

PLATAFORMA DE BIOINSUMOS DE USO AGRÍCOLA: desarrollo de tecnologías y productos basados en microorganismos benéficos

Ing. Agr. MSc. PhD. Nora Altier¹, Ing. Agr. Dr. Eduardo Abreo¹, Ing. Agr. MSc. PhD. Elena Beyhaut¹, Lic. Bioq. Mag. PhD. Federico Rivas¹, Lic. Bioq. Mag. Claudia Barlocco¹, Lic. Bioq. Mag. Silvia Garaycochea², Lab. Asist. Beatriz Dini¹, Tec. Quím. Téc. Prev. Valeria López¹, Tec. Quím. Lic. Anal. Alim. Natalia Mattos¹, Tec. Quím. Mariana Mortalena¹

¹Programa de Investigación en Producción y Sustentabilidad Ambiental, Plataforma de Bioinsumos
²Unidad de Biotecnología, Plataforma de Bioinsumos

La Plataforma se consolida como un área estratégica de INIA para la innovación en bioinsumos, contribuyendo a la generación de tecnologías más amigables para el ambiente. El presente artículo describe las principales líneas de investigación y resultados alcanzados, en base a un sólido componente académico y colaboración interinstitucional, tanto a nivel nacional como internacional.

INTRODUCCIÓN

El Laboratorio de Bioproducción, el Laboratorio de Microbiología de Suelos y la Unidad de Biotecnología conforman la Plataforma de Bioinsumos para la investigación y el desarrollo de productos y herramientas basadas en microorganismos benéficos.

El principal objetivo de la Plataforma es la identificación, la caracterización, la bioproducción y la formulación de cepas de microorganismos para su desarrollo como bioinsumos agrícolas, con uso en la protección y nutrición vegetal. El conocimiento generado promueve tecnologías más amigables para el ambiente, que contribuyen a cumplir las exigencias de los mercados

Concepto de una sola salud

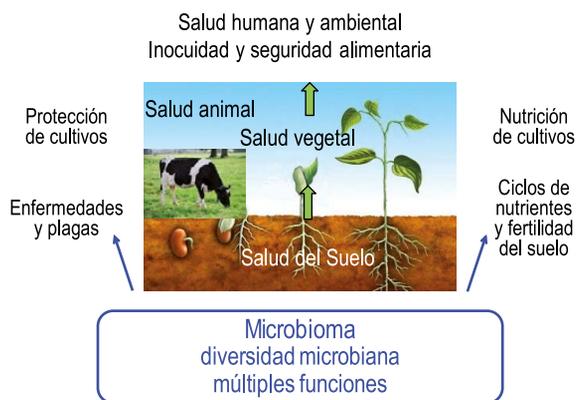


Figura 1 - El concepto de una sola salud da marco al trabajo de investigación en bioinsumos.

mundiales por alimentos de alta calidad, inocuos y con uso restringido de agroquímicos. Asimismo, el conocimiento generado favorece intervenciones agronómicas basadas en una visión ecológica de los sistemas productivos. Los desarrollos biotecnológicos obtenidos contribuyen a los programas de control biológico de insectos plaga y de enfermedades, así como a los programas de manejo nutricional de cultivos de interés agrícola y forestal.

Como antecedente, en Uruguay se dispone de la tecnología para la elaboración de inoculantes de calidad en base a rizobios, llevada adelante con éxito por el sector público y privado en forma conjunta. Desde 1960, el uso de inoculantes ha sido ampliamente adoptado por el sector productivo, con significativos beneficios económicos, ambientales y sociales.

MARCO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

La plataforma trabaja sobre el concepto de “una sola salud”. La salud del suelo es esencial para sostener la salud de los cultivos y la salud animal, pilares básicos sobre los que se sostiene la producción de alimentos seguros e

El objetivo de la Plataforma es conocer y valorizar la diversidad genética y funcional de los microorganismos benéficos nativos, con el fin de emplearlos para mejorar la sustentabilidad de los sistemas productivos, y ayudar a satisfacer la demanda de alimentos de alta calidad, inocuos y producidos con uso reducido de agroquímicos.

inocuos, que garantizan la salud humana. Las comunidades microbianas de la rizósfera y del suelo y los microorganismos endófitos y simbioses, llamados en su conjunto microbioma, juegan un rol esencial en el mantenimiento de la salud del suelo y por tanto de la salud del ecosistema global. Esto ocurre porque los microorganismos cumplen un papel fundamental en el ciclado de nutrientes y la fertilidad del suelo, y en la supresión y el control de patógenos y plagas de los cultivos. Por esa razón, nuestro foco de trabajo está puesto en el conjunto del microbioma, caracterizando la diversidad microbiana y las múltiples funciones que cumple en los agroecosistemas (Figura 1).

Específicamente, se ha puesto énfasis en el rol de los microorganismos en la nutrición en fósforo y nitrógeno de los cultivos, y en el control biológico de plagas y enfermedades, considerando además las características asociadas a la promoción de crecimiento vegetal. El desafío ha sido identificar cepas con la función deseada que puedan ser utilizadas para desarrollar un producto tecnológico, a través del proceso de bioproducción y formulación, para ser escaladas a nivel comercial (Figura 2).

Cuando un bioinsumo se produce y formula a escala comercial como biofertilizante o agente de control biológico, debe ser registrado ante la autoridad competente(*), quien debe asegurar las pautas de identidad, eficacia agronómica, seguridad para el ambiente y la salud humana y el control de calidad. Se entiende por control de calidad el conjunto de acciones destinadas a garantizar la producción uniforme de lotes que cumplan, entre otros, los parámetros de identidad, actividad y pureza establecidos.

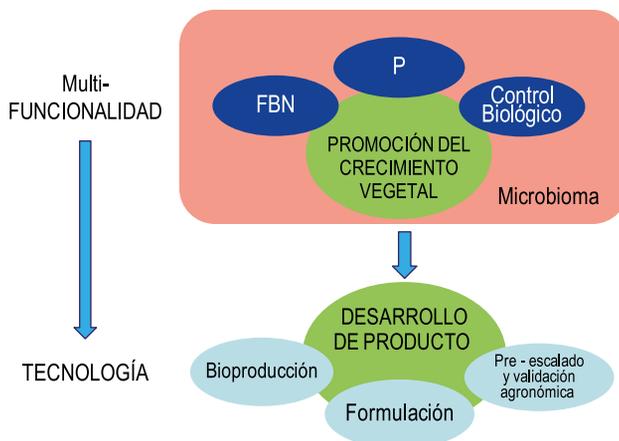


Figura 2 - El microbioma con potencial uso como bioinsumos es caracterizado por las funciones que puede llegar a cumplir como fijación biológica de nitrógeno (FBN), solubilización de fósforo (P) y control biológico.

(*) En Uruguay la autoridad competente es la Dirección General de Servicios Agrícolas del MGAP.

¿QUÉ SON LOS BIOINSUMOS MICROBIANOS?

Los bioinsumos microbianos son productos de origen biológico, formulados con microorganismos, utilizados para mejorar el rendimiento, la calidad y la salud de las plantas o las características biológicas del suelo y el ambiente.

Incluyen Biofertilizantes y Agentes Microbianos de Control Biológico; también se consideran productos con denominaciones alternativas como inoculantes, biocontroladores, bioplaguicidas, entre otros. Cabe destacar que muchas veces una misma cepa microbiana posee mecanismos múltiples que permiten explotar su capacidad para formularlo como biofertilizante o agente microbiano de control biológico.

Biofertilizante: bioinsumo elaborado en base a una o más cepas de microorganismos benéficos que, al aplicarse al suelo o a las semillas, promueve el crecimiento vegetal o favorece el aprovechamiento de los nutrientes en asociación con la planta o su rizósfera. Incluye, entre otros, los inoculantes elaborados con rizobios, micorrizas y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.

Agente microbiano de control biológico: bioinsumo elaborado en base a una o más cepas de microorganismos benéficos que tienen capacidad de mejorar el estado sanitario vegetal mediante la supresión de poblaciones de fitopatógenos o insectos plaga por antagonismo, antibiosis, competencia, patogenicidad, producción de enzimas, resistencia inducida, entre otros mecanismos.

Cepa microbiana: cultivo puro debidamente identificado y caracterizado al cual se le atribuye una acción biológica definida.

Formulación: proceso de preparación de la cepa microbiana con otros ingredientes que garantizan la estabilidad y viabilidad del bioinsumo.

TRABAJANDO JUNTOS

La Plataforma de Bioinsumos lleva adelante alianzas estratégicas público-privadas con empresas y otras instituciones para la realización de proyectos de investigación y desarrollo, con un sólido componente académico y de cooperación internacional.

Se promueve la formación de posgrados y la creación de capacidades para el avance de tecnologías basadas en el uso de microorganismos en la agricultura.

Ejes de acción

- 1 - Fortalecimiento de las capacidades instaladas en INIA Las Brujas.
- 2 - Formación y desarrollo de recursos humanos e incorporación de estudiantes de posgrado.
- 3 - Vinculación tecnológica con el sector productivo, la industria y la academia.
- 4 - Cooperación internacional e integración en redes de trabajo.
- 5 - Fomento de políticas públicas: marco normativo para el registro y el control de calidad de bioinsumos, protección de la propiedad intelectual, educación y extensión.

Equipo de trabajo

Los investigadores de la Plataforma de Bioinsumos conforman un grupo multidisciplinario de ingenieros agrónomos, bioquímicos, biólogos y químicos con posgrados en varias disciplinas. La integración de los distintos enfoques se aplica a la resolución de problemas identificados a partir de las demandas del sector productivo y del gobierno, de acuerdo con la priorización estratégica de INIA.

Estudiantes

Estudiantes de grado y posgrado se suman cada año para elaborar y realizar sus proyectos, dentro de las líneas de investigación de la Plataforma. Los estudiantes realizan un aporte a los actores públicos y privados vinculados al desarrollo de bioinsumos para la agricultura, en un marco de excelencia académica. En los últimos seis años, seis estudiantes de doctorado y nueve estudiantes de maestría han desarrollado sus programas de posgrado en los laboratorios de la Plataforma; 10 de ellos han sido beneficiarios de becas de la ANII.

Líneas de investigación y proyectos

Se trabaja en diversas líneas de investigación; entre ellas se prioriza la generación de conocimiento para: 1) la óptima expresión agronómica de la fijación biológica de nitrógeno en soja y otras leguminosas; 2) el desarrollo de biofertilizantes en base a microorganismos que

En los últimos seis años, seis estudiantes de doctorado y nueve estudiantes de maestría han desarrollado sus programas de posgrado en los laboratorios de la Plataforma de Bioinsumos.

Líneas de investigación - Metas

- 1 - Mantener la FBN como principal fuente de N en los sistemas de producción, de acuerdo a la política pública establecida.
- 2 - Disminuir la dependencia a fertilizantes fosfatados; reducir costos e impacto ambiental.
- 3 - Contribuir al Manejo Integrado de Plagas; disminuir la dependencia a plaguicidas de síntesis; reducir impacto ambiental y aumentar valor del producto.
- 4 - Optimizar los procesos de escalado y formulación de productos microbianos; contribuir al desarrollo de tecnologías sobre el concepto de "semillas inteligentes".



Figura 3 - Metas que conducen las líneas de investigación de la Plataforma de Bioinsumos.

umentan la fitodisponibilidad de fósforo; 3) el desarrollo de biofungicidas y bioinsecticidas para el control biológico de enfermedades e insectos plaga; 4) la optimización de los procesos de bioproducción masiva y formulación de microorganismos y 5) el desarrollo de indicadores de salud de suelo (Figura 3). Los proyectos cuentan con financiación de INIA y de fondos competitivos de la ANII, de empresas privadas, de la Udelar, y de otras agencias. En los últimos seis años, se han ejecutado nueve proyectos con fondos competitivos.

Socios y alianzas estratégicas

Para la realización de los proyectos de investigación y desarrollo, la Plataforma de Bioinsumos lleva adelante alianzas estratégicas público-privadas con empresas y otras instituciones, con un sólido componente académico y de cooperación internacional (Figura 4). En los últimos seis años se han establecido 15 acuerdos de colaboración con diversos socios nacionales e internacionales.

Comunicación científica y difusión técnica

El conocimiento generado en los proyectos y el desarrollo de tecnologías, procesos y productos resultantes de la investigación, han sido comunicados en publicaciones científicas, en diversos congresos nacionales e internacionales y en actividades de difusión y transferencia. En los últimos seis años, se han publicado 20 artículos en revistas arbitradas, más de 40 contribuciones en eventos científicos, y se han realizado más de 30 comunicaciones técnicas.

ESTRATEGIA DE TRABAJO: UN CAMINO QUE SE RECORRE PASO A PASO

La investigación y desarrollo de un insumo en base a microorganismos implica un desafío a varios niveles. En el aspecto científico, deben responderse varias preguntas

que abarcan cuestiones moleculares y ecológicas del microorganismo y conocimiento agronómico del sistema: ¿cómo actúa y en qué condiciones es capaz de expresar las características deseadas? ¿es posible mejorar el desempeño de un microorganismo mediante cambios en las condiciones en que es producido? ¿afectará la formulación del producto la sobrevivencia y actividad del microorganismo en el campo? ¿es necesario modificar el manejo de los cultivos para hacerlos más receptivos a la nueva tecnología? ¿la nueva tecnología es segura?

Para responder estas preguntas, la estrategia de trabajo ha seguido una pauta común que recorre un camino paso a paso. A partir de una demanda tecnológica, se elabora una propuesta con los socios identificados, basada en el modelo de alianzas estratégicas (sector productivo, industria, academia, cooperación internacional) y en la incorporación de estudiantes.



Figura 4 - La Plataforma de Bioinsumos promueve un modelo de alianzas con socios estratégicos de instituciones nacionales e internacionales.



Figura 5 - Etapas en la investigación y desarrollo de un insumo en base a microorganismos.

El desarrollo de la investigación abarca diversas etapas, desde la prospección, la identificación, la evaluación de actividad biológica, hasta la selección y multiplicación de un microorganismo benéfico, formulado en condiciones que garanticen la estabilidad y viabilidad del prototipo de producto (Figura 5).

A partir del prototipo formulado a escala experimental, se inicia una etapa de generación de conocimiento sobre eficacia agronómica y análisis de toxicidad para la salud humana y ambiental, ambos requisitos necesarios para su registro ante la autoridad competente (DGSA/MGAP).

En general, en esta etapa adquiere más protagonismo el socio industrial, quien determina las condiciones de producción a escala comercial y la formulación final a ser registrada.

La transferencia al sistema productivo y la adopción de la tecnología están condicionadas a un fuerte compromiso de políticas de Estado para la armonización del marco normativo y la instrumentación de acciones de promoción y extensión para el uso de bioinsumos.

La ejecución del FPTA 344 DIGEGRA/MGAP/Fagro “Producción e introducción de agentes de control biológico en el manejo regional integrado de insectos y enfermedades de hortalizas” es un ejemplo de plataforma de validación a tales efectos, que promueve roles activos y coordinados del sector público, el sector industrial y el sector productivo.

COLECCIÓN DE CEPAS DE BACTERIAS Y HONGOS

Los microorganismos que tienen el potencial para desarrollarse como un bioinsumo y otros microorganismos de interés se encuentran conservados en la colección INIA de recursos genéticos microbianos de la Plataforma de Bioinsumos.

La Plataforma de Bioinsumos de INIA es un espacio abierto a la realización de proyectos innovadores donde confluyen el sector productivo, la industria y la academia.

La colección cuenta con cepas de hongos (ILB) y bacterias (ILBB) para el control biológico de enfermedades e insectos, la promoción del crecimiento vegetal y la nutrición de cultivos, así como con aislamientos de patógenos vegetales.

Las cepas son caracterizadas a nivel molecular y bioquímico y evaluadas por su funcionalidad. Además, se destaca especialmente que INIA realiza la curaduría de la Colección Nacional de Cepas de Rizobios (CNCR) de Uruguay; anualmente se entregan a la industria las cepas de rizobios con las que se producen los inoculantes comerciales de leguminosas forrajeras y de soja (ver en este número de la Revista INIA el artículo “Convenio INIA/MGAP: Sistema de control de calidad de inoculantes”).

Colección INIA de Recursos Genéticos Microbianos con cepas caracterizadas:

- 1 - Hongos: *Lecanicillium*, *Beauveria*, *Metarhizium*, *Isaria*, *Trichoderma*.
- 2 - Bacterias: *Bacillus*, *Serratia*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*.
- 3 - Bacterias solubilizadoras/mineralizadoras de Fósforo: rizobios, *Bacillus*, *Streptomyces*, *Pseudomonas*.
- 4 - Fijadores de Nitrógeno: *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*.
5. Fitopatógenos: *Pythium*, *Claviceps*.

PROGRAMA ACTIVO DE SELECCIÓN DE CEPAS DE ELITE

La caracterización de las cepas que conforman las colecciones ha permitido identificar aquellas con actividad biológica destacada y habilidad industrial para ser escaladas a nivel experimental, mediante la optimización del proceso de producción microbiana.

Estas cepas conforman la colección de elite y han sido avanzadas a la etapa de caracterización genómica y formulación de un prototipo experimental (Cuadro 1).

En una próxima contribución a la Revista INIA, se describirán algunos de los proyectos que abordó el equipo para atender demandas específicas planteadas desde los sistemas de producción, reseñando los principales logros a partir del uso de las cepas de elite.

Cuadro 1 - Cepas de elite de la Plataforma de Bioinsumos de INIA.

Cepa	Especie	Enfermedad/Plaga que controla	Cultivo objetivo	Grado de desarrollo
ILB 205 ¹	<i>Beauveria bassiana</i>	Chinche del <i>Eucalyptus</i>	<i>Eucalyptus</i>	Formulación nivel prototipo
ILBB 145 ²	<i>Serratia ureilytica</i>	Damping-off de tomate producido por <i>Pythium cryptoirregulare</i>	Tomate (almácigo)	Formulación pendiente
ILBB 210 ³	<i>Lysinibacillus xylanilyticus</i>	<i>Argyrotaenia sphaleropa</i>	Manzano	Formulación pendiente
ILB 255 (=ILB 3) ⁴	<i>Lecanicillium muscarium</i>	<i>Trialeurodes vaporariorum</i>	Tomate	Formulación pendiente
ILB 256 (=ILB 9) ⁴	<i>Lecanicillium longisporum</i>	<i>Trialeurodes vaporariorum</i>	Tomate	Formulación pendiente
ILBB 592 ^{5,6}	<i>Bacillus megaterium</i>	Promoción de crecimiento/ Nutrición	Soja	Formulado y evaluado en campo. En proceso de registro
ILBB 95 ⁶	<i>Bacillus aryabhatai</i>	Promoción de crecimiento/ Nutrición	Soja	Formulado y evaluado en campo. En proceso de registro
ILBB 44 ⁶	<i>Bacillus pumilus</i>	Promoción de crecimiento/ Nutrición	Soja	Formulado y evaluado en campo. En proceso de registro

CONSIDERACIONES FINALES

La gran variedad de funciones que cumplen los microorganismos contribuye a la salud del suelo y del sistema productivo. Dentro de las funciones de interés de los microorganismos, la Plataforma de Bioinsumos se enfoca en su rol en la nutrición vegetal (N-P) y el control biológico de enfermedades y plagas.

En la Plataforma de Bioinsumos se han desarrollado capacidades de infraestructura y recursos humanos calificados, y se dispone de una colección de cepas caracterizadas que representan una base sólida desde la cual continuar investigando y respondiendo a las demandas del sector productivo.

El establecimiento de alianzas estratégicas entre el sector público y privado es clave para el desarrollo industrial y la innovación en bioinsumos.

Teniendo en cuenta el ejemplo de la tecnología de inoculantes en base a rizobios que se implementó con éxito desde hace varias décadas, se debe continuar con la promoción de una estrategia nacional sobre normativas de registro y control de calidad de insumos biológicos.

Por sus características particulares, requieren además de políticas específicas de promoción y transferencia dirigidas a fomentar su adopción exitosa.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 - Abreo E., Simeto S., Corallo B., Martínez G., Lupo S., Altier N. (2019). Dual selection of *Beauveria bassiana* strains and complex substrate media for the massive production of submerged propagules with activity against the eucalyptus bronze bug *Thaumastocoris peregrinus*. *Biocontrol Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/09583157.2019.1566952>
- 2 - Abreo E., Valle D., González A., Altier N. (2020). Control of damping-off in tomato seedlings exerted by *Serratia ureilytica* strain ILBB 145 and identification of bacterial inhibitory volatiles in vitro. *Applied and Environmental Microbiology* (en revisión).
- 3 - Abreo E., Valle D., Mujica V., Altier N. (2018). Pathogenicity and virulence factors of *Lysinibacillus xylanilyticus* and *Bacillus* spp. towards *Argyrotaenia sphaleropa* larvae (Lepidoptera). *Journal of Applied Entomology*. <https://doi.org/10.1111/jen.12539>
- 4 - Rivas F., Nuñez P., Jackson T., Altier N. (2013) Effect of temperature and water activity on mycelia radial growth, conidial production and germination of *Lecanicillium* spp. isolates and their virulence against *Trialeurodes vaporariorum* on tomato plants. *BioControl* <https://doi.org/10.1007/s10526-013-9542-y>
- 5 - Cerecetto V. (2018). Evaluación de bacterias pertenecientes a colecciones nacionales por su capacidad de actuar sobre la fitodisponibilidad del fósforo: selección, mecanismos involucrados y potencial uso como biofertilizante en plantas de soja (*Glycine max*). Tesis de maestría en biotecnología, Udelar.
- 6 - Martin N. (2019). Prospección, caracterización y bioproducción de *Bacillus sensu lato* movilizadores de fósforo del suelo. Tesis de maestría en biotecnología, Udelar.

En la Plataforma de Bioinsumos se han desarrollado capacidades de infraestructura y recursos humanos calificados, y se dispone de una colección de cepas caracterizadas que representan una base sólida desde la cual continuar investigando y respondiendo a las demandas del sector productivo.