

ARTÍCULO DE REVISIÓN

**Consortios microbianos y productos de cepa única.
Potencialidades agronómicas y experiencias de uso en Cuba**

**Microbial consortia and single-strain products. Agronomic
potential and experiences of use in Cuba**

 Bertha Carreras Solis*

Instituto de investigaciones de Sanidad Vegetal. Calle 110, No. 514 e/5taB y 5taF. Playa, La Habana, Cuba

*Autor para correspondencia: Bertha Carreras Solis, e-mail: berthacarreras2014@gmail.com

Resumen

El artículo tuvo como objetivo mostrar la importancia de usar estratégicamente consorcios microbianos en función de optimizar la salud vegetal y mejorar la calidad de las plantas. Se revisaron artículos que evidencian los tipos de microorganismos que favorecen la interacción sinérgica entre los mismos, con la identificación de tres tipos clave de consorcios microbianos: bacterias promotoras del desarrollo vegetativo (BPDV) simbióticas + BPDV de vida libre; Micorriza vesículo-arbuscular (MVA) + BPDV de vida libre; *Trichoderma* + BPDV. Se destaca la eficacia de los consorcios microbianos en los cultivos desde muchos puntos de vista: agentes de control biológico; inductores de los mecanismos de resistencia a patógenos y a factores abióticos; productores de sustancias estimulantes; solubilizadores de macronutrientes; productores de enzimas extracelulares y fitohormonas; fijadores de nitrógeno atmosférico; promotores del crecimiento vegetal y estimuladores del establecimiento de otros microorganismos beneficiosos asociados a las raíces como las micorrizas. Se resalta la importancia en la elaboración de consorcios microbianos mediante el uso de microorganismos agrónomicamente efectivos, dadas las potencialidades microbiológicas de Cuba, cuya mayor utilización y experiencia en el manejo de plagas durante la práctica productiva, ha sido como productos de cepa única, integrados en paquetes o cartera de bioproductos, por cultivo. Los microorganismos de montaña se presentan, además, en este artículo, como una alternativa agroecológica muy utilizada en el mundo y en Cuba, al estar constituidos por consorcios microbianos obtenidos de sistemas edáficos.

Palabras claves: Agentes control biológico, Sustancias estimulantes, Solubilizadores macronutrientes, manejo de plagas, promotores crecimiento vegetal

Abstract

This article aimed to demonstrate the importance of strategically using microbial consortia to optimize plant health and improve plant quality. Articles were reviewed that demonstrate the types of microorganisms that promote synergistic interactions between them, identifying three key types of microbial consortia: symbiotic vegetative growth-promoting bacteria (VGPPV) + free-living VGPPV; vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) + free-living VGPPV; and *Trichoderma* + VGPPV. The effectiveness of microbial consortia in crops is highlighted from many perspectives: biological control agents; inducers of resistance mechanisms to pathogens and abiotic factors; producers of stimulating substances; macronutrient solubilizers; producers of extracellular enzymes and phytohormones; atmospheric nitrogen fixers; plant growth promoters; and stimulators of the establishment of other beneficial root-associated microorganisms such as mycorrhizae. The importance of developing microbial consortia through the use of agronomically effective microorganisms is highlighted, given Cuba's microbiological potential. Their greatest use and experience in pest management during production has been as single-strain products, integrated into packages or portfolios of bioproducts, per crop. Mountain microorganisms are also presented in this article as an agroecological alternative widely used worldwide and in Cuba, as they are composed of microbial consortia obtained from soil systems.

Key words: biological control agents, stimulating substances, macronutrient solubilizers, pest management, plant growth promoters

Recibido: 10 de octubre de 2025

Aceptado: 08 de diciembre de 2025

Conflicto de intereses: La autora de este trabajo declara no presentar conflicto de intereses.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Introducción

En la búsqueda continua de métodos sostenibles para mejorar la producción agrícola, los consorcios microbianos emergen como una solución innovadora y efectiva. Un Consorcio Microbiano se define como la combinación de microorganismos benéficos. La importancia de esta combinación radica en que se puede aprovechar la suma de las acciones individuales de cada microorganismo. Este enfoque da como resultado un aumento mensurable en el rendimiento y la calidad de los cultivos (Sharma et al., 2017).

La implementación estratégica de consorcios genera un impacto considerable en la producción, la calidad y la longevidad de las plantas. La sinergia entre diferentes tipos de microorganismos benéficos, como las bacterias promotoras del desarrollo vegetativo y otros grupos, constituye un aspecto fundamental. La combinación de estos microorganismos en consorcios específicos permite potenciar sus efectos beneficiosos de manera significativa.

La presente revisión destaca las potencialidades microbiológicas con las que cuenta Cuba. También analiza su utilización actual en el manejo integrado de plagas. Se enfatiza la importancia de emplear estratégicamente los consorcios microbianos para optimizar la salud vegetal y mejorar la calidad de las plantas.

Desarrollo

Consorcios Microbianos. Concepto. Características

Los bioproductos agrícolas de base microbiana, como los bioplaguicidas, biofertilizantes y bioestimulantes, se producen a partir de una selección dirigida de cepas de microorganismos eficaces para propósitos específicos. Esta selección puede generar cepas distintas de una misma especie, cepas de un mismo género o cepas de diferentes géneros. Con estos microorganismos se elaboran productos formulados a partir de una sola cepa o de consorcios microbianos.

Un consorcio microbiano se define como la combinación de microorganismos benéficos o productos microbiológicos que integran en un mismo formulado distintos microorganismos y sus cepas (Sharma et al., 2017). Estos sistemas destacan por su biodiversidad, lo que promueve su adaptabilidad, polivalencia, sinergia y eficacia (Rojas, 2023). La integración de múltiples cepas en un solo producto amplía su espectro de acción y sus beneficios potenciales.

La adaptabilidad de estos consorcios surge porque los diferentes microorganismos pueden establecerse y desarrollarse en una amplia gama de suelos con distintos valores de pH, textura y conductividad eléctrica. Su asociación refleja estilos de vida sinérgicos o sintróficos y mantiene una compatibilidad metabólica y ecológica. Esta compatibilidad genera una multiplicación del rango de acción y beneficio para

el cultivo, es decir, polivalencia, que finalmente se traduce en un mejor crecimiento y adaptación de la planta, lo que define su eficacia.

El empeño por adaptar la conceptualización de las moléculas de síntesis a la microbiología ha generado una gran multitud de productos en el mercado que contienen una sola cepa. A estas cepas individuales se les atribuye comúnmente un único beneficio o función, como fitosanitario, bioestimulante o biofertilizante. Esta perspectiva simplifica la complejidad inherente de los microorganismos y sus múltiples modos de acción.

Un ejemplo de esto son los bioproductos agrícolas desarrollados en Cuba a base de bacterias y hongos entomopatógenos y antagonistas, que funcionan como bioplaguicidas. Estos productos se han registrado con una función única, como acaricida (THURISAVE 13), insecticida (THURISAVE 24, THURISAVE 26, METASAVE 11, VERTISAVE 5) o fungicida (TRICOSAVE 34). De igual modo, existen productos desarrollados y registrados con una única función de bioestimulante o biofertilizante, como DIMARGON, FOSFORINA, ECOMIC y AZOFERT.

Sin embargo, desde un punto de vista estrictamente científico, a una sola cepa de un microorganismo se le pueden atribuir, con mayor o menor intensidad, multitud de modos de acción. Si se multiplica el número de microorganismos o cepas en un formulado, se consigue multiplicar el rango de acción y los beneficios para el cultivo, lo que se denomina polivalencia. Esta aproximación aprovecha todo el potencial funcional de los microorganismos.

Indiscutiblemente, la producción de cepas individuales, o productos de cepa única, puede ser en principio más simple. Una vez que se definen las condiciones óptimas de cultivo, se puede asegurar una calidad uniforme, en términos de concentración y actividad, en todos los lotes de producción. Esta reproducibilidad facilita el control y la estandarización del producto final.

Por el contrario, los productos mixtos o de varias cepas, conocidos como consorcios, presentan dificultades en su seguimiento y evaluación. Esta complejidad aumenta cuando se combinan múltiples cepas de microorganismos vivos, ya que se incrementan las interacciones entre los individuos presentes, así como con la planta y el suelo. A pesar de estos desafíos, la industria de inoculantes microbianos ha evolucionado hacia la obtención de productos que contienen varias cepas.

Estos desarrollos incluyen productos con varias cepas de un mismo género y especie (Sedeño-Mota, 2021), o varias cepas de un mismo género pero de diferente especie (O'Connor Mendoza, 2019; Sotomayor et al., 2022). Además, los consorcios pueden ser definidos con precisión o consistir en mezclas con poblaciones microbianas menos definidas que se originan a partir de la fermentación de varios sustratos naturales (Abreu-Cruz et al., 2024). Esta diversidad en la formulación amplía las aplicaciones potenciales de los bioproductos.

Tipos de microorganismos que favorecen la interacción sinérgica entre los mismos

Para aminorar los problemas del sector agrícola actual, es fundamental identificar los tipos de microorganismos que promueven interacciones sinérgicas entre ellos. El conocimiento de estos consorcios microbianos permite el desarrollo de aplicaciones que optimizan la salud de los cultivos. Esta aproximación representa una alternativa sostenible a los métodos convencionales.

Diversos estudios en el área de la agricultura han documentado los efectos de la sinergia entre microorganismos. [Ali et al. \(2005\)](#) revisaron la sinergia entre *Azotobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter* y *Pseudomonas*, e informaron rendimientos más altos en comparación con el uso de fertilizantes químicos. Por su parte, [Paul et al. \(2011\)](#) confirmaron que la sinergia entre *Azotobacter* y hongos micorrízicos arbusculares mejora la altura de las plantas, así como el número y el peso de los frutos.

La interacción entre *Azotobacter* y *Bacillus* también demuestra beneficios significativos. [Yasmin et al., 2013](#) comprobaron que esta sinergia mejora el crecimiento y el rendimiento de los cultivos, incluso con una aplicación reducida de fertilizantes químicos. [Hannan et al. \(2013\)](#) confirmaron la sinergia entre *Rhizobium* y *Trichoderma*, la cual genera una mayor producción del cultivo y un aumento en el soporte de las plantas.

La convivencia sinérgica entre *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter* y *Pseudomonas* produce una recuperación significativa del nitrógeno fijado biológicamente. [Abbas et al. \(2014\)](#) observaron que este consorcio también reduce la incidencia de patógenos, lo cual se refleja en un incremento de la productividad. Además, [Bilal et al. \(2017\)](#) obtuvieron resultados positivos con la sinergia de *Azospirillum* y *Azotobacter*, que promovió el crecimiento de las plantas cuando se combinaron con nitrógeno inorgánico.

Otro consorcio compuesto por *Azospirillum*, *Azoarcus* y *Azorhizobium* mejora el crecimiento de las raíces y aumenta la resistencia al estrés ambiental. [Dal Cortivo et al. \(2017\)](#) señalaron que esta asociación disminuye además la pérdida de nitrógeno en el ecosistema agrícola. Estas ventajas contribuyen a establecer sistemas de cultivo más eficientes y resilientes.

Como resultado de estas investigaciones, se han identificado tres tipos clave de consorcios microbianos, cada uno con ventajas específicas para la salud de las plantas ([BioPunto, 2023](#)). Esta clasificación facilita la selección de inoculantes microbianos para objetivos agronómicos particulares. Su aplicación constituye una herramienta fundamental para una agricultura moderna y sostenible.

1. BPDV simbiótica + BPDV de vida libre: Se refiere a la combinación de dos tipos de bacterias promotoras del desarrollo vegetativo (BPDV). Una de estas bacterias, la simbiótica, establece una relación de beneficio mutuo con

la planta (simbiosis), mientras que la de vida libre existe independientemente en el suelo.

2. Micorriza vesículo-arbuscular (MVA) + BPDV de vida libre: Aquí, se menciona la unión entre un tipo específico de hongo micorrízico llamado micorriza vesículo-arbuscular y las bacterias promotoras del desarrollo vegetativo que existen libremente en el suelo.
3. *Trichoderma* + BPDV: Esta combinación se compone de *Trichoderma*, un género de hongos que benefician la planta, junto con bacterias promotoras del desarrollo vegetativo.

El ciclo vital de las micorrizas solo se puede cumplir si establecen una asociación simbiótica con las raíces de una planta hospedera ([Wang et al., 2022](#)). Estas micorrizas incrementan el volumen del sistema radicular, lo que produce un aumento en la absorción y el transporte de agua y nutrientes ([Viera, Campaña Cruz, et al., 2017](#); [Kheyri et al., 2022](#)). Dicho incremento se manifiesta principalmente en una mayor absorción de fósforo ([Zhang et al., 2021](#)).

Algunas especies de *Trichoderma* influyen de forma favorable en la solubilización y absorción de minerales desde el suelo. También contribuyen a una mayor tolerancia de la planta al estrés biótico y abiótico ([Marra et al., 2022](#)). Adicionalmente, *Trichoderma* spp. actúa como un agente de control biológico debido a su capacidad de generar antagonismo y controlar agentes patogénicos.

Los mecanismos de acción de *Trichoderma* spp. incluyen la competencia por espacio y nutrientes, la antibiosis y el micoparasitismo directo. Este hongo también activa las defensas de la planta a través de la producción de ácidos salicílico y jasmónico en las raíces ([Viera-Arroyo et al., 2020](#); [Colquehuanca & Blanco, 2021](#)).

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal, también conocidas como rizobacterias, incluyen varios géneros no patogénicos. Entre estos géneros se encuentran *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Azotobacter* spp., *Serratia* spp., *Azospirillum* spp. y *Rhizobium* spp. ([Thomludi et al., 2019](#)). Estos microorganismos inducen el crecimiento vegetal a través de mecanismos directos e indirectos ([Hamid et al., 2021](#)).

Los mecanismos directos se relacionan con procesos de nutrición y desarrollo vegetal. Estos procesos comprenden el incremento de materia orgánica en el suelo y su posterior biodegradación, el mejoramiento de la capacidad de intercambio catiónico, y el aumento en la retención de agua y la capacidad tampón del suelo. Por otro lado, los mecanismos indirectos se asocian a la sanidad de la planta mediante la generación de antibióticos o la inducción de resistencia sistémica ([Cabrera et al., 2018](#)).

Quizá uno de los mejores ejemplos de uso de consorcios microbianos, con mayor información y base científica, es la combinación de bacterias promotoras del crecimiento con hongos formadores de micorrizas. Esta asociación muestra mejores resultados en rendimiento y calidad de los cultivos.

Además, el consorcio mejora la eficiencia de la fertilización química.

Eficacia de los consorcios microbianos en los cultivos

La vida en asociación genera una mayor resistencia a las fluctuaciones del ambiente, ya que promueve la estabilidad de los miembros que la conforman a lo largo del tiempo (Santoyo et al., 2021). Por lo tanto, la aplicación de consorcios bacterianos en problemas agrícolas, donde los cultivos son atacados frecuentemente por varios hongos, puede constituir una nueva alternativa. Esta aplicación puede tener un mejor resultado en la prevención o el control de las enfermedades fúngicas, e incluso aporta beneficios como la estimulación del crecimiento de la planta (Mondal et al., 2020).

Estudios recientes demuestran la efectividad de un consorcio bacteriano integrado por el antagonista *Bacillus velezensis*, el cual presenta una actividad sinérgica contra la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum* en diferentes tipos de cultivos. Esta efectividad se observó tanto en condiciones de invernadero como de campo, con eficacias similares a las del control químico. Los resultados confirmaron que las cepas tuvieron un mayor potencial para controlar el marchitamiento por *Fusarium* en la uchuva (*Physalis peruviana*) cuando se aplicaron como un consorcio, en comparación con la aplicación de cepas individuales por separado (Izquierdo-García et al., 2021).

A su vez, un trabajo similar mostró la efectividad de un consorcio constituido por *Bacillus megaterium*, *Bacillus marisflavi*, *Exiguobacterium aurantiacum* y *Pseudomonas mendocina*. Este consorcio se sometió a ensayos de antagonismo que mostraron buenos resultados. Además, se evidenció que el consorcio participó en procesos importantes como la promoción del crecimiento vegetal, la solubilización de fosfato, la fijación de nitrógeno y la producción de ácido indolacético (AIA). También se destacó por movilizar nutrientes, al solubilizar hierro y fósforo, y por estimular la biomasa, por lo que se consideró con potencial para ser utilizado como biofertilizante (O'Connor Mendoza, 2019).

En condiciones de invernadero, el uso de bioestimulantes fúngicos y bacterianos de diferente origen filogenético (*Penicillium*, *Bacillus* y *Pseudomonas*) presentó efectos estimulantes muy similares, ya se aplicaran como una sola cepa o como consorcios, sobre el crecimiento de las plantas y el rendimiento de tomate (Bradáčová et al., 2019). Estas observaciones en sistemas controlados pueden asociarse a las condiciones de protección, como el uso de macetas y un pequeño volumen de suelo o sustrato equilibrado en materia orgánica. Dichas condiciones ofrecen un ambiente óptimo para la colonización efectiva de las raíces por parte del microorganismo seleccionado.

Por otra parte, en el mismo estudio de Bradáčová et al. (2019), realizado en condiciones de campo, el efecto de los consorcios microbianos fue muy superior al de los

bioinoculantes de una sola cepa. Estos resultados se explican por la mayor flexibilidad de los consorcios para enfrentar los factores limitantes presentes en el suelo. Un ejemplo de estos factores es la baja disponibilidad de fósforo.

Varias investigaciones han informado los efectos de la inoculación de consorcios microbianos en especies de frutales andinos y otros cultivos. En mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth), su inoculación resultó en una mayor productividad (Viera et al., 2019, 2020). En portainjertos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), se incrementó la concentración de fósforo en tejido foliar (Viera, Campaña Cruz, et al., 2017). En arándano (*Vaccinium corymbosum*), el consorcio incrementó el peso seco de raíces y brotes (Schoebitz et al., 2016). En cerezos (*Prunus* sp.), se aumentó el diámetro, el volumen y el peso seco de las raíces (Gluszczyk et al., 2020).

Específicamente en aguacate (*Persea americana* Mill.), la inoculación de microorganismos se ha evaluado en vivero debido a la importancia crítica de esta fase. Sotomayor et al. (2019) registraron incrementos significativos en la absorción de nitrógeno, magnesio, calcio, manganeso, hierro y cobre en raíces, hojas y tallo con inoculaciones de *T. harzianum* y *G. iranicum*. Adicionalmente, Alvarado (2017), Barra et al. (2017) y Viera et al. (2017b) informaron mayor altura, un incremento en el contenido de clorofila y un mayor peso seco en plántulas inoculadas.

Sotomayor et al. (2022) aplicaron consorcios microbianos en un sistema de producción de plántulas de aguacate cultivar 'Criollo'. Los investigadores informaron un efecto favorable de los microorganismos evaluados sobre el crecimiento de las plántulas y la asimilación de nutrientes. Los tratamientos consistieron en consorcios microbianos formulados como productos comerciales, los cuales se aplicaron en diferentes dosis y con distintas frecuencias. Los consorcios empleados incluyeron micorrizas (Fungifert®), *Trichoderma* spp. (Trichoeb 5WP®), ReviB® y ReFuerza®. El producto ReviB® estuvo constituido por *Bacillus thuringiensis*, *B. subtilis*, *B. megaterium*, *B. licheniformis*, *Trichoderma harzianum*, *T. viridae*, *Pseudomonas fluorescens*, *Penicillium* sp., *Aspergillus oryzae*, *Beauveria bassiana*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Paecilomyces lilacinus*. Por su parte, ReFuerza® contuvo *Paecilomyces lilacinus*, *Beauveria bassiana*, *Bacillus licheniformis*, *Streptomyces* spp., *Saccharomyces cerevisiae* y *Pochonia chlamydospora*.

Sedeño-Mota (2021) demostró que la aplicación de un consorcio bacteriano conformado por tres cepas del género *Bacillus* inhibió el desarrollo de *Lasiodiplodia pseudotheobromae* en el cultivo de mango (*Mangifera indica*) var. Manila. Esta inhibición se confirmó tanto en condiciones in vitro como in vivo. En un estudio previo, (Sedeño-Mota, 2019) evaluó las cepas bacterianas por separado bajo condiciones in vitro contra el mismo patógeno. Aquellas pruebas mostraron porcentajes de inhibición entre 65% y 70% en ensayos de antagonismo directo y con compuestos orgánicos volátiles.

La integración de las cepas en un consorcio bacteriano incrementó la inhibición del crecimiento fúngico de manera significativa. El consorcio logró porcentajes de inhibición del 86.93% en antagonismo directo y del 87.73% con compuestos orgánicos volátiles. Estos resultados destacan que la formulación como consorcio genera un mayor efecto inhibitorio que la aplicación individual de las cepas.

El uso de un consorcio de cepas bacterianas con actividad inhibitoria contra enfermedades fúngicas puede mejorar la eficacia del biocontrol. Esta mejora se debe a las interacciones que ocurren entre las cepas, las cuales generan una mayor resistencia a las fluctuaciones ambientales. La estabilidad de los miembros del consorcio se promueve mediante la compatibilidad metabólica y ecológica. Los mecanismos de acción son directos o indirectos e incluyen la producción de metabolitos secundarios y compuestos antimicrobianos. Además, los consorcios mejoran la absorción y la fijación de nutrientes (Vinchira-Villarraga & Moreno-Sarmiento, 2019). De este modo, se optimizan los mecanismos de control biológico y se amplía el espectro de acción contra enfermedades. En consecuencia, las cepas bacterianas pueden realizar diferentes funciones dentro de la planta, tales como la protección o la promoción del crecimiento vegetal (PGPR) (Mondal et al., 2020; Niu et al., 2020).

Los microorganismos de montaña (MM) se presentan como una alternativa agroecológica. Estos consorcios microbianos se obtienen de sistemas edáficos (Umaña et al., 2017). Los MM se consideran la base para la elaboración de vióles o biofermentos, que son fertilizantes con actividad biológica. Representan una tecnología de bajo costo para los productores, ya que se elaboran con insumos locales. Su aplicación varía en diferentes sistemas productivos, lo que les confiere gran interés para los sistemas agrícolas y pecuarios (Melgar Valdes et al., 2013).

Diversos grupos funcionales destacan en la composición de los MM, entre los que se incluyen actinomicetos, bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas, micorrizas y levaduras (Castro Barquero et al., 2015). Estos grupos microbianos tienen el potencial para incrementar la materia orgánica y regular el pH de los suelos. También facilitan la absorción de nutrientes por las plantas y las protegen contra patógenos. Otras funciones relevantes son la inducción de resistencia al estrés, la solubilización de nutrientes poco disponibles como el fósforo, la fijación de nitrógeno y la mejora de la estructura del suelo (Kibblewhite et al., 2008).

Acosta-Almánzar (2011) demostró el potencial de los MM a través de aplicaciones foliares en tomate. El autor concluyó que el uso de cepas nativas de una localización geográfica cercana a la zona de cultivo produce mejores resultados. Macías-Coutiño et al. (2021) estudiaron los efectos potenciales de estos consorcios microbianos en el cultivo de maíz. Los investigadores evaluaron el efecto de los MM sobre variables de crecimiento y producción de biomasa en un agroecosistema de maíz bajo manejo agroecológico en Villaflores, Chiapas,

México. El tratamiento con MM, cuya fuente de inóculo provino del sitio más cercano a la región experimental, obtuvo los mayores efectos sobre los indicadores de crecimiento y producción de biomasa.

De manera que, la eficacia de los consorcios de microorganismos puede enfocarse desde muchos puntos de vista:

- Que actúen como agentes de control biológico, es decir, que ayuden al control de enfermedades causadas por otras bacterias y hongos patógenos.
- Que produzcan una inducción de los mecanismos de resistencia a patógenos y a factores abióticos.
- Que sean productores de sustancias estimulantes, lo que provoca un aumento en la velocidad de desarrollo del sistema radical, un aumento del vigor y una mayor productividad.
- Que sean capaces de solubilizar macronutrientes, como fósforo y potasio, y de metabolizar la materia orgánica.
- Que produzcan enzimas extracelulares y fitohormonas, como las auxinas.
- Que secreten sideróforos, sustancias quelantes de hierro.
- Que sean capaces de fijar nitrógeno atmosférico.
- Que promuevan el crecimiento vegetal y estimulen el establecimiento de otros microorganismos beneficiosos asociados a las raíces como las micorrizas.
- Que lleguen a degradar precursores del etileno.
- Que produzcan proteasas y otras enzimas para poder degradar una gran variedad de sustratos naturales.

Potencialidades agronómicas y experiencia de uso en Cuba

El programa para la recuperación y desarrollo de bioplaguicidas, biofertilizantes y bioestimulantes inició en el período 2010-2011. Su objetivo consistió en sustituir importaciones para la producción agroalimentaria en Cuba. Este programa incluyó 25 productos como resultado de las políticas educacionales y científico-técnicas establecidas por la dirección del país. La base microbiológica de los bioproductos obtenidos en Cuba se presenta en la [tabla 1](#).

La experiencia de uso de estos bioproductos en la práctica productiva se basa en su aplicación como inoculantes de cepa única. Su implementación se realiza mediante la integración en paquetes o carteras de bioproductos específicos para cada cultivo. Esta estrategia permite una aproximación técnica especializada para diferentes sistemas agrícolas.

En el libro "Bioproductos. Manejo de cultivos con paquetes tecnológicos agroecológicos". Compendio, (Marrero, 2020), se destaca la comercialización de estos bioproductos agrícolas y otros. Estos productos se ofrecen como paquetes tecnológicos agroecológicos para cultivos como frijol, maíz, garbanzo, arroz, ajo-cebolla, tomate-pimiento, frutabomba, col y boniato.

Tabla 1. Base Microbiológica de los bioproductos obtenidos en Cuba

| Bioplaguicidas (15) | Microorganismo |
|-----------------------------|----------------------------------|
| KLAMIC | <i>Pochonia chlamydosporia</i> |
| THURISAVE 3, 13, 24, 25, 26 | <i>Bacillus thuringiensis</i> |
| TRICOSAVE 34, 53, | <i>Trichoderma harzianum</i> |
| TRICOSAVE TS3 | <i>Trichoderma viride</i> |
| VERTISAVE 5 | <i>Lecanicillium lecanii</i> |
| METASAVE 11 | <i>Metarhizium anisopliae</i> |
| BASISAVE 1 | <i>Beauveria bassiana</i> |
| GLUTICID | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> |
| NEMACID VERTICID | <i>Lecanicillium sp</i> |
| Biofertilizantes (6) | Microorganismo |
| DIMARGON | <i>Azotobacter chroococum</i> |
| FOSFORINA | <i>Pseudomonas fluorescens</i> |
| BIOFERT | <i>Rhizobium sp</i> |
| AZOFERT-S | <i>Bradyrhizobium elkanii</i> |
| ECOMIC | <i>Glomus cubense</i> |
| NITROFIX | <i>Azospirillum brasiliense</i> |
| Bioestimulantes (4) | Microorganismo |
| BIOENRAIZ | <i>Rhizobium sp.</i> |
| FITOMAS E BIOJAS | <i>Botryodiplodia theobromae</i> |
| BIOBRAS 16 | ----- |

La fundamentación técnica fue desarrollada por la empresa Labiofam Sancti Spiritus. Esta contribución resultó esencial para la sostenibilidad de los sistemas agroproductivos.

La implementación de estos paquetes tecnológicos permitió no solo contribuir a la sustitución de importaciones. También demostró que los productos de la ciencia nacional hacen posible una producción en armonía con la naturaleza. Este enfoque garantiza una producción agrícola sostenible.

Los MM han representado en Cuba una alternativa agroecológica relevante. Están constituidos por consorcios microbianos obtenidos en diferentes regiones del país. Su uso propuesto integra las tres funciones: bioplaguicida, biofertilizante y bioestimulante (Abreu-Cruz et al., 2024; Morejón-Sánchez et al., 2024; Rodríguez et al., 2024). Estos consorcios se han incorporado a los paquetes tecnológicos agroecológicos (Marrero, 2020).

Factores que afectan la eficiencia

Existen factores a nivel de producto y de campo que afectan la eficiencia de los productos de cepa única y de los consorcios microbianos. Muchas propuestas prometedoras solo alcanzan la etapa de prototipo y pocas llegan al mercado comercial, lo cual se debe con frecuencia a una formulación de mala calidad. Esta mala calidad incluye la compatibilidad deficiente y la falta de estabilidad de las sustancias preservantes con el paso del tiempo. Por lo tanto, este aspecto requiere atención para mantener la concentración y la eficacia del microorganismo, incluso en condiciones ambientales adversas.

Según la empresa española TimacAgro, la investigación y el desarrollo de nuevos procesos de formulación constituyen la clave para multiplicar los beneficios de los microorganismos seleccionados. Este trabajo de innovación incrementa los beneficios para la planta. Gracias a estos avances, las soluciones biológicas mantienen su viabilidad en el tiempo y alcanzan la máxima eficacia cuando entran en contacto con el cultivo.

Otro aspecto de gran importancia es la concentración de los inoculantes. En muchos productos, esta concentración resulta muy baja y, con las dosis recomendadas, no se logran las concentraciones adecuadas en el suelo. Un producto inoculante de buena calidad debe tener un mínimo de 10^8 UFC/ml (o por gramo) de producto, en relación con cada una de las cepas que contiene, en el caso de los consorcios.

A nivel de campo, diversos factores restringen los efectos beneficiosos de la inoculación. La falta de materia orgánica, el exceso de nutrientes disponibles, el estrés ambiental y condiciones extremas de temperatura o pH son algunas de estas limitaciones. El suministro de agua limitado o en exceso, la limitación de oxígeno y la salinidad también afectan el resultado.

Esta restricción de los efectos beneficiosos depende más del potencial de respuesta de las plantas hospedantes, el cual está determinado genéticamente, y de la competencia con la microbiota nativa, que de las propiedades promotoras del crecimiento vegetal que poseen los inoculantes (Marrero, 2020).

Conclusiones

Los consorcios microbianos presentan ventajas significativas sobre los productos de cepa única. Su biodiversidad promueve la adaptabilidad a diferentes suelos y una acción sinérgica que amplía el espectro de beneficios, lo que resulta en un mejor crecimiento y resiliencia de los cultivos. Esta polivalencia se traduce en una mayor eficacia para promover el crecimiento vegetal, controlar patógenos y mejorar la nutrición.

La eficacia de los consorcios microbianos se fundamenta en la interacción sinérgica entre sus componentes. Combinaciones específicas de bacterias y hongos, como micorrizas con bacterias promotoras del crecimiento, mejoran la absorción de nutrientes, incrementan la tolerancia al estrés y controlan enfermedades de manera más efectiva que las cepas aplicadas de forma individual, lo que potencia el rendimiento del cultivo.

La efectividad de los inoculantes microbianos, ya sean de cepa única o consorcios, depende críticamente de factores como una formulación estable, una concentración adecuada y las condiciones del campo. La falta de materia orgánica, el estrés ambiental y la competencia con la microbiota nativa pueden limitar su éxito, donde la calidad del producto y el entorno son factores determinantes para su eficiencia.

Referencias

- Abbas, M., Hamza, M., Youssef, H., Youssef, G., Fayez, M., Monib, M., & Hegazi, N. (2014). Bio-preparates support the productivity of potato plants grown under desert farming conditions of north Sinai: Five years of field trials. *Journal of Advanced Research*, 5, 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.11.001>
- Abreu-Cruz, E. O., Liriano-González, R., Pérez-Hernández, Y., Pérez-Ramos, J., Cruz-Moliner, M. O., & Arias-Cervantes, Y. de los Á. (2024). Efecto de los microorganismos eficientes en el rendimiento biológico de plántulas de henequén en vivero. *Ingeniería Agrícola*, 14(4).
- Acosta-Almánzar, H. A. (2011). *Microorganismos eficientes de montaña: Evaluación de su potencial bajo manejo agroecológico de tomate en Costa Rica* [PhD Thesis]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Ali, S. M., Hamza, M. A., Amin, G., Fayez, M., El-Tahan, M., Monib, M., & Hegazi, N. A. (2005). Production of biofertilizers using baker's yeast effluent and their application to wheat and barley grown in north Sinai deserts. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 51(6), 589-604. <https://doi.org/10.1080/03650340500207508>
- Alvarado, L. (2017). *Efecto de microorganismos benéficos en el crecimiento y desarrollo de plántulas de aguacate (Persea americana) para los valles interandinos del Ecuador* [Master's Thesis]. Universidad de las Américas.
- Barra, P. J., Inostroza, N. G., Mora, M. L., Crowley, D. E., & Jorquera, M. A. (2017). Bacterial consortia inoculation mitigates the water shortage and salt stress in an avocado (*Persea americana* Mill.) nursery. *Applied Soil Ecology*, 111, 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.11.008>
- Bilal, M., Ayub, M., Tariq, M., Tahir, M., & Nadeem, M. (2017). Dry matter yield and forage quality traits of oat (*Avena sativa* L.) under integrative use of microbial and synthetic source of nitrogen. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(3), 236-241. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.08.002>
- BioPunto. (2023). *Cómo impulsar la salud vegetal usando consorcios microbianos*. <https://biopunto.cl/>
- Bradáčová, K., Florea, A. S., Bar-Tal, A., Minz, D., Yermiyahu, U., Shawahna, R., & Weinmann, M. (2019). Microbial consortia versus single-strain inoculants: An advantage in PGPM-assisted tomato production. *Agronomy*, 9(2), 105-110. <https://doi.org/10.3390/agronomy9020105>
- Cabrera, E., Bonilla, B., & Aguilar, M. (2018). Interacciones entre plantas y bacterias promotoras de crecimiento vegetal. *Revista CITECSA*, 10(15), 23-27.
- Castro Barquero, L., Murillo Roos, M., Uribe Lorío, L., & Mata Chinchilla, R. (2015). Inoculación al suelo con *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum oryzae*, *Bacillus subtilis* y microorganismos de montaña y su efecto sobre un sistema de rotación soya-tomate bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense*, 39(3), 21-36. <https://doi.org/10.15517/rac.v39i3.21787>
- Colquehuanca, G. S., & Blanco, M. W. (2021). Importancia y beneficios del *Trichoderma* en la producción agrícola. *Revista Estudiantil AGRO-VET*, 5(2), 78-82.
- Dal Cortivo, C., Barion, G., Visioli, G., Marrarozzi, M., Mosca, G., & Vamerali, T. (2017). Increased root growth and nitrogen accumulation in common wheat following PGPR inoculation: Assessment of plant-microbe interactions by ESEM. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247, 396-408. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.014>
- Gluzczek, S., Derkowska, E., Sas-Paszt, L., Sitarek, M., & Sumorok, B. (2020). Influence of bioproducts and mycorrhizal fungi on the growth and yielding of sweet cherry trees. *Hort. Sci. (Prague)*, 47(2), 122-129. <https://doi.org/10.17221/12/2019-HORTSCI>
- Hamid, B., Zaman, M., Farooq, S., Fatima, S., Sayyed, R. Z., Baba, Z. A., & others. (2021). Bacterial plant biostimulants: A sustainable way towards improving growth, productivity, and health of crops. *Sustainability*, 13(6), 2856. <https://doi.org/10.3390/su13052856>
- Hannan, A., Hasan, M., & Hossain, I. (2013). Impact of Dual Inoculations with *Rhizobium* and *Trichoderma* on Root Rot disease and Plant Growth Parameters of Grasspea under Field Conditions. *Persian Gulf Crop Protection*, 2(1), 1-9.
- Izquierdo-García, L. F., Cotes, A. M., & Moreno-Velandia, C. A. (2021). Screening for effective microbial consortia against Fusarium wilt of cape gooseberry (*Physalis peruviana*). *BioControl*, 66(2), 255-267. <https://doi.org/10.1007/s10526-020-10059-2>
- Kheyri, Z., Moghaddam, M., & Farhadi, N. (2022). Inoculation efficiency of different mycorrhizal species on growth, nutrient uptake, and antioxidant capacity of *Calendula officinalis* L.: A comparative study. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(1), 1127-1140. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00717-4>
- Kibblewhite, M. G., Ritz, K., & Swift, M. J. (2008). Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 685-701. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2178>
- Macías-Coutiño, P., Guevara-Hernández, F., Ruíz-Valdiviezo, V. M., Reyes-Sosa, M. B., La O-Arias, M. A., & Pinto-Ruiz, R. (2021). Efecto de tres consorcios microbianos en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 7(13), 1576-1584.
- Marra, R., Lombardi, N., Piccolo, A., Bazghaleh, N., Prashar, P., Vandenberg, A., & Woo, S. (2022). Mineral biofortification and growth stimulation of lentil plants inoculated with *Trichoderma* strains and metabolites. *Microorganisms*, 10(1), 87. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010087>

- Marrero, A. (2020). *Bioproductos. Manejo de cultivos con paquetes tecnológicos agroecológicos*. Editorial desconocida.
- Melgar Valdes, C. E., Barba Macías, E., Álvarez-González, C. A., Tovilla Hernández, C., & Sánchez, A. J. (2013). Efecto de microorganismos con potencial probiótico en la calidad del agua y el crecimiento de camarón Litopenaeus vannamei (Decapoda: Penaeidae) en cultivo intensivo. *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1215-1228.
- Mondal, S., Halder, S. K., Yadav, A. N., & Mondal, K. C. (2020). Microbial Consortium with Multifunctional Plant Growth-Promoting Attributes: Future Perspective in Agriculture. En *Advances in Plant Microbiome and Sustainable Agriculture* (pp. 219-258). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3208-5_10
- Morejón-Sánchez, Y., Lorente-González, G. Y., & Concepción Laffitte, O. (2024). Efecto de Microorganismos Eficientes (ME-50) en piña (Ananas comosus var. Comosus) MD2. *Universidad & Ciencia*, 12(2), 97-111.
- Niu, B., Wang, W., Yuan, Z., Sederoff, R. R., Sederoff, H., Chiang, V. L., & Borriss, R. (2020). Microbial Interactions Within Multiple-Strain Biological Control Agents Impact Soil-Borne Plant Disease. *Frontiers in Microbiology*, 11, 2452. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.585404>
- O'Connor Mendoza, J. L. (2019). *Descifrando el contenido microbiano de bioinsumos comerciales para el diseño de un consorcio con potencial biofertilizante* [PhD Thesis]. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.
- Paul, S., Rathi, M., & Tygai, S. P. (2011). Interactive effect with AM fungi and Azotobacter inoculated seed on germination, plant growth and yield in cotton (Gossypium hirsutum). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 81(11), 1041-1045.
- Rodríguez, N., López, L., & Jiménez, J. (2024). Efecto bioestimulante de digestato y microorganismos eficientes sobre Lactuca sativa en suelo con y sin salinidad. *Centro Azúcar*, 51(3).
- Rojas. (2023). *La importancia de los consorcios de microorganismos en la agricultura*. <https://servalesa.com/blog/>
- Santoyo, G., Guzmán-Guzmán, P., Parra-Cota, F. I., Santos-Villalobos, S. D. L., Orozco-Mosqueda, M., & Glick, B. R. (2021). Plant Growth Stimulation by Microbial Consortia. *Agronomy*, 11(2), 219. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020219>
- Schoebitz, M., López, M. D., Serrí, H., Martínez, O., & Zagal, E. (2016). Combined application of microbial consortium and humic substances to improve the growth performance of blueberry seedlings. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16(4), 1010-1023. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162016000400014>
- Sedeño-Mota, J. C. (2019). *Uso de microorganismos como control biológico del hongo Lasiodiplodia pseudotheobromae agente causal de la pudrición de frutos en mango* [Master's Thesis]. Universidad Veracruzana.
- Sedeño-Mota, J. C. (2021). *Formación de un consorcio bacteriano para el manejo orgánico de Lasiodiplodia pseudotheobromae, agente causal de la pudrición en frutos de mango* [Master's Thesis]. Universidad Veracruzana.
- Sharma, R., Paliwal, J. S., Chopra, P., Dogra, D., Pooniya, V., Bisaria, V. S., Swarnalakshmi, K., & Sharma, S. (2017). Survival, efficacy and rhizospheric effects of bacterial inoculants on Cajanus cajan. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 240, 244-252. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.019>
- Sotomayor, A., Gonzáles, A., Jin Cho, K., Villavicencio, A., Jackson, T., & Viera, W. (2019). Effect of the application of microorganisms on the nutrient absorption in avocado (Persea americana Mill.) seedlings. *Journal of the Korean Society of International Agriculture*, 31(1), 17-24.
- Sotomayor, A., Mejías, P., Morocho, D., Gaona, P., Viteri, P., Medina, L., & Viera, W. (2022). Consorcios microbianos aplicados en un sistema de producción de plántulas de aguacate cultivar «Criollo». *Manglar*, 19(1), 15-23. <https://doi.org/10.17268/manglar.2022.002>
- Thomloui, E., Tsalgatidou, P., Douka, D., Spantidos, T., Dimou, M., Venieraki, A., & Katinakis, P. (2019). Multistrain versus single-strain plant growth promoting microbial inoculants-The compatibility issue. *Hellenic Plant Protection Journal*, 12(2), 61-77. <https://doi.org/10.2478/hppj-2019-0007>
- Umaña, S., Rodríguez, K., & Rojas, C. (2017). ¿Funcionan realmente los microorganismos de montaña (MM) como estrategia de biofertilización? Un enfoque de ingeniería de biosistemas. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*, 51(2), 133-144. <https://doi.org/10.15359/rca.51-2.7>
- Viera, W., Campaña Cruz, D. F., Lastra, A., Vásquez, W., Viteri, P., & Sotomayor, A. (2017). Micorrizas nativas y su efecto en dos portainjertos de tomate de árbol (Solanum betaceum Cav.). *Bioagro*, 29(2), 105-114.
- Viera, W., Campaña, D., Gallardo, D., Vásquez, W., Viteri, P., & Sotomayor, A. (2017). Native mycorrhizae for improving seedling growth in avocado nursery (Persea americana Mill.). *Indian Journal of Science and Technology*, 10(25), 1-13. <https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i25/114259>
- Viera, W., Noboa, M., Martínez, A., Báez, F., Jácome, R., Medina, L., & Jackson, T. (2019). Trichoderma asperellum increases crop yield and fruit weight of blackberry (Rubus glaucus) under subtropical Andean conditions. *Vegetos*, 32(2), 209-215. <https://doi.org/10.1007/s42535-019-00024-5>
- Viera, W., Noboa, M., Martínez, A., Jácome, R., Medina, L., & Jackson, T. (2020). Trichoderma sp. Application increases yield and individual fruit weight of blackberries grown by small farmers in Ecuador. *Acta Horticulturae*, 1277, 287-292. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1277.40>
- Viera-Arroyo, W. F., Tello-Torres, C. M., Martínez-Salinas, A. A., Navia-Santillán, D. F., Medina-Rivera, L. A., Delgado-Parra, A. G., & Jackson, T. (2020). Control Biológico: Una herramienta para una agricultura sustentable, un punto

- de vista de sus beneficios en Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 128-149.
- Vinchira-Villarraga, D. M., & Moreno-Sarmiento, N. (2019). Control biológico: Camino a la agricultura moderna. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(1), 2-5.
- Wang, L., Yang, D., Ma, F., Wang, G., & You, Y. (2022). Recent advances in responses of arbuscular mycorrhizal fungi-Plant symbiosis to engineered nanoparticles. *Chemosphere*, 286, 131644. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131644>
- Yasmin, S., Hafeez, F., Schmid, M., & Hartmann, A. (2013). Plant-beneficial rhizobacteria for sustainable increased yield of cotton with reduced level of chemical fertilizer. *Pakistan Journal of Botany*, 45(2), 655-662.
- Zhang, L., Chu, Q., Zhou, J., Rengel, Z., & Feng, G. (2021). Soil phosphorus availability determines the preference for direct or mycorrhizal phosphorus uptake pathway in maize. *Geoderma*, 403, 115261. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115261>