



Fecha de recibido: 26-7-2023
Fecha de aceptado: 15-11-2023
DOI: 10.22490/21456453.7018

INOCULANTES BIOLÓGICOS: OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS PARA LA SUSTENTABILIDAD AGRÍCOLA Y BIOECONOMÍA COLOMBIANA. UNA REVISIÓN

BIOLOGICAL INOCULANTS: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES FOR AGRICULTURAL SUSTAINABILITY AND COLOMBIAN BIOECONOMY. A REVIEW

Sandra Patricia Montenegro Gómez ¹
Luisa Fernanda Calderón Vallejo ²
Brayan Alexis Parra Orobio ³

¹ Doctora en Ciencias- Área de concentración microbiología agrícola, Universidad Nacional Abierta y a Distancia,

Colombia. sandra.montenegro@unad.edu.co

² Magíster en Ingeniería énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia. luisa.calderon@unad.edu.co

³ Doctor en Ingeniería, énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad Popular del Cesar, Colombia. baparra@unicesar.edu.co

Citación: Montenegro, S., Calderón, L. y Parra, B. (2024). Inoculantes biológicos: Oportunidades y desafíos para la sustentabilidad agrícola y bioeconomía colombiana. Una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 15(2), 151-179.
<https://doi.org/10.22490/21456453.7018>

RESUMEN

Contextualización: el inadecuado uso de fertilizantes minerales solubles genera grandes problemas ambientales, incluyendo emisiones de gases efecto invernadero. Esto se ha pasado por alto durante mucho tiempo por la gran demanda para la producción agrícola global; actualmente se evidencian efectos negativos desde la perspectiva de sustentabilidad, sumado a la coyuntura de precios elevados de agroinsumos.

Vacío del conocimiento: compilar información de bioinsumos registrados como inoculantes biológicos en Colombia facilita el acceso a información específica, requerida por productores interesados en la mitigación del uso de fertilizantes minerales solubles e inclusión de bioinsumos que puedan suplir los requerimientos agrícolas de los cultivos.

Propósito: el objetivo de esta revisión es presentar beneficios edáficos asociados con el uso de inoculantes biológicos microbianos y la oportunidad que representan para la sustentabilidad agrícola y fortalecimiento de la bioeconomía colombiana.

Metodología: se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura con parámetros establecidos por PRISMA, con base en información relevante de empresas de inoculantes biológicos en la agricultura colombiana.

Resultados y conclusiones: se identificaron 4910 estudios donde 12 cumplieron con los protocolos de selección. De 393 registros de productos biológicos en Colombia, 119 corresponden a inoculantes biológicos. Desde la perspectiva de bioeconomía y negocios verdes, la exploración y aprovechamiento ecológicamente responsable de la biodiversidad microbiana en Colombia es una oportunidad para disminuir el uso de fertilizantes de síntesis química y encaminar una transición hacia la agricultura sustentable basada el uso de inóculos biológicos microbianos, como mejoradores de la calidad y salud de suelos agrícolas.

Palabras clave: agricultura, economía alimentaria, fertilizantes minerales solubles, industria de abonos, microbiota del suelo

ABSTRACT

Contextualization: The inappropriate use of soluble mineral fertilizers generates major environmental problems, including greenhouse gas emissions. This has been overlooked for a long time due to the high demand for global agricultural production; currently, negative effects are evident from the sustainability perspective, coupled with the conjuncture of high agro-input prices.

Knowledge gap: Compiling information on bio-inputs registered as biological inoculants in Colombia facilitates access to specific information required by producers interested in mitigating the use of soluble mineral fertilizers. It also facilitates the inclusion of bio-inputs that can supply the agricultural requirements of crops.

Purpose: This review aims to present the edaphic benefits associated with using microbial biological inoculants and the opportunity they represent for agricultural sustainability and the strengthening of the Colombian bioeconomy.

Methodology: A systematic literature review was carried out with parameters established by PRISMA and based on relevant information from biological inoculant companies in Colombian agriculture.

Results and conclusions: A total of 4,910 studies were identified, and 12 met the screening protocols. Of 393 biological product registrations in Colombia, 119 correspond to biological inoculants. From the perspective of bioeconomy and green business, the exploration and ecologically responsible use of microbial biodiversity in Colombia is an opportunity to reduce the use of chemically synthesized fertilizers and to move towards a transition to sustainable agriculture based on the use of microbial biological inoculums to improve the quality and health of agricultural soils.

Keywords: agriculture, fertilizer industry, food economy, soil microbiota, soluble mineral fertilizers

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores, adaptación-ICA (2023).

1 INTRODUCCIÓN

La agricultura juega un renglón muy importante en la proyección empresarial colombiana, sin embargo, en términos de crecimiento agrícola, el precio de los agroinsumos es un factor altamente limitante. De acuerdo con Agronet-Minagricultura (2022). En el año 2022 los precios de fertilizantes simples crecieron un 118,29% y los compuestos en un 101,77%. Debido a que Colombia es un importador neto, tanto de fertilizantes como de

plaguicidas, el incremento sostenido de su precio a nivel internacional es particularmente preocupante para el desempeño y las perspectivas del sector agrícola. Durante 2021, se importaron cerca de 2,1 millones de toneladas de fertilizantes y 66.423 toneladas de plaguicidas. En efecto, en el caso de los fertilizantes primarios, Rusia (28%), Trinidad y Tobago (22%), China (17%) y EE. UU. (16%) son

los principales países de los que se importan fertilizantes (Corficolombiana, 2022).

De otra parte, debido a la creciente necesidad de compuestos de nitrógeno y fósforo para usos no agrícolas, podría ejercer una presión adicional sobre los precios. No obstante, también hay factores que sugieren que los agricultores pueden utilizar los fertilizantes de forma más flexible y, por tanto, tendrán una mayor capacidad de respuesta a los cambios de precios; al respecto, cada vez son más los mercados que ofrecen posibilidades de comercio, de modo que los fertilizantes orgánicos pueden comprarse y venderse dentro de una región determinada, lo que puede contribuir a compensar los déficits locales de suministros de fertilizantes minerales (FAO, 2022). En este contexto, se requiere de una importante participación de pequeñas, medianas y grandes empresas con iniciativas privadas o de colaboración público-privada en materia de bioeconomía sustentada en aplicaciones biotecnológicas para la agricultura y desarrollo de bioproductos (Rodríguez, A. G. (2017).

Desde la bioeconomía es importante resaltar que, aunque está basada en utilización de recursos biológicos, su uso debe ser sustentado en la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad, a fin de ir contrarrestando el daño causado por el uso indiscriminado de fertilizantes minerales solubles, el cual hace parte de los principales contaminantes causantes de diversas enfermedades y daños en la biodiversidad de ambientes acuáticos, aéreos y terrestres (Wohlfahrt *et al.*, 2010; Önder *et al.*, 2011; Alori y Babalola, 2018; Ganguly, 2021). Lo anterior sumado a la contribución de su uso con el 13 % de las emisiones de gases de efecto invernadero, conformadas por óxido nitroso, generado por adición de nitrógeno sintético en el suelo (Cano, Martín, Zarazúa, 2022).

La presente revisión tiene como objetivo caracterizar la oferta comercial colombiana de inoculantes biológicos microbianos asociados con la mejora de la calidad y salud del suelo, como una oportunidad para la sustentabilidad agrícola y fortalecimiento de la bioeconomía colombiana.

MATERIALES Y MÉTODOS **2**

Tipo de estudio

Se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura de acuerdo con los parámetros establecidos por PRISMA (Preferred

Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis), en la cual se incorporaron varios aspectos conceptuales y metodológicos relacionados con la metodología de revisiones sistemáticas que han emer-

gido en los últimos años. La declaración PRISMA incluye una lista de verificación de 27 elementos y un diagrama de flujo de cuatro fases (Page, *et al.*, 2021). La Figura 1 muestra el diagrama de fases con los distintos pasos utilizados en el actual artículo, estructurado con información relevante en temáticas asociadas con empresas de inoculantes biológicos en la agricultura colombiana. A continuación, se relaciona el protocolo de búsqueda y selección.

Identificación

Se realizó una búsqueda sistemática de literatura en las bases de datos ScienceDirect, PubMed y Scielo y otras fuentes incluyendo Google Scholar y páginas institucionales. Se incluyeron títulos de investigaciones bajo los siguientes términos en español e inglés: 1. Bioeconomía,

2. Inoculantes biológicos en Colombia y 3. inoculantes microbianos. En este proceso se eliminaron registros duplicados.

Cribado

Se incluyeron registros con los términos de búsqueda en el título o resumen. En esta fase se excluyeron documentos incompletos, registros con información muy generalizada, enfoque distinto a inóculos microbianos para uso agrícola o con información desactualizada.

Inclusión

Se incluyeron registros con priorización de las variables de título, año, país, producción de bioinsumos agrícolas enfocados a los inóculos microbianos.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron 4910 registros en total, se cribaron con lectura de título y 3910 cumplieron para decidir su elección de acuerdo con la temática, año y actualización, posteriormente se consideró la inclusión de solo 210 estudios de los cuales 12 publicaciones fueron incluidas por dar cumplimiento al protocolo de la presente revisión (Figura 1). Las doce publicacio-

nes priorizadas han sido realizadas en la última década, enfocadas en el uso de insumos biológicos en algunos cultivos de interés en la bioeconomía colombiana (Agrosavia, 2022). De otra parte, se consideraron estudios de biofertilizantes tipo bioinoculantes microbianos que pueden sustituir o reducir el uso de fertilizantes minerales solubles.

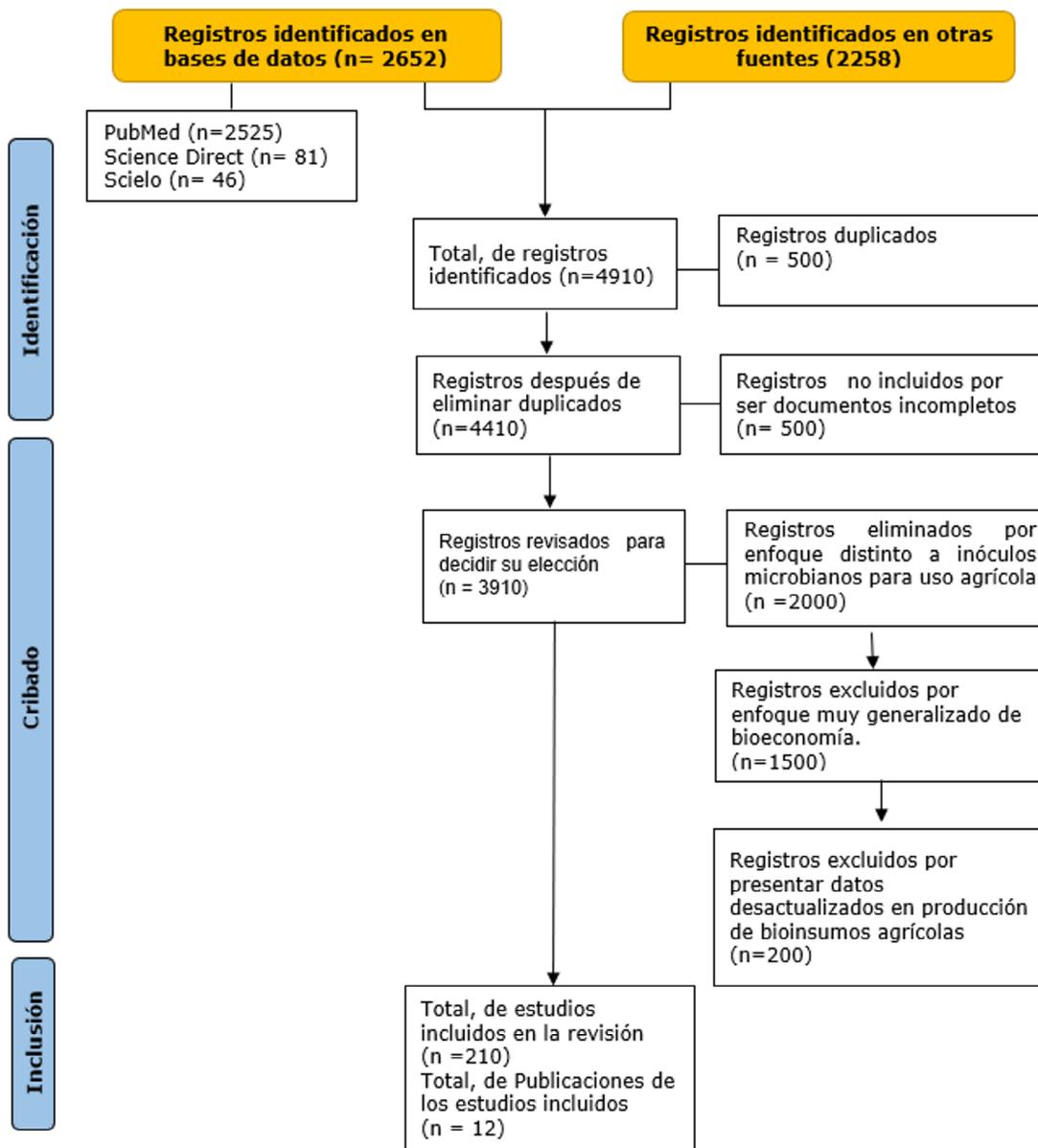


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA de la información a través de las diferentes fases de revisión sistemática de temas asociados a la bioeconomía de empresas productoras de inoculantes biológicos microbianos de uso agrícola en Colombia

Fuente: Adaptado de Page *et al.*, (2021).

Mercado de fertilizantes minerales solubles en Colombia

Los resultados de la presente revisión indican que entre los rubros que componen los costos de producción agropecuaria en Colombia, los insumos (entre fertilizantes y plaguicidas) llegan en algunos casos a representar el 35%, proporción que, asociada a los precios de éstos, se constituyen en factores determinantes de la rentabilidad de las actividades agropecuarias (FAO, 2018).

En Colombia, el mercado de fertilizantes simples se concentra principalmente en la comercialización de urea (fuente de nitrógeno), KCl -cloruro de potasio (fuente de potasio)- y DAP -fosfato diamónico (fuente de fósforo). La mayoría de estos fertilizantes simples no se producen en Colombia, sino que deben ser importados, bien sea para fines de comercialización o para autoconsumo, pues son necesarios para la producción de los fertilizantes compuestos, es decir aquellos que contienen al menos dos macronutrientes básicos (nitrógeno, fósforo, potasio) y en algunas ocasiones son enriquecidos con un elemento adicional (Rodríguez, *et al.*, 2018). El índice de autosuficiencia de fertilizantes en Colombia es del 20%, lo que expone la competitividad del agro colombiano a la volatilidad de los precios internacionales y la tasa de cambio (FAO, 2018). Las importaciones de fertilizantes en Colombia de acuerdo con CVN, (2021) se concentraron, el 69%, en las siguientes empresas:

1. **Yara Colombia S.A.:** es el principal importador con 21% del total, equivalente a USD\$ 131 millones y una variación de -26%.
2. **Monómeros Colombo Venezolanos S.A.:** ingresó 17% de los fertilizantes por USD\$ 107 millones; en su caso, las importaciones crecieron 11%.
3. **Precisagro S.A.S.:** es tercero con USD\$ 101 millones, que representan 16% del total importado, cifra que creció 7% frente a 2019.
4. **Ecofertil S.A.:** compró fertilizantes por USD\$ 47 millones CIF, es decir, ocupa 8% del mercado; su variación fue de 124%, una de las más altas reportadas.
5. **Nutrición de Plantas S.A.:** cierra el top 5 con 6% de participación, representada por USD\$ 39 millones, valor que creció 54% frente al periodo anterior.

Ante la coyuntura de precios elevados de agro-insumos, es relevante considerar esta situación como una oportunidad para fortalecer la competitividad del agro colombiano desde una perspectiva ambiental, además socialmente sustentable, donde la seguridad alimentaria en el país sea primordial para aprovechar la diversidad para el fortalecimiento de la exportación de productos agrícolas hacia consumidores, que hoy demandan productos con menor cantidad de trazas de fertilizantes minerales solubles; en este sentido, los insumos biológicos (biofertilizantes y

bioplaguicidas) se plantean como una promisoriosa alternativa (Corficolombiana, 2022), ya que los agroinsumos además de generar un impacto negativo en términos económicos, también acarrearán problemas ambientales cuando no son usados de acuerdo con los requerimientos del suelo y los cultivos (FAO, 2018). Por lo tanto, se hace necesario generar alternativas de nuevos fertilizantes, como las mezclas mineral-orgánicas combinadas con bioinsumos, con el fin de mejorar la competitividad de la producción.

Inoculantes biológicos como alternativas a la fertilización tradicional

Como alternativas a la fertilización tradicional se deben promover procesos de producción de fertilizantes orgánicos y

estimular la utilización de biofertilizantes, lo que redundará finalmente en incentivar la utilización eficiente y racional de los fertilizantes, disminuir el impacto ambiental y posibilitar la sostenibilidad de los agroecosistemas y los suelos cultivados. Por ejemplo, bioinoculantes, también conocidos como inoculantes microbianos e inoculantes del suelo. Los cuales son productos que contienen concentrados de microorganismos vivos o latentes (bacterias y hongos, solos o combinados) y se agregan a los cultivos para incrementar el suministro y/o disponibilidad de nutrientes, estimular el crecimiento vegetativo y contribuir al control de patógenos de las plantas. Tal como lo indica Guzmán, (2018), existen estudios y experiencias que prueban que los biofertilizantes tipo bioinoculantes, pueden utilizarse para sustituir o reducir el uso de los fertilizantes químicos. (Tabla 1).

■ **Tabla 1.** Algunos estudios de biofertilizantes tipo bioinoculantes microbianos que pueden sustituir o reducir el uso de fertilizantes químicos

Bioinoculante	Efecto en cultivo o el suelo	Fuente
<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	Efecto favorable sobre el desarrollo de las raíces de las plantas de soya, mostrando incrementos entre un 3,5 % y un 10,8 % con relación al testigo	Fornasero y Toniutti (2015)
Simbiosis Anabaena y Azolla	<i>Anabaena</i> fija nitrógeno en simbiosis con <i>Azolla</i> , que a su vez contribuye principalmente al cultivo de arroz Proporcionando entre 20-25 kg de nitrógeno fijado por hectárea al año y añadiendo biomasa al suelo	Pathak y Kumar (2016)
Micorriza arbuscular (<i>Rhizoglyphus fasciculatum</i>) y hongos solubilizadores de fosfato- <i>Mortierella</i> sp.	Los niveles de fosfato en los brotes de las plántulas de Aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.cv. 'Hass') inoculada con micorrizas fueron significativamente más altos, alcanzando 170.4 y 172.5 mg de P /planta, representando un aumento del doble en comparación con las plantas de control	Tamayo-Vélez y Osorio (2017)
<i>Bacillus</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Bifidobacterium</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Rhodoseudomonas</i> , <i>Rhodobacter</i> , <i>Saccharomyces</i>	Incrementó la MO (51%), el N (56%) y P disponible en suelo cultivado con maíz forrajero	Ávalos et al. (2018)
Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal, RPCV (<i>Bacillus paralicheniformis</i> y <i>Pseudomonas lini</i>)	Permite reducir la fertilización, sin disminuir el rendimiento y la calidad del cultivo de tomate en condiciones de invernadero El rendimiento se incrementó en las plantas inoculadas y fertilizadas al 75% de la solución nutritiva	Espinoza et al. (2019)
<i>Pseudomonas</i> : Tmt-16, <i>P. gessardi</i> ; Ls-C21, <i>P. koreensis</i> ; Ltj-62 <i>P. brassicacearum</i> y <i>Acinetobacter</i> : LsC-58, <i>A. calcoaceticus</i>	Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal capaces de mejorar la disponibilidad de NPK. Selección, identificación y efectos sobre el crecimiento del tomate Se incrementó el crecimiento de las raíces en 23.57%, mantuvo el mayor contenido de N en tejido vegetal, 2.6%, mayor cantidad de N disponible en el suelo, de 17,0 a 19,0 mg kg ⁻¹ de K disponible	Reyes et al. (2019)

<p>Abonos orgánicos y biofertilizantes basados en <i>Azotobacter</i> sp.; <i>Glomus cubense</i>.</p>	<p>Mayor crecimiento y vigor a las plantas de <i>Coffea</i> arábica L., incrementando su altura de 180 a 213 cm</p>	<p>Canseco <i>et al.</i> (2020)</p>
<p>Compost inoculado con <i>Klebsiella oxytoca</i></p>	<p>Compost inoculado con bacterias solubilizadoras de potasio mejorarán el crecimiento y la productividad del maíz en agroecosistemas semiáridos, presentando aumento significativo en la altura de la planta (50%), biomasa de brotes (59%), raíces (73%), longitud de raíces (92%), absorción de K-planta (154%), eficiencia en el uso del agua (54%)</p>	<p>Imran <i>et al.</i> (2020)</p>
<p><i>Bacillus subtilis</i> y <i>Bacillus megaterium</i></p>	<p>Bacterias promotoras de crecimiento y solubilización de fosfato: promueven mayor absorción de fosfatos y crecimiento de raíces en cultivo de caña de azúcar aumentando su productividad hasta un 20%</p>	<p>Guilherme (2022)</p>
<p>Biopelículas microbianas de <i>Azotobacter chroococcum</i> o <i>Trichoderma viride</i></p>	<p>La aplicación de microorganismos en formulación de biopelículas demostró mejorar las actividades enzimáticas de defensa natural en plántulas de algodón</p>	<p>Velmourougane y Prasanna (2023)</p>
<p>Consortio de dos cepas de rizobacterias: <i>Acinetobacter soli</i> (AU4, RG5) y micorrizas: arbusculares <i>Glomus</i> sp1.</p>	<p>La inoculación en flores de rosa (<i>Rosa rubiginosa</i>) mejoró el establecimiento del portainjerto aumentando el porcentaje en el establecimiento de raíces. consorcio AU4 + RG5 + <i>Glomus</i> sp.1 (90,5%)</p>	<p>Beyene y Tuji (2023)</p>
<p><i>Bacillus amyloliquefaciens</i></p>	<p>Respuesta positiva en variables agronómicas evaluadas con <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> Bs006, indica que esta bacteria puede ser validada durante la etapa de semillero de uchuva Aumentó longitud de la planta en 34%, tallo y raíz en 59 % y 16 %, biomasa seca de raíz en 178 %, tallo en 161 % y hojas 96 %</p>	<p>Beltrán <i>et al.</i>, (2023)</p>

Fuente: autores con base en literatura científica.

Empresas de bioinsumos en Colombia

En Colombia, los bioinsumos de uso agrícola con fines de comercialización deben estar registrados ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). La Solicitud de Registro de Empresas Productoras de Bioinsumos o Extractos Vegetales de Uso Agrícola pueden realizarla personas naturales o jurídicas; la producción puede ser directa o a través de maquila y son regidas por el ICA (2004) bajo la Resolución 0375 de febrero 27 de 2004.

Hasta el año 2020, el número de empresas de productos biológicos registradas en Colombia muestra que hasta ese año los productores colombianos alcanzaron el 44% de registros, indicando un dominio de entidades internacionales (Gómez, 2022); no obstante, es de destacar el crecimiento nacional teniendo en cuenta que

en el año 2009 había en total 90 compañías registradas y la mayoría eran solo importadoras (González, 2022). Este registro sugiere un potencial para el fortalecimiento de la producción de bioinoculantes desde la producción nacional; a pesar de ello se requiere de diversos tipos de apoyo a nivel técnico y económico, ya que la falta de financiamiento es uno de los principales obstáculos para el incremento de la productividad empresarial en Colombia. Este obstáculo afecta principalmente a pequeños productores, incluyendo el sector agropecuario y emprendedores, ya que los niveles de riesgo son mayores de acuerdo con el CONPES 3866 del 2016 (Departamento Nacional de Planeación de Colombia, 2016). La Figura 2, presenta la distribución de las 230 empresas de productos biológicos registradas en Colombia, de acuerdo con el portafolio de bioproductos de Agrosavia hasta el año 2020.

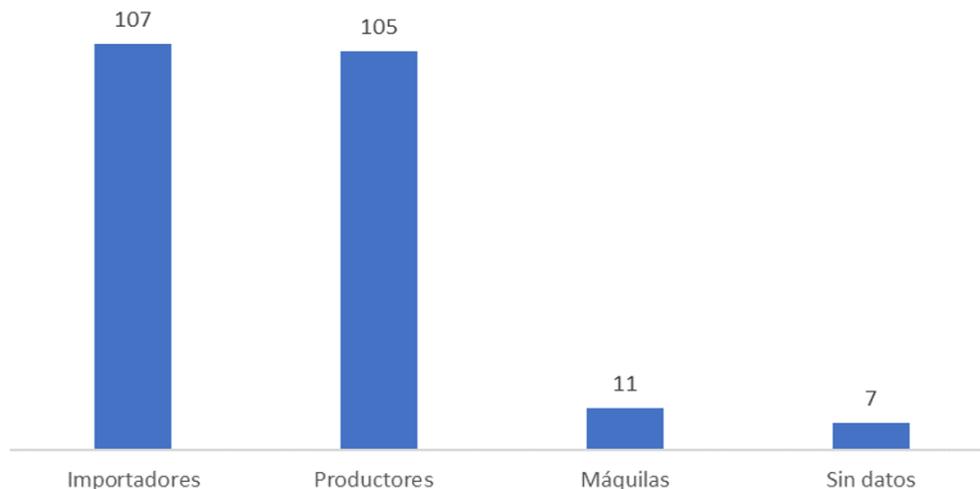


Figura 2. Empresas productoras de insumos agrícolas biológicos registradas en Colombia hasta el año 2020

Fuente: Agrosavia (2020).

En el año 2022, dentro del mercado local, de acuerdo con los datos del ICA, en el país se encuentran 142 registros de empresas de bioinsumos y dentro del total de los 135 alimentos registrados; el arroz, tomate, rosas, café, algodón y soya son los cultivos que reportan el mayor uso de insumos biológicos en el país (Figura 3),

acumulando el 33% de los registros. Por lo tanto, la producción de bioinsumos, concentrada solo en seis cultivos agrícolas, sugiere la necesidad de mayor exploración de la presencia de microorganismos nativos asociados a diversos cultivos de interés agronómico en el país.

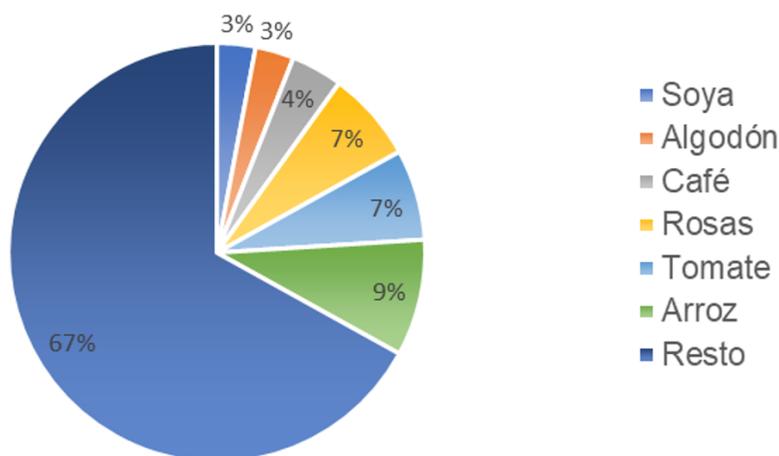


Figura 3. Empresas de bioinsumos registradas en Colombia para algunos cultivos agrícolas

Fuente: Agrosavia (2022).

Empresas de inoculantes biológicos registradas en Colombia

De acuerdo con Resolución 0375 de febrero 27 de 2004, expedida por el ICA, un inoculante biológico es un producto elaborado con base en una o más cepas de microorganismos benéficos que, al aplicarse al suelo o a las semillas, promueve el crecimiento vegetal o favorece el apro-

vechamiento de los nutrientes en asociación con la planta o su rizosfera. Incluye entre otros los productos elaborados con micorrizas, rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal y los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Frankia*, *Beijerinckia*. El consorcio microbiano de un inoculante biológico, puede sustituir parcial o totalmente la fertilización química (Vassilev *et al.*, 2001; Ramírez *et al.*, 2008).

De los 393 registros de productos biológicos en Colombia, 119 (30%) corresponden a inoculantes biológicos: incluyendo 33 promotores de crecimiento vegetal, 19 fijadores de nitrógeno, 19 de micorrizas, 13 son de solubilizadores de fosfatos, 8 Acondicionadores biológicos del suelo, 7 transformadores de materia orgánica, 1 de fijadores de nitrógeno y solubilizadoras de fosfato, 14 biofertilizantes y 5 sin información. En la Tabla 2, se relacionan los nombres comerciales de estos inoculantes y las empresas distribuidoras registradas en Colombia (Gómez, 2022; ICA, 2023), cuya información complementaria podrá consultarse en la página de biofertilizantes y bioinsumos del Instituto Colombiano agropecuario-ICA.

Para la familiarización con la formulación y funcionalidad de los inóculos microbianos mencionados, a continuación, se realiza una descripción general y algunos microorganismos representativos de cada uno.

Microorganismos promotores de crecimiento vegetal: ejercen efectos positivos sobre el crecimiento de las plantas a través de diversos mecanismos como la movilización de nutrientes (P, Zn y Fe) fijación de nitrógeno, producción de fitohormonas, biocontrol de patógenos, producción de ACC-desaminasa, sideróforos, antibióticos, enzimas líticas, resistencia sistémica inducida y la inducción de resistencia contra los estreses (Hakim *et al.*, 2021), algunos referentes son: *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Lactobacillus acidophilus* (ICA,2023).

Fijadores de nitrógeno: microorganismos capaces de fijar nitrógeno atmosférico (N_2), tornarlo disponible y exportarlo por el xilema de las plantas (Döbereiner, Urquiaga y Boddey, 1996), algunos referentes son: *Azotobacter chroococcum*, *Bradyrhizobium japonicum*, *Rhizobium phaseoli*. (ICA,2023).

Micorrizas: hongos asociados a la absorción de nutrientes de poca movilidad, dentro de los cuales se destaca el macronutriente fósforo (P) y micronutrientes como zinc (Zn) y cobre (Cu). (Borge, Mescoloti, Cardoso, 2016). Algunos referentes son: géneros *glomus spp*, *acaulospora spp*, *entrophora spp*. (ICA,2023).

Solubilizadores de fosfato: microorganismos con capacidad de solubilizar y movilizar hacia las plantas el fosforo que está fijado en el suelo (Jones *et al.*, 1991; Nahas *et al.*, 1994, Estrada, 2015; Bini, Varón, 2016). Algunos referentes son: *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum brasiliense*, *Bacillus subtilis*, (ICA,2023).

Acondicionadores de suelo: toda sustancia cuya acción fundamental consiste en el mejoramiento de por lo menos una característica física, química o biológica del suelo (ICA, 2003, 2023). Algunos referentes son: *Azospirillum brasiliense*, *Azotobacter Chroococcum*, *Saccharomyces cerevisiae*, (ICA,2023).

Transformadores de materia orgánica: hongos y bacterias que actúan como descomponedores primarios de materia orgánica del suelo (Santos *et al.*, 2008). Algunos referentes son: *Lactobacillus casei*, *Rhodospseudomonas palustris*, *Saccharomyces cerevi-*

siae, (ICA,2023). Por su parte, los biofertilizantes pueden estar conformados por inóculos biológicos constituidos por uno o más microorganismos (Pérez, *et al.*, 2018).

Algunos referentes son: *Azospirillum brasilense*, *Bacillus licheniformis*, *Saccharomyces cerevisiae*, (ICA, 2023).

■ **Tabla 2.** Inoculantes microbianos registrados ante el ICA (ICA, 2023)

Empresa	Nombre comercial del inoculante microbiano
Promotores de crecimiento vegetal (33)	
Mycros Internacional S.A.S.	INTRO SL MYCROS
Agro Valley S.A.S.	ACTIFOS SL MYCROS
BIOMERK® S.A.S.	BIOMERK®
FMC Colombia S.A.S.	ALICERCE®
Live Systems Technology S.A.S	ECOTERRA SC
Q-BIOL Calidad Biológica S.A.S	BIO 10
Bioquirama S.A.S.	NEMABAC
Bioquirama S.A.S.	PROMOBAC
Bioquirama S.A.S.	POKONIA
ALTEO S.A.S.	PROGREEN SL
Bioquirama S.A.S.	MIXOMITE
BIOMERK S.A.S.	BIOMERK® AG- SP
ALTEO S.A.S.	MYCOFOL SL
FUNDACIÓN DE ASESORÍAS PARA EL SECTOR RURAL, CIUDAD DE DIOS - FUNDASES	AGROGREEN SC
ARTURO ORLANDO MORA JARAMILLO Arturo Orlando Mora Jaramillo biocontrolSemillas Valle S.A.Semillas Valle S.A.	NUTRIBIOL SLBACTOX SL
Semillas Valle S.A.	BT-BIOX SL
Organización Pajonales S.A.S.	TENEBRIONIX SL
Organización Pajonales S.A.S.	ANISILIUM®
Organización Pajonales S.A.S.	BACIOBACTER®
Organización Pajonales S.A.S.	BIOMETAR
Bioquirama S.A.S.	FITOBAC®
Organización Pajonales S.A.S.	BIOHAR FORTE
Agroadviser S.A.S.	MULTIBACTER
Agroadviser S.A.S.	RESID® MG
BioNexus S.A.S.	MYCOUP®
BioNexus S.A.S.	BAFEX®
BioNexus S.A.S.	AEGIS-P®
Agroadviser S.A.S	CENTEON MAX®
Bioquirama S.A.S	TRICHOSYM BIO
SAFER AGROBIOLÓGICOS S.A.S.	INTERACTOR®
Biotech Orius S.A.S.	SAFER TERRA LIFE® GR
	BUEN SUELO SC

Fijadores de nitrógeno (19)

<p>Clabe Representaciones Colombianas Ltda. Claberep Ltda. Ferbiagro Distribuidora de Biológicos de Colombia Dibicol Ltda. Microagro Ltda. Colinagro S.A. Colinagro S.A. Biocultivos S.A. Biocultivos S.A. Corporación colombiana de investigación agropecuaria, CORPOICA Corporación colombiana de investigación agropecuaria, CORPOICA-FUNDACIÓN DE ASESORÍAS PARA EL SECTOR RURAL, CIUDAD DE DIOS FUNDASES DE ASESORIAS PARA EL SECTOR Fundación de asesorías para el sector rural, ciudad de Dios -FUNDASES DIBICOL Ltda.AGROSAVIA Corporación colombiana de investigación agropecuaria Corporación colombiana de investigación agropecuaria, CORPOICA DIBICOL LTDA Organización Pajonales S.A.S. Corporación colombiana de investigación agropecuaria- AGROSAVIA Corporación colombiana de investigación agropecuaria- AGROSAVIA Rizobacter de Colombia S.A.S. Distribuidora de Biológicos de Colombia Dibicol Ltda. ALTEO S.A.S.</p>	<p>TERRAVITE-S21 FERBIOL SOYA BIAGRO LIQUIDO BIONITRO SOYA 1 NITRAGIN ARVEJA NITRAGIN FRIJOL DIMARGON OROSUELO SC MONIBAC RHIZOBIOL - FRIJOL AZOBAC RHIZOBIOL ARVEJA BIAGRO 10 NITROBAC SC RHIZOBIOL LIQUIDO MONIBAC LIQUIDO RIZOLIQ TOP® LS ENE-2 FIXOR N</p>
--	--

Micorrizas (19)

<p>MINERALES EXCLUSIVOS Y CIA S.C.A. Mycoral Ltda. Distribuidora Agrícola Agrotécnica S.A.S. Álvarez Garrido César (HUMOS SAN PIO) Natural Control S.A. Corporación colombiana de investigación agropecuaria, CORPOICA Supelano Prada & CIA- SUPPRASupelano Prada & Cia Suppra Soluciones Biotecnológicas y Agroambientales S.A.S Sobiotech S.A.S. Perkins Ltda. Fundación San Isidro</p>	<p>BIOFERT-MEX POLVO Mycoral MICORRIZAR BIOABONO MICORRIZADO MICORRIZAGRO MYCOBIOL MICORRIZAS MYCORRIZZ ABONAMOS MICORRIZAS MYCOFERT BIOMONTE NITRAFOS MICORRIZADO 15% SAFER MICORRIZAS M.A</p>
--	--

Micorrizas (19)

Soluciones Biotecnológicas y Agroambientales S.A.S. Sobiotech S.A.S.	GLUMIX
SAFER AGROBIOLÓGICOS S.A.S.	MICORRIZAS WORLD ORGANIC-BIOFERTMEX GRANULADO
Mezfer de Colombia S.A.S.	BIOFERTMEXSUSPENSION
World Organic S.A.S.	MICORRIZAS CAMPO VERDE
Minerales Exclusivos S.A.	FUNGIFERT®
Minerales Exclusivos S.A.	
Agro Discar S.A.S	ABONAMOS MICORRIZAS 300
Fungifert Biotechnology S.A.S	
Soluciones Biotecnológicas y Agroambientales S.A.S Sobiotech S.A.S.	

Solubilizador de fosfatos (13)

Semillas Valle S.A.	ECCOBIOX SL
FUNDASES-Fundación de asesorías para el sector rural	FOSFORIZ
Biocultivos S.A.	FOSFOBIOL WP
Biocultivos S.A.	FOSFOBIOL SC
Biocultivos S.A.	FOSFOBIOL 1000 WP
Biocultivos S.A.	FOSFOBIOL 1000 SC
Organización Pajonales S.A.S.Rizobacter de Colombia S.A.S.	FOSFOBACTER
Rizobacter de Colombia S.A.S.	RIZOFOS® LS
Compañía internacional de semillas	TROPI RHIZOFLO SL
Grupo Bioserviam S.A.S.	SOIL ACTIVATOR
Biocultivos S.A.	FOSFOBIOL 100 WP
Biocultivos S.A Biocultivos S.A.	FOSFOBIOL 100 SC
Innovak Colombia S.A.SINNOVAK Colombia S.A.S	BIOFIT RUT

Acondicionadores biológicos del suelo (8)

Fundación de Asesorías para el Sector Rural	AGROPLUS
Soluciones Bacteriales Colombia Ltda. SOLUBACT	BIOSTART WPOROSUELO SC
Biotech Orius S.A.S.	OROSUELO SC
Orius Biotech S.A.S.	DIGESTOR SC
Biotech Orius S.A.S.	BACTOSOIL SC
Biotech Orius S.A.S.	BACTHON SC
Live Systems Technology S.A. "LST S.A"	ECOTERRA WG
Agrobiológicos Planta S.A.S.Agrobiológicos Planta S.A.	TRICHOPLANTA

Transformador de materia orgánica (7)

<p>Insumos Biológicos De Colombia IBICOL S.A.S. FUNDASES-Fundación de asesorías para el sector rural Insumos Biológicos De Colombia IBICOL S.A.S. BIO-CROP LtdaBIO-CROP LTDA Fundación de asesorías para el sector rural ciudad de Dios- FUNDASES Soluciones biotecnológicas y agroambientales S.A.S. "SOBIOTECH S.A.S." Arturo Orlando Mora Jaramillo Biocontrol</p>	<p>EMAgro EM-INOCULO MICROBIAL PARA COMPOSTAJE PROBIO BALANCE+ TROMBO WP EM-1 Inoculo Concentrado para Activación SOBIO-TMO SUBTILIN SL</p>
--	---

Fijador de nitrógeno, Solubilizador de fósforo (1)

<p>Agro Advance Technology S.A.S.</p>	<p>PHOEBUS FLO</p>
---------------------------------------	--------------------

Biofertilizantes (14)

<p>Green Biotech Colombia S.A.S Biodyne Bogotá S.A.S. Gestores del Campo S.A.S. Gestores del Campo S.A.S. FORBIO COLOMBIA S.A.S. Bana Insumos S.A.S. Zomac Bana Insumos S.A.S. Zomac Bana Insumos S.A.S. ZomacBana Insumos S.A.S. ZomacBana Insumos S.A.S. Zomac</p>	<p>EPhosphoBARVAR – 2 BYODYNE® 401 ECOBRINGER BIOFILL ECOBRINGER BASIFORT LALRISE® AZOS SC TRICOGENIA PHOSBIO AZOBIOMAX AZODUO FORCONTROL PLUS NITROBIOFULL QUANTUM LIGHT QUANTUM VSC QUANTUM TOTAL</p>
--	--

Fuente: ICA (2023).

Oportunidades y desafíos de los inóculos microbianos para la producción agrícola colombiana

A continuación, se presentan condiciones del panorama colombiano que pueden ser consideradas como oportunidades relevantes para el fortalecimiento de la producción de bioinsumos agrícolas en el país.

Demanda global: de acuerdo con la experiencia internacional, el proceso de adopción de bioinsumos es de largo aliento y requiere de una adecuada planeación, con incentivos importantes a la investigación y desarrollo de esta alternativa en el país (Pardo y Orbeagozo, 2022) y aunque en Colombia se ha incrementado la aprobación de bioinsumos por parte del ICA, hasta el año 2022 este potencial de desarrollo destaca solo entre el 4% o 5% en uso de bioinsumos en la producción agrícola. No obstante, las cifras de BioProtección Global señalan que en Latinoamérica, actualmente, Colombia es el cuarto país que más consume bioinsumos. La mayor parte es de Brasil con el 48,7% del total regional, le sigue México, con 24,7% y Argentina, con 16,4%, más atrás está Colombia, con 4,1% (González, 2022). Estos referentes de países con grandes producciones agrícolas en la región sugieren la necesidad de crecer en la producción de bioinsumos, ya que este tipo de soluciones no son tan afectadas en sus costos de producción, como sí lo son aquellos productos importados que están expuestos a la tasa

de cambio, a las volatilidades por el precio del petróleo, al tema de las cadenas de abastecimiento y escasez de contenedores (González, 2022).

Por su parte, el aumento observado en el uso de insumos biológicos se debe principalmente a la existencia de productos en el mercado; por ejemplo, los productos elaborados por la empresa Biocultivos S.A., una empresa de base tecnológica que surgió de los convenios de investigación y desarrollo, establecidos con el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia –IBUN–, el sector privado y el gremio arrocero. Dentro de este proceso, se logró el desarrollo de los productos Fosfol SW (*Penicillium janthine-llum*), Fosfol SC (*Penicillium janthinellum*), Trifosol WP (*Trichoderma viride*) y Trifosol SC (Montoya, 2010; Zambrano *et al.*, 2015).

Biodiversidad y bioeconomía: Global Bioeconomy Summit- GBS, (2018), definió un conjunto de 14 temas de relevancia global para la investigación en bioeconomía y las agendas de políticas, de los cuales hace parte la biodiversidad como recurso y fundamento para la bioeconomía. En Colombia en el gran foro sobre biodiversidad del año 2016, se manifestó que la finalización del conflicto posibilitaría la consolidación de una nueva economía, con mayor provecho de su inmensa riqueza natural, buscando llegar al año 2025 con una bioeconomía basada en la ciencia, la tecnología y la innovación (Rodríguez, 2017).

Respecto a la biodiversidad microbiana, en Colombia es poca la información que

se tiene para contribuir a la bioeconomía agrícola desde el conocimiento funcional de estos organismos; por lo tanto, estudios como el realizado por Criollo *et al.*, (2021), son de gran importancia para fortalecer esta base de conocimiento. El estudio en mención registra una Colección de microorganismos con Interés en Biofertilizantes (cmib), conformada por 353 accesiones bacterianas y 25 accesiones de hongos formadores de micorrizas arbusculares (hfma). Al respecto Agrosavia, bioprospecta que los microorganismos que conforman la colección sean utilizados como principios activos para el desarrollo de inoculantes biológicos (Rúgeles *et al.*, 2021). Algunas de las accesiones de la cmib fueron colectadas en 16 departamentos del país, a partir de 1976, lo cual es de gran valía por tratarse de microorganismos nativos, ya que las plantas y los microorganismos nativos amplifican los efectos positivos de inoculantes microbianos (Li *et al.*, 2023). En consecuencia, la bioprospección de microorganismos nativos es de suma importancia, ya que la aplicación de inoculantes microbianos del suelo como biofertilizantes y biopesticidas en la agricultura aún son limitados por factores relacionados con su formulación, método de aplicación y la falta de suficiente conocimiento sobre el impacto y las interacciones entre los inoculantes microbianos con el suelo nativo y microbiomas hospedantes de plantas (Vassilev y Malusà, 2021).

Bioeconomía y planeación nacional: Global Bioeconomy Summit- GBS, (2018), indica que la bioeconomía se basa en la

producción, utilización y conservación de los recursos biológicos, con el objetivo de avanzar hacia una economía sostenible. Para apalancar los fondos públicos y apoyar la transferencia de conocimientos se recomienda una colaboración multilateral e intersectorial en proyectos de I + i + D en bioeconomía, con objetivos comunes, entre ellos: aplicaciones en salud, alimentos y temas ambientales desarrollados a partir de microorganismos (Council, 2018). Argentina, Colombia y Ecuador han tomado el liderazgo regional en el desarrollo de estrategias dedicadas a la bioeconomía, en materia de producción de bioenergía, desarrollo de aplicaciones biotecnológicas para la agricultura y desarrollo de bioproductos, con una importante participación de pymes.

En diversos foros se ha reconocido el potencial de la bioeconomía para los países de la región; pero se reconoce también que su aprovechamiento puede verse obstaculizado por factores como i) la falta de marcos regulatorios adecuados; ii) marcos normativos inadecuados y desarticulados; iii) insuficiente coordinación de las capacidades científicas y tecnológicas existentes; iv) restricción a la entrada en el mercado de las Pymes de bioeconomía; y v) falta de financiamiento para la creación de empresas innovadoras de bioeconomía; políticas para las PYME bioeconómicas destinadas a crear capacidades, facilitar la entrada en mercados concentrados y proporcionar financiación adecuada para emprendimientos innovadores (Rodríguez, 2017).

En Colombia las Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 (Departamento Nacional de Planeación, 2023), proyectan diversos modelos de bioeconomía basada en el conocimiento y la innovación entre estos, los modelos de producción sostenible y regenerativos en agricultura y ganadería, donde se adoptará la ley de agroecología e iniciar la transición de agricultura convencional hacia la producción agroecológica para aumentar la productividad del suelo, reducir la degradación ambiental y aumentar la resiliencia climática, para ello se promoverán la producción y utilización de bioinsumos (sustitución de agrotóxicos) en el marco del Programa Nacional de Agroecología.

Negocios verdes: por medio del Plan Nacional de Negocios Verdes 2022-2030, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, busca impulsar y promover los negocios verdes, los cuales incluyen actividades económicas con oferta de bienes o servicios generadores de impactos positivos en indicadores sociales, ambientales y económicos. Colombia en este aspecto tiene compromisos adquiridos dentro de la agenda global y articulación con Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Para ingresar al grupo económico de los negocios verdes, existen tres tipologías, las cuales, sin excepción, deben cumplir con los criterios de los negocios verdes y se clasifican de acuerdo con un historial de existencia en tres tipologías

❖ **Emprendimientos verdes:** negocios en etapa de gestación. Estas iniciativas son por lo general unipersonales, co-

munitarias, asociativas y de microempresas.

- ❖ **Negocios verdes avalados:** negocios conformados que cuentan con operaciones comerciales, el dominio de este mercado se sustenta en las MiPymes, las cuales conforman un grupo de empresas con mayor contribución en la generación de empleos e ingresos.
- ❖ **Anclas verdes:** negocios que homologan certificaciones de sostenibilidad, ya están consolidados e incorporan otros negocios verdes en sus redes de suministro y cadenas de valor en general. De este grupo hacen partes medianas y grandes empresas que ya tienen una posición en el mercado nacional e internacional (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *et al.*, 2022).

Dentro de los negocios verdes, los inóculos microbianos en calidad de bioinsumos agrícolas se articulan a la categoría de bioproductos y servicios sostenibles, subcategoría 1: Agrosistemas sostenibles y actividad productiva de la Agricultura orgánica, Agroecología y Agricultura sostenible. Subcategoría 2: Biotecnología y actividad productiva basada en productos de la biotecnología.

Entre los desafíos, se espera que los inoculantes biológicos microbianos registrados ante el ICA, logren hacer parte de las cifras proyectadas para 2030, (MINCIENCIAS, 2020), donde se plantea llegar a este año con más de 500 bioproductos que incluyan nuevos principios activos, bioproductos en etapas pre-comerciales y comer-

ciales y ampliaciones de registros a nuevos mercados nacionales e internacionales.

En particular para el fortalecimiento de inóculos biológicos microbianos, se requiere aumentar la investigación que permita demostrar la eficacia de estos productos en diferentes especies vegetales y

además indicadores que demuestren que es un producto sustentable en concordancia con la categoría de bioproductos y servicios sostenibles proyectados en el Plan Nacional de Negocios Verdes, 2022-2030, que además se articula con la agenda global y Objetivos del Desarrollo Sostenible.

4 CONCLUSIONES

Desde la perspectiva de la bioeconomía y negocios verdes, la exploración y aprovechamiento ecológicamente responsable de la biodiversidad microbiana en Colombia, representa una oportunidad para disminuir el uso de fertilizantes minerales solubles y encaminar una transición hacia la agricultura sustentable complementada con el uso de inóculos biológicos microbianos, como mejoradores de la calidad y salud de suelos agrícolas; tal como lo refleja la

colección de microorganismos con Interés en Biofertilizantes (cmib), conformada por 353 accesiones bacterianas y 25 accesiones de hongos formadores de micorrizas arbusculares (hfma), para lo cual

Agrosavia en la publicación de Rúgeles *et al.*, (2021), bioprospecta que los microorganismos que conforman la colección sean utilizados como principios activos para el desarrollo de inoculantes biológicos

Por lo tanto, el adecuado uso de los 119 inoculantes biológicos registrados que a su vez hacen parte de 293 bioinsumos con registro ICA hasta el 2023, será de gran valía en términos de producción sustentable para fortalecer la confianza de uso en la productividad agrícola y contribuir con las expectativas gubernamentales de alcanzar 500 bioproductos para el año 2030, donde se espera que los inóculos microbianos logren posesionarse en la preferencias de los productores agrícolas colombianos.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Sandra Patricia Montenegro Gómez: investigación, conceptualización, escritura. **Luisa Fernanda Calderón Vallejo:** investigación, análisis de datos, escri-

tura, revisión y edición. **Brayan Alexis Parra Orobio:** investigación, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia y a la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente por la aprobación del proyecto: "Gestión en innovación sistémica de servicios sostenibles en un sector PYME del Valle del Cauca". A la Universi-

dad Popular del Cesar seccional Aguachica, por brindar el apoyo para la escritura de este artículo, en el marco del proyecto de semilleros de investigación "Digestión anaerobia de biomasa residual como alternativa tecnológica para la generación de subproductos con valor agregado".

LITERATURA CITADA

Agronet-Minagricultura. (2022). Precios de los insumos agropecuarios comenzaron a estabilizarse durante julio del 2022. *Agronet*. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Precios-de-los-insumos-agropecuarios-comenzaron-a-estabilizarse-durante-julio-del-2022.aspx>

Alori, E. T., and Babalola, O. O. (2018). Microbial inoculants for improving crop quality and human health in Africa. *Frontiers in microbiology*, 9, 2213. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02213>

Ávalos, M. A., Figueroa, U., García, J., Vázquez, C., Gallegos, Miguel A. y Orona, I. (2018). Bioinoculantes y abo-

- nos orgánicos en la producción de maíz forrajero. *Nova scientia*, 10(20), 170-189. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i20.1285>
- Beltrán-Acosta, C. R., Zapata-Narváez, Y. A., Millán-Montaño, D. A. y Díaz-García, A. (2023). Efecto de *Bacillus amyloliquefaciens* y *Pseudomonas migulae* sobre el crecimiento de plántulas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en semillero: Rizobacterias promotoras en plántulas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 34(1), 50669-50669. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50669>
- Beyene, B. B., and Tuji, F. A. (2023). Inoculation of rose (*Rosa rubiginosa* L., eglantine or the briar rose) flower root stocks with consortia of endophytic bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi improves its establishment and success rate under greenhouse conditions. *Rhizosphere*, 26, 100698. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100698>
- Bini, D., Varón, M. (2016). Transformações microbianas do fósforo. En *Microbiologia do solo*. (2ª Edição, pp. 149-161). Universidade de São Paulo https://www.esalq.usp.br/biblioteca/sites/default/files/Microbiologia_solo.pdf
- Cano, B. M., Martín, G., and Zarazúa, S. (2022). Microorganismos benéficos o agroquímicos. *Elementos*, 128, 57-63. <https://elementos.buap.mx/directus/storage/uploads/00000007824.pdf>
- Centro Virtual de Negocios. (CVN (2021). *Importación de fertilizantes en Colombia superó los 620 millones de dólares en 2020*. CVN. <https://cvn.com.co/admincvn/importacion-de-fertilizantes-en-colombia-supero-los-620-millones-de-dolares-en-2020/>
- Corficolombiana. (2022). Bioinsumos: panorama y oportunidades para el agro colombiano. *Sectores y sostenibilidad, Perspectiva sectorial: agroindustria*. Corficolombiana. <https://investigaciones.corficolombiana.com/documents/38211/0/2022-08-23%20Perspectiva%20Sectorial%20-%20Agroindustria%20bioinsumos2.pdf/b70b971d-0923-a695-9b37-717ca1298a79>
- Council, G. B. (2018). *Comunicado Cumbre Global de Bioeconomía 2018: Innovación en la Bioeconomía Global para la Transformación Sostenible e Inclusiva y el Bienestar*. Global Bioeconomy Summit 2018. https://gbs2020.net/wp-content/uploads/2021/10/Communique%20-%20C%81GBS2018_final_Spanish.pdf
- Criollo-Campos, P. J., Pérez-Moncada, U. A., Estrada-Bonilla, G. A., y Buitrago, R. R. B. (2021). Colección de Microorganismos con Interés en Biofertilizantes (cmib). *Conservación y manejo*. Agrosavia. https://www.researchgate.net/profile/German-Estrada-Bonilla/publication/356613095_Coleccion_de_Microorganismos_con_Interes_en_Biofertilizantes_cmib/links/61a4f62b8c253c45f695ef41/Coleccion-de-Microorganismos-con-Interes-en-Biofertilizantes-cmib.pdf

- Departamento Nacional de Planeación de Colombia. (DNP). (2016). *CONPES 3866 del 2016. Política Nacional de Desarrollo Productivo*. DNP <https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/Conpes/Econ%C3%B3micos/3866.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación. (DNP). (2023). Bases Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026. DNP. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/portalDNP/PND-2023/2023-03-17-bases-plan-nacional-desarrollo-web.pdf>
- Dobereiner, J., Urquiaga, S., and Boddey, R. M. (1996). Alternatives for nitrogen nutrition of crops in tropical agriculture. In *Nitrogen Economy in Tropical Soils: Proceedings of the International Symposium on Nitrogen Economy in Tropical Soils, held in Trinidad, WI, January 9–14, 1994* (pp. 338-346). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1706-4_32
- Espinosa-Palomeque, B., Cano-Ríos, P., Salas-Pérez, L., García-Hernández, J. L., Preciado-Rangel, P., Sáenz-Mata, J., y Reyes-Carrillo, J. L. (2019). Bioinoculantes y concentración de la solución nutritiva sobre la producción y calidad de tomate. *Biotecnia*, 21(3), 100-107. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i3.1038>
- Estrada, B, G. A. (2015). *Efeito da inoculação de bactérias mobilizadoras de fósforo na compostagem e no desenvolvimento da cana-de-açúcar*. [(Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo)]. https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-29092015-164939/publico/German_Andres_Estrada_Bonilla_versao_revisada.pdf
- Fornasero, L.V, y Toniutti, M.A. (2015). Evaluación de la nodulación y rendimiento del cultivo de soja con la aplicación de distintas formulaciones de inoculantes. *Fave. Sección ciencias agrarias*, 14(1) <https://doi.org/10.14409/fa.v14i1/2.5708>
- Ganguly, R. K., Mukherjee, A., Chakraborty, S. K., and Verma, J. P. (2021). Impact of agrochemical application in sustainable agriculture. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (pp. 15-24). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64325-4.00002-X>
- Gómez, M.I. (2022) *Bioproductos: Enfoque de Agrosavia*. DNP. https://www.dnp.gov.co/LaEntidad_/misiones/mision-crecimiento-verde/Documents/Comite%20Sostenibilidad/Presentaciones/Sesi%C3%B3n%2010/1_Desarrollo_bioinsumos_agr%C3%ADcolas_Colombia_Agrosavia.pdf
- González X. (2022). *Foco en Colombia: industria de bioinsumos busca cerrar las brechas*. *Biologicals Latam*. Biological LATAM. <https://biologicalslatam.com/issue-06/foco-en-colombia-industria-de-bioinsumos-busca-cerrar-las-brechas/>
- Guilherme, V. (2022). *Novo bioinsumo aumenta em até 20% a produtividade da cana-de-açúcar*. Embrapa noti-

cias. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/77086074/novo-bioinsumo-aumenta-em-ate-20-a-produtividade-da-cana-de-acucar>

Guzmán, J. (2018). *Fertilizantes químicos y biofertilizantes en México*. Reporte de Investigación. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://es.scribd.com/document/442848368/Fertilizantes-quimicos-y-biofertilizantes-en-Mexico>

Hakim, S., Naqqash, T., Nawaz, M. S., Laraib, I., Siddique, M. J., Zia, R., ... and Imran, A. (2021). Rhizosphere engineering with plant growth-promoting microorganisms for agriculture and ecological sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 617157. <https://doi.org/10.3389/fsu-fs.2021.617157>

Imran, M., Shahzad, S. M., Arif, M. S., Yasmeen, T., Ali, B., and Tanveer, A. (2020). Inoculation of potassium solubilizing bacteria with different potassium fertilization sources mediates maize growth and productivity. *Pak. J. Agric. Sci*, 57, 1045-1055. <https://www.semanticscholar.org/paper/INOCULATION-OF-POTASSIUM-SOLUBILIZING-BACTERIA-WITH-Imran-Shahzad/9c181e5fc41d7047e02ca5c6e65c314ddb3b3338>

Instituto Colombiano Agropecuario. (ICA). ICA (2023). Listado de Productos Bioinsumos registrados. ICA. [https://www.ica.gov.co/getdoc/a5c149c5-](https://www.ica.gov.co/getdoc/a5c149c5-8ec8-4fed-9c22-62f31a68ae49/fertilizantes-y-bioinsumos-agricolas.aspx)

[8ec8-4fed-9c22-62f31a68ae49/fertilizantes-y-bioinsumos-agricolas.aspx](https://www.ica.gov.co/getdoc/a5c149c5-8ec8-4fed-9c22-62f31a68ae49/fertilizantes-y-bioinsumos-agricolas.aspx)

Instituto Colombiano Agropecuario. (ICA). ICA (2004). *Resolución 0375 de febrero 27 de 2004. Por la cual se dictan las disposiciones sobre Registro y Control de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola en Colombia*. ICA. <https://www.mincit.gov.co/getattachment/0b26d8aa-9460-41d8-b176-b2c976986d72/Resolucion-375-del-27-de-febrero-de-2004-Por-la-cu.aspx#:~:text=Documento%20oficial%20expedido%20por%20el%20ICA%2C%20mediante%20el%20cual%20se,conformidad%20con%20las%20regulaciones%20vigentes.>

Instituto Colombiano Agropecuario. (ICA). (2003). *Resolución 00150, por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia*. ICA. <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/fertilizantes-y-bio-insumos-agricolas/resolucion-150-de-2003-1-1.aspx>

Instituto Colombiano Agropecuario. (ICA). ICA (2023, abril). *Acondicionador del suelo*. ICA. <https://www.ica.gov.co/archivo-tramites/glosario/a/acondicionador-del-suelo>

Jones, D., Smith, B. F. L., Wilson, M. J., and Goodman, B. A. (1991). Phosphate solubilizing fungi in a Scottish upland soil. *Mycological Research*, 95(9), 1090-1093. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)80553-4](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80553-4)

- Li, C., Jia, Z., Ma, S., Liu, X., Zhang, J., and Müller, C. (2023). Plant and native microorganisms amplify the positive effects of microbial inoculant. *Microorganisms*, 11(3), 570. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030570>
- Martínez, D., Villegas, Y., Castañeda, E., Carrillo, J., Robles, C. y Santiago, G. (2020). Respuesta de *Coffea arabica* L. a la aplicación de abonos orgánicos y biofertilizantes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1285-1298. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2612>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, BID, Biontropic, Corporación Biocomercio Sostenible. (2022). *Plan Nacional de Negocios Verdes 2022-2030*. Minambiente. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/11/Actualizacion-Plan-Nacional-Negocios-verdes-2022-2030.pdf>
- Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación. (Minciencias). (2020). *Bioeconomía para una Colombia Potencia viva y diversa: Hacia una sociedad impulsada por el conocimiento*. Minciencias https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/bioeconomia_para_un_crecimiento_sostenible-qm_print.pdf
- Nahas, E., Centurión, J. F., and Assis, L. C. (1994). Efeito das características químicas dos solos sobre os microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 18(1), 49-53.
- Önder, M., Ceyhan, E., and Kahraman, A. (2011). *Effects of Agricultural Practices on Environment International Conference on Biology, Environment and Chemistry Singapore: IACSIT Press*, 24.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). (2018). *Be the solution to soil pollution on outcome document of the global symposium on soil pollution*. FAO <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d535b50b-58f3-4870-85d8-aa5e90ee5803/content>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). (2022). *El mercado mundial de fertilizantes: balance de la situación de un mercado en dificultades*. FAO. <https://www.fao.org/3/ni280es/ni280es.pdf>
- Page, M.J., McKenzie, J.E., Matthew J.P., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.T., Akl, E.A., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.M., Grimshaw, J.M., Hróbjartsson, A., Lalu, M.M., Li, T., Loder, E.W., Wilson, E.M., McDonald, S., McGuinness, L.A., Stewart, L.A., Thomas, J., Tricco, A.C., Welch, V.A., Whiting, P., Moher, D. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Rev. Esp. Cardiol.*, 74(9), 790-799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- Pardo, J., C.; Orbegozo, M., C. (2022, agosto). *Bioinsumos: Panorama y oportunidades para el agro colombiano, infor-*

- me detallado*. Corficolombiana. <https://investigaciones.corficolombiana.com/documents/38211/0/2022-08-23%20Perspectiva%20Sectorial%20-%20Agroindustria%20bioinsumos2.pdf/b70b971d-0923-a695-9b37-717ca1298a79>
- Pathak, D. V., and Kumar, M. (2016). Microbial inoculants as biofertilizers and biopesticides. *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity, 1 Research Perspectives*, 197-209. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2647-5_11
- Ramírez, G., M.; Roveda, H., G.; Bonilla, B. R.; Cabra, J., L.; Peñaranda, R., A.; López, J., M.; Serralde, D., P.; Tamayo, V., A.; Navas, R., G., E.; Díaz, D., C., A. (2008). *Uso y manejo de biofertilizantes en el cultivo de uchuva*. Corpoica. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12852>
- Reyes-Castillo, A., Gerding, M., Oyarzúa, P., Zagal, E., Gerding, J., and Fischer, S. (2019). Plant growth-promoting rhizobacteria able to improve NPK availability: selection, identification, and effects on tomato growth. *Chilean journal of agricultural research*, 79(3), 473-485. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392019000300473>
- Rodríguez O., D., P.; Lugo R., C., y Bejarano, M., F. (2018). *El mercado mundial de fertilizantes: balance de la situación de un mercado en dificultades Estudio sobre el mercado de fertilizantes inorgánicos en Colombia (2009–2018)*. SIC. <https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Proteccion%20Competencia/Estudios%20Economicos/Mercado%20Fertilizantes%20Organicos%20en%20Colombia.pdf>
- Rodríguez, A. G. (2017). *La bioeconomía: oportunidades y desafíos para el desarrollo rural, agrícola y agroindustrial en América Latina y el Caribe*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/42724-la-bioeconomia-oportunidades-desafios-desarrollo-rural-agricola-agroindustrial>
- Rugeles, L. A., Cañar, D. Y., Tibaduiza, L. P., Jiménez, H. R., González, C., Estrada, G. A., ... y López, D. E. (2021). Conservación y manejo de la diversidad microbiana en los bancos de germoplasma para la alimentación y la agricultura en Colombia (pp. 66-84). *Colección de Microorganismos con Interés en Biofertilizantes (cmib)*. Agrosavia. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/36935/Ver_Documento_36935.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sánchez, G., Uribe, M. (2013). *Avances en biotecnología: Panorama y perspectivas*. Sánchez, G., Uribe, M.(2013). *El desafío de generar tecnología en el siglo XXI. La propiedad intelectual en el devenir histórico de Colombia*. Cátedra Manuel Ancizar. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. UNAL. 181-201.
- Santos, G.A., Silva, L.S., Canellas, L.P. y Camargo, F. (2008). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropi-*

cais e subtropicais. Segunda edição, Editora Metrópole.

Tamayo-Vélez, A., and Osorio, N. W. (2017). Co-inoculation with an arbuscular mycorrhizal fungus and a phosphate-solubilizing fungus promotes the plant growth and phosphate uptake of avocado plantlets in a nursery. *Botany*, 95(5), 539-545. <https://doi.org/10.1139/cjb-2016-0224>

Vassilev, N., and Malusà, E. (2021). microorganisms and plant nutrition. *Microorganisms*, 9(12), 2571. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9122571>

Vassilev, N., Vassileva, M., Azcon, R., and Medina, A. (2001). Application of free and Ca-alginate-entrapped *Glomus deserticola* and *Yarrowia lipolytica* in a soil-plant system. *Journal of Biotechnology*, 91(2-3), 237-242. [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(01\)00341-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(01)00341-8)

Velmourougane, K., and Prasanna, R. (2023). Trichoderma–Azotobacter Biofilm-Based Formulation Enhance Natural Plant deFense Enzyme Activities in Wheat and Cotton Seedlings. *National Academy Science Letters*, 1-4. <https://doi.org/10.1007/s40009-023-01324-w>

Wohlfahrt, J., Colin, F., Assaghir, Z., and Bockstaller, C. (2010). Assessing the impact of the spatial arrangement of agricultural practices on pesticide runoff in small catchments: combining hydrological modeling and supervised learning. *Ecol. Indic.* 10, 826–839. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.01.004>

Zambrano-Moreno, D. C., Ramón-Rodríguez, L. F., Strahlen-Pérez, V. y Bonilla-Buitrago, R. R. (2015). Industria de bioinsumos de uso agrícola en Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 59-67. <https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n1.2015.445>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.

