

ESTADO ACTUAL DEL USO DE BIOINSUMOS MICROBIANOS EN COLOMBIA

CURRENT STATE OF THE USE OF MICROBIAL BIOINPUTS IN COLOMBIA

Mónica Alejandra-Rodríguez Aristizabal^{1a*} y María Camila-Lugo Ramírez^{1b}

^{1a} Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Facultad de Ciencias de la Salud, Bogotá, Colombia
<https://orcid.org/0000-0003-0455-3297>

^{1b} Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Facultad de Ciencias de la Salud, Bogotá, Colombia
<https://orcid.org/0009-0000-5666-7558>

* Autor para correspondencia: malejandrarodriguez@unicolmayor.edu.co

RESUMEN

El uso de bioinsumos en las prácticas agrícolas ha aumentado en los últimos años dada la crisis socioambiental que se vive en los países en vía de desarrollo, siendo una alternativa que surge en respuesta a la necesidad de cambiar los productos agroquímicos por productos sostenibles, y así evitar impactos negativos en el medio ambiente. Colombia, un país con vocación agrícola, no se queda atrás. En la actualidad, existen registrados ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) aproximadamente 375 productos de tipo bioinsumos, de los cuales 174 son formulaciones con base en microorganismos, que se aplican en diferentes sistemas productivos y que evidencian mecanismos de acción diversos. Esta revisión analizó el estado actual del uso de estos bioinsumos microbianos en el país. Se encontró que principalmente se usan bioplaguicidas, y que la mayoría de las formulaciones, independientemente del tipo de bioinsumo, usan bacterias como principales microorganismos, siendo los géneros más comunes *Azotobacter* sp., *Bacillus* sp., *Burkholderia* sp., *Lactobacillus* sp. y *Pseudomonas* sp. Además, se encontró que el principal uso de estos bioinsumos se ha orientado a los sistemas productivos como frutales y cereales. Esto coincide con la encuesta nacional agropecuaria realizada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) en 2019, donde se informó que la mayor producción agrícola se concentra justamente en este tipo de cultivos. De acuerdo con esto, se puede concluir que el uso de bioinsumos como alternativa frente a las prácticas agrícolas convencionales ha venido aumentando en el país, convirtiéndose no sólo en una estrategia que promueve la sostenibilidad, sino también en una oportunidad para el desarrollo biotecnológico.

Palabras clave: Bioinsumos, bioplaguicidas, biocontroladores, biofertilizantes, bioestimulantes, microorganismos.

ABSTRACT

The use of bioinputs in agricultural practices has increased in recent years given the socio-environmental crisis experienced in developing countries, being an alternative that arises in response to the need to replace agrochemical products by sustainable products, and thus preventing negative impacts on the environment. Colombia, a country with an agricultural tradition, is not far behind. Currently, there are approximately 375 bioinputs registered by the Colombian Agricultural Institute (ICA), of which 174 are formulations based on microorganisms, which are applied in

different production systems and exhibit diverse mechanisms of action. This review analyzed the current status of the use of these microbial bioinputs in the country. It was found that biopesticides are the most widely used bioinputs, regardless of the type of bioinput, and that most formulations use bacteria as the main microorganisms, with *Azotobacter* sp., *Bacillus* sp., *Burkholderia* sp., *Lactobacillus* sp. and *Pseudomonas* sp. being the most common genera. Furthermore, it was found that these bioinputs have been mainly applied on productive systems such as fruit trees and cereals. This coincides with the national agricultural survey carried out by the National Administrative Department of Statistics (DANE) in 2019, where it was reported that the greatest agricultural production is concentrated precisely in this type of crops. Accordingly, it can be concluded that the use of bioinputs as an alternative to conventional agricultural practices has been increasing in the country, becoming not only a strategy that promotes sustainability, but also an opportunity for biotechnological development.

Keywords: Bioinputs, biopesticides, biocontrollers, biofertilizers, biostimulants, microorganisms.

INTRODUCCIÓN

El uso de bioinsumos y extractos vegetales se relaciona a menudo con un mayor grado de seguridad alimentaria y con la disminución de los riesgos en la salud humana y afectaciones al medio ambiente; en ese sentido y de acuerdo con la resolución 068370 del 2020 del Instituto Colombiano Agropecuario, un bioinsumo es definido como “un producto que se emplea con fines de manejo integrado de plagas o en la mejora de la productividad de los cultivos y el suelo, elaborado de forma masiva a partir de microorganismos vivos, virus, macroorganismos, productos de ocurrencia natural o productos bioquímicos, de origen biológico utilizado con fines de nutrición vegetal, manejo integrado de plagas o mejoramiento de las características biológicas del suelo” incluye: agentes biológicos para el control de plagas, inoculantes biológicos, bioabonos, inóculos microbianos para compostaje y productos bioquímicos” (Instituto Colombiano Agropecuario-Min. Agricultura, 2020). A partir de este concepto se resalta la importancia de estudiar la agrobiodiversidad desde un enfoque integrador, pues se evidencia una estrecha relación en las interacciones de los sistemas productivos agrícolas con los animales, las plantas y los microorganismos, que son de interés para la seguridad alimentaria, agricultura y tecnologías aplicadas (Zambrano et al., 2015).

El desarrollo de bioinsumos surge en respuesta a las necesidades identificadas en el marco de las nuevas tendencias en agricultura ecológica, orgánica y/o sostenible, puesto que cada vez surgen más medidas no sólo para garantizar la conservación del medio ambiente y la salud de las personas sino también para garantizar productos de calidad y sostenibles en el tiempo. Afortunadamente en Colombia se viene dando un ascenso del uso de estos productos por parte de varios sectores, siendo importante resaltar a

los sistemas productivos como el cultivo de arroz, café, banano, caucho y las flores ornamentales. De acuerdo con esto se resalta que el aumento en el uso de los bioinsumos también obedece a la visión que tiene el país de convertirse en pionero de la biotecnología agrícola para el año 2025 a nivel mundial (Montenegro-Gómez y Hernández-Ossa, 2015; Zambrano et al., 2015).

Con relación al desarrollo de bioinsumos microbianos en Colombia, este se encuentra enmarcado en la realización de pruebas que permitan establecer el potencial de los microorganismos, así como cuáles de ellos pueden ser usados en el suelo, en los cultivos vegetales, los cultivos ornamentales, como fertilizantes, biocontroladores, entre otros, todo esto con el fin de contar con insumos que puedan mejorar la calidad, la sanidad y la productividad de los cultivos, entendiendo que de esta manera se puede incidir en el rendimiento y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Gaytán et al., 2022). Teniendo en cuenta lo anterior, se precisa que en Colombia se han venido aplicando este tipo de bioproductos desde el 2004 aproximadamente y su implementación como alternativas al uso de productos convencionales en la industria agrícola se presenta como una de las más interesantes ya que favorece la actividad metabólica de los microorganismos presentes en las plantas y en el suelo, potenciando de esta manera el suministro de nutrientes y reduciendo muchos de los impactos ambientales negativos (Zambrano et al., 2015).

Existen una gran variedad de bioinsumos y estos se pueden clasificar de acuerdo a su función y sus componentes. Se pueden encontrar bioplaguicidas ó biocontroladores, que actúan como agentes de control contrarrestando los efectos nocivos de las plagas y patógenos, incluso previniendo su aparición; biofertilizantes, que contienen principios activos que fortalecen el crecimiento de la planta y mejoran las características de la misma; fertilizantes orgánicos, elaborados a

partir de estiércol y que resultan ser altamente beneficiosos por su alto contenido en nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); y bioestimulantes, definidos como sustancias naturales o producidas en fermentadores que pueden contribuir mejorando el metabolismo de las plantas, incrementando la producción y eficiencia de clorofila y antioxidantes, así como conferir resistencia al estrés, ser precursora de hormonas vegetales, ayudar en la actividad microbiana y mejorar la toma de nutrientes (Mamani y Filippone, 2018; ICA, 2020; Gaytán et al., 2022).

Con base en este contexto, esta revisión busca analizar el estado actual del uso de microorganismos para la elaboración de bioinsumos en Colombia, entendiendo que el desarrollo y registro de estos productos no es una tarea fácil, sobre todo debido a que el comportamiento de estos agentes biológicos sigue siendo difícil de predecir en muchos casos. En este sentido, asumiendo que el reto de la sostenibilidad es una preocupación nivel mundial resulta interesante realizar este tipo de análisis, sobre todo teniendo en cuenta los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en el marco de la agenda 2030 en un país como Colombia, megadiverso, y donde la agricultura es una de las principales actividades económicas.

Es importante mencionar que en Colombia el marco normativo que establece los parámetros para la elaboración de bioinsumos se encuentra en la Norma ICA: Resolución 068370 del 27 de mayo de 2020, documento que orienta las definiciones relacionadas con los bioinsumos, detalla el procedimiento a seguir para procesar y elaborar estos bioproductos, especifica los protocolos para la realización de pruebas de eficacia y seguridad del producto a registrar, con los cuales se verifican los parámetros de seguridad, veracidad y calidad y que no conlleve a posibles afectaciones en salud pública y en la salud ambiental. Como parte final, se especifican las obligaciones y prohibiciones para productores, envasadores y transportadores de bioinsumos agrícolas. Esta resolución cubre tanto a personas naturales como jurídicas ya sean productores, envasadores, transportadores, vendedores e importadores de bioinsumos a nivel nacional. A nivel internacional se discute en otro archivo el cual no se trae a colación en este documento.

METODOLOGÍA

Para realizar esta revisión se realizó la búsqueda de información considerando artículos de investigación originales, experimentales y artículos de revisión, publicados en inglés y en

español; la ventana de tiempo usada se enmarcó en los últimos cinco años 2018-2023; el uso de palabras clave como *bioinsumos*, *bioplaguicidas*, *biocontroladores*, *biofertilizantes*, *bioestimulantes*, *microorganismos* y *Colombia*, fue incluido en la búsqueda, estableciendo relaciones mediante conectores booleanos: “and” “or” y “not”, que permitieron encontrar información en las bases de datos consultadas, Science direct, Scopus, Proquest, Springer, Nature, Agrosavia y Google Académico. También fueron considerados para esta revisión, documentos técnicos y normas colombianas, que permitieron no solo establecer aspectos teóricos sobre los bioinsumos y su modo de acción, sino también datos concretos e incluso estadísticos de la aplicación de los mismos, que posibilitan un mejor entendimiento de la situación actual en el país. Este tipo de información complementa el análisis brindando un enfoque socioecológico que promueve la comprensión de los contextos específicos. De forma general se realizó en análisis y curación de la información encontrada, a través de la lectura crítica, con el fin de limitar los documentos y ajustándolos a los criterios de inclusión y exclusión, principalmente tomando en consideración el año de publicación y su relación específica con el tema. (En la Fig. 1 se presenta el algoritmo de búsqueda de información). El análisis de la información se complementó haciendo uso de la estadística descriptiva para datos cualitativos con el fin de presentar la información de forma ordenada y establecer conclusiones en torno al tema del uso de microorganismos para bioinsumos en Colombia, en los últimos cinco años así: los artículos fueron clasificados teniendo en cuenta las palabras clave, a partir de esto se realizaron varias tablas de distribución para organizar la información relacionada con los mecanismos usados para la aplicación de los bioinsumos, la clasificación de los mismos y su uso en diferentes sistemas de cultivo en el país, así como los tipos de microorganismos más usados, a nivel de género. Todo esto permitió establecer los porcentajes definidos a partir de la distribución de los datos.

Biofertilizantes. Surgen en respuesta al uso excesivo de fertilizantes químicos en la agricultura, que han ocasionado graves consecuencias ambientales y suelos sobreexplotados sin mencionar los graves problemas de salud relacionados con su manipulación y consumo indirecto (Lopez, Martínez y Romero, 2022). Problemas como la erosión, la salinización, la disminución en nutrientes, los cambios en la estructura del suelo, entre otros han sido asociados al uso de

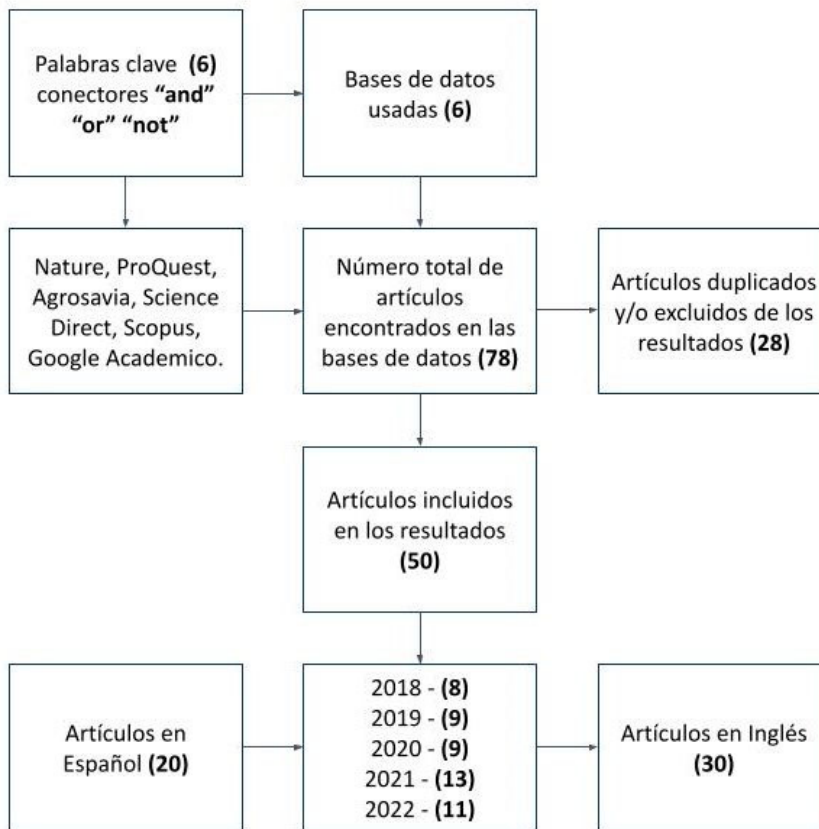


Fig. 1. Algoritmo resultado de la búsqueda de información y obtención de resultados para la revisión.
Fig. 1. Algorithm resulting from the search for information and results obtained for the review.

estos productos químicos. En relación con el desarrollo e implementación de biofertilizantes formulados a base de exudados y/o sustancias producidas por rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas (PGPR), este debe incluir no sólo la descripción del PGPR sino también su utilidad en la agricultura; particularmente estos microorganismos, o sus productos ayudan en gran medida a las plantas desde su fase de germinación brindándoles grandes ventajas en suelos que pueden mostrar un déficit de nutrientes como lo son el nitrógeno y el fósforo, también muestran gran importancia en la parte económica y ambiental de la agricultura (Afanador, 2017).

Particularmente, en Colombia se han llevado a cabo ensayos que han permitido validar la implementación de biofertilizantes, y se ha precisado la importancia de realizar varios procesos experimentales para promover su uso en un cultivo específico, tal es el caso del *Rhizobium* sp. y *Agrobacterium pusense*, usados en el cultivo de algodón (Díaz et al., 2021). Por otra

parte, en el cultivo de caña de azúcar; que además de Colombia, puede darse en diversa zonas del mundo y del cual se obtienen varios productos como alimentos, energía y etanol; pueden usarse biofertilizantes con bacterias, sin embargo se resalta la necesidad de realizar pruebas específicas con el fin de evitar afectaciones, relacionadas con la inocuidad de los cultivos y/o con la adaptación de los microorganismos, por lo cual se ha propuesto usar bacterias nativas para garantizar biofertilizantes que se puedan seguir obteniendo por los agricultores de las zonas de producción de este cultivo (Restrepo, Pineda y Ríos, 2017; Medina et al., 2021).

Es importante resaltar que los microorganismos mencionados anteriormente hacen parte de la familia de las rizobacterias, las cuales habitan la zona de la rizosfera, interactuando con la raíces de las plantas, estas bacterias han resultado ser de interés para evitar los productos agroquímicos, bacterias de los géneros *Azotobacter* sp., *Pseudomonas* sp. y *Burkholderia* sp., en particular han demostrado en varios estudios la habilidad

de formar raíces secundarias haciendo que la planta pueda tomar mayor cantidad de sustancias del suelo, sin necesidad de usar grandes cantidades de fertilizantes; además, en especial estos microorganismos pueden transformar las esfermosferas para que se dé un proceso de germinación de las semillas mucho más rápido de lo normal (Díaz, Daza y Arámbula, 2019; Higueta, Posada y Restrepo, 2019; Sánchez et al., 2020).

Bioplaguicidas. Estos hacen referencia al uso de microorganismos, insectos, plantas o sus productos derivados en el control de diversos patógenos, debido a esto la información disponible sobre estos bioproductos se encuentra asociada a términos como biopesticidas o biocontroladores. Aunque los estudios realizados con base en el uso de microorganismos frente a diferentes agentes causales de enfermedades es extenso, se resaltan en Colombia algunos como el realizado por la Asociación de Bananeros, el Centro de Investigaciones del Banano y la Universidad Eafit, quienes patentaron un biopesticida para control de plagas del banano, que es uno de los sistemas productivos de mayor importancia en el país, pues se siembran alrededor de 48 y 49 mil hectáreas, siendo Antioquía el departamento que más área siembra con 35 mil hectáreas. Cabe resaltar que en la actualidad patentar es solo el primer paso a posibles comercializaciones, ya que no solo se debe producir en gran cantidad el ingrediente activo, que en este caso es una cepa bacteriana de *Bacillus subtilis* sino que también debe tenerse en cuenta que para poder llegar a varios cultivos de banano en Colombia hay que considerar las características particulares de cada contexto socioambiental específico (Villegas-Escobar et al., 2021). Otro ejemplo importante en el país es el uso de entomopatógenos para el control de la broca en el cultivo de café, investigaciones realizadas por el centro internacional de investigación en café CENICAFÉ, han evidenciado que el uso de *Beauveria bassiana* puede actuar frente a *Hypothenemus hampei*, agente causal de la enfermedad, así como frente a otros insectos como *Monalonion velezangeli* o más conocido como chinche de la chamusquina del café, o el picudo del algodónero *Anthonomus grandis*, picudo del plátano *Cosmopolites* sp. y *Stenomoma* sp., *Opsiphanes* sp., *Leptotharsa* sp., que afectan a la palma de aceite (Aristizabal et al., 2023). En relación con estos microorganismos fúngicos entomopatógenos, que pueden ejercer control sobre insectos en todos sus estadios (huevos de plagas, larvas, polillas), es importante mencionar que algunas especies de hongos

con capacidad controladora, también pueden ocasionar enfermedad en la planta, incluso su muerte, por este motivo se debe realizar un buen trabajo de campo con el fin de estudiar cuales son las plantaciones y cultivos afines con hongos entomopatógenos, entendiendo que en esta relación entomopatógeno-planta puede existir algún grado de especificidad (Motta y Murcia, 2011; Grijalba et al., 2018).

Otros estudios interesantes proponen el uso de microorganismos controladores a través de estrategias de competencia (Perea et al., 2022), o experimentos *in vitro* para determinar el potencial de uso de estos hongos en productos como fungicidas e insecticidas, para cultivos de soya (García et al., 2022). Por otra parte, microorganismos como *Pseudomonas fluorescens*, también ha demostrado tener potencial para el desarrollo de bioplaguicidas. Un estudio realizado con el apoyo de AGROSAVIA, permitió evaluar un prototipo de esta bacteria para establecer su tiempo de vida útil como ingrediente activo en este tipo de bioinsumos, demostrando que posee la capacidad de controlar varias enfermedades de variedades de cultivo, como la marchitez producida en cultivos de algodón o el añublo de la vaina de arroz, demostrando una vida útil de seis meses (Ruiz, Gómez y Villamizar, 2015). Con relación a esto, se ha evidenciado que, en general, *Pseudomonas* spp. muestran ser controladoras de fitopatógenos, debido a la producción de antibióticos que pueden evitar la proliferación de variedad de microorganismos (Amador, 2021). Otra bacteria usada en Colombia es el *Bacillus thuringiensis*, que tiene la capacidad de generar esporas, desarrollando endotoxinas que pueden estar dirigidas a varios tipos de fitopatógenos (Plata et al., 2020).

Retomando los hongos, el género *Trichoderma* spp., es otro de los más representativos en el país; se puede encontrar en gran diversidad de estudios sean estos de interés biotecnológico o ambiental. Particularmente este microorganismo tiene la capacidad de generar metabolitos secundarios como los terpenos, los cuales dan la protección a las plantas contra insectos (Mesa, Marín y Calle, 2019). Esto evidencia una vez más la importancia de considerar los contextos socioambientales específicos, sobre todo teniendo en cuenta que los microorganismos pueden actuar de forma impredecible cuando las variables se modifican.

Con respecto a enfermedades que a nivel mundial representan un riesgo para la seguridad alimentaria, el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, que afecta el cultivo de banano, es uno de los más importantes; en Colombia produce la enfermedad sigatoka negra, la cual es un problema fitosanitario importante a la hora de

exportar este producto. Este fitopatógeno resulta ser difícil de controlar y para reducir gastos en pesticidas se utiliza como alternativa un hongo antagonista, *Ganoderma lucidum*, que además es un hongo conocido por poseer propiedades medicinales; se ha determinado que *G. lucidum*, posee aproximadamente cinco actividades enzimáticas de interés contra *M. fijiensis*. Uno de los mecanismos relevantes del hongo, es el uso de peptidasas para disolver la pared celular, o proteínas que degradan ácidos nucleicos que inhiben enlaces de unión de diferentes estructuras de carbono y fósforo (Arias et al., 2019).

Bioestimulantes. Constituyen un gran grupo dentro de los bioinsumos, tienen como principal objetivo mejorar la calidad de los cultivos, propiciar en las plantas el uso efectivo de los nutrientes y crear tolerancia al estrés abiótico. Se pueden obtener de varias fuentes, por lo cual pueden ser sustancias producidas por microorganismos, extractos de alga, quitina, humatos, entre otros, que se obtienen de una fracción de materia orgánica. Particularmente los humatos también se pueden emplear en plantas que requieran de procesos de fitorremediación (Caballero, Valero y Pantoja, 2022). Sobre los bioestimulantes, es importante considerar que algunas características particulares del suelo pueden condicionar la efectividad de estos bioproductos, como el pH, los patógenos, los metales pesados, la relación de agua y estructura del suelo (Valverde et al., 2020). Existen gran variedad de microorganismos que pueden ser empleados como bioestimulantes y también como bioplagueas, ya que los microorganismos pueden realizar diferentes roles en el suelo, como el control contra diversidad de plagas, pero también estableciendo diversidad de comunicaciones con las plantas generando múltiples beneficios, como lo son la elongación de raíces, la adaptación de las plantas a situaciones de estrés mediante fitohormonas o metabolitos secundarios (Woo et al., 2023).

En relación con el uso de bioestimulantes, también se considera relevante mencionar la capacidad de algunos microorganismos para facilitar el uso de algunos elementos, como el fósforo, que se encuentra en el suelo en forma de fosfatos no disponible o inorgánico, con lo cual no puede ser aprovechado por las plantas. El fósforo es un elemento esencial para la vida sin embargo en esta forma limita el crecimiento y desarrollo de las plantas; Por ello, bacterias de los géneros *Pseudomonas* sp., *Serratia* sp. y *Kosakonia* sp, usadas en biofertilizantes en suelos de Boyacá, como consorcios, han demostrado la capacidad

de solubilizar fósforo mediante algunos ácidos producidos por estas bacteria como, el ácido glucónico, succínico, málico, cítrico y oxálico. A mayor producción de ácido glucónico, se da una mayor solubilización de fósforo (Blanco, 2021). Por otra parte, bioestimulantes comerciales como el DOUCE® y NAT-DOUCE®, formulados a base de potasio, fósforo y boro para ser utilizado en cultivos que necesitan transformar hidratos de carbono desde las hojas hacia los frutos y tallos se han probado en el país en sistemas de cultivo de aguacate y mango, encontrando que su aplicación mejora el rendimiento y parámetros de calidad pre y poscosecha relacionados con el tamaño (Rojas-Rodríguez et al., 2023).

También es importante resaltar que para promover un buen desarrollo de las plantas se deben tener en cuenta otros factores, como las fitohormonas, sustancias que ayudan al crecimiento de los pelos radiculares, que al ser más largos absorben mayor cantidad de nutrientes de baja movilidad como el fósforo. Con relación a esto, un microorganismo que posee la capacidad de producir estas moléculas es *Azospirillum brasilense*, que, además puede establecer relaciones con otros microorganismos de interés para la elaboración de bioestimulantes (Moreno et al., 2021). También es importante mencionar que, en Colombia se viene empleando la tecnología EMRO (EM Research Organization) que permite la producción y comercialización de microorganismos eficaces (EM), los cuales han demostrado el aumento de la calidad de suelos de cafetales manteniendo también la productividad (Gómez, Ariza y Avellaneda, 2022). Los EM, además, poseen la facultad de incrementar la población microbiana del suelo, así como eliminar putrefacción, incrementar el contenido de materia orgánica y brindar protección de forma general a los cultivos (Calero et al., 2019).

Otro tipo de bioinsumos que también se han usado en el país, se han orientado a establecer interacciones simbióticas que se generan al implementar hongos micorrízicos, estas interacciones son de gran provecho debido a que se obtienen resultados en la planta tales como, desarrollo y crecimiento, implementando diversos mecanismos como mayor absorción de agua, incremento de la tolerancia de condiciones adversas y mayor capacitación de nutrientes (Zambrano et al., 2015). Así como los demás tipos de bioinsumo, este es de gran importancia debido a que en la Amazonia se hace uso de este en varias actividades, con el fin de aumentar la productividad de cultivos y propiciando el mantenimiento de los ecosistemas, el equilibrio del mismo; particularmente el uso de las micorrizas en el Amazonas es casi que

imprescindible puesto que estos suelos son pobres en materia orgánica (Gaytán et al., 2022), además también se ha encontrado que el uso de micorrizas arbusculares puede conferir resistencia a patógenos como *Hemileia vastatrix*, insecto que ocasiona un tipo de roya en los suelos amazónicos (Vallejos et al., 2021) y contribuir con la restauración de suelos degradados, específicamente asociados a plantaciones de caucho, micorrizas arbusculares de los géneros *Glomus*, *Acaulospora*, *Paraglomus* y *Archaeospora*, géneros frecuentes asociados con este cultivo han evidenciado ser importante para la recuperación de pastos afectados por la degradación asociada a la ganadería (Peña, Sterling y Andrade, 2021).

Estado actual en Colombia. El manejo de cultivos en Colombia resulta ser complicado, debido a la gran demanda de comida que requiere el país, sumando a este problema la diversidad de climas del territorio, lo cual incide en la susceptibilidad a diferentes patógenos que se encuentran en el ambiente y condiciones socioambientales. En la actualidad el uso de bioinsumos, así como la investigación que ha soportado su implementación se ha incrementado a nivel nacional e internacional, sin embargo es difícil precisar de quién fue la idea en particular de promover su uso, tampoco se ha podido establecer de forma puntual qué sociedad o civilización fue la primera en aplicarlos, debido a que no se cuentan con registros y al hecho de que, la relación del hombre con la naturaleza y en particular con la agricultura ha evolucionado con los años, es así como el uso de este tipo de productos que hoy se consideran bioinsumos pudo hacer parte de técnicas ancestrales o prácticas culturales de muchos años atrás (Mamani y Filippone, 2018).

Colombia, al igual que varios países, apuesta a una agricultura sostenible, con el fin de dar cumplimiento a los ODS, dentro de los cuales se pueden mencionar algunos que están directamente relacionados con la gestión responsable del uso del suelo, hambre cero, acción por el clima, salud y bienestar; en este sentido, es interesante analizar el uso de bioinsumos agrícolas en el país (Villanueva-Mejía, 2018). Los bioinsumos pueden tener varias clasificaciones, dependiendo de su origen, sea este vegetal o microbiano o por su funcionalidad, encontrándose productos como biofertilizantes, plaguicidas y biocontroladores; dentro de estas dos últimas dos categorías se pueden obtener subclasificaciones; dentro de los primeros, los que generan mayor interés en búsqueda, son los bioestimulantes, bioestabilizadores y abonos o compostajes orgánicos, dentro del segundo

grupo, se pueden encontrar los biorepelentes, microbicidas y macroorganismos (Mamani y Filippone, 2018; ICA-MinAgricultura, 2020).

En ese sentido, en Colombia se encuentran registrados actualmente, según el ICA y de acuerdo con un reporte publicado en el mes de marzo del año 2022, alrededor de 174 productos formulados con base en microorganismos, comercializados a través de empresas registradas, bien sea como productos preparados en el país o como productos importados o exportados (ICA-MinAgricultura, 2022). De acuerdo con esto, y a partir de la información encontrada, se elaboraron varias tablas de distribución, para definir los porcentajes que corresponden a los datos incluidos; para facilitar esto, la información se organizó teniendo en cuenta las siguientes variables: tipo de bioinsumo, nombre comercial, microorganismos presentes, mecanismo de acción, modo de empleo y los sistemas de cultivo en el país donde son usados; en la Fig. 2 se muestran los resultados obtenidos de este análisis, donde es posible evidenciar que, el mayor porcentaje de bioinsumos en el país corresponde a los plaguicidas, que representa un 54,38% del total, mientras que los bioestimulantes son el 32,26% y los biofertilizantes el 13,45%; teniendo en cuenta estos valores, se encontró que los productos formulados con bacterias son los más comunes, siendo el 53,57% del total, dejando el resto a formulaciones con base en hongos, micorrizas y levaduras.

Entre los géneros usados en estas formulaciones se encuentran bacterias como: *Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp., *Bacillus subtilis* sp., *Burkholderia* sp., *Lactobacillus* sp., *Lecanicillium* sp., *Pantoea* sp., *Pseudomonas* sp., *Rhodopseudomonas* sp., *Streptomyces* sp., *Rhizobium* sp., *Bradyrhizobium* sp.; hongos como *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces fumosoroseus*, *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp.; micorrizas como *Acaulospora* sp., *Entomophthora* sp., *Entrophospora* sp., *Gigasporas* sp., *Glomus* sp., *Scutellospora* sp. y *Saccharomyces cerevisiae*, único representante de las levaduras; todos estos géneros se encuentran en los bioproductos ya mencionados, aunque es importante resaltar que dependiendo del tipo de uso y sobre todo del sistema productivo y las condiciones específicas se utilizan diferentes especies, que además evidencian también diferentes mecanismos de acción de acuerdo a su propósito.

En relación con esto, los mecanismos de acción más comunes de estos microorganismos incluyen en el caso de los bioestimulantes y/o biofertilizantes, la producción de auxinas, citoquinas y giberelinas que generan enraizamiento y mineralización de compuestos

Bioinsumos microbianos usados en Colombia

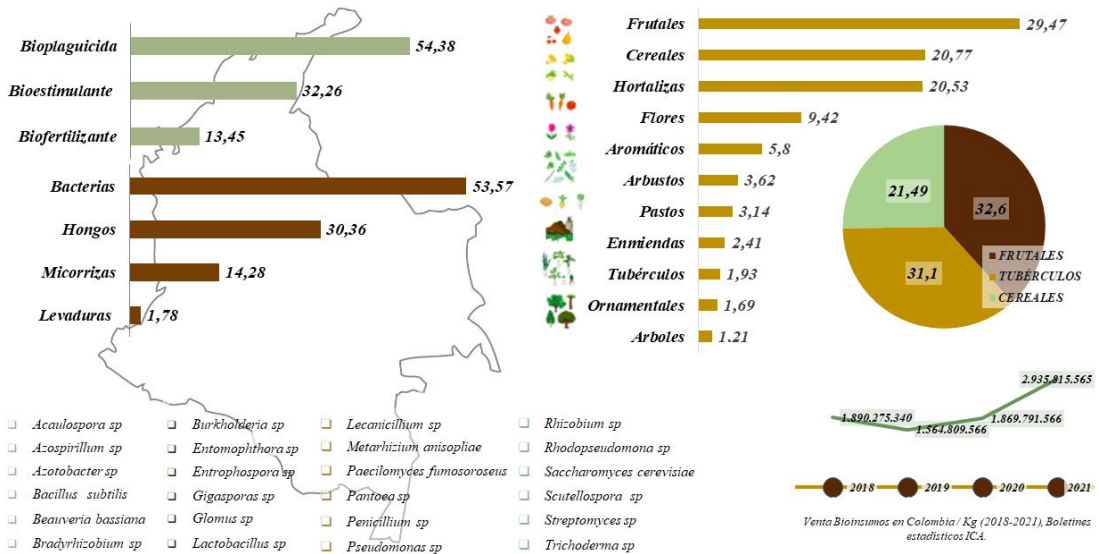


Fig. 2. Bioinsumos Microbianos usados en Colombia y distribución por tipo de bioinput, tipo de microorganismo, géneros comunes y sistemas productivos en los cuales son aplicados, 2023.
 Fig. 2. Microbial bioinputs used in Colombia and distribution by type of bioinput, type of microorganism, common genera and production systems in which they are applied, 2023.

orgánicos; sobre el modo de aplicación, para este propósito se pueden utilizar la aspersión, la aplicación directa y la inoculación, resultado ser muy efectivos (Mira et al., 2021; Romero et al., 2021). Otros bioestimulantes también han demostrado ser útiles, debido a la producción de compuestos indólicos, además de mediar la solubilización de fosfato y fijación de nitrógeno (Díaz et al., 2019; Beleño et al., 2022). Los biofertilizantes por su parte tienen una alta efectividad degradando residuos sólidos orgánicos, a su vez produciendo mejoras en las características físicoquímicas de enmiendas como el compost (Santana y Castellanos, 2018; Higueta y Restrepo, 2019; Moreno et al., 2021; Vinchira et al., 2021; Másmela y Moreno, 2022).

Biofertilizantes formulados con bacterias también han mostrado que la producción de metabolitos secundarios pueden crear un ambiente propicio para dar origen a raíces secundarias, estos sucede en parte por la simbiosis con la rizosfera y puede acelerar la etapa de germinación en algunas plantas, usándose por aplicación directa en forma de emulsiones o por aspersión (Blanco et al., 2021; Másmela y Moreno, 2022). De igual manera, este tipo de bioinsumos, además de estimular la raíz y promover el crecimiento de pelos, también fijan nitrógeno y ácido indol acético y solubilizan fosfatos en el suelo (Santana y Castellanos, 2018;

Acurio et al., 2020; Beltrán, 2021; Blanco et al., 2021; Bolívar et al., 2021; Pedraza et al., 2021; Betancourth et al., 2022; Manjarres, 2022; Serrano et al., 2022).

Por otra parte, los plaguicidas usados en el país tienen como principal mecanismo de acción la colonización y destrucción de los agentes causales de enfermedad, así como la producción de fitohormonas, inmunosupresores, metabolitos secundarios, compuestos aromáticos, sideróforos, enzimas líticas y antibióticos, que ayudan en el proceso de inmunidad y resistencia frente a la enfermedad; este tipo de formulaciones se usan con muy buenos resultados aplicado los bioproductos por aspersión, fertirrigación y usando emulsiones directamente en los sitios afectados (Santana y Castellanos, 2018; Villegas et al., 2018; Agudelo, 2019; Izquierdo et al., 2020; Cuellar et al., 2021; Sarria et al., 2021; Vinchira et al., 2021). En el caso de las enfermedades ocasionadas por insectos, los bioplaguicidas entomopatógenos han demostrado que los microorganismos producen la contracción muscular, así como secreciones orales, anales y septicemia en los patógenos; particularmente los hongos ingresan conidias por las cutículas de los insectos para posteriormente desarrollarse al interior ocasionando la muerte (Montes et al., 2020; Plata Rueda et al., 2020).

Como parte del análisis realizado, también es

importante mencionar cuáles son los cultivos en Colombia en los que se usan estos bioinsumos; se encontró que la mayoría de las formulaciones son aplicadas en cultivos frutales, siendo los más representativos el aguacate, el banano y el café, todos cultivos de exportación, por lo cual tiene mayor relevancia evidenciar el uso de estas estrategias sostenibles; particularmente para el café, un sistema productivo de gran importancia en el país, en el año 2022, se dio una producción anual de 11,1 millones de sacos de 60 kg, lo que equivale aproximadamente a US \$305,35 millones (Federación Nacional de Cafeteros, 2023). Lo anterior, además concuerda con la encuesta nacional agropecuaria realizada por el DANE en el 2019, donde se presenta la producción total nacional por grupo de cultivo; de acuerdo con esto se evidencia que, luego de los cultivos agroindustriales, los frutales son los que mayor producción tienen en el país, con un total de 6.712.167 de toneladas producidas; sin duda, esto pone en evidencia que la necesidad de mejorar las prácticas agrícolas convencionales ha permitido el auge del uso de bioinsumos en el país, lo cual, además de aportar calidad a los productos y los suelos, también se convierte en una alternativa sostenible que puede contribuir a la disminución de los impactos ambientales negativos.

De acuerdo con esto y según lo reportado por el ICA en los boletines estadísticos de producción y venta de bioinsumos, en Colombia en los últimos años se ha observado un aumento significativo en la implementación de estos bioproductos (Fig. 2) y aunque no existe un informe detallado sobre el uso, el tipo de bioinsumo y la comercialización en el país, estos datos obtenidos por el ICA permiten a la luz del análisis propuesto en esta revisión, evidenciar el interés no solo en el uso de los bioinsumos, sino también en el desarrollo y comercialización de los mismos. En ese sentido es importante fortalecer los mecanismos de seguimiento al desarrollo y comercialización de bioinsumos en Colombia, que permitan elaborar informes estadísticos que presenten información detallada sobre la producción, los usos y los ingresos económicos de este sector productivo.

En este contexto y de acuerdo con los datos encontrados en los informes y reportes estadísticos, del ICA, el DANE y AGROSAVIA fue posible establecer una relación entre el uso de bioinsumos específicamente en los sistemas agrícolas del país, esto también se presenta en la Fig. 2; de forma complementaria, en la Tabla 1 se presentan algunos de los resultados encontrados en los artículos incluidos en la revisión. Es preciso resaltar que los bioinsumos registrados en Colombia pueden

ser considerados multipropósito, pues muchos de ellos son utilizados en diversos cultivos aportando a diferentes propiedades en los suelos y las plantas; de igual manera, la actividad de los microorganismos, ya sean bacterias u hongos, también ha sido evaluada para aprovechar su uso en varios frentes, como acondicionantes del suelo, para conferir resistencia a patógenos, para potenciar propiedades de las plantas, entre otros. En esta revisión se encontraron 50 artículos relacionados con el tema, 20 en español y 30 en inglés, que permitieron evidenciar 94 registros de microorganismos usados como plaguicidas, 55 asociados con actividades bioestimulantes en el suelo, y 25 que se aplican como biofertilizantes (Fig. 2); en relación con esto también se puede establecer que las bacterias son las más estudiadas en el país, encontrando la mayor cantidad de información sobre su uso en diferentes tipos de bioinsumos y sistemas agrícolas; finalmente es importante mencionar que la agrobiodiversidad en el país ha permitido poner en evidencia que el uso de microorganismos es altamente específico, y el éxito de su formulación en bioinsumos depende en gran medida del tipo de suelo, clima, cultivos, y en general de los contextos socioambientales específicos que se presentan en el país; en ese sentido será necesario siempre hacer una evaluación de la adaptación y uso de los microorganismos en estos bioproductos.

CONCLUSIÓN

El uso de bioinsumos en Colombia ha evidenciado ser una alternativa complementaria a las prácticas agrícolas convencionales y su implementación en diferentes sistemas productivos ha demostrado tener buenos resultados; las aplicaciones incluyen formulaciones con bacterias, hongos, micorrizas y levaduras, que se incluyen en bioproductos como biofertilizantes, bioplaguicidas y bioestimulantes, que, de acuerdo con el propósito y las características propias del contexto socioambiental de los cultivos, pueden actuar de diversas formas; los mecanismos de acción estudiados en los microorganismos pueden variar, y el modo de uso de los mismos también, siendo los métodos por aspersión e inoculación directa los más efectivos. De acuerdo con esto, Colombia, siendo un país megadiverso y que basa su economía en gran parte en las actividades agrícolas, debe consolidar estrategias sostenibles que permitan hacer una conversión hacia formas de producción que garanticen, no solo la calidad de los productos y seguridad alimentaria, sino también el cuidado del medio ambiente.

Tabla 1. Bioinsumos registrados en Colombia.
Table 1. Bioinputs registered in Colombia.

Tipo de Bioinsumo	Productos comerciales registrados	Microorganismos y Modo Acción	Sistemas de cultivo en Colombia
Bioplaguicida	Bactox WP, Trichox WP BT-BIOX, Actybac SC, Dipel SE, Turilav WP Ecotech-Pro, Bacton SC Conidia WG, Vektor Micosplag WP Trichodex 25 Brocaril WP Brocavec Mycobac WP Biostat WP Botanigard 22 WP Mycotrol SE Agronova Bioexpert Tricho D. WP Fitotripen WP Bioregulax WP Biofungo WP Fungio WP Exporaxx WP Trichogen WP Trifisol WP Antagon WP Successor Turivec Trichodermus Agroguard Trichobiol WP Baculovirus corpoica Muscardin.	<p><i>Bacillus spp.</i>, <i>Beauveria bassiana</i>, <i>Beauveria brongniartii</i>, <i>Burkholderia cepacia</i>, <i>Entomophthora virulenta</i>, <i>Lecanicillium lecanii</i>, <i>Metarhizium anisopliae</i>, <i>Paeclomyces spp.</i>, <i>Saccharomyces cerevisiae</i>, <i>Streptomyces racemachromagenes</i>, <i>Trichoderma spp.</i>, <i>Virus de granulosis de Baculovirus phthorimae</i></p> <p>Presentan sideróforos y enzimas lífticas, colonizan y destruyen, producen fitohormonas, ingresan conidias al insecto, ocasionan contracción muscular, pueden producir secreciones orales, anales y sépticemia en patógeno, actúan como inmunosupresores y antibióticos, producen metabolitos secundarios, producen compuestos aromáticos, quitinasas y endonucleasas.</p>	Rosa, Arroz, Tomate, Algodón, Clavel, Maíz, Repollo, Banano, Soya, Café Cítrico, Pastos, Palma de aceite, Pepino, Uva, Haba, Plátano, Crisantemo, Habichuela, Pompón, Aguacate, Tomillo, Romero, Vainilla, Orégano, Gulupa, Uchuva, Lulo, Tomate de árbol, Aji, Pimentón, Berenjena, Naranja, Cebolla, Fresa, Papa, Mango, Hortalizas, Aromáticas, Melón, Estragon, Granadilla, Curuba, Badea, Chulupa, Pina, Mandarina, Lima, Tangelo, Toronja, Mora, Frambuesa, Arándano, Uva, Breva, Ornamentales
Biofertilizante	EMAgro, Trichoplanta Subtilin SL Agropilus Biostart WP Orosuelo Digestor SC Bactosoil SC Bioabono micorrizado EM-Inóculo microbial para compostaje Probio balance Trombo WP EM-1 Inóculo concentrado para Activación Abonamos micorrizas Safer micorrizas MA Sobio-TMO Glumix Micorrizas Worl Organic. Biofertmex granulado Biofertmex suspensión Micorrizas campo verde PhosphoBARVAR – 2 Byodyne 401.	<p><i>Acaulospora spp.</i>, <i>Azospirillum brasilense</i>, <i>Azotobacter chroococcum</i>, <i>Bacillus spp.</i>, <i>Entrophopora sp.</i>, <i>Gigaspora spp.</i>, <i>Glo-mus spp.</i>, <i>Lactobacillus spp.</i>, <i>Pantoea agglomerans</i>, <i>Pseudomonas putida</i>, <i>Rhizobium sp.</i>, <i>Rhodospseudomona palustris</i>, <i>Saccharomyces cerevisiae</i>, <i>Settelospora sp.</i>, <i>Trichoderma harzianum</i></p> <p>Producen fitohormonas, degradan residuos sólidos orgánicos, mejoran características fisicoquímicas, pueden oxidar sulfuros, contribuyen con la permeabilidad de la raíz, reducción de toxicidad de metales, estimulación de raíz, promueve crecimiento de pelos y/o raíces secundarias, pueden mediar la producción de auxinas, citoquinas, giberelinas generando enraizamiento, actúan en la mineralización de compuestos orgánicos.</p>	Compostaje, Clavel, Caña de azúcar, Pradera de pasto Kimuyo, Ornamentales, Hortalizas, Frutales, Arboles, Cereales, Pastos, suelo para cultivo de Arroz, Pompon, Café, Compostaje, Lechuga, Café, Banano, Crisantemo, Gallinaza, Pastos clandestinum, Polvo en invernadero, Tomate.
Bioestimulante	Bactox SL, Buen Suelo SC, Safer Terra Life GR, Trichosym Bio, Mycoup, Biohar Forte, Multibacter, Fosfobiol 100 WP, Fosfobiol 100 SC, Biofit Rut, Bionitro Soya 1, Eccobiox SL, Terravite S2L, Fosforiz, Biofert-Mex Polvo, Mycoral, Micorrizar, Dimargon, Fosfobiol WP, Dimazos SC, Micorrizagro, Monibac, Bacthon SC, Ecoterra WG, Mycobiol, Micorrizas micorriz, Rhizobiol - Frijol, Mycofert, Fosfobiol SC, Nitratos micorrizado 15%, Fosfobiol 1000 SC, Fosfobiol 1000 WP.	<p><i>Azospirillum brasilense</i>, <i>Azotobacter spp.</i>, <i>Bacillus spp.</i>, <i>Bradyrhizobium japonicum</i>, <i>Lactobacillus acidophilus</i>, <i>Pseudomonas spp.</i>, <i>Trichoderma spp.</i>, <i>Penicillium spp.</i>, <i>Paeclomyces lilacinus</i>, <i>Saccharomyces cerevisiae</i>, <i>Glomus spp.</i>, <i>Acaulospora spp.</i>, <i>Entrophora spp.</i></p> <p>Participan en la fijación de nitrógeno y ácido indol acético, en solubilización de fosfato, median la producción de fitohormonas, auxinas, citoquinas, giberelinas. Contribuyen con el enraizamiento y raíces secundarias, con la mineralización de compuestos orgánicos. Y estimulan la producción de metabolitos secundarios</p>	Banano, Algodón, Tomate, Piña, Aguacate, Rosa, Tomate, Uchuva, Tomate de árbol, Aji, Pimentón, Berenjena, Frijol, Arveja, Haba, Habichuela, Maíz, Avena, Cebada, Trigo, Café, Caña de azúcar, Banano y plátano, Granadilla, Maracuyá, Gulupa, Arroz, Clavel, Remolacha, Pastos, Brocoli, Lechuga

LITERATURA CITADA

- Acurio, R.D., J.E. Mamarandi, A.G. Ojeda, E.M. Tenorio, V.P. Chiluisa, y I.D. Vaca. 2020. Evaluación de *Bacillus* spp. como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) y lechuga (*Lactuca sativa*). Ciencia y Tecnología Agropecuaria 21(3):1-16.
- Afanador, L.N. 2017. Biofertilizantes: conceptos, beneficios y su aplicación en Colombia. Ingeciencia 2(1):65-76.
- Agudelo, N. 2019. Evaluación del potencial controlador de extractos metabólicos bacterianos frente a la enfermedad Sigatoka Negra en banano causada por *Pseudocercospora fijiensis* (*Mycosphaerella fijiensis* M. Morelet). Tesis Magister en Ciencias agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64163>
- Amador, I.S. 2021. Encapsulación de un Consorcio Microbiano con Actividad Promotora de Crecimiento Vegetal (PGPM) en una Matriz de Almidón de Yuca y Alginato. Trabajo de grado en Microbiología Industrial. Universidad de Santander, Bucaramanga. Disponible en: <https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/5521>
- Arias, M.A., P.A. Zapata-Ocampo, A.R. Mosquera-Arevalo, J.D. Sanchez-Torres, and L. Atehortua-Garcés. 2019. Antifungal protein determination for submerged cultures of the medicinal mushroom *Ganoderma lucidum* (*Ganodermataceae*) with activity over the phytopathogen fungus *Mycosphaerella fijiensis* (*Mycosphaerellaceae*). Actualidades Biológicas 41(111):53-64.
- Aristizábal, L.F., M.A. Johnson, Y.A. Mariño, P. Bayman, and M.G. Wright. 2023. Establishing an integrated pest management program for coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Hawaii and Puerto Rico coffee agroecosystems: Achievements and Challenges. Insects 14(7):603. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/insects14070603>
- Beleño, J., L. Gómez, y N.O. Valero. 2022. *Bacillus mycoides* y ácidos húmicos como bioestimulantes de frijol caupí bajo estrés por salinidad. Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica 25(2).
- Beltrán, P.A. 2021. Evaluación de biofertilizante líquido de rizobacterias con crioprotectores celulares para la formulación de un inoculante biológico con aplicación en restauración ecológica. Trabajo de grado en Bioquímica. Universidad Antonio Nariño, Bogotá. Disponible en: <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/6382>
- Blanco, A., y A. Yully. 2021. Desarrollo de un biofertilizante a base de biochar y bacterias fosfato solubilizadoras para el cultivo de *Allium cepa* L. Universitas Scientiarum 26(1):79-118.
- Bolivar-Anillo, H.J., V.E. González-Rodríguez, J.M. Cantoral, D. García-Sánchez, I.G. Collado, and C. Garrido. 2021. Endophytic Bacteria *Bacillus subtilis*, Isolated from Zea mays, as Potential Biocontrol Agent against *Botrytis cinerea*. Biology 10(6):492.
- Caballero, M., N.O. Valero, y M. Pantoja. 2022. Revisión: Posibilidades de bioestimulación con ácidos húmicos en plantas utilizadas para fitorremediación. Ciencia e Ingeniería 9(1):e6723403.
- Cuellar-Gaviria, T.Z., C. García-Botero, J. Kou-San, and V. Villegas-Escobar. 2023. The genome of *Bacillus tequilensis* EA-CB0015 sheds light into its epiphytic lifestyle and potential as a biocontrol agent. Frontiers in Microbiology 14:1135487.
- Díaz, C.E., D. Daza, and C.I. Arámbula. 2019. Biofertilizing potential of a fertilizer based on cienego and native microorganisms in corn seeds. Journal of Physics: Conference Series, Issue, 1386:012058.
- Díaz, A., M. Gómez, G. Quiroga, E. Grijalba, M. Ramírez, M. Camelo, y R. Bonilla. 2021. Desarrollo tecnológico de biofertilizantes en Colombia: experiencia en agrosavia. Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/37090>.
- Díaz-Gutiérrez, C., C. Arroyave, M. Llugany, C. Poschenrieder, S. Martos, and C. Peláez. 2021. *Trichoderma asperellum* as a preventive and curative agent to control Fusarium wilt in *Stevia rebaudiana*. Biological Control 155:104537.
- García, J.L., L.A. Torres, A.M. Santos, and E.P. Grijalba. 2022. In vitro compatibility with soybean agrochemicals and storage stability studies of the *Beauveria bassiana* biopesticide. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 39:102275.

- Gaytán, F.D., E.V. Gutiérrez, V.V. Encinia, R.E. Vázquez, E. Olivares, and M. Gutiérrez. 2022. Sustainability of the Soil Resource in Intensive Production with Organic Contributions. *Agronomy* 12(1):67
- Gómez, P. D., L.K. Ariza, and L.M. Avellaneda. 2022. Changes in Soil Quality Associated with the Implementation of Ecological Agriculture Techniques in Coffee Plants under Different Covering. *Colombia Forestal* 25(1):5-20.
- Grijalba, E.P. C. Espinel, P. Cuartas, M. Chaparro, L. Villamizar. 2018. *Metarhizium rileyi* biopesticide to control *Spodoptera frugiperda*: Stability and insecticidal activity under glasshouse conditions. *Fungal Biology* 122(11):1069-1076.
- Higuaita, A.M. y A.M. Restrepo. 2019. Desarrollo de un bioinsumo agrícola con base en un consorcio de *Bacillus subtilis*- *Pseudomonas sp.* Trabajo de grado en Ingeniería de procesos. Universidad EAFIT, Medellín. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10784/15882>.
- Instituto Colombiano Agropecuario. 2004. Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural. Resolución No. 00375.
- Instituto Colombiano Agropecuario. 2022. Productos Bioinsumos Registrados.
- Instituto Colombiano Agropecuario. 2022. Resolución No. 068370.,
- Izquierdo, L.F., A. Gonzalez, and C.A. Moreno. 2020. *Trichoderma virens* GI006 and *Bacillus velezensis* Bs006: a compatible interaction controlling Fusarium wilt of cape gooseberry. *Scientific Reports* 10(1):6857.
- López, E., Y. Martínez, y O. Romero. 2022. Características y consecuencias adversas a la salud humana de agroquímicos usados en la agricultura cubana. *Revista Cubana de Salud Pública* 48. Recuperado de <https://revsaludpublica.sld.cu/index.php/spu/article/view/2810>
- Mamani, A. y M.P. Filippone. 2018. Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. *Revista agronómica del noroeste argentino* 38(1):9-21.
- Manjarres, S.A. 2022. Evaluación de fijación de nitrógeno de 3 especies de leguminosas inoculadas con un biofertilizante a base de microorganismos producido en la finca Virayá, municipio de Vistahermosa, Meta, Villavicencio. Trabajo de grado en Ingeniería Ambiental Universidad Santo Tomas, Villavicencio. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/46900/2022sergiomajarres.pdf?sequence=6>
- MedinaCordoba, L.K., A.T. Chande, L. Rishishwar, L.W. Mayer, L.C. ValderramaAguirre, A. ValderramaAguirre, et al. 2021. Genomic characterization and computational phenotyping of nitrogen-fixing bacteria isolated from Colombian sugarcane fields. *Scientific Reports* 11:9187.
- Mesa, A.M., A. Marin y J. Calle. 2021. Metabolitos secundarios en *Trichoderma spp.* y sus aplicaciones biotecnológicas agrícolas, *Actualidades biológicas* 41(111):1-13.
- Mira, Y., D. Castañeda, J. Morales, and L. Patiño. 2021. Phytopathogenic fungi with potential as biocontrol agents for weeds of importance in crops of Antioquia, Colombia. *Egypt J. Biol. Pest Control* 31:122.
- Montenegro, S.P. y Y.K. Hernández. 2015. Biotecnología aplicada al desarrollo agropecuario colombiano. *Agraria y Ambiental* 6(2):97-108.
- Montes, L.G., Y. Peteche, H.C. Medina, and A.E. Bustillo. 2020. Selection of Entomopathogenic Fungi for the Biological Control of *Demotisca neivai* (Coleoptera: Chrysomelidae) in Oil Palm Plantations in Colombia. *Journal of Entomological Science* 55(3):388-404.
- Moreno, J., E.E. Guevara, P.G.A. Delaport-Quintana, J. Elías, J. Arroyo, y S.M. Salazar. 2021. Efecto de la inoculación con microorganismos promotores del crecimiento vegetal en suelos degradados de minería aluvial. *Acta Agronómica* 70(1).
- Motta, P.A. y B. Murcia. 2011. Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Ambiente y Agua* 6(2):77-90.
- Peña-Venegas, C.P., A. Sterling, and T.K. Andrade-Ramírez. 2021. Arbuscular Mycorrhization in Colombian and Introduced *Rubber* (*Hevea brasiliensis*) Genotypes Cultivated on Degraded Soils of the Amazon Region. *Agriculture* 11(4):361. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture11040361>
- Perea, P.A., L.A. Pedraza, P.B. Beauregard, y D. Uribe. 2022. A biocontrol *Bacillus velezensis* strain decreases pathogen *Burkholderia glumae* population and occupies a similar niche in rice plants. *Biological Control* 176:105067
- Plata, A., H.A. Quintero, L.C. Martinez, and J.E. Serrano. 2020. Insecticidal Activity of *Bacillus thuringiensis* Strains on the Nettle Caterpillar, *Euprosterina elaeasa* (Lepidoptera: Limacodidae). *Insects* 11(5):310.

- Restrepo, S.P., E.C. Pineda, y L.A. Ríos. 2017. Mecanismos de acción de hongos y bacterias empleados como biofertilizantes en suelos agrícolas: una revisión sistemática. *Corpoica, Ciencia Tecnología Agropecuaria* 18(2):335-351.
- Rojas-Rodríguez, M.L., J.G. Ramírez-Gil, L.F. González-Concha, y H.E. Balaguera-López. 2023. Biostimulants Improve Yield and Quality in Preharvest without Impinging on the Postharvest Quality of Hass Avocado and Mango Fruit: Evaluation under Organic and Traditional Systems. *Agronomy* 13(7):1917. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy13071917>
- Romero, F.A., E.M. Baron, y R.R. Bonilla. 2021. Experiencia agrosavia en Algodón (*Gossypium hirsutum*): evaluación del potencial biofertilizante de bacterias fijadoras de nitrógeno sobre el cultivo bajo condiciones de invernadero, Mosquera: Corporación colombiana de investigación agropecuaria. AGROSAVIA. Colombia.
- Ruiz, C., M. Gómez, y L. Villamizar. 2015. Prototipo de formulación y atmósfera de empaque para la cepa antagonista *Pseudomonas fluorescens* Ps006. *Revista Colombiana de Biotecnología* 17(2):95-102.
- Sanchez, D.B., J.V. Pérez, L.L. Luna, J.A. García, y A.A. Espitia. 2020. Inoculantes microbianos incorporados al cultivo de *Ipomoea batatas* L. en el Valle del Sinú. *Revista Colombiana de Biotecnología* 22(1):79-86.
- Santana, T., y L. Castellanos. 2018. Efecto bioestimulante de *Trichoderma harzianum* Rifai en posturas de Leucaena, Cedro y Samán. *Colombia Forestal* 21(1):81-90.
- Sarria, G., A. Garcia, Y. Mestizo, C. Medina, F. Varón, E. Mesa, et al. 2021. Antagonistic interactions between *Trichoderma spp.* and *Phytophthora palmivora* (Butler) from oil palm in colombia. *European Journal of Plant Pathology* 161(4):751-768.
- Serrano, M.C., L. Pérez, H. Estrada-López, R. Mancera, y Y. Aranguren. 2022. Identificación y caracterización de rizobacterias nativas fijadoras de nitrógeno de *Capsicum sp.* de la región caribe colombiana. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 13(2):81-92.
- Valverde, L.Y., J. Moreno-Quinto, K. Quijije-Quiroz, A. Castro-LandíN, W. Merchán-García, y J. Gabriel. 2020. Los bioestimulantes: Una innovación en la agricultura para el cultivo del café (*Coffea arabica* L). *Journal of the Selva Andina Research Society* 11(1):18-28.
- Vallejos, G., A. Saboya y L.A. Arevalo. 2021. Efecto Bioprotector de Micorrizas Arbusculares en la Reducción de Roya (*Hemileia vastatrix*) en la Región San Martín. *Revista Agrotecnológica Amazónica* 1(1):34-44. <https://doi.org/10.51252/raa.v1i1.122>
- Villegas, V., L. González-Jaramillo, M. Ramírez, R. Moncada, L. Sierra-Zapata, S. Orduz, M. Romero-Tabarez. 2018. Lipopeptides from *Bacillus sp.* EA-CB0959: Active metabolites responsible for in vitro and in vivo control of *Ralstonia solanacearum*. *Biological Control* 125:20-28.
- Villegas, V., S. Mosquera, J. Gutiérrez, L. Posada, J.J. Arroyave, I.C. Ceballos, et al. 2021. Biopesticida para el control biológico de plagas en banano. *Revista Universidad EAFIT* 56 (177):14-5.
- Vinchira, D.M., L. Castellanos, N. Moreno-Sarmiento, Z. Suarez-Moreno, and F.A. Ramos. 2021. Antifungal activity of marine-derived *Paenibacillus sp.* PNM200 against *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*, the causal agent of tomato vascular wilt. *Biological Control* 154:104501
- Woo, S.L., R.H. Matteo, and E. Monte. 2023. *Trichoderma*: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature Reviews Microbiology* 21:312-326.
- Zambrano, D.C., R.R. Bonilla, G. Zambrano, and L. Avellaneda. 2021. Prospective analysis of agricultural bioinoculants in Colombia: an expert consultation. *Revista Colombiana de Biotecnología* 17(2):101-111.