela Soto, Florencia del Papa, Antonio Lagares, Raúl Platero, Elena Fabiano, Oscar Ruiz, Vanina Maguire, Nubia Moreno, Maribel Parada, Juan Sanjuán

**Año:** 2023





Códigos JEL: Q16

ISBN:

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Nicolás Ayub, Gabriela Soto, Florencia del Papa, Antonio Lagares, Raúl Platero, Elena Fabiano, Oscar Ruiz, Vanina Maguire, Nubia Moreno, Maribel Parada, Juan Sanjuán.

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

**FONTAGRO**

Correo electrónico: [fontagro@fontagro.org](mailto:fontagro@fontagro.org)

[www.fontagro.org](http://www.fontagro.org)



# Tabla de Contenidos

<b>Abstract.....</b>	<b>4</b>
<b>Resumen EJECUTIVO .....</b>	<b>5</b>
<b>Palabras Clave: transferencia, inoculantes, cultivos, crecimiento, plasticidad .....</b>	<b>5</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>6</b>
<b>Información de Relevancia con una discusión técnica .....</b>	<b>7</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>8</b>
<b>Resultados.....</b>	<b>8</b>
<b>Discusión .....</b>	<b>13</b>
<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>14</b>
<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>15</b>
<b>Instituciones participantes .....</b>	<b>16</b>

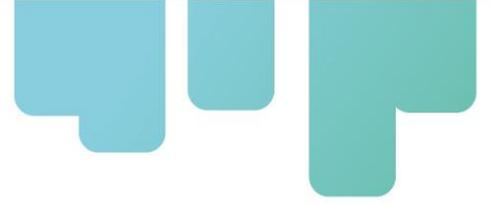


## ABSTRACT

La agricultura produce un 60% de la emisión de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), uno de los tres principales gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global. Paradójicamente, la agricultura es muy sensible al cambio climático, generando la necesidad de impulsar políticas de innovación tecnológica climáticamente inteligentes. En el presente proyecto de cooperación técnica multilateral se extenderán los beneficios tradicionales proporcionados por los inoculantes y se incorporarán nuevas características de reconocido valor ambiental (reducción de la emisión de N<sub>2</sub>O) y alto impacto económico (desarrollo de tolerancia a herbicidas y a estrés abiótico) mediante tecnologías que no involucran organismos genéticamente transformados. Estas innovaciones tecnológicas permitirán incrementar la producción agropecuaria y reducir las emisiones de N<sub>2</sub>O en América latina y el Caribe, contribuyendo a la sustentabilidad de la agricultura y a la consolidación de la región como líder en el mercado mundial de inoculantes.

Agriculture produces 60% of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions, one of the three main greenhouse gases responsible for global warming. Paradoxically, agriculture is highly sensitive to climate change, generating the need to promote climate-smart technological innovation policies. In this present project of multilateral technical cooperation, the traditional benefits provided by inoculants will be extended, and new environmentally valuable characteristics (reduction of N<sub>2</sub>O emissions) and high economic impact (development of herbicide tolerance and abiotic stress) will be incorporated through non-GMO technologies. These technological innovations will allow increasing agricultural production and reducing nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions in Latin America and the Caribbean, contributing to the sustainability of agriculture and the consolidation of the region as a leader in the global inoculant market.

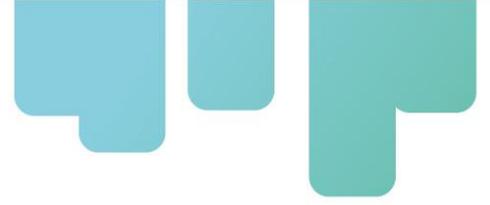
La información que se presenta a continuación es acumulativa y hace referencia al año 1 y 2 del proyecto.



## RESUMEN EJECUTIVO

La búsqueda de nuevos microorganismos presentes en el ambiente con fines biotecnológicos es una práctica común, pero con limitaciones intrínsecas, como el costo de la búsqueda. En este proyecto examinamos nuevos microorganismos con este enfoque tradicional, pero también decidimos mejorar el impacto económico y ambiental de los inoculantes modernos que se utilizan en ciertos cultivos mediante su evaluación en cultivos diferentes a los que se utilizan actualmente. La extensión de la aplicación de inoculantes incluyó cinco microorganismos: cuatro bacterias (*Azospirillum brasilense* Az39, *Paenibacillus* sp. UY79, *Mesorhizobium loti* R17 y *Paenibacillus* sp. PNM200) y un hongo (*Penicillium* sp. HC1). Los resultados destacaron la actividad de promoción del crecimiento vegetal (PGPR) de *Azospirillum* en alfalfa, el control de enfermedades fúngicas por *Paenibacillus* UY79, la mejora del contenido de nitrógeno en suelo por *Mesorhizobium* R17 en rotación con arroz, la prevención de *Fusarium* en tomate por *Paenibacillus* PNM200 y la degradación de residuos vegetales por *Penicillium* HC1 en microcosmos. Se sugiere continuar investigando la eficacia de los bioinsumos microbianos locales para diversos cultivos, lo que podría potenciar la explotación sostenible de los recursos renovables regionales. Este enfoque promueve prácticas agrícolas más eficientes y respetuosas con el medio ambiente, contribuyendo a la seguridad alimentaria y la sostenibilidad económica de la región. La aplicación de estas tecnologías ofrece una oportunidad tangible para incrementar la rentabilidad y la competitividad de los agricultores locales, al tiempo que fomenta la conservación de los recursos naturales.

**PALABRAS CLAVE:** TRANSFERENCIA, INOCULANTES, CULTIVOS, CRECIMIENTO, PLASTICIDAD



## INTRODUCCIÓN

Los inoculantes agrícolas, en su variedad de formas y aplicaciones, representan un segmento importante de la tecnología agrícola moderna. En un mundo donde la demanda de alimentos está en constante aumento y la presión sobre los recursos naturales es cada vez mayor, los agricultores buscan constantemente formas de mejorar la productividad de sus cultivos mientras minimizan el impacto ambiental. Los inoculantes agrícolas ofrecen una solución prometedora, al aprovechar las relaciones simbióticas entre las plantas y los microorganismos beneficiosos para promover el crecimiento de los cultivos, mejorar la salud del suelo y reducir la necesidad de fertilizantes químicos.

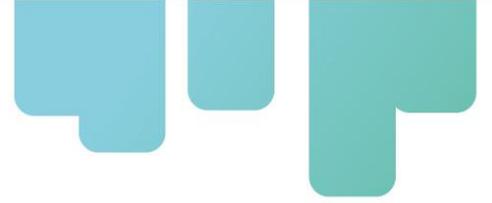
Los microorganismos presentes en los inoculantes agrícolas juegan roles clave en el ciclo de nutrientes y la salud del suelo. Por ejemplo, las bacterias fijadoras de nitrógeno, como cepas de los géneros *Sinorhizobium* y *Bradyrhizobium*, son capaces de convertir el nitrógeno atmosférico en formas que las plantas pueden utilizar, lo que reduce la necesidad de fertilizantes nitrogenados y ayuda a mantener la fertilidad del suelo. Los hongos micorrícicos, por otro lado, forman asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas, mejorando la absorción de nutrientes, especialmente fósforo, y aumentando la resistencia a enfermedades y condiciones adversas del suelo.

La aplicación de inoculantes agrícolas puede realizarse de varias formas, según el tipo de producto y las condiciones específicas de cultivo. Los inoculantes de fijación de nitrógeno, por ejemplo, se aplican típicamente a las semillas antes de la siembra, mientras que otros pueden ser aplicados al suelo o al follaje de las plantas. La correcta aplicación y manejo de los inoculantes son cruciales para garantizar su efectividad y maximizar los beneficios para los cultivos y el medio ambiente.

Uno de los principales beneficios de los inoculantes agrícolas es su capacidad para mejorar la eficiencia del uso de nutrientes, lo que puede traducirse en mayores rendimientos y menores costos de producción para los agricultores. Además, al reducir la necesidad de fertilizantes químicos, los inoculantes agrícolas pueden ayudar a mitigar la contaminación del agua y el suelo, así como a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción de fertilizantes sintéticos.

Sin embargo, a pesar de sus numerosos beneficios, los inoculantes agrícolas también enfrentan varios desafíos que deben abordarse para su adopción generalizada y efectiva. Por ejemplo, la viabilidad y estabilidad de los microorganismos en los inoculantes pueden variar según las condiciones de almacenamiento y aplicación, lo que puede afectar su eficacia en el campo. Además, la adaptación de los inoculantes a diferentes condiciones de suelo y cultivo puede ser un desafío, especialmente en sistemas agrícolas altamente heterogéneos.

La investigación y el desarrollo continuos son fundamentales para superar estos desafíos y desbloquear todo el potencial de los inoculantes agrícolas. Se necesitan más estudios para comprender mejor los mecanismos subyacentes de acción de los microorganismos en los inoculantes y para identificar cepas más eficaces y adaptadas a diferentes condiciones agrícolas.



Además, se requiere una mayor inversión en tecnologías de formulación y aplicación para garantizar la viabilidad y estabilidad de los inoculantes a lo largo de su ciclo de vida. La información que se presenta a continuación es acumulativa y hace referencia al año 1 y 2 del proyecto, siempre que esto aplique al documento que se presenta.

## INFORMACIÓN DE RELEVANCIA CON UNA DISCUSIÓN TÉCNICA

La búsqueda constante de estrategias innovadoras y sostenibles para mejorar la productividad agrícola y mitigar los desafíos asociados con las enfermedades de las plantas ha llevado a la extensión de la aplicación de inoculantes, explorando el potencial de diversas cepas microbianas en diferentes contextos agronómicos (Brambilla et al. 2022). En este estudio, se investigaron cinco cepas específicas con el objetivo de evaluar su eficacia en la promoción del crecimiento vegetal, el control de enfermedades y la degradación de desechos en varios cultivos.

En primer lugar, se examinó la cepa *Azospirillum brasilense* Az39, reconocida por sus beneficios en el crecimiento de la soja, para determinar su capacidad como promotor del crecimiento de la alfalfa. Este análisis reveló resultados prometedores que sugieren una aplicación potencialmente amplia de esta cepa en sistemas agrícolas diversificados.

Seguidamente, se evaluó la cepa *Paenibacillus* sp. UY79, inicialmente aislada del maní, para su eficacia en el control de enfermedades fúngicas en alfalfa. Los hallazgos indican que esta cepa no solo es efectiva en el manejo de patógenos, sino que también se destaca por su compatibilidad con los rizobios promotores del crecimiento vegetal, lo que la convierte en una opción valiosa para el manejo integrado de enfermedades en sistemas agrícolas.

Además, se exploró el potencial de la inoculación de pasturas con *Mesorhizobium loti* R17 en sistemas de rotación con arroz, lo que resultó en mejoras significativas en la fertilidad del suelo y la retención de carbono. Estos resultados resaltan el papel crucial de los rizobios en la mejora de la calidad del suelo y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

Además, se investigó la cepa *Paenibacillus* sp. PNM200, aislada de muestras marinas, para su capacidad de controlar la enfermedad causada por *Fusarium oxysporum* en el cultivo de tomate. Este descubrimiento sugiere el potencial de utilizar microorganismos marinos como agentes biocontroladores en la protección de cultivos contra patógenos dañinos.

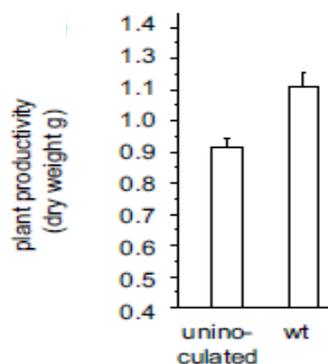
Por último, *Penicillium* sp. HC1, es un hongo que presenta actividad celulolítica y xilanolítica, fue seleccionado como resultado de un estudio de microorganismos celulolíticos aislados de suelos rizosféricos de cultivos de arroz. En este proyecto se analizó el uso de *Penicillium* sp. HC1 en la degradación de residuos vegetales de cultivos de flores, diversificando los bioinsumos para cultivos regionales.

## OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto es desarrollar inoculantes para cultivos extensivos de América Latina y el Caribe capaces de disminuir la emisión de  $N_2O$  y de mejorar la productividad regional. El objetivo específico de este producto de conocimiento, denominado “Extensión en el uso de los inoculantes”, es ampliar la utilización de bionsumos que ya se utilizan en cultivos para nuevos fines y/o nuevos cultivos blanco. Esta extensión implica una profundización de la evaluación del potencial biotecnológico de los microorganismos *Azospirillum brasilense* Az39, *Paenibacillus* sp. UY79, *Mesorhizobium loti* R17, *Paenibacillus* sp. PNM200 y *Penicillium* sp. HC1.

## RESULTADOS

La extensión de la aplicación de inoculantes se realizó con cinco microorganismos, cuatro bacterias (*Azospirillum brasilense* Az39, *Paenibacillus* sp. UY79, *Mesorhizobium loti* R17 y *Paenibacillus* sp. PNM200) y un hongo (*Penicillium* sp. HC1). En primer lugar, se comprobó que la cepa *Azospirillum brasilense* Az39 utilizada regularmente para promover el crecimiento de soja también tiene actividad promotora del crecimiento vegetal sobre el cultivo de alfalfa (Fig. 1). Este efecto se confirmó utilizando plantas de alfalfa inoculadas con rizobios en hidroponía (vermiculita al 100%), en donde la irrigación se llevó a cabo en medio mínimo INTA13 sin nitrógeno (0,88 mM  $CaCl_2 \cdot 2 H_2O$ , 1 mM  $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$ , 1 mM  $Na_2HPO_4$ , 0,73 mM  $KH_2PO_4$ , 4,13 mM  $Na_2MoO_4 \cdot 2 H_2O$ , 3,55 mM  $MnSO_4 \cdot H_2O$ , 4 mM  $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$ , 3,48 mM  $ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$ , 16,17 mM  $H_3BO_3$ , 14,8 mM  $FeCl_3 \cdot 6 H_2O$ , pH = 6,5). Específicamente, se observó un incremento superior al 20% por la inoculación con la cepa Az39 (Fig. 1).



**Figura 1.** Se analizó el efecto de la inoculación con la cepa Az39 (wt) en la productividad de las plantas de alfalfa en hidroponía a los 50 días post-inoculación. Todos los valores son medias + SEM (n=25), donde n=1 es el promedio de los valores obtenidos para dos plantas individuales creciendo en macetas individuales. El tratamiento no inoculado (uninoculated) se utilizó como control de la ausencia de bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el sustrato.



En segundo lugar, se verificó que la cepa *Paenibacillus* sp. strain UY79, originalmente aislada de maní, muestra actividad celulasa, un factor clave en la defensa contra enfermedades fúngicas (Fig. 2). La actividad de celulasa se detectó utilizando la tinción con rojo Congo. Brevemente, las colonias se recubrieron con rojo Congo al 0,05% (peso/volumen), se incubaron durante 10 minutos a temperatura ambiente, se lavaron con agua destilada y se incubaron otros 10 minutos con 1 M de NaCl. Un halo naranja alrededor de las colonias en un fondo rojo indica actividad hidrolizadora de celulosa (Fig. 2). *Escherichia coli* DH5 $\alpha$  y *Pseudomonas putida* KT2440 que portaban la endoglucanasa Cel5A de *Bacillus subtilis*, la cual confiere actividad de celulasa, se usaron como controles positivos, mientras que *E. coli* DH5 $\alpha$  y *P. putida* KT2440 se usaron como controles negativos (Fig. 2).

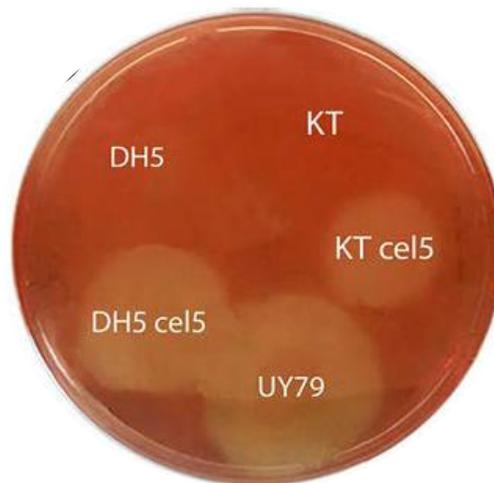


Fig. 2. Se detectó actividad de celulasa como un halo claro alrededor de las colonias cultivadas en un medio que contenía carboximetilcelulosa (CMC) después de la tinción con rojo Congo. *Escherichia coli* DH5 $\alpha$  cel5 (DH5 cel5) y *Pseudomonas putida* KT2440 cel5 (KT cel5) se utilizaron como controles positivos, mientras que *E. coli* DH5 $\alpha$  (DH5) y *P. putida* KT2440 (KT) se utilizaron como controles negativos.

En tercer lugar, se observó que la inoculación de pasturas de *Lotus corniculatus* con el rizobio nativo *Mesorhizobium loti* R17 mejora el contenido de nitrógeno en suelos donde se cultiva arroz. Específicamente, el estudio de la fijación biológica de nitrógeno indicó un valor promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  de +6.93 ‰ para las dos plantas de referencia no fijadoras de nitrógeno (*Echinochloa crus-galli* +9.5 ‰ y *Eclipta prostrata* +4.3 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  (Fig. 3a). Como era de esperar, las plantas de *Lotus corniculatus* que crecieron tanto en condiciones de campo con roca fosfórica como en invernadero presentaron valores de  $\delta^{15}\text{N}$  más bajos que las plantas no leguminosas, con +0.4 ‰ y -1.5 ‰  $\delta^{15}\text{N}$ , respectivamente. Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de las plantas de *Lotus corniculatus* que crecieron en el campo sugieren que la mayor parte del contenido de nitrógeno



de la planta proviene de la fijación biológica de nitrógeno. El valor de  $\delta^{15}\text{N}$  en plantas bajo condiciones de invernadero se refiere al valor B de *Lotus corniculatus* en ese entorno particular, en el que la simbiosis ocurre exclusivamente con rizobios nativos (sin contribución de N del suelo). En otras palabras, el valor B representa el  $\delta^{15}\text{N}$  de un tejido vegetal cuyo único aporte de N proviene de la Fijación Biológica de Nitrógeno. El análisis de los datos de  $\delta^{15}\text{N}$  indicó que el 77.4 % del nitrógeno contenido en las plantas de *Lotus corniculatus* provenía de la atmósfera (porcentaje de nitrógeno derivado de la atmósfera) a través de la fijación biológica de nitrógeno, de acuerdo con el promedio de las dos plantas no fijadoras (Fig. 3b). Estos datos nos permitieron inferir que el aumento de nitrógeno en el suelo del agroecosistema con roca fosfórica puede provenir principalmente de la fijación biológica de nitrógeno del cultivo de leguminosas, y que, al mismo tiempo, esto podría explicar el mayor contenido de carbono en el suelo del agroecosistema con roca fosfórica en comparación con el agroecosistema de siembra directa.

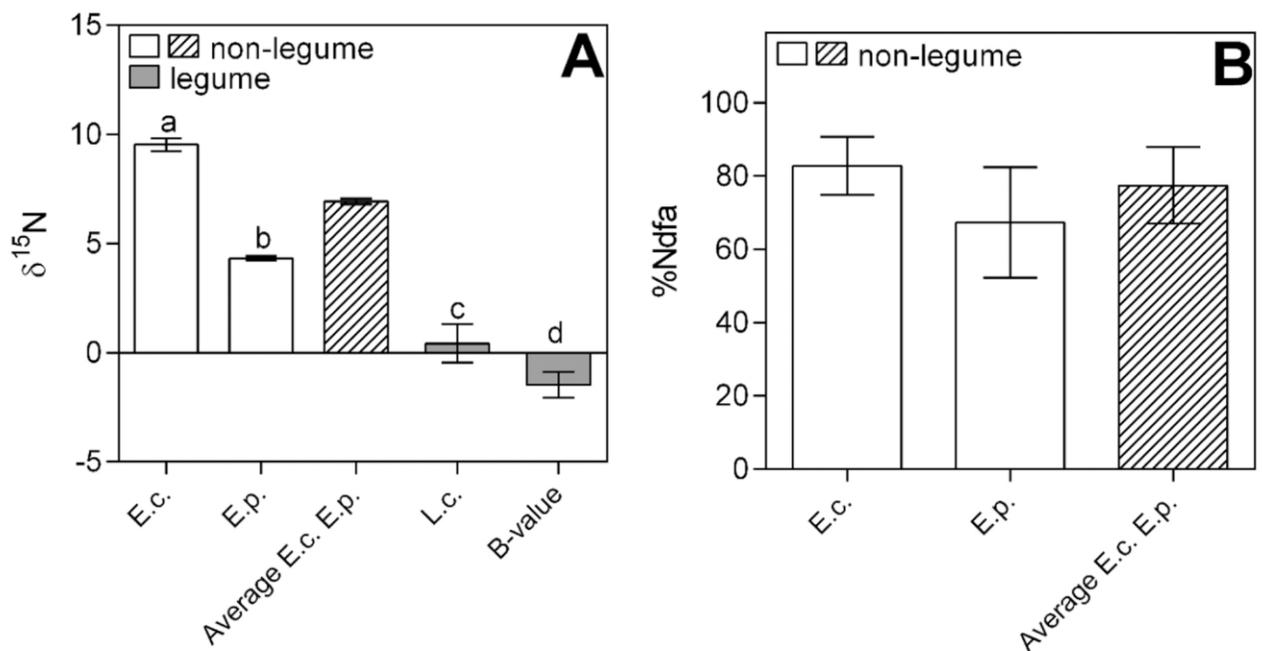


Fig. 3. Análisis de fijación biológica de nitrógeno en *Lotus corniculatus* cultivado en suelo de roca fosfórica. A.  $\delta^{15}\text{N}$ , abundancia natural de nitrógeno 15 (‰) determinada para las plantas de referencia no fijadoras: *Echinochloa crusgalli* (*E. crusgalli*) y *Eclipta prostrata* (*E. prostrata*), y para *Lotus corniculatus* fijador de nitrógeno. promedio *E. crusgalli* y *E. prostrata*: valores promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  de *Echinochloa crusgalli* y *Eclipta prostrata*. valor b: valor de  $\delta^{15}\text{N}$  de *Lotus corniculatus* cuya única fuente de nitrógeno es la fijación biológica de nitrógeno. B. Porcentaje de nitrógeno derivado de la atmósfera en *Lotus corniculatus* considerando a *Echinochloa crusgalli* y *Eclipta prostrata* como plantas de referencia y el promedio de ambas, bajo la condición del agroecosistema de campo con roca fosfórica. letras diferentes representan diferencias significativas entre subpoblaciones (análisis ANOVA y pruebas post hoc de DGC,  $p < 0.05$ ,  $n = 4$ ).

En cuarto lugar, se demostró la cepa *Paenibacillus* sp. PNM200, proveniente de muestras del mar, específicamente, es capaz de prevenir la enfermedad causada por el hongo *Fusarium oxysporum* FOL59 en el cultivo de tomate (Fig. 4). Para esto, las plantas de tomate se mantuvieron en condiciones de invernadero a 32 °C y se dejaron crecer durante 30 días. Una vez a la semana, se registraron la incidencia, la severidad y la mortalidad de la enfermedad de marchitez vascular. Se utilizó la escala de severidad para los síntomas de la marchitez vascular de la siguiente manera: 0, 0–24% de hojas cloróticas y marchitas; 1, 25–49% de hojas cloróticas y marchitas; 2, 50–74% de hojas cloróticas y marchitas; 3, 75–99% de hojas cloróticas y marchitas; 4, 100% planta muerta. El índice de severidad se calculó como se describe a continuación.

$$SI = \frac{\sum (F_{Is} \times IS)}{n}$$

Donde F representa la frecuencia de cada nivel de severidad, IS corresponde al nivel de severidad, y n es el número total de observaciones. El área bajo la curva de progreso de la enfermedad se estimó mediante el método de integración trapezoidal utilizando los valores de severidad de cada tratamiento.

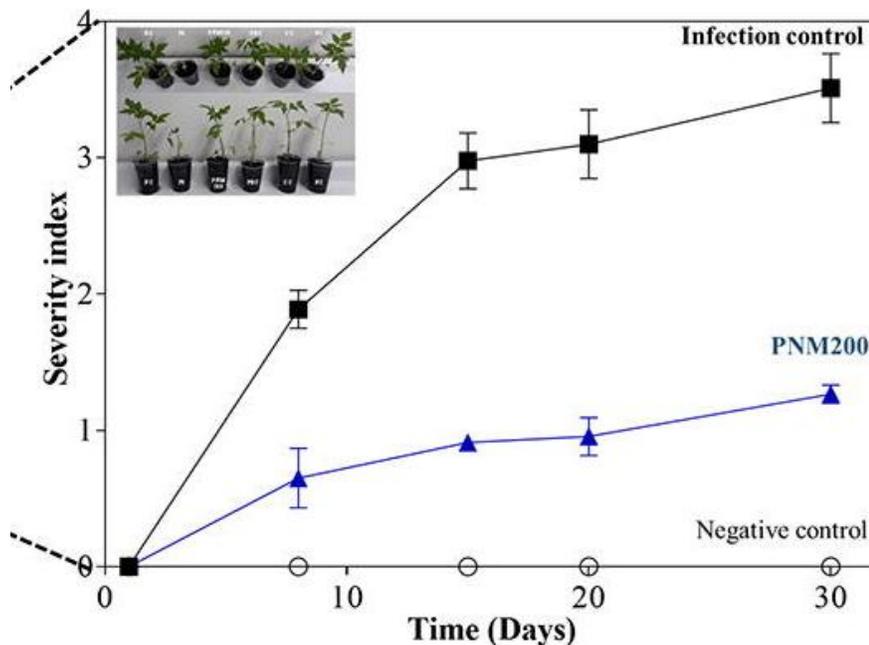


Fig. 4. Actividad antifúngica in vivo de *Paenibacillus* sp. PNM200 contra FOL59. La figura presenta el perfil del índice de severidad. Los símbolos representan: NC (control negativo), INC (control de infección), e inoculado con PNM200. Los datos presentados en cada gráfico son los promedios  $\pm$  desviación estándar de tres réplicas biológicas por tratamiento.



El análisis de la producción de CO<sub>2</sub> mostró que las preparaciones de *Penicillium* sp. HC1 aumentan la degradación de residuos vegetales de clavel en microcosmos, superando al control sin inoculación (control) (Fig. 5). La respirometría permitió evaluar la actividad microbiana en el sustrato mediante el seguimiento de la producción de CO<sub>2</sub>, reflejando la actividad metabólica dentro del microcosmos. Todos los tratamientos registraron una producción de CO<sub>2</sub> de 0,5 a 3 mg/g de residuos durante los 42 días de evaluación. En general, los controles sin inocular presentaron una menor producción de CO<sub>2</sub> en comparación con los tratamientos.

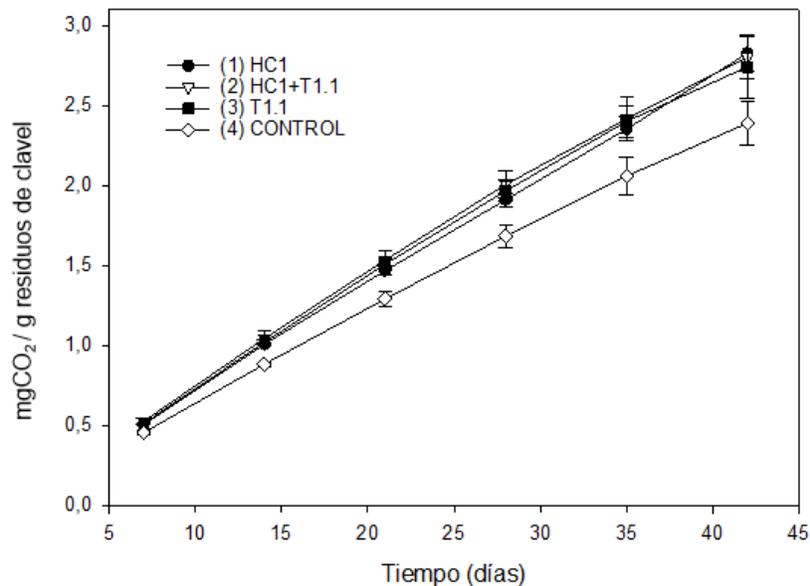
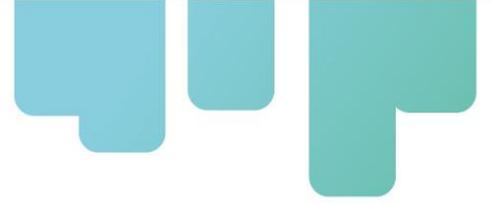


Figura 5. Cinéticas de mg CO<sub>2</sub>/g de residuos de clavel en microcosmos. Se usaron frascos de vidrio de 600 mL esterilizados, cada uno con 60 g de residuos (tallos y hojas de 2-3 cm, de **Siecha Flowers** S.A), 15 mL de solución salina (Anexo A) y 10 mL del microorganismo. Para mezclas, se usaron 5 mL de *Pleurotus ostreatus* T1.1 y 5 mL de *Penicillium* sp. HC1 ( $1 \times 10^6$  UFC/mL y esporas/mL, respectivamente). Se incluyó un control sin inoculación. Se incubaron a  $28 \pm 2^\circ\text{C}$  durante 42 días. Se monitoreó CO<sub>2</sub>, actividad enzimática semanal y se caracterizó el contenido de lignina y celulosa al final. Cada tratamiento tuvo 3 réplicas.



## DISCUSIÓN

La extensión de la aplicación de inoculantes a través de la utilización de microorganismos beneficiosos ha emergido como una estrategia clave en la agricultura moderna, ofreciendo potencial para mejorar la productividad de los cultivos y mitigar el impacto de enfermedades y el agotamiento del suelo. En este estudio, se evaluaron cinco microorganismos, incluyendo cuatro bacterias (*Azospirillum brasilense* Az39, *Paenibacillus* sp. UY79, *Mesorhizobium loti* R17 y *Paenibacillus* sp. PNM200) y un hongo (*Penicillium* sp. HC1), para determinar su efectividad en diversas aplicaciones agrícolas. Los resultados obtenidos revelaron hallazgos prometedores que pueden tener implicaciones significativas en la mejora de la salud de los cultivos, la fertilidad del suelo y la eficiencia de la degradación de residuos vegetales.

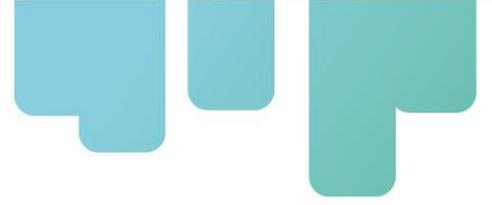
La cepa Az39, conocida por su capacidad para promover el crecimiento de la soja, demostró también actividad PGPR sobre el cultivo de alfalfa. Esta observación sugiere un potencial considerable para ampliar el uso de este microorganismo en sistemas agrícolas diversificados, aprovechando su capacidad para mejorar el crecimiento vegetal y la nutrición de las plantas en diferentes cultivos.

Por otro lado, la cepa UY79, inicialmente aislada de maní, mostró eficacia en el control de una variedad de enfermedades fúngicas sin afectar la simbiosis con rizobios promotores del crecimiento vegetal en alfalfa. Esta característica la convierte en una opción atractiva para el manejo integrado de enfermedades en sistemas de cultivo diversificados, ofreciendo una alternativa prometedora a los métodos convencionales de control de enfermedades.

Además, la inoculación de pasturas de *Lotus corniculatus* con rizobios R17 resultó en mejoras significativas en el contenido de nitrógeno en el suelo y la retención de carbono en un sistema de rotación con arroz. Estos hallazgos subrayan el papel crucial de los rizobios en la mejora de la fertilidad del suelo y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, destacando el potencial de estas asociaciones simbióticas para mejorar la eficiencia del uso de nutrientes y reducir la pérdida de carbono.

Asimismo, la cepa PNM200, aislada de muestras marinas, demostró ser capaz de prevenir la enfermedad causada por el hongo *Fusarium oxysporum* en el cultivo de tomate. Este descubrimiento sugiere el potencial de utilizar microorganismos marinos como agentes biocontroladores en la protección de cultivos contra patógenos dañinos, ofreciendo una alternativa sostenible y efectiva a los fungicidas químicos.

Finalmente, se analizó la cinética de producción de CO<sub>2</sub> para distintas preparaciones del hongo *Penicillium* sp. HC1, revelando un aumento significativo en la degradación de residuos vegetales de flores de cultivo de clavel en condiciones de microcosmos en comparación con los residuos sin inocular (control). Este hallazgo destaca el potencial de este hongo como agente de degradación de residuos vegetales, ofreciendo una solución sostenible para la gestión de residuos agrícolas y la mejora de la salud del suelo.



En conjunto, estos resultados subrayan la importancia de explorar la diversidad microbiana y su potencial aplicativo en la agricultura, destacando el papel crucial de los microorganismos en la mejora de la productividad y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Estos hallazgos ofrecen nuevas perspectivas y oportunidades para el desarrollo de prácticas agrícolas más eficientes y respetuosas con el medio ambiente, allanando el camino hacia un futuro agrícola más sostenible y resiliente.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En conclusión, es posible mejorar la productividad y la calidad de los cultivos de alfalfa, tomate y arroz, así como la degradación de residuos del cultivo del clavel con los inoculantes disponibles en la región para otros cultivos. Se recomienda continuar explorando la promiscuidad de los bioinsumos microbianos disponibles en nuestra región como una forma de maximizar la explotación de los recursos renovables de nuestra región.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brambilla S, Stritzler M, Soto G, Ayub N (2022) A synthesis of functional contributions of rhizobacteria to growth promotion in diverse crops. *Rhizosphere* 24: 100611. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100611>.



**INSTITUCIONES PARTICIPANTES**



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



[www.fontagro.org](http://www.fontagro.org)

Correo electrónico: [fontagro@fontagro.org](mailto:fontagro@fontagro.org)