



*Las opiniones y los contenidos de los trabajos publicados son responsabilidad de los autores, por tanto, no necesariamente coinciden con los de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad.*



Esta obra por la Red Internacional de Investigadores en Competitividad se encuentra bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 3.0 Unported. Basada en una obra en riico.net.

## Las Biofábricas como estrategia para impulsar el Desarrollo Agrícola Sostenible

<sup>1</sup>Zoé T. Infante-Jiménez

\*Priscila Ortega-Gómez

\*Carlos Ortiz-Paniagua

### Resumen

Esta investigación tiene como objetivo explicar los factores que afectan la innovación de los biofertilizantes producidos y comercializados por las biofábricas en Michoacán. Los biofertilizantes enfrentan problemas en la producción, transporte y almacenamiento, así como la falta de conocimiento entre los agricultores. Sin embargo, ofrecen beneficios como la mitigación del cambio climático, la reducción de la contaminación y mayores rendimientos de cultivos. Los biofertilizantes se basan en microorganismos como *Azospirillum*, *Bacillus* y micorrizas. Se aplican en cultivos como maíz, frijoles, tomates y café. La metodología incluyó ecuaciones estructurales y cuestionarios a productores. A través del programa Smartpls4, se determinó que las variables latentes exógenas de rentabilidad, sostenibilidad y productividad son significativas, con el alfa de Crombach de 0,889, que demuestra fiabilidad y R<sup>2</sup> de 0,785, por lo que el modelo propuesto explica el 78,5% de la innovación en la producción y comercialización de biofertilizantes en Michoacán.

*Palabras clave:* Biofábricas, Desarrollo, Agrícola, Sostenible

### Abstract

This research aims to explain the factors that affect the innovation of biofertilizers produced and commercialized by biofactories in Michoacán. Biofertilizers face challenges in production, transportation, and storage, as well as a lack of knowledge among farmers. However, they offer benefits such as climate change mitigation, pollution reduction, and increased crop yields. Biofertilizers are based on microorganisms like *Azospirillum*, *Bacillus*, and mycorrhizae. They are applied to crops such as maize, beans, tomatoes, and coffee. The methodology included structural equations and questionnaires to producers. Through the Smartpls4 program, it was determined that the exogenous latent variables of profitability, sustainability, and productivity are significant, with a Cronbach's alpha of 0.889, demonstrating reliability, and an R<sup>2</sup> of 0.785, indicating that the proposed model explains 78.5% of the innovation in the production and commercialization of biofertilizers in Michoacán.

*Keywords:* Biofactories, Development, Agricultural, Sustainable

---

<sup>1</sup> \*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

## **Introducción**

México se destaca como el 11° productor agrícola a nivel mundial, impulsado por su apertura comercial y la firma de múltiples tratados de libre comercio. Este auge exportador ha convertido al sector frutícola en una actividad estratégica, donde las berries, después de la cerveza y el aguacate, representan el 10.6% del valor total de las exportaciones. Sin embargo, el desarrollo agrícola mexicano ha sido a costa de un alto impacto ambiental, con una significativa contaminación de suelos, aguas y atmósfera. El sector agropecuario, aunque contribuye con el 15% del Producto Interno Bruto, también es responsable de un considerable agotamiento y deterioro ambiental.

Los fertilizantes, particularmente los nitrogenados, son esenciales para la agricultura, pero su eficiencia es baja, con solo un 20% de su contenido aprovechado por las plantas, mientras el resto contribuye a la contaminación ambiental y al cambio climático. En contraste, los biofertilizantes, como alternativa sustentable, han demostrado ser más económicos y ecológicamente viables. México tiene una larga tradición en la investigación sobre fijación de nitrógeno, base de los biofertilizantes, siendo pionero en esta área desde la creación del Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno en 1980. A pesar de esto, no existen datos precisos sobre la superficie agrícola en la que se usan biofertilizantes en el país, aunque se estima que en 2018 se utilizaban en más de cuatro millones de hectáreas.

El uso de biofertilizantes en cultivos como el café ha permitido a los productores no solo reducir costos, sino también acceder a mercados orgánicos con precios más altos. El INIFAP ha comprobado que el uso de biofertilizantes puede reducir el uso de fertilizantes nitrogenados en un 30% sin afectar la productividad. En Michoacán, el programa de Agricultura Sustentable ha triplicado su presupuesto para 2020, buscando alcanzar 20 mil hectáreas con prácticas sustentables que incluyen el uso de biofertilizantes, lo que ha llevado a aumentos significativos en la producción de diversos cultivos.

A pesar de los beneficios de los biofertilizantes, la agricultura en Michoacán sigue altamente dependiente de agroquímicos, lo que genera problemas de salud y contaminación, incluyendo la disposición inadecuada de envases de agroquímicos. Estos problemas subrayan la necesidad urgente de una reconversión hacia prácticas agrícolas más sustentables. Además, el conflicto entre Rusia y Ucrania ha exacerbado la crisis de precios de los fertilizantes químicos, destacando la importancia de avanzar en la sustitución de estos por biofertilizantes.

El mercado de productos orgánicos, tanto a nivel local como internacional, representa una oportunidad significativa para la agricultura mexicana. En este contexto, la investigación sobre biofertilizantes en Michoacán es crucial para entender cómo la sustentabilidad, la productividad y la rentabilidad influyen en la innovación y adopción de estas prácticas. La hipótesis central de esta investigación es que estos factores son determinantes en la innovación de los biofertilizantes producidos y comercializados por las

biofábricas en Michoacán, lo que podría impulsar una transformación significativa en el sector agrícola de la región.

### **Agricultura Sustentable**

Una política de desarrollo sustentable apunta primero a una escala óptima de la economía en relación con el ecosistema. Después de tener una escala sustentable y socialmente definida y una distribución justa o al menos aceptable de la propiedad de las fuentes y sumideros, entonces el mercado determinará la asignación eficiente de recursos entre usos competitivos.

Espitia (2009), “si conociéramos los miles de efectos ecológicos ocultos que se producen durante el ciclo de vida de un producto, desde la fabricación hasta el desecho, aprovecharíamos dicho conocimiento para orientar nuestras decisiones de compra y tendríamos mayor poder para influenciar en el mundo del comercio y la industria”. Los productores agrícolas de Michoacán no sólo están reconociendo los efectos ecológicos de seguir utilizando fertilizantes convencionales, como degradación de sus suelos agrícolas, el alto costo de dichos insumos, las repercusiones en la inocuidad de los productos y la salud de las personas de los desechos de los agroquímicos tradicionales, sino que ya están aprovechando dicho conocimiento mediante una reconversión hacia los biofertilizantes y algunos de ellos en la propia fabricación en campo de los biofertilizantes de acuerdo a las necesidades de producción.

Heres Pulido citado por Espitia (2009) menciona que “los problemas ambientales contemporáneos se deben al uso indiscriminado y excesivo de los recursos naturales, además de la falta de conciencia sobre las repercusiones de nuestras actividades”. Un problema contemporáneo del campo mexicano es la degradación de los suelos, como ya se ha comentado debido a la cada vez más excesiva aplicación de fertilizantes industriales convencionales, que no reincorporan nutrientes de forma natural al suelo, sino que eliminan la flora y fauna del ambiente, lo que con el tiempo hace inútiles los suelos para la producción de la mayoría de los cultivos tradicionales de la región.

La agricultura sustentable, que también ha sido llamada agricultura alternativa, regenerativa, biológica, orgánica, biodinámica, agroecológica tiene como fin la formación de sistemas agrícolas que mitiguen o eliminen los problemas causados al ambiente por la agricultura convencional. Los sistemas agrícolas sustentables hacen uso de bienes y procesos naturales sin perjudicarlos y manteniéndolos para sus futuras generaciones (Pretty, Morison, & Hine, 2003). Mientras que la agricultura orgánica es considerada un sistema de producción que busca la sustentabilidad a través de la utilización y mantenimiento de los procesos ambientales, tales como el control biológico, formación del suelo y reciclaje de nutrimentos, entre otros (Sandhu, Wratten, & Cullen, 2010), la agricultura orgánica para poderse comercializar como tal no requiere aplicación de fertilizantes, pesticidas o cualquier otro tipo de agroquímico industrial sintético. Por lo que la agricultura orgánica es una forma de agricultura sustentable.

Entre los objetivos de la agricultura sustentable de acuerdo a Pretty (2003) son los siguientes:

- 1) Mayor incorporación de los procesos naturales (ciclo de nutrientes, fijación de nitrógeno,) a los procesos de producción agrícola.
- 2) Reducción de insumos externos e insumos no renovables.
- 3) Acceso más equitativo a los recursos.
- 4) Uso más intensivo de los recursos biológicos y genéticos de especies naturales.
- 5) Endogenismo
- 6) Asegurar la sustentabilidad ambiental y económica.
- 7) Manejo integral y eficiente del suelo, agua, energía.

Para Pretty (1995) en la agricultura sustentable los agroquímicos naturales tienen la ventaja de ser selectivos en su acción, ya que eliminan a las plagas y no a depredadores naturales que benefician a los cultivos, entre sus técnicas están la rotación de cultivos que contribuyen a la recuperación de la fertilidad de los suelos, previenen la erosión, reducen los deslaves.

La agricultura sustentable implica, entre otras cosas, conservación de los sistemas naturales a largo plazo, producción óptima con reducidos costos de producción, adecuado nivel de ingreso y beneficio por unidad de producción, satisfacción de las necesidades alimentarias básicas, y suficiente abastecimiento para cubrir las demandas y necesidades de las familias y comunidades rurales (Liverman, Hanson, Brown, & Merideth, 1988).

El número de productores agrícolas que emplean la agricultura sustentable es muy poco en el caso de los aguacateros de Michoacán son menos del 30%, y en el de los de zarzamora menos del 20%. Ya que su implementación es un proceso que lleva un cambio en la regeneración de los suelos, que dependiendo del tipo de cultivo pueden llevar años, así como mentalidad de los productores, principalmente por el desconocimiento de sus beneficios. Algunos productores de berries esperando obtener un producto orgánico inician con la agricultura sustentable, no incorporando agroquímicos convencionales en la producción y aplican biofertilizantes, pero si en alguna etapa de la producción se presenta una plaga o enfermedad, vuelven a la agricultura convencional, por el temor de perder su inversión.

La conversión hacia el empleo de biofertilizantes requiere capacitación, seguimiento de análisis del suelo e inversión inicial, que por las características de los biofertilizantes como son el corto periodo de vida en comparación con los convencionales, y el modo de aplicación, así como la costumbre de los agricultores que por años han empleado agroquímicos convencionales hacen que los agricultores le tengan aversión a la reconversión hacia una agricultura sustentable.

Como ya se ha comentado una de las limitaciones más importantes es el tiempo que llevan los procesos biológicos en la regeneración de los suelos, por lo que los productores con ciclos de producciones cortas como las frutillas son los menos convencidos en la reconversión hacia los biofertilizantes. Otro de los

impedimentos son los requisitos del comercio de agricultura orgánica, que exigen un total control del proceso de producción desde las labores de preparación hasta la forma como llega el producto a los estantes de los comercios a minoristas. Hoy en día, la tierra es vista como el factor más limitante y en peligro tanto para la vida como para la producción (Hugues & Crevoisier, 2022).

### **Biofertilizantes**

Una definición general de biofertilizantes, refieren que estos constituyen materiales orgánicos naturales, productos del reciclaje biológico o preparados por el hombre, que aplicados al suelo permiten incrementar la fertilidad o capacidad productiva sustituyendo parcial o totalmente la fertilización química (Vela, López, Sandoval, Tornero, & Cobos, 2018). De ahí que, la interpretación del término biofertilizante es muy amplia, representando desde microorganismos, abonos verdes y estiércoles, hasta extractos de plantas.

Un biofertilizante es un fertilizante orgánico natural que ayuda a proporcionar a las plantas todos los nutrientes que necesitan y a mejorar la calidad del suelo creando un entorno microbiológico natural (FAO, 2018). Los biofertilizantes son conocidos como bioinoculantes, inoculantes microbianos o inoculantes del suelo, son productos agrobiotecnológicos que contienen microorganismos vivos o latentes (bacterias u hongos, solos o combinados) y que son agregados a los cultivos agrícolas para estimular su crecimiento y productividad (SAGARPA, 2017), para incrementar el suministro y/o disponibilidad de nutrientes, contribuir al control de patógenos de las plantas.

No obstante, una definición dominante entre académicos del tema, los consideran productos que contienen microorganismos, que al ser inoculados pueden vivir asociados o en simbiosis con las plantas y le ayudan a su nutrición y protección (Vessey, 2003). Estos organismos se encuentran de forma natural en el suelo y abarcan diversos grupos; sin embargo, su población es afectada por el manejo de suelo y uso excesivo de agroquímicos (Grageda-Cabrera, González-Figueroa, Vera-Núñez, Aguirre-Medina, & Peña-Cabriales, 2018).

De ahí que, los biofertilizantes son fertilizantes que son producidos por la utilización de microorganismos vivos en biofábricas artesanales o industriales, los cuales son aplicados al suelo, semillas o sobre la superficie de las plantas, para optimizar el crecimiento de la planta por la mejora de la oferta de los elementos esenciales para los cultivos.

Los biofertilizantes incrementan la fertilidad del suelo a través de procesos tales como solubilización del fósforo, la fijación de nitrógeno y síntesis de sustancias que ayudan al desarrollo del cultivo. Estos procesos son completamente naturales y no causan daño en el medioambiente. Los biofertilizantes son amigables con el medioambiente, son una alternativa de los fertilizantes químicos, los cuales reducen las adversidades de los agroquímicos. Son económicos comparados con los fertilizantes convencionales ya

que además de mejorar la fertilidad de los suelos, restauran la disposición natural de nutrientes (MarketsandMarkets, 2021). Los biofertilizantes también son conocidos como bioinoculantes o inoculantes microbianos para aumentar la productividad de los cultivos considerado una de las contribuciones más importantes de la biotecnología y la microbiología a la agricultura moderna (Aguado-Santacruz, 2012).

En términos de aplicación, el mercado mundial de biofertilizantes se puede clasificar en cereales y granos, frutas y verduras, semillas oleaginosas y legumbres y otros segmentos, incluidos los céspedes de viveros y las plantas ornamentales. El segmento de productos del mercado de biofertilizantes se clasifica como fertilizantes fijadores de nitrógeno, movilizadores de fosfato y movilizadores de potasio.

En la agricultura sustentable, los microorganismos mantienen la fertilidad del suelo e incrementan la productividad de los cultivos. El uso de los biofertilizantes puede reducir la dependencia de los fertilizantes químicos que además de costosos degradan la rizósfera, degradan las características orgánicas y microbiológicas del suelo, merman el oxígeno disuelto y degradan el ecosistema (Plante, 2007).

Algunos factores que contribuyen a la respuesta de las plantas o a los efectos de diferentes tipos de fertilización y a la inoculación en el suelo de consorcios bacterianos son la variedad o cultivos utilizados, las características fisicoquímicas y microbiológicas del suelo y las interacciones, sinergias y antagonismos entre suelo, fertilizante y cultivos. Los componentes claves de un suelo saludable son altas poblaciones de organismos que promueven el crecimiento de las plantas.

Con la utilización de biofertilizantes se pretende el aumento de la productividad de los cultivos agrícolas, así como una mejor rentabilidad al disminuir los costos de producción a la vez que se recupera la fertilidad de los suelos, asegurando una sustentabilidad en la calidad de los suelos agrícolas que no los degrade, al contrario, aumente su fertilidad con el tiempo.

Los biofertilizantes agregan nutrientes a través de los procesos naturales, mediante la fijación de elementos como nitrógeno, fósforo, así como otros macro y micronutrientes necesarios para el desarrollo sano de los cultivos a través de la síntesis de sustancias promotoras del crecimiento. Los microorganismos en biofertilizantes restauran el ciclo natural de nutrientes del suelo y promueven el desarrollo de materia orgánica del suelo.

Con el uso de biofertilizantes, además de obtener plantas sanas, se mejora la sustentabilidad y la salud del suelo. Ya que, al enriquecer el suelo, lo vuelven más fértil y generan nutrientes para las plantas a través de microorganismos y sus subproductos. Por lo tanto, los biofertilizantes son muy preferidos sobre otros fertilizantes, ya que no contienen ningún producto químico que sea perjudicial para el suelo y los microorganismos que viven en él.

Los biofertilizantes son de naturaleza orgánica y tienen metabolitos secundarios de origen microbiano o microorganismos (Mishra & Dash, 2014). Para la producción de biofertilizantes, los microorganismos se aíslan del suelo, el agua, el aire o la rizosfera, que luego se procesan para concentrarse para su uso en el campo. Los microorganismos y metabolitos microbianos facilitan la liberación de minerales complejos del suelo en una forma más simple que actúa como un estimulante del crecimiento para un cultivo específico.

La producción de biofertilizantes se centra en países desarrollados, se fabrican por empresas gubernamentales o privadas e incluyen micorrizas, *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas* y agentes de biocontrol como *Trichoderma*. En muchos países en desarrollo no hay industrias de inoculantes, en muchas áreas rurales hay una renuencia a usar bacterias y hongos como microorganismos benéficos, en estas culturas los microbios están relacionadas con enfermedades humanas y de animales (Basham, 2008).

En México, la producción actual de biofertilizantes se realiza por pequeñas empresas, instituciones de educación e investigación y por el INIFAP, apoyada por el gobierno federal y/o por gobiernos estatales. A pesar de este desarrollo, la distribución y aplicación a gran escala ha tenido serias dificultades, principalmente por problemas de promoción y distribución (Grageda-Cabrera, Díaz-Franco, Peá-Cabriales, & Vera-Núñez, 2012).

Los biofertilizantes pueden clasificarse en diferentes formas según su tipo, acción y disponibilidad. Algunas de las funciones más importantes de los biofertilizantes son suministrar una mezcla de nutrientes, mantener la relación simbiótica, establecer enlaces microbianos en el suelo, mejorar la producción de cultivos, suprimir enfermedades patógenas nacidas en el suelo, mejorar la salud del suelo.

Una de las principales limitaciones en el sector agrícola es el uso de biofertilizantes para una mayor producción de cultivos por parte de los agricultores. Aunque hoy en día hay una serie de biofertilizantes disponibles en el mercado, su cantidad y calidad pueden variar según la unidad de producción. Antes de su lanzamiento al mercado, un biofertilizante debe poseer las cualidades previas necesarias:

**Disponibilidad:** los biofertilizantes deben estar fácilmente disponibles en el mercado. Ya que su fácil acceso reduce el costo de transporte y ahorra tiempo a los agricultores.

**Estabilidad de almacenamiento:** las formulaciones de biofertilizantes deben ser estables en una amplia gama de condiciones atmosféricas. La calidad de la formulación debe permanecer igual con la duración en el tiempo.

**Efectividad:** los biofertilizantes deben ser requeridos en una cantidad mínima para su aplicación en el campo, y deben ser efectivos para proporcionar la mezcla de nutrientes necesarios para los cultivos.

**Solubilidad y acción:** la formulación debe ser soluble en agua, ya que reduce el costo total y podría aplicarse mediante el método de pulverización en áreas más amplias del campo.

La fórmula debe proporcionar un suministro inmediato de nutrientes sin causar ningún efecto secundario en las plantas. Debe ser fácil de usar y no debe tener ningún efecto secundario en la salud del agricultor. Debe estar disponible para los agricultores a bajo costo, ya que también afecta el precio de la cosecha. Debe ser independiente de la temporada y permanecer disponible para los agricultores durante todo el año.

La innovación de biofertilizantes como parte de la agricultura sustentable debe ser:

- Apropiado: para adaptarse a las situaciones sociales e infraestructurales de los usuarios finales;
- Económicamente factible y viable: ser aplicable por todos los agricultores, independientemente de su estado y posición financiera, en relación con el retorno de la inversión;
- Respetuoso con el medio ambiente: enriquecer el medio ambiente o, al menos, no dañar las condiciones agroecológicas existentes;
- Estable: los aspectos positivos de la tecnología deben permanecer estables a largo plazo;
- Eficiente: utilizar el mínimo de biofertilizantes posibles para obtener la máxima producción.
- Adaptable: adaptable a las condiciones locales existentes;
- Socialmente aceptable y sustentable: aceptable por diferentes segmentos sociales y satisfacer necesidades personales;
- Administrativamente manejable: prácticamente implementada bajo ciertas estructuras burocráticas;
- Culturalmente deseable: se adapta a los diversos patrones culturales de la sociedad;
- Renovable: uso y reutilización sin aportes adicionales significativos;
- Productivo: tasa y cantidad de producción por unidad de tierra/insumo; rendimiento por unidad de área o insumo laboral, o inversión como una dimensión de la agricultura sustentable.

Entre las innovaciones en la aplicación de los biofertilizantes se encuentran el análisis químico del suelo, necesario para elaborar el calendario de aplicación de los biofertilizantes de acuerdo a las necesidades de los cultivos de acuerdo a su etapa biológica, otras innovaciones son el uso de sensores ópticos que ayudan a determinar las condiciones del suelo y las necesidades del cultivo para completar el ciclo de fertilización.

Los biofertilizantes comercializados se encuentran en versiones líquidas, que le dan mayor vida de anaquel, y permite una aplicación más fácil por parte de los productores. La aceptación de los productos es cada vez mayor, pero en el caso de los productores campesinos a pequeña escala el suministro depende de los programas gubernamentales (Barragán Ocaña, 2021).

### **Modelización de Ecuaciones Estructurales de Mínimos Cuadrados Parciales (PLS-SEM)**

Tomando en cuenta los 129 cuestionarios contestados a lo largo de las varias visitas realizadas a productores de los Reyes y Ziracuaretiro, Michoacán, se realizó una matriz de datos con 29 indicadores que se incorporaron a las tres variables latentes exógenas y a la variable endógena de innovación, a través del programa SmarthPLS4, se realizaron modelizaciones de ecuaciones estructurales de mínimos cuadrados parciales para llevar a cabo la presente investigación.

En la presente investigación se utilizó como escalada de medida la escala tipo likert de 5 a 1 donde el 5 indica que se esta completamente de acuerdo con el enunciado particular del cuestionario y 1 si se esta completamente en desacuerdo.

En el presente estudio se utilizó una codificación, como ya se ha mencionado anteriormente tipo Likert, en donde se asignaron números a las respuestas en el cuestionario, para facilitar el proceso de medida. Ofreciendo simetría con respecto a la categoría central de las opciones de respuestas de cada pregunta. PLS-SEM no hace ningún tipo de suposición sobre la distribución de los datos. En la presente investigación los encuestados valoraron las preguntas en una escala tipo Likert de 5 puntos, donde las puntuaciones más altas describieron mayores niveles de acuerdo en relación a una afirmación particular del cuestionario que se les proporcionó. En la matriz de datos del modelo las columnas representan las preguntas específicas en la encuesta y las filas contiene las respuestas de cada encuestador, por ejemplo la primera fila contiene las respuestas del encuestado 1. Las columnas muestran las respuestas a las preguntas de la encuesta. Se empleó el software SmartPLS4 para llevar a cabo los análisis PLS-SEM.

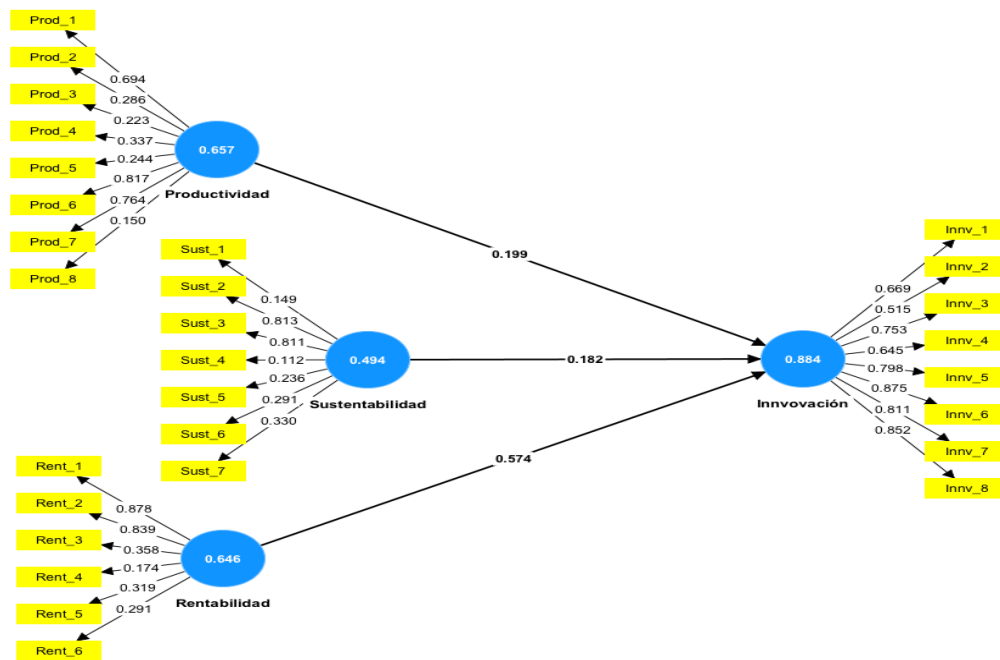
Para Cohen (1992) se necesitan sólo 54 observaciones para detectar valores  $R^2$  de alrededor de 0.25, suponiendo un nivel de significancia de 5% y una potencia estadística del 80%. Un valor  $t$  de 1.96 se traduce en un valor  $p$  de 0.05. Los valores  $p$  en los modelos de medida formativos deben ser inferiores a 0.05 para poder afirmar que los pesos externos son significativos a un nivel de significación del 5%.

### **Resultados**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos empleando la técnica estadística de modelización de ecuaciones estructurales de mínimos cuadrados parciales (PLS-SEM). Tomando en cuenta los 129 cuestionarios contestados a lo largo de las varias visitas realizadas a productores de los Reyes y Ziracuaretiro, Michoacán, se realizó una matriz de datos con 29 indicadores que se incorporaron a las tres variables latentes exógenas y a la variable endógena de innovación, a través del programa SmarthPLS4, se realizaron modelizaciones de ecuaciones estructurales de mínimos cuadrados parciales para llevar a cabo la presente investigación.

**Gráfica 1.**

*Modelo Estructural con la Variable Endógena Innovación como Dependiente*

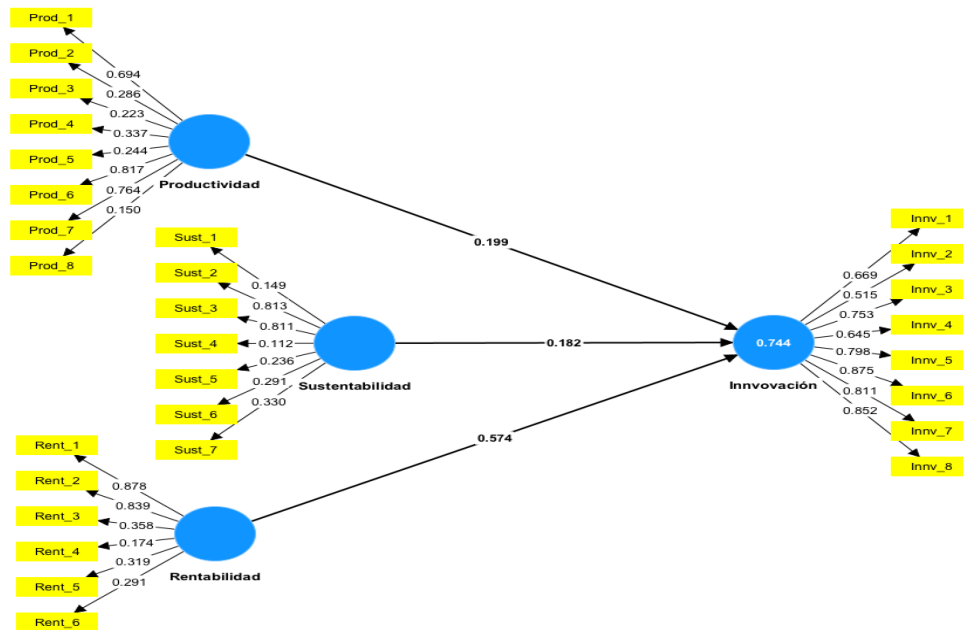


*Fuente:* Elaboración propia empleando el programa SmartPLS4

En el anterior nomograma, los círculos azules de la izquierda representan las variables latentes exógenas: productividad, sustentabilidad y rentabilidad, y el círculo azul de la derecha es la variable latente endógena o variable dependiente: innovación, los rectángulos amarillos que conectan con cada variable o constructo son los indicadores o ítems, las líneas que las conectan son las relaciones o hipótesis que se establecen entre indicadores y variables, y variables entre variables, los números entre indicadores y constructos representan su grado de aportación al constructos y si su peso externo es mayor a 0.10 los ítems son significativos, los números entre los círculos en este nomograma es el alfa de Cronbach que representan la fiabilidad de los constructos y del modelo. El nomograma es reflectivo ya que las líneas *path* van de los constructos a los ítems. Se interpreta que el modelo tiene un grado de fiabilidad del 88.4%, con los constructos e indicadores que se consideran, dichos indicadores surgieron de las respuestas dadas a cada una de las preguntas de la encuesta dirigida a los productores agrícolas.

## Gráfica 2.

### Modelo Estructural Inicial con Indicadores Completos de la Encuesta

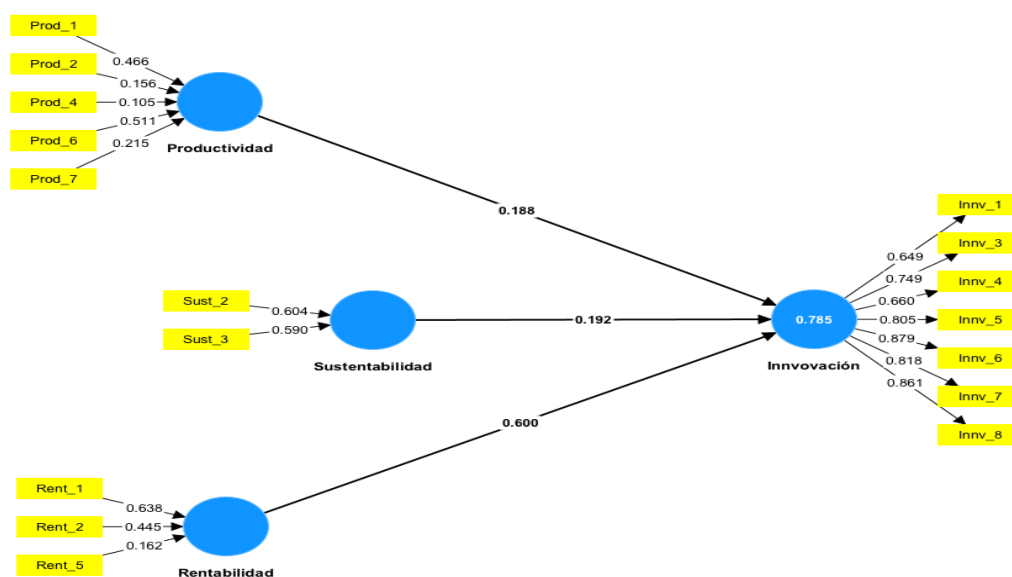


Fuente: Elaboración propia empleando el programa SmartPLS4

Se puede interpretar de la siguiente imagen que la variable latente exógena rentabilidad tiene mayor efecto (0.574) en la variable endógena innovación, la cual está integrada por 6 ítems; seguido por productividad (0.199) con 8 ítems; y sustentabilidad (0.182) y 7 ítems. Los tres constructos explican el 74.4% de la varianza de la innovación ( $R^2=0.744$ ). Esto es antes de descartar ítems de acuerdo a su peso y carga externa tanto de las variables independientes como de la variable dependiente. Aquellos indicadores cuyos pesos fueron menores que 0.10 y cuyas cargas eran inferiores a 0.40 fueron eliminados del modelo de medida, así como aquellos indicadores que mostraron una alta colinealidad, que en el modelo se aprecian con signo negativo, así también se tomó en cuenta su aportación relativa y parcial en la predicción del modelo.

**Gráfica 3.**

*Modelo Estructural de Innovación-Biofertilizantes*



*Fuente:* Elaboración propia utilizando el programa SmartPLS4

La variable latente exógena rentabilidad es la que más aporta a la variable latente endógena innovación, ya que es responsable del 60% en la predicción de la innovación, el ítem que más significancia tiene sobre la búsqueda de la rentabilidad es el 1 (0.638), el cuál esta relacionado con la ganancia, ya que los productores buscan mejores utilidades al emplear biofertilizantes, el 2 (0.445) está relacionado con el precio justo, esto respalda lo mencionado por los productores en las reuniones que se tuvieron con ellos ya que una motivación del empleo de los biofertilizantes es buscar un precio diferenciado al ofrecer productos orgánicos, cuyo mercado es el de exportación, y el 5 (0.162) es sobre la búsqueda de reducción de costos en su producción. Los ítems descartados por tener un peso externo menor que 1 y una carga externa baja fueron los 3, 4 y 6 que respectivamente representaban las ventas, precio de los biofertilizantes y apoyos recibidos por el gobierno a través de programas de apoyo al campo.

La sustentabilidad es una variable significativa en la innovación en la producción y comercialización de los biofertilizantes, aunque no tanto como la búsqueda de la rentabilidad, los indicadores que más peso tienen en la sustentabilidad de acuerdo a lo señalado por los productores y el programa SmartPLS4 son el impacto positivo que tiene en el medio ambiente el empleo de los biofertilizantes y su impacto en el mejoramiento de la fertilidad de los suelos agrícolas, representados por los ítems sust\_2 y sust\_3. Los indicadores que fueron descartados del modelo por tener poca significancia en su predicción fueron los

relacionados a la disminución de la contaminación de los mantos freáticos, la generación de nuevos empleos, el relacionado a que los biofertilizantes son menos perjudiciales para la salud, el ser adaptables a los cultivos, los relacionados con su empaque y almacenamiento.

La variable independiente productividad (0.188) aunque quedó con más ítems su impacto en la innovación aunque es significativa es menor que la búsqueda de la rentabilidad y sustentabilidad, los ítems más significativos en la productividad son prod\_6 (0.511) que se refiere a la búsqueda de mayor productividad al tener suelos más fértiles, prod\_1 (0.466) los productores consideran que el uso de biofertilizantes genera mayor producción, prod\_7 (0.215) los agricultores están motivados a la conversión de los fertilizantes sintéticos por los inoculantes, prod\_2 consideran que un aspecto importante es que los biofertilizantes generan menos desperdicios, lo que los hace más eficaces que los fertilizantes convencionales de los cuales solo se aprovecha aproximadamente un 20%, y la prod\_4 donde los agricultores consideran que los programas de apoyos gubernamentales son importantes para que el desarrollo del sector agrícola, aunque casi en su totalidad mencionan no recibir algún tipo de apoyo gubernamental, y que el programa de biofábricas a nivel estatal, no han recibido capacitación en la región y los pocos biofertilizantes que han llegado, no son efectivos ya que prácticamente los microorganismos, que son parte esencial de los biofertilizantes, llegan muertos.

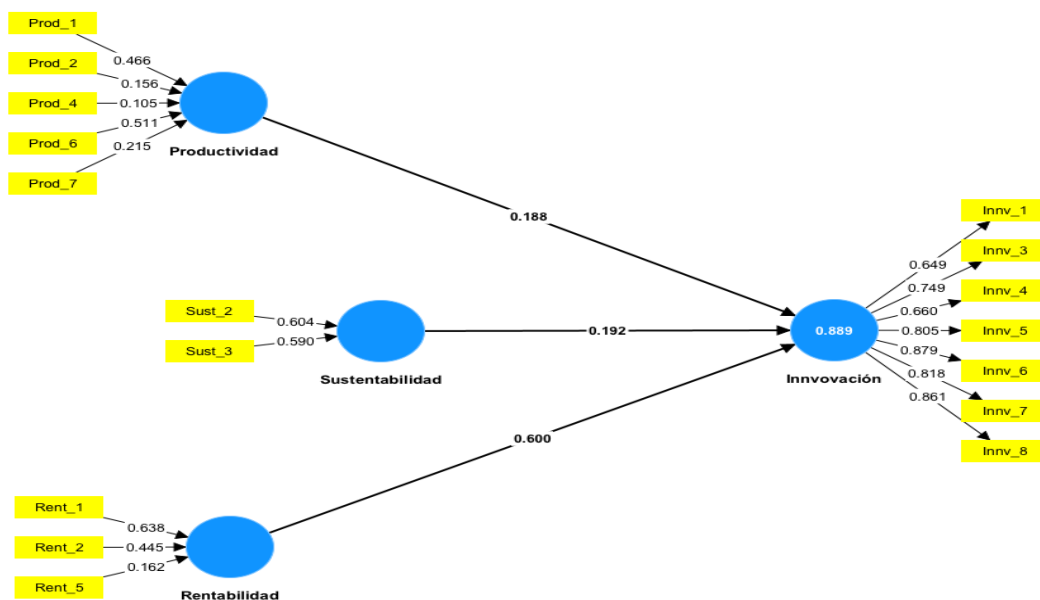
Los ítems que forman parte de la variable innovación son innv\_1 que se refiere al uso de alguna tecnología especial en la aplicación de los biofertilizantes, innv\_3 si han realizado algún tipo de análisis físico-químico del suelo, innv\_4 si han recibido capacitación en el empleo de los bioinoculantes, innv\_5 si tienen conocimiento de los beneficios de los biofertilizantes, innv\_6 consideran que es necesario patentar los biofertilizantes, innv\_7 con respecto a la disponibilidad, innv\_8 algún tipo de apoyo a la innovación, algunos determinantes no significativos fueron los vinculados al impacto de la publicidad, y si existen suficientes marcas en el mercado.

En un modelo Formativo-reflectivo se requiere al menos una  $R^2$  de 0.50, el modelo obtenido tiene un  $R^2$  de 0.785, lo que muestra la validez convergente, por lo que los indicadores formativos de las variables Sustentabilidad, Productividad y Rentabilidad contribuyen en un grado suficiente en la variable Innovación, así estas 3 variables explican en un 78.5% la innovación en el empleo de biofertilizantes en el sector agrícola en Michoacán, donde se llevó a cabo la presente investigación, el otro 21.5% es explicado por otros indicadores que no se encuentran en el modelo, como los eliminados anteriormente y otros que no fueron considerados. Siendo la rentabilidad, la sustentabilidad y la productividad, variables exógenas con efectos significativos sobre la innovación en el sector agrícola. Estas tres variables latentes independientes quedando sólo con estos ítems incorporados explican el modelo en un 78.5%, lo que indica que puede haber otras variables u otros indicadores o ítems no considerados en este modelo estructural que pueden explicar el otro 21.5%. Como se observa en el nomograma, el alfa de Cronbach

teniendo en cuenta los determinantes de las variables con mayor significancia elevan el modelo estructural a un nivel de fiabilidad de 0.884 a 0.889, estos determinantes cumplen con un peso superior al 0.10 que los hace significativos y una carga externa lo más cercana a la unidad, el peso significativo se refiere a su significancia relativa y la carga externa a su significancia absoluta, aunque el alfa de Cronbach se eleva muy poco, los determinantes menos significativos de cada variable son eliminados para cumplir con los parámetros estadísticos.

#### Gráfica 4.

##### *Alfa de Cronbach en la Modelización Estructural de la Innovación de los Biofertilizantes*



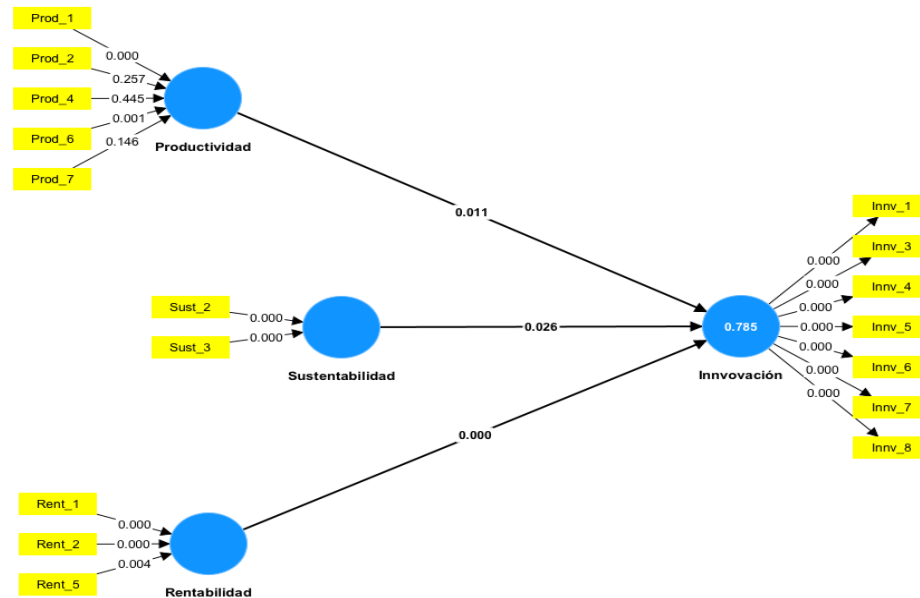
*Fuente:* Elaboración propia empleando el programa SmartPLS4.

La colinealidad no alcanza niveles críticos en ninguno de los constructos medidos formativamente y no es un problema en la estimación del nomograma PLS del modelo extendido de Innovación. En la gráfica se pueden observar los pesos externos de cada uno de los indicadores que conforman las variables del modelo, son significativos ya que todos están arriba de 0.10. El peso más bajo es 0.105, que forma parte de la variable productividad, lo que indica que para los productores el impacto que tiene la búsqueda de una mayor productividad es directamente proporcional con el empleo de biofertilizantes, el peso 0.638 es el más alto y corresponde a la variable exógena de rentabilidad, lo que explica su alta importancia para los productores a través de una búsqueda de mayor utilidad, mediante una reducción de costos de producción y un producto diferenciado, ya que los agricultores están incentivados a emplear biofertilizantes para ofrecer su producto al mercado orgánico de exportación, que ofrece un precio mayor, y que los agricultores consideran un precio justo. La *innv\_6* (0.879) e *innv\_8* (0.861) son los indicadores de la

variable innovación que más significancia tienen de manera general en el modelo estructural, para las variables exógenas son prod\_6 (0.842), rent\_1 y rent\_2 (0.837), así como sust\_2 (0.841) y sust\_3 (0.833). A continuación, se analizarán los pesos externos de acuerdo con su significación y relevancia, mediante el proceso *bootstrapping*, usando la opción Bias Corrected and Accelerated (BCA) Bootstrap, con 0.05 como nivel de significación, 5,000 muestras bootstrap y un test de dos colas.

### Gráfica 5.

#### Valores P de Booststrapping



Fuente: Elaboración propia utilizando el programa estadístico SamrtPLS4.

Los valores *P* en el modelo de medida formativo mostrado con valores inferiores a 0.05 afirman que los pesos externos son significativos a un nivel de significancia del 5%. Para los productores agrícolas de Michoacán la búsqueda de nuevos mercados, mayores utilidades, incremento de sus ventas, la disminución de sus costos de producción, la búsqueda de alternativas sustentables en fertilización, así como nuevas marcas de biofertilizantes, y la transferencia del conocimiento impactan significativamente en el empleo de biofertilizantes. Así también las variables Rentabilidad, Sustentabilidad y Productividad, con un pesos externos de 0.011, 0.026 y 0.00, son significativas en la determinación de la Innovación relacionada con los biofertilizantes en el sector Agrícola en Michoacán. Lo que confirma que las medidas de los constructos son fiables y válidas.

Los valores *P* están por debajo de 0.05 y el estadístico *t* de las tres relaciones entre las variables exógenas y la endógena arriba de 1.96, lo que demuestra son significativos a un nivel de significancia del 5%.

Los constructos situados en la parte superior derecha del mapa importancia-rendimiento tienen una importancia alta y un rendimiento alto, como el caso de la variable exógena rentabilidad por lo que tiene

una potencia de mejora en el rendimiento, y es en los indicadores que conforman estas variables donde se deberían realizar acciones para impulsar la innovación en el empleo, comercialización y producción de biofertilizantes, específicamente en el sector agrícola del campo michoacano.

En la gráfica anterior se puede observar que son los indicadores Rent\_1 y Rent\_2 de la variable rentabilidad que demuestran mayor importancia y rendimiento por lo que es en ellos donde se deben efectuar acciones para tener un impacto en la innovación en el sector agrícola, de acuerdo a las variables e ítems propuestos en esta investigación.

La variable que más aportación tiene en la variable dependiente innovación es la rentabilidad y sus indicadores que la componen, la búsqueda de un producto orgánico diferenciado de exportación, con un precio más alto que lleve a una rentabilidad, así como la reducción en los costos de producción al ser los biofertilizantes productos mucho más económicos que los fertilizantes químicos tradicionales y con mejor aprovechamiento por parte de las plantas, es lo que lleva a los agricultores a utilizar los bioinoculantes, la sustentabilidad es una variable también significativa, aunque no tanto como la rentabilidad, los indicadores que más aportan a la sustentabilidad son la búsqueda de un suelo agrícola más fértil y aunque están conscientes que los agroquímicos dañan la salud tanto humana, como de otras especies, no es algo que los motive tanto, cuestión que se observa, ya que es cierto que el empleo de biofertilizantes ha mostrado un crecimiento con respecto a los sintéticos, es apenas entre el 5 y 10%.

En cuanto a la productividad también es una variable significativa, ya que los productores han observado que los biofertilizantes incrementan la productividad, al recuperar la fertilidad de los suelos, y son absorbidos de manera más eficiente por los cultivos agrícolas, la búsqueda de cultivos más rentables es su principal motivación.

El alfa de Cronbach asume que todos los indicadores son igualmente fiables, se puede considerar una medida de la fiabilidad de consistencia interna bastante conservadora, la fiabilidad compuesta tiene en cuenta los diferentes valores de carga externa de variables indicador, oscila entre 0 y 1, cuanto mayor sea el valor, mayor es la fiabilidad que alcanza, valores entre 0.60 y 0.70 se consideran aceptables y entre 0.70 y 0.90 pueden considerarse satisfactorios, más allá de 0.90 no son deseables. Como se puede observar las cuatro variables son aceptables en cuanto a su fiabilidad, en especial la variable endógena y la variable productividad.

## **Conclusiones**

En cuanto a la hipótesis de investigación en donde se argumenta que la sustentabilidad, la productividad y la rentabilidad son los factores que inciden de manera más significativa en la innovación de los biofertilizantes, producidos y comercializados por las biofábricas en el sector agrícola en Michoacán, México. Se confirma de manera cuantitativa por el programa SmartPLS4, ya que la rentabilidad en el

modelo estructural con los indicadores que la conforman es responsable del 60% de la innovación del sector agrícola en Michoacán, la sustentabilidad en un 19.2% y la productividad en un 18.8%.

Los biofertilizantes son empleados principalmente en cultivos orgánicos que tienen como destino comercial el mercado internacional, siendo los Estados Unidos de Norteamérica el principal mercado, aunque Canadá es otro de los mercados meta, seguidos por Japón y algunos países europeos como Alemania.

Así también se comprobó el grado de significancia hacia la innovación de los biofertilizantes por parte la sustentabilidad (0.192) y la productividad (0.188). El impacto positivo que tiene en el medio ambiente el empleo de los biofertilizantes y su impacto en el mejoramiento de la fertilidad de los suelos agrícolas, algunos con menos significancia pero de gran importancia son que no son perjudiciales para la salud tanto de los productores, consumidores, trabajadores del campo en general, de las personas que viven cerca de los terrenos donde se aplican, así como a la microflora y microfauna de los suelos agrícolas, que generan menos desperdicios al ser mejor absorbidos por las plantas en comparación con los fertilizantes químicos convencionales.

En relación a la variable productividad el indicador que más impacto tiene en esta variable es mejorar la fertilidad de los suelos, por los que al hacerlos más ricos en nutrientes elevan la producción agrícola, así como su grado de absorción por las plantas es mucho más eficiente, un factor que restó credibilidad es que los biofertilizantes que les llegaron en 2022 por parte del programa estatal es que no fueron efectivos ya que prácticamente los microorganismos, que son parte esencial de los biofertilizantes, llegaron muertos.

Los principales indicadores son que la búsqueda de mayores ganancias, ya que al ser mucho más económicos que los convencionales, aprovecharse en mayor proporción por las plantas, reducen costos de producción, son una inversión ya que al contrario de los convencionales que cada ciclo se necesitan mayores cantidades, los biofertilizantes cada vez enriquecen más el suelo, y en aproximadamente 5 años de acuerdo a la información proporcionada los suelos infértiles alcanzan a recuperarse. Y el mercado orgánico de exportación es un gran incentivo en la búsqueda de precios justos.

Entre las innovaciones encontradas en los sistemas agrícolas están las siguientes: Innovación de producto: Diversificación de nuevos cultivos para exportación (hortofrutícolas y granos), nuevas y diferentes variedades de cultivos, semillas mejoradas e híbridas, generación de plántulas, siembra de cultivos orgánicos y/o exclusivos, reforestación, uso de portainjertos, pago de regalías por patentes de nuevas variedades, transformación agroindustrial. Innovaciones de proceso de producción: Producción intensiva-biotecnologizada, fertirrigación, agricultura protegida y de precisión, drones, mejor manejo de agroquímicos y fertilizantes, producción orgánica, buenas prácticas agrícolas (inocuidad, sanidad y calidad), monitoreo agroclimático, cuartos fríos y cámaras de conservación, empaques automatizados y

seleccionadores, invernaderos para la germinación de plántulas, fertilización con lombricomposta, automatización del bombeo de agua del subsuelo, maquinaria “Smart” con GPS para eficientar el proceso de siembra y cosecha, diseño y construcción de vehículos cosechadores, sistemas informáticos para el manejo del proceso productivo, uso de aviones fumigadores, nuevos sistemas de conducción de la planta (sistema de pérgola), transportación refrigerada, manejo integrado de enfermedades (control cultural, genético, biológico y químico), manejo agroecológico.

Innovación de organización: Diversificación financiera, Instalación de sistemas informáticos para el manejo de los procesos administrativos y organizacionales de la empresa, nuevas formas de contratación flexibles de los trabajadores agrícolas (jornaleros): contratación por día o por tarea, renta de maquinaria agrícola

Innovaciones de comercialización: agricultura por contrato, comercialización directa (sin intermediario), búsqueda de mejores ventanas de mercado (verano e invierno), campañas de promoción y/o ferias, mejoras en presentación y empaque (bolsas y cajas), certificados de calidad mundial, página web y manejo de redes sociales (Facebook, Twitter, Blogs) con información de la empresa, búsqueda de apoyos gubernamentales.

Uno de los principales incentivos económicos de emplear alguna innovación que impacte en la sustentabilidad agrícola es el sobreprecio por el producto agrícola en el mercado orgánico, principalmente extranjero, en el caso de México con los Estados Unidos de Norteamérica como principal destino de las agroexportaciones.

Los biofertilizantes son insumos sustentables, ya que se pueden obtener cultivos inocuos, que además de no perjudicar la salud humana, de la flora, la fauna y de los propios suelos agrícolas, no contaminan el medio ambiente, principalmente los mantos acuíferos, la atmosfera. Actualmente son una fuente generadora de empleo ya que a través de las biofábricas que en el estado de Michoacán se esta impulsando en la administración del Gobernador Ramírez Bedolla, genera fuentes de trabajo remuneradas, tanto en su producción, distribución y difusión, a través de los programas de capacitación. Se ha demostrado su eficiencia en el aumento de la productividad de los suelos agrícolas cercanos al 40% al aumentar su fertilidad, lo que lleva a la reducción de costos que junto con el impulsó por el mercado de productos orgánicos de exportación e incluso a nivel nacional llevan a obtener un precio diferenciado más atractivo.

Así los biofertilizantes son un bioproducto innovador que impacta de manera significativa en cada uno de las dimensiones de la sustentabilidad, y cultivos tradicionales como los granos básicos como el maíz, frijol, arroz, café y cacao siguen generando importantes innovaciones en el sector agrícola, así como otros productos de gran interés comercial como la caña de azúcar, plátano, limón, así como las berries y el aguacate.

## Referencias

- Andrade, F. (2018). *Uso de biofertilizantes reduciría gasto público*. *Biofábrica Siglo XXI*. <https://biofabrica.com.mx/blog/en-el-mundo/uso-de-biofertilizantes-reduciria-gasto-publico/>
- Barragán-Ocaña, A., & Valle-Rivera, M. (2016). Rural development and environmental protection through the use of biofertilizers in agriculture: An alternative for underdeveloped countries? *Technology in Society*, 46, 90–99.
- Barragán Ocaña, A. (2021). Tecnologías y capacidades endógenas como elementos de desarrollo para el campo mexicano: El papel de los biofertilizantes en los sistemas agroalimentarios localizados (SIAL). *Economía: Teoría y Práctica*, 55, 59–86. <https://doi.org/10.24275/etypuam/ne/552021/barragan>
- Basham, Y. (2008). *El uso de inoculantes microbianos como una importante contribución al futuro de la agricultura mexicana*. Plaza y Valdez, 17–24.
- Espitia, E. (2009). Teoría ecológica del comportamiento del consumidor. *Red Internacional de Investigadores en Competitividad*. \*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo\*. Morelia, Michoacán.
- FAO. (2018). *Agricultura orgánica*.
- FAO. (2019). *Código Internacional de Conducta para el Uso y Manejo de Fertilizantes*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura.
- Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peá-Cabriales, J. J., & Vera-Núñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6).
- Grageda-Cabrera, O. A., González-Figueroa, S. S., Vera-Núñez, J. A., Aguirre-Medina, J. F., & Peña-Cabriales, J. J. (2018). Efecto de los biofertilizantes sobre la asimilación de nitrógeno por el cultivo de trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 281–289. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1071>
- Guzmán Flores, J. (2018). *Fertilizantes químicos y biofertilizantes en México*.
- Hugues, J., & Crevoisier, O. (2022). From competitiveness to territorial value: Transformative territorial innovation policies and anchoring milieus. *European Planning Studies*. <https://doi.org/10.1080/09654313.2022.2042208>
- Infante Jiménez, Z. T., & Trueba Regalado, R. (2014). Innovaciones agrícolas para impulsar el desarrollo sustentable en Los Reyes Michoacán: El caso de la zarzamora. *Revista de Desarrollo Local Sostenible*, 7(20), 1–17.
- Liverman, D., Hanson, M., Brown, B., & Merideth, R. (1988). Global sustainability: Toward Measurement. *Environmental Management*, 12(2), 133–143. <https://doi.org/10.1007/bf01873382>

- Marketsandmarkets. (2021). *Biofertilizers*.
- Mendoza, O. (2022). *Con el programa “Agrosano”, Michoacán busca reducir el uso de fertilizantes químicos*.
- Mishra, P., & Dash, D. (2014). Rejuvenation of Biofertilizer for Sustainable Agriculture Economic. *Journal of Development*, 11(11), 41–62.
- Morales Ibarra, M. (2014). La Revolución de la Producción Agroalimentaria en el siglo XXI. *En El Agro y las Áreas Rurales en el México del Siglo XXI* (Primera ed., pp. 151–178). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Plante, A. F. (2007). Soil biogeochemical cycling of inorganic nutrients and metals. *En Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (pp. 389–432).
- Pretty, J. N., Morison, J. I., & Hine, R. (2003). Reducing food poverty by increasing agricultural sustainability in developing countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95, 217–234.
- SADER. (2020). *Balanza comercial de productos agroalimentarios que comercializa México*. [SADER. (2020). Trade balance of agrifood products traded by Mexico.]
- Sader. (2022). *Avanza Sader en sustitución de fertilizantes químicos por orgánicos*. Gobierno de Michoacán. <https://www.michoacan.gob.mx/noticias/avanza-sader-en-sustitucion-de-fertilizantes-quimicos-por-organicos/>
- SAGARPA. (2015). *Plan de Manejo de Residuos Generados en Actividades Agrícolas, Primera Etapa: Diagnóstico Nacional*.
- SAGARPA. (2017). *Acuerdo por el que se dan a conocer las Reglas de Operación del Programa de Fomento a la Agricultura*. México.
- Sandhu, H., Wratten, S. D., & Cullen, R. (2010). Organic agriculture and ecosystem services. *Environmental Science and Policy*, 13(1–7).
- Secretaría de Desarrollo Rural y Agroalimentario. (2019). *Agricultura sustentable*. <https://sedrua.michoacan.gob.mx/>
- Secretaria de Economía. (2012). *Sistema Integral de Información de Mercados*.
- SIAP-SAGARPA. (2018). *Agricultura*.
- Vela Coyotl, M. de los A., López Tecpoyotl, Z. G., Sandoval Castro, E., Tornero Campante, M. A., & Cobos Peralta, M. A. (2018). La fertilización órgano-mineral en el rendimiento de haba en suelo e hidroponia en agricultura protegida. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(8), 1603–1614. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1717>
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *\*Plant and Soil*, 255\*, 571–586. <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>