



# UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

División de Estudios de Posgrado de la  
Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas.

Programa de Doctorado en Administración  
Línea de investigación: Innovación y Sustentabilidad

## **Innovación en las Biofábricas en el Sector Agrícola, en Michoacán, México**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN ADMINISTRACIÓN**

**PRESENTA**

Andrés Eduardo Coutiño Puchuli.

Director de Tesis

Dr. Zoé T. Infante Jiménez

Codirector de Tesis

José Alberto Solís Navarrete

Morelia, Michoacán, Enero del 2024



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**  
FACULTAD DE CONTADURÍA Y CIENCIAS ADMINISTRATIVAS  
Tel. y Fax (443) 3 16 74 11 y (443) 3 26 62 76

Morelia, Michoacán; a 16 de noviembre de 2023

**DR. RIGOBERTO LÓPEZ ECALERA**  
Director  
Facultad De Contaduría y Ciencias Administrativas  
Presente.

Los abajo firmantes de la mesa de jurado asignada al alumno(a): **ANDRES EDUARDO COUTIÑO PUCHULI** con número de matrícula **1721521B** para revisar su trabajo de tesis titulado: **"Innovación en las Biofábricas en el Sector Agrícola, en Michoacán, México"** comunicamos a usted, que después de haber revisado y sugerido las modificaciones pertinentes, y una vez que estas fueron realizadas por el alumno (a), hemos considerado que el trabajo reúne los requisitos establecidos en el Reglamento General para los estudios de Posgrado de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por lo que dicho trabajo puede ser editado.

**ATENTAMENTE**

**PRESIDENTE**

Dr. Zoe Infante Jiménez

**VOCAL 1**

Dr. José Alberto Solís Navarrete

**VOCAL 2**

Dr. Marco Alberto Valenzo Jiménez

**VOCAL 3**

Dra. Priscila Ortega Gómez

**VOCAL 4**

Dr. Cuauhtémoc Guerrero Dávalos

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas

*División de Estudios de Posgrado*

Doctorado en Administración

A QUIEN CORRESPONDA:



## CARTA DE ORIGINALIDAD

Por este medio se hace constar que el trabajo de tesis titulado **“Innovación en las Biofábricas en el Sector Agrícola, en Michoacán, México”**, realizado por el alumnno ANDRÉS EDUARDO COUTIÑO PUCHULI con matrícula 1721521b, del Doctorado en Administración, dirigido por el DR. ZOE T. INFANTE JIMÉNEZ, y teniendo como Codirector al DR. JOSÉ ALBERTO SOLIS NAVARRETE, fue analizado mediante la plataforma verificador de plagio PLAGIUM.

Con base en el reporte de las similitudes encontradas por dicha herramienta informática. Se considera que el presente trabajo de tesis no constituye plagio con respecto a obras de terceros.

Los resultados del análisis se encuentran bajo el resguardo de la Coordinadora del Doctorado en Administración de la Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

ATENTAMENTE

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Zoé T. Infante Jiménez  
Director de Tesis  
\_\_\_\_\_  
Andrés Eduardo Coutiño Puchuli  
Alumno

Morelia, Michoacán a 23 de Octubre de 2023

Índice	Pág.
<i>Resumen</i> .....	<b>7</b>
<i>Abstract</i> .....	<b>8</b>
<b>Capítulo 1 Fundamentos de Investigación</b> .....	<b>9</b>
<i>Introducción</i> .....	<b>10</b>
<i>Antecedentes</i> .....	<b>11</b>
<i>Justificación</i> .....	<b>14</b>
<b>1.1 Situación Problemática</b> .....	<b>16</b>
<b>1.2 Marco Contextual</b> .....	<b>20</b>
<i>1.2.1 Sector Agrícola</i> .....	20
<i>1.2.2 Marco Contextual Internacional</i> .....	22
<i>1.2.3 Marco Contextual Nacional</i> .....	37
<i>1.2.4 Marco Contextual Estatal</i> .....	43
<i>1.3.1 Problema Identificado</i> .....	46
<b>1.3 Pregunta de Investigación</b> .....	<b>48</b>
<i>1.4.1 Pregunta General</i> .....	49
<i>1.4.1 Preguntas Específicas</i> .....	49
<b>1.4 Objetivo de Investigación</b> .....	<b>49</b>
<i>1.5.1 Objetivo General</i> .....	50
<i>1.5.2 Objetivos Específicos</i> .....	50
<b>1.6 Hipótesis</b> .....	<b>50</b>
<b>1.7 Modelo de Variables.</b> .....	<b>50</b>
<i>1.7.1 Variable Dependiente</i> .....	50
<i>1.7.2 Variables Independientes</i> .....	50
<b>Capítulo 2. Marco Teórico</b> .....	<b>52</b>
<b>2.1 Innovación</b> .....	<b>54</b>
<i>2.1.1. Ciclo de Vida de la Innovación</i> .....	62
<i>2.1.2 Organismos que Regular e Incentivan la Innovación en México.</i> .....	63
<i>2.1.3 Sistemas de Innovación</i> .....	63
<i>2.1.4 Sistemas Sectoriales de Innovación</i> .....	68
<i>2.1.5 Principales Actores de los Sistemas de Innovación</i> .....	70
<i>2.1.6 Innovación de Base</i> .....	71
<i>2.1.7 Innovación Frugal</i> .....	72
<i>2.1.8 Innovación Social</i> .....	74
<i>2.1.9 Innovación Agrícola</i> .....	75
<i>2.1.10 Innovación en México</i> .....	81
<i>2.1.11 La Administración de la Innovación</i> .....	84
<i>2.1.12 Situación Mundial de las Solicitudes y Concesiones de Patentes</i> .....	85
<i>2.1.13 Solicitud de Patente de Biofertilizante en México</i> .....	86
<b>2.2 Sustentabilidad</b> .....	<b>87</b>
<i>2.2.1 Teorías del Desarrollo</i> .....	88
<i>2.2.2 La Economía Ecológica</i> .....	91

2.2.3 <i>Las Dimensiones de la Sustentabilidad</i> .....	97
2.2.4 <i>Objetivos del Desarrollo Sustentable de la ONU</i> .....	101
2.2.5 <i>Agricultura Sustentable</i> .....	103
2.2.6 <i>Limitaciones de la Agricultura Sustentable</i> .....	104
2.2.7 <i>Biofertilizantes</i> .....	106
2.2.9 <i>Producción Científica sobre Biofertilizantes en México</i> .....	113
<b>2.3 Productividad</b> .....	<b>125</b>
<b>2.4 Rentabilidad</b> .....	<b>129</b>
<b>Capítulo 3. Aspectos Metodológicos</b> .....	<b>133</b>
3.1 <i>Metodología del Marco Lógico</i> .....	134
3.2 <i>Modelización de Ecuaciones Estructuras de Mínimos Cuadrados Parciales (PLS-SEM)</i> ...	152
<b>Capítulo 4. Resultados</b> .....	<b>167</b>
<b>Análisis</b> .....	<b>183</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>191</b>
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>195</b>
<b>Sugerencias</b> .....	<b>196</b>
<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	<b>198</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>210</b>
Matriz de Congruencia.....	220
Estudio Bibliométrico.....	222
Cuestionario Tipo Likert.....	226

#### Relación de cuadros, gráficas e ilustraciones

<i>Gráfica 1. Participación de los Sectores de la Economía en México y Michoacán</i> .....	20
<i>Gráfica 2. Comportamiento del PIB de la Agroindustria en México</i> .....	21
<i>Gráfica 3. Porcentaje de Ventas por Región de Biofertilizantes</i> .....	22
<i>Gráfica 4. Conversión del Uso de Fertilizantes Químicos a Biofertilizantes</i> .....	23
<i>Gráfica 5. Valor Global de Biofertilizantes</i> .....	25
<i>Gráfica 6. Mercado de Biofertilizantes (Millones de hectáreas)</i> .....	34
<i>Gráfica 7. Mercado de Biofertilizantes en Millones de dólares, Vietnam 2014-2018</i> .....	35
<i>Gráfica 8 Modelo de Variables</i> .....	51
<i>Gráfica 9 Tipos de Innovación en el Manual de Oslo</i> .....	53
<i>Gráfica 10 enfoque lineal de la innovación</i> .....	62
<i>Gráfica 11. La Innovación Frugal</i> .....	73
<i>Gráfica 12. Innovaciones Tecnológicas en el Sector Agrícola Durante el Período 2019-2023</i>	80
<i>Gráfica 13. Innovaciones Biotecnológicas en el Sector Agrícola Durante el Período 2019-2023</i>	80
<i>Gráfica 14. Entidades de México con Innovaciones Relacionadas con la Sustentabilidad Agrícola Durante el Período 2019-2023</i> .....	84

<i>Gráfica 15. Productividad de Artículos Científicos sobre Biofertilizantes de México por Años en el Período 2015-2020</i> .....	114
<i>Gráfica 16. Número de Artículos por Autor</i> .....	114
<i>Gráfica 17. Red de Autores sobre Biofertilizantes</i> .....	115
<i>Gráfica 18. Revistas Donde se Publicaron los Artículos sobre Biofertilizantes Durante el Período 2015-2020</i> .....	116
<i>Gráfica 19. Principales Instituciones que Publican sobre Biofertilizantes en México</i> .....	117
<i>Gráfica 20. Red de Colaboración entre Instituciones</i> .....	117
<i>Gráfica 21. Entidades Federativas de México que Publicaron Artículos sobre Biofertilizantes Durante el Período 2015-2020</i> .....	118
<i>Gráfica 22. Redes de Colaboración con los Estados sobre Biofertilizantes</i> .....	119
<i>Gráfica 23. Microorganismos Bioinoculantes</i> .....	119
<i>Gráfica 24. Cultivos en los que se Aplicó Biofertilizantes en México Durante el</i> .....	120
<i>Gráfica 25. Marcas de Biofertilizantes Aplicadas a los Cultivos en México Durante 2015-2020</i> .....	121
<i>Gráfica 26. Relación entre los Microorganismos Empleados como Biofertilizantes por Cultivos en México</i> .....	122
<i>Gráfica 27. Variables Econométricas en los Artículos sobre Biofertilizantes en México en el Período 2015-2020</i> .....	123
<i>Gráfica 28. Relación entre los Principales Indicadores Utilizados en los Artículos Científicos sobre Biofertilizantes en México Durante el Período 2015-2020</i> .....	124
<i>Gráfica 29. Coherencia entre Causa, Medio y Acción</i> .....	141
<i>Gráfica 30. Modelo Estructural con la Variable Endógena Innovación como Dependiente.</i>	177
<i>Gráfica 31. Modelo Estructural Inicial con Indicadores Completos de la Encuesta</i> .....	178
<i>Gráfica 32. Modelo Estructural de Innovación-Biofertilizantes</i> .....	179
<i>Gráfica 33. Alfa de Cronbach en la Modelización Estructural de la Innovación de los Biofertilizantes</i> .....	182
<i>Gráfica 34. Valores P de Booststrapping</i> .....	186
<i>Gráfica 35. Mapa Importancia-Rendimiento</i> .....	187
<i>Gráfica 36. Mapa Importancia-Rendimiento de los Indicadores por Variable</i> .....	188
<i>Gráfica 37. Coeficientes Path</i> .....	188
<i>Gráfica 38. Documentos de Biofertilizantes por Área de Conocimiento</i> .....	223
<i>Gráfica 39. Producción de Documentos sobre Biofertilizantes por País de 1982 a 2020</i> .....	223
<i>Gráfica 40. Documentos sobre Biofertilizantes para el Período 2002-2020</i> .....	224
<i>Gráfica 41. Principales Instituciones y Universidades en México que Desarrollan Documentos sobre Biofertilizantes</i> .....	224
<i>Gráfica 42. Trabajos en las Áreas de Conocimiento en México sobre Biofertilizantes de 2002 a 2020</i> .....	225
<i>Ilustración 1. Objetivos del Desarrollo sustentable de la ONU</i> .....	101
<i>Ilustración 2. Árbol de Problemas</i> .....	169
<i>Ilustración 3. Árbol de Objetivos</i> .....	170
<i>Ilustración 4. Modelo Estructural con modificaciones en los Indicadores de los Constructos</i> .....	197

<i>Tabla 1 Principales Características de Políticas de Innovación por Continente .....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 2. Estructura de la Matriz de Marco Lógico .....</i>	<i>149</i>
<i>Tabla 3. Matriz de Marco Lógico .....</i>	<i>171</i>
<i>Tabla 4. Estadístico de Colinealidad (VIF) .....</i>	<i>183</i>
<i>Tabla 5. Estadístico de Colinealidad Modelo Interno .....</i>	<i>183</i>
<i>Tabla 6. Pesos Externos.....</i>	<i>184</i>
<i>Tabla 7. Cargas Externas .....</i>	<i>185</i>
<i>Tabla 8. Coeficientes Path, Media, Desviación Estándar, Valores T y P.....</i>	<i>187</i>
<i>Tabla 9. Constructo de Fiabilidad y Validez.....</i>	<i>189</i>
<i>Tabla 10. Matriz de Congruencia.....</i>	<i>220</i>
<i>Tabla 11. Matriz de variables con indicadores .....</i>	<i>221</i>

## Resumen

El objetivo de la presente tesis es explicar los factores que inciden de manera más significativa en la innovación de los biofertilizantes producidos y comercializados por las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán. Algunos de los problemas que enfrentan los biofertilizantes son procesos de producción, transporte, almacenamiento y falta de conocimiento de los beneficios de su aplicación. Los bioinoculantes ayudan a mitigar el cambio climático, reducir la contaminación, elevar la productividad, mejorar la fertilidad del suelo, reducir costos de producción e impulsar la sustentabilidad. El mercado de biofertilizantes está siendo incentivado principalmente por el mercado orgánico y subsidios gubernamentales.

Los biofertilizantes en su mayoría son elaborados con *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Glomus*, *Rhizobium*, y micorrizas, los líquidos son los más comercializados. Los principales cultivos donde se aplican biofertilizantes en México son maíz, frijol, tomate, chile, trigo, sorgo y café. La marca Micorriza INIFAP ® es la que más se emplea.

La metodología que se trabajó fue la modelización de ecuaciones estructurales de mínimos cuadrados parciales mediante el software SmarthPLS4, realización de un estudio bibliométrico, así también el marco lógico. Se aplicaron 129 cuestionarios a productores aguacateros de los Reyes, y de zarzamora de Ziracuretiro, así como visitas al Centro de Innovación y Transferencia de Tecnología para la Agricultura, y la empresa Agroquintana.

Michoacán colabora en investigación en desarrollo de biofertilizantes principalmente con países como España y Chile. Se determinó que las variables latentes exógenas rentabilidad, sustentabilidad y productividad son fiables, con  $\alpha$  de Crombach de 0.889 y  $R^2$  de 0.785, por lo que el modelo planteado explica un 78.5% la innovación en la producción y comercialización de los biofertilizantes en Michoacán. Se concluye que los factores más significativos en la innovación en el sector agrícola en Michoacán son la sustentabilidad, la productividad y la rentabilidad.

Palabras Claves: Biofertilizantes, sustentabilidad, productividad, rentabilidad, smarthPLS4

## Abstract

The objective of this thesis is to explain the factors that most significantly affect the innovation of biofertilizers produced and marketed by biofactories in the agricultural sector of Michoacán. Some of the problems that biofertilizers face are the production, transportation, storage processes and lack of knowledge of the benefits of their application. Bioinoculants help mitigate climate change, reduce pollution, increase productivity, improve soil fertility, reduce production costs and boost sustainability. The biofertilizer market is mainly driven by the organic market and government subsidies.

Biofertilizers are mostly made with *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Glomus*, *Rhizobium* and mycorrhizae, liquids are the most commercialized. The main crops where biofertilizers are applied in Michoacán are corn, berries, avocado, guava, hibiscus, lentils and mango. The Micorriza INIFAP ® brand is the most used.

The methodology used was structural equation modeling of partial least squares using the SmarthPLS4 software, carrying out a bibliometric study, as well as the logical framework. 129 questionnaires were applied to avocado producers from Los Reyes, and blackberries from Ziracuretiro, as well as visits to the Center for Innovation and Technology Transfer for Agriculture and the Agroquintana company.

Michoacán collaborates in research and development of biofertilizers mainly with countries such as Spain and Chile. It is determined that the exogenous latent variables profitability, sustainability and productivity are reliable, with Crombach's alpha of 0.889 and R2 of 0.785, so the proposed model explains 78.5% of the innovation in the production and marketing of biofertilizers in Michoacán. It is concluded that the most significant factors in innovation in the agricultural sector in Michoacán are sustainability, productivity and profitability.

## **Capítulo 1 Fundamentos de Investigación**

## Introducción

Un área de investigación científica prioritaria para el desarrollo del país y de amplia expansión, en los últimos años, a nivel mundial es la biotecnología y su aplicación a través de las innovaciones en la producción y comercialización de biofertilizantes elaborados por las biofábricas. Las biofábricas son empresas agrobiotecnológicas dedicadas a vincular la investigación científica con la actividad agrícola, que buscan cambiar el modelo agrícola actual por uno más ecológico, sustentable y rentable (Conacyt, 2021).

Las biofábricas son un establecimiento de comercio a través del cual se hace una explotación mercantil, con función social y ecológica, de los recursos de la naturaleza a través de la creación, transformación y circulación de bienes vivos (microbiológicos, vegetales o animales) o sus derivados, obtenidos mediante técnicas o procedimientos biotecnológicos (García, 2009).

Se busca aportar a un sistema más productivo y sustentable sin comprometer la integridad de suelos y ecosistemas. Entre los beneficios que se buscan con los biofertilizantes son incrementar la productividad de los cultivos, mejorar su calidad al obtener cultivos más sanos y resistentes, conservar y regenerar el suelo, disminuir el uso de fertilizantes químicos que dañan el medio ambiente, ayudar a combatir el cambio climático. Los biofertilizantes son insumos que no contaminan y enriquecen la capacidad productiva del suelo, además de que son muy económicos y en ningún momento van a degradar la capacidad productiva, afirma Dr. Morales Marcel, citado por Valencia (2016).

## Antecedentes

En el estudio de arte, o la revisión bibliográfica previa a la investigación se encontró información de importancia relacionada con los biofertilizantes, la gran mayoría de los trabajos de investigación a nivel mundial, nacional y estatal sobre biofertilizantes son en áreas de la agronomía, de la biología y ciencias ambientales, estudios de casos específicos sobre algún cultivo, encontrándose pocos trabajos en el campo de la administración o comercialización de los biofertilizantes, las empresas internacionales productoras de biofertilizantes no hacen accesible al público los datos sobre el comportamiento comercial de los biofertilizantes. Por lo que es importante desarrollar un trabajo enfocado más al tema administrativo con enfoque de datos de producción y comercialización de los biofertilizantes.

Algunos de los trabajos encontrados sobre el tema a desarrollar en la presente investigación fueron los de Odame (1997), quién realizó un trabajo en Kenia sobre las limitaciones biológicas y físicas que restringen el uso de biofertilizantes por parte de los pequeños agricultores en Kenia. Ya que en las regiones más marginales las condiciones físicas de la región no permiten que los microorganismos de los biofertilizantes sean tolerantes a las altas temperaturas, la acidez del suelo y la salinidad. Otro aspecto importante detectado por Odame es el mal control de la calidad en el proceso de producción, así como el transporte y almacenamiento que afectan la calidad del inoculante, por lo que recomendó personal capacitado en el manejo, además de que en ese momento la demanda solo se satisfacía en 2% (Odame, 1997). El uso de los biofertilizantes en África Subsahariana (Masso et al., 2015) presenta deficiencias debido principalmente a la falta de conocimiento, infraestructura, habilidad y la ausencia de un marco regulatorio de apoyo en África Subsahariana (ASS).

Un estudio realizado en Pakistán (Naveed, Mehboob, Shakir, Baqir, & Farooq, 2015), menciona la importancia del empleo de los biofertilizantes para mantener el sistema de producción agrícola en un nivel sustentable, citan que el negocio de fertilizantes deja anualmente 1200 millones de dólares, y que el empleo de los biofertilizantes ahorraría 120 millones de dólares. Pero Pakistán enfrenta problemas en cuanto a la calidad en la producción de biofertilizantes, almacenamiento y la falta de publicidad y conocimiento por parte de los agricultores de los beneficios de los biofertilizantes.

Un trabajo realizado en el sur de África (Wakindiki, Malobane, & Nciizah, 2019) sobre la integración de biofertilizantes con la agricultura de conservación, proponen que el empleo de biofertilizantes puede mejorar la capacidad para mitigar el cambio climático, ya que se comprobó que aumenta la reserva de carbono orgánico en el suelo.

China cuenta con un plan de acción desde el 2015 para lograr un cero crecimiento en la aplicación de fertilizantes químicos y pesticidas, por lo que los biofertilizantes desempeñan un papel cada vez más destacado en la agricultura sustentable de China. La investigación y aplicación de biofertilizantes en China comenzó en la década de 1950. En el 2018 existían más de 6,528 productos de biofertilizantes disponibles, producidas en más de 2,050 empresas, incluidas 28 empresas internacionales, en un lapso de 70 años se redujo la aplicación de fertilizantes químicos en China en un rango del 20 al 50%, sin mostrar una disminución en los rendimientos de los cultivos. En 2013 China implementó un Plan Nacional de Desarrollo para la Bioindustria (Ruan, Qingyun, & Sternfeld, 2020).

Otro estudio realizado por García (2009) en Colombia trata sobre la función social de las biofábricas orientada hacia el medio ambiente y la formación del factor humano. Pérez (2013) menciona la importancia de las estrategias de la mercadotecnia para el servicio de biofábricas. Un

instituto educativo colombiano que utiliza la biofábrica como estrategia para la utilización de productos orgánicos y biofertilizantes es el Instituto Agrícola La Holanda (Casallas, Diaz C, Sánchez, Ramírez, & Ostos, 2004). Otro investigador que trabajó sobre las biofábricas, y cuyo objetivo fue analizar la eficiencia de biofertilizantes es Calderón (2004).

Desde hace 18 años, la empresa Biofábrica Siglo XXI desarrolla, junto con la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), fertilizantes hechos a base de microorganismos que ayudan a absorber del suelo nutrientes para las plantas, este emprendimiento ha sido apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), hoy CONAHCYT. Otra investigación llevada a cabo en el estado de Morelos por Barragán y Valle (2016) fue sobre la percepción de los productores campesinos que emplean biofertilizantes y su relación con la sustentabilidad económica y ambiental.

Singh y Kumar (2021) el uso abundante de fertilizantes químicos perturban los organismos del suelo, la textura del suelo y las propiedades fisico-químicas del suelo y afecta la salud humana y el medio ambiente. Por tanto, la agricultura ecológica es una vía adecuada para el desarrollo sustentable y hoy necesita el uso de biofertilizantes en los campos de cultivo. Gelli (2019) realizó un estudio en Brasil, sobre la viabilidad técnica y económica del extracto de algas cultivadas, como biofertilizantes. Los resultados del estudio económico mostraron que la producción del extracto era económicamente viable.

Una preocupación creciente del sector agrícola, específicamente en el estado de Michoacán, es el manejo responsable de los recursos que emplea para combatir las plagas y enfermedades de los cultivos, maximizar el rendimiento de las cosechas, elevar la productividad agrícola, mejorar la calidad del suelo, específicamente la sustitución de agroquímicos por el uso

de productos y estrategias alternativas que procuren la sustentabilidad de los recursos naturales, y mantenga la buena salud tanto de las plantas, animales y las personas.

Los fertilizantes continuarán siendo importantes, además de otras tecnologías nuevas que puedan surgir (FAO, 2019), no obstante que son contaminantes del agua (Cuenca, Cáceres, Oirdobro, Hasmy, & Urdaneta, 2007) y del suelo (Rueda-Puente, Rangel Preicado, & A., 2007). Una alternativa a la fertilización química y la contaminación que genera, es el uso de biofertilizantes en los cultivos agrícolas, que además son más baratos e inocuos (García González, 2006).

Geremias y Nordberg (2021) realizaron una investigación en Brasil cuyo objetivo fue evaluar y comparar el impacto climático sustituyendo el manejo actual por un escenario de digestión anaeróbica, con estiércol de cerdo, con fines energéticos y de biofertilización en una pequeña explotación de producción de lechones, en el estado de Santa Catarina. El escenario de digestión anaeróbica mostró una reducción considerable en el potencial de calentamiento global (81%) en comparación con el escenario de referencia.

## Justificación

Para Hernández (2004) una investigación llega a ser justificada por diversos motivos: tal vez ayude a resolver un problema social, a construir una nueva teoría o a generar nuevas inquietudes de investigación, es posible establecer criterios para evaluar la utilidad de un estudio propuesto, los cuales, evidentemente, son flexibles y de ninguna manera exhaustivos. A continuación, se indican algunos de estos criterios que fueron adaptados de Ackoff (1973) y (Miller & Salkind, 2002), según Hernández (2018).

Conveniencia. Los biofertilizantes son productos cada vez más demandados tanto en mercados nacionales como internacionales y tienen un precio más atractivo para el productor, ayudan a reducir la contaminación del aire, los sistemas acuíferos, subsuelo, los organismos del entorno donde desarrollan su proceso productivo, con la intención de generar un proceso sustentable a lo largo del tiempo. Estas prácticas generarían una rentabilidad, ya que hoy en día muchos clientes y consumidores buscan productos más seguros y ambientalmente amigables.

Relevancia social. Una de las prioridades del desarrollo nacional de largo plazo es la sustentabilidad ambiental y la conservación de los recursos naturales. Los elementos de sustentabilidad ambiental constituyen una prioridad nacional en la que las orientaciones y modalidades del desarrollo agrícola juegan un papel fundamental. La implementación y el estudio de biofábricas productoras de biofertilizantes en el sector agrícola en Michoacán tiene gran relevancia ya que permite el conocimiento de su proceso que se relaciona con la sustentabilidad de los recursos, por lo que la sociedad en general se beneficia.

Implicaciones prácticas. El empleo de los biofertilizantes y servicios que ofrecen las biofábricas pueden impactar en la disminución de la contaminación de los cuerpos de agua y atmosférica, ya que el empleo desmedido de agroquímicos implica importantes riesgos para la salud, así como la generación de empleos y de un proceso de transferencia de conocimientos sobre la utilización de biofertilizantes. Los biofertilizantes permiten la conservación y regeneración de los suelos, que fomentan la sustentabilidad e incremento en la productividad.

Valor teórico. La presente investigación se justifica por la existencia de un vacío del conocimiento, ya que hay muy escasa bibliografía con respecto a la producción y comercialización de biofertilizantes en biofábricas y mucho más escasa aún en el sector agrícola en México, los estudios y documentos relacionados con los biofertilizantes son escasos, como se podrá observar

la mayoría de dichos esfuerzos provienen de años recientes de Cuba, India, Brasil, Irán, China y Estados Unidos.

Utilidad metodológica. En el presente trabajo se correlacionaron los principales factores que más impacto tienen en los procesos de innovación de biofertilizantes de las biofábricas en el sector agrícola de Michoacán, México. Se empleó el marco lógico como metodología para recabar, analizar y estructurar la información obtenida directamente de los productores tanto de biofertilizantes, como de productores agrícolas que los emplean, así también se utilizó el software SmartPLS4, donde a través de la elaboración de nomogramas teniendo como variable dependiente la Innovación y como variables exógenas latentes la sustentabilidad, productividad y rentabilidad, se emplearon como datos las respuestas de los cuestionarios dirigidos a los productores que emplean biofertilizantes en Michoacán. Se obtuvieron 129 cuestionarios, con 29 ítems cada cuestionario.

### **1.1 Situación Problemática**

Actualmente la contaminación ambiental es un problema de gran magnitud, y por esta razón la Organización de las Naciones Unidas, ha sugerido una serie de objetivos para corregir el daño ocasionado al medio ambiente, entre ellos los impactos por el uso de agroquímicos al campo agrícola. En los últimos años a nivel global se ha agudizado el problema de la contaminación ambiental, y una de las causas proviene del uso excesivo de productos químicos, entre ellos los agroquímicos (Carreño-Meléndez, Vásquez-González, & Vásquez, 2019).

Venezuela y Tailandia son uno de los países donde se ha prohibido el uso de agroquímicos por la serie de problemas ambientales y de salud que generan (Torres & Capote, 2004). El uso de agroquímicos es uno de los factores de contaminación, ya que su utilización ha repercutido en

pérdida de la diversidad biológica, riesgo de enfermedades en el ser humano, sobreexplotación de los recursos de la vida silvestre, y aparición de malezas resistente (UNESCO, 2002).

En México, datos estadísticos de los últimos 20 años, señalan el incremento del uso de agroquímicos; lo que ha generado grandes problemas ambientales y de salud (García-Gutiérrez & Rodríguez-Meza, 2012). El uso de agroquímicos, puede causar intoxicación, cáncer, malformaciones, daños del hígado, problemas de la sangre, contaminación del agua, aire y suelo, cambio climático (Hidalgo, 2001). Sin embargo aún conociendo los riesgos al usar fertilizantes químicos, los agricultores no dejan de utilizarlos. Los agroquímicos son producidos por empresas extranjeras, que ya no venden los productos en su país, o en países desarrollados, porque están prohibidos (García-Gutiérrez & Rodríguez-Meza, 2012).

El plomo y el cadmio pueden afectar la salud de los ecosistemas y de los consumidores de alimentos con alto contenido de estos metales, fertilizantes y plaguicidas son fuentes importantes de contaminación por estos metales (Frías-Espericueta, Osuna-López, Izaguirre-Fierro, Agular-Juárez, & Voltolina, 2010).

En el pasado se creía que la agricultura no generaba ningún impacto negativo en el medio ambiente. Sin embargo, en las últimas décadas ésa concepción ha cambiado drásticamente, ya que se ha manifestado que el proceso de producción tradicional ha generado daños a la naturaleza. Los productores de zarzamora en Los Reyes Michoacán consideran que la elevada aplicación de fertilizantes agroquímicos en el proceso de producción de zarzamora genera que la cosecha sea dañina para la salud del ser humano (Infante & Trueba, 2014).

Los usos excesivos de fertilizantes químicos y pesticidas en el campo mexicano no solo deterioran la calidad del suelo, sino que también degradan en gran medida la calidad del agua del subsuelo y, por lo tanto, los nutrientes minerales disponibles. La producción comercial de

biofertilizantes que permitan su fácil disponibilidad en el mercado podría cambiar las condiciones de producción del sector agrícola. El gobierno debería de incentivar a los agricultores a usar fertilizantes de origen natural en lugar de los sintéticos, ya que los biofertilizantes tienen un impacto benéfico en la sociedad, el medio ambiente y los suelos. Los biofertilizantes son una gran opción como sustitutos de los fertilizantes y pesticidas químicos o industriales.

Robert Thomas Malthus, economista inglés, en su libro *Ensayo sobre el principio de la población*, publicado en 1798, estableció que el crecimiento demográfico superaría el aumento de la productividad agrícola, hecho que provocaría en el futuro una crisis mundial de alimentos; la oferta de víveres resultaría inferior a su demanda generando una grave escasez (Cue & Quintana, 2014). En la actualidad, la visión maltusiana ha resurgido en el tema del suelo agrícola, ya que hay un desequilibrio entre la disponibilidad de suelos agrícolas fértiles y su demanda. Donde países como China han optado por adquirir terrenos en otros países y reconvertir sus suelos al empleo de biofertilizantes en el 100% de sus cultivos con la finalidad de volverlos sustentables.

Siendo la tierra en las ciencias económicas uno de los tres factores escasos de producción. Los factores o medios de producción son por naturaleza escasos, ya que lo que se ofrece de ellos es siempre inferior a lo que la gente desearía tener si su precio fuera nulo. La tierra es parte del capital natural, que son los activos vinculados con los recursos naturales (Cue & Quintana, 2014a). Se estima que la población mundial crece 80 millones cada año, mientras que el área de suelo se mantiene fija y tendiente a deteriorarse, lo que eleva el precio por hectárea agrícola cada año. En economía la escasez de tierra es relativa, por lo que algunos individuos carecerán de ella más que otros, lo cuál en gran medida depende de su restricción presupuestal.

En el contexto internacional los suelos aptos para el desarrollo de una agricultura sustentable son cada vez más escasos. Algunos de los factores que han generado esta realidad son

el aumento en la demanda por alimentos, adopción de prácticas que potencian el deterioro físico y químico del suelo. Estos factores además de degradar los suelos han ocasionado impactos sobre la economía nacional, al no contar con suelos capaces de producir adecuadamente (Villareal Barrera, 2021).

En Argentina el consumo de fertilizantes paso de 400 mil toneladas en los años 90's a más de 3 millones en 2013 lo que genera contaminación, principalmente en los arroyos cercanos a los campos dedicados a la horticultura, lo que afecta a los organismos acuáticos (Arias, Bonetto, & Mugni, 2019).

La alta lixiviación en forma de nitratos representa un riesgo ambiental, ya que contamina el agua subterránea con graves consecuencias a la salud humana como el desarrollo de distintos tipos de cáncer en personas que consumen agua con nitratos (Zebarth, Bowen, & Toivonen, 1995). El uso excesivo de productos químicos agrícolas a causado efectos negativos como pérdidas financieras, calidad alimentaria, contaminación ambiental, como es la infertilidad del suelo agrícola, e incluso el desarrollo de enfermedades tanto de los animales como en seres humanos que se encuentran en o cercanos, a los terrenos donde se utilizan los agroquímicos.

Para Sánchez mencionado por Gómez “La erosión del suelo es uno de los mayores procesos de degradación derivados de las labores agrícolas, lo que afecta la calidad de infiltración, capacidad de retención del agua, disponibilidad de nutrientes, contenido de materia orgánica, actividad biológica, profundidad efectiva del suelo, y su productividad” (Gómez-Calderón, Villagra-Mendoza, & Solorzano-Quintana, 2018).

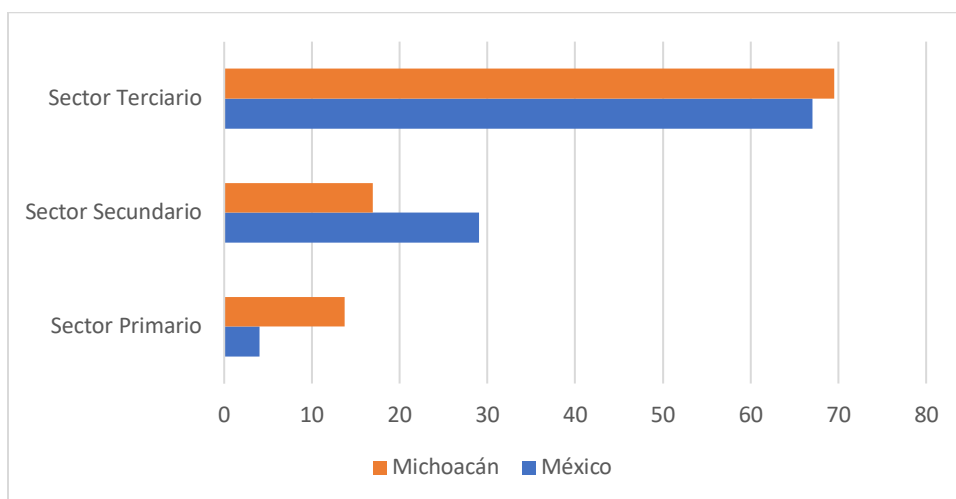
## 1.2 Marco Contextual

### 1.2.1 Sector Agrícola

La agricultura en México es la actividad económica considerada con mayor relevancia ya que genera gran cantidad de empleos en el país; es considerada como el sector productivo más importante desde un punto vista económico, social y ambiental, ya que de ésta depende la alimentación primaria de millones de personas, el incremento de la población productiva y la preservación y cuidado del entorno.

Es una base importante para el desarrollo del país, ya que fomenta la seguridad alimentaria; asimismo, puede mejorar significativamente las condiciones de vida en amplias zonas y fomentar la capacidad productiva de los sectores rurales, es la actividad que genera cerca del 70% del valor de las actividades primarias en México (INEGI, 2017)

*Gráfica 1. Participación de los Sectores de la Economía en México y Michoacán*



Fuente: Elaboración Propia con datos del INEGI. Asociación Nacional de Importaciones y Exportaciones de la República Mexicana (ANIERM). Producto Interno Bruto por entidad federativa, 2021.

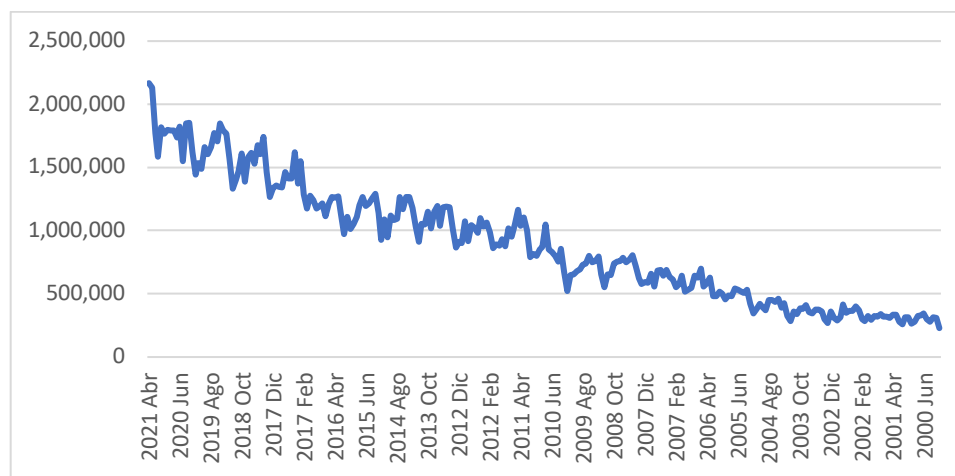
Cómo se puede inferir de la gráfica anterior la participación del sector agropecuario en Michoacán está muy por arriba que la media nacional. La economía de Michoacán está conformada

principalmente por los sectores primarios con una participación del 11.06%, el sector secundario con una participación del 23.19% y el terciario con un 65.75%.

El sector agropecuario y pesquero con cerca del 11% en la participación económica del Estado de Michoacán, México, ocupa al 37% de la Población Económicamente Activa. Entre los principales cultivos es líder productor en México de aguacate has, zarzamora, guayaba y fresa. Entre los 15 principales productos agrícolas que se producen en la entidad se encuentran el grano de trigo, sorgo, forraje verde, limón persa, jitomate, cebolla y grano de sorgo. El 43% del suelo es de uso ganadero, el 27% de uso forestal y el 24% agrícola. Enfrenta problemas de sobrepastoreo, escasez de forraje y erosión de los suelos (INEGI, 2017).

Como se puede apreciar en la gráfica no. 2 la importancia de la participación de la agroindustria, donde se encuentran las biofábricas, ha ido en aumento con respecto a su participación en el Producto Interno Bruto (PIB) de 2000 a 2021. Las biofábricas en México han tenido una mayor aceptación en la última década de acuerdo a la revisión de la literatura.

Gráfica 2. Comportamiento del PIB de la Agroindustria en México



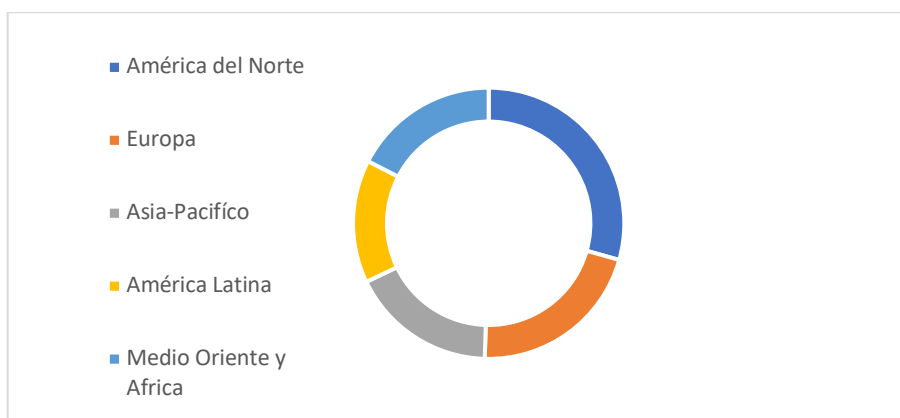
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México (2021)

### 1.2.2 Marco Contextual Internacional

Se estima que el mercado de biofertilizantes tendrá un valor de 3.8 mil millones de dólares para 2025, mostrando una tasa compuesta anual de 11.2% a partir de 2019, tomando un valor de 2 mil millones de dólares en 2019. Este aumento es debido a que el mercado de biofertilizantes está impulsado principalmente por el mercado de productos orgánicos, en específico el de las frutas y verduras orgánicas. Los biofertilizantes líquidos son los que se usan más a nivel mundial debido a que tienen una vida útil de 2 a 3 años, lo que es más conveniente para el empleo de agricultores en países en desarrollo. La aplicación de biofertilizantes al suelo, aumenta la disponibilidad de nutrientes y mejora el rendimiento en un 10 a 25% sin afectar negativamente el suelo y el medio ambiente.

En base a los datos consultados de la página bio-fit.eu, consultado el 12 de mayo de 2020 la participación más grande en el mercado de los biofertilizantes la tiene la región de América del Norte (Estados Unidos y Canadá) quienes se llevan el 32% de los ingresos mundiales de biofertilizantes, Europa el 23% ya que busca impulsar el consumo y la producción de productos ecológicos.

Gráfica 3. Porcentaje de Ventas por Región de Biofertilizantes

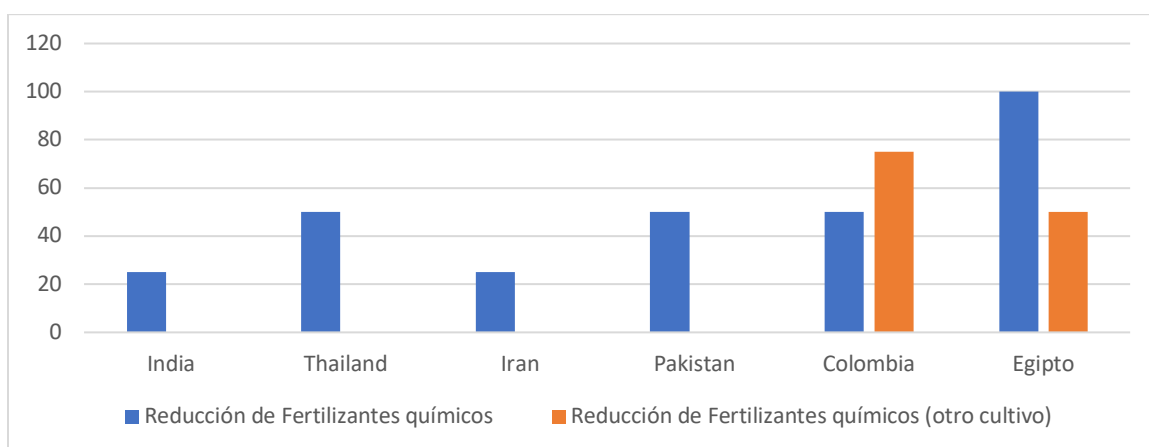


Fuente: Elaboración Propia, con base en datos de Bio-fit.eu, 2020.

Las principales empresas comercializadoras a nivel mundial de biofertilizantes son Novozymes A/S, Rizobacter Argentina S.A., Lallemand Inc., National Fertilizers Limited, Madras Fertilizers Limited and Gujarat State Fertilizers & Chemicals Ltd. El desarrollo de empresas productoras de biofertilizantes para el usuario final, los beneficios del empleo de los biofertilizantes, así como el conocimiento en el empleo del producto, las innovaciones de productos y la confianza de compra entre los clientes están impulsando el desarrollo del mercado global según el informe de investigación de Market Research Explore.

La tabla siguiente muestra la reducción del uso de fertilizantes químicos por la integración de biofertilizantes, en la India ha sido del 25% en el cultivo de la caña de azúcar, en Tailandia en el cultivo del arroz la conversión fue del 50%, en Irán fue del 25% en la producción del comino negro, en Pakistán 50% en el cultivo del maíz, en Colombia del 20 al 50% en las producciones de algodón y arroz y del 75% la producción de habichuela, en Egipto la conversión ha sido al 100% en los cultivos de maíz y okra, y del 75% en el lino (Odame, 1997).

Gráfica 4. Conversión del Uso de Fertilizantes Químicos a Biofertilizantes



Fuente: Elaboración propia en base al trabajo Odame (1997).

Entre los principales problemas que enfrenta China por el uso excesivo de fertilizantes químicos están la infertilidad del suelo debido a la lenta conversión de nutrientes, la acumulación

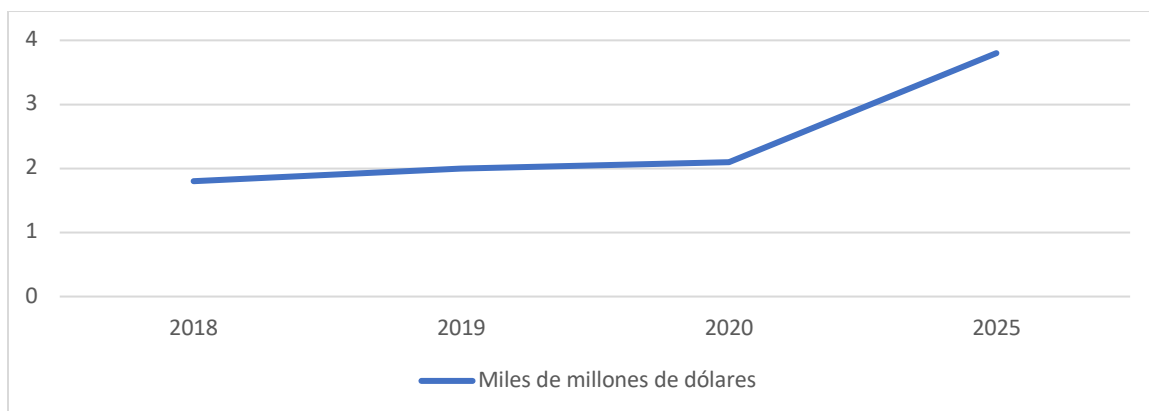
de contaminantes y enfermedades transmitidas por el suelo. La atracción en China por el uso de los biofertilizantes es debido a sus características que ayudan a mejorar la fertilidad del suelo, ahorrar costos de producción, mejorar la eficiencia de los fertilizantes químicos y con esto proteger el medio ambiente.

En 1994 China emitió la norma Biofertilizer, por el Ministerio de Agricultura, que establece los requisitos para técnicas y métodos en la producción de biofertilizantes. El área de aplicación de biofertilizantes ha alcanzado 13.3 millones de ha. que cubren casi todos los cultivos agrícolas (Ruan et al., 2020).

Una investigación realizada en 2018 (Bilan, Lyeonov, Stoyanets, & Vysochyna, 2018) muestra que el crecimiento de las pérdidas energéticas improductivas afecta negativamente a la seguridad alimentaria. Para Pandey y Diwan (2018) las actividades agrícolas son responsables del deterioro de servicios ecosistémicos esenciales como el agua, el aire y el suelo limpios. Haciendo hincapié en la contaminación agrícola por uso excesivo en particular de fertilizantes nitrogenados.

El mercado global de biofertilizantes valió más de US \$1.8 mil millones en 2018, creciendo a una tasa compuesta anual de alrededor del 14.3% durante 2011-2018. El mercado mundial de biofertilizantes estaba valorado en 2.100 millones de dólares en 2020. Se proyecta que el mercado global de biofertilizantes alcanzará los US \$ 3.300 millones para 2025, impulsado por el creciente enfoque de los gobiernos de todo el mundo para reducir la creciente huella de carbono de la agricultura y hacerla más sustentable (Global biopesticides market, 2019).

Gráfica 5. Valor Global de Biofertilizantes



Fuente: Elaboración propia en base a datos de Global Biopesticides, 2019.

Estados Unidos también se clasifica como el mercado de más rápido crecimiento con una tasa compuesta anual de 12.1%. Como el uso de biofertilizantes es obligatorio en la agricultura orgánica, el mercado de biofertilizantes está experimentando un fuerte crecimiento en todo el mundo.

El mercado de biofertilizantes de América del Norte alcanzó un valor de US \$ 552 millones en 2018. El aumento de la conciencia sobre los diversos beneficios para la salud y el medio ambiente de los biofertilizantes impulsará el mercado en los próximos años.

#### 1.2.2.1 Biofertilizantes en América del Norte

El mercado de biofertilizantes de América del Norte contempla los inoculantes a base de rizobio, azospirillum, azotobacter, micorrizas, solubilizadores de fósforo. Estados Unidos y Canadá son los principales mercados de biofertilizantes en América del Norte. El cumplimiento de los objetivos de desarrollo rural y crecimiento sustentable, mediante la mejora de la gestión del suelo, la preservación de la biodiversidad y la promoción de la eficiencia de los recursos, están

contribuyendo al desarrollo de un entorno favorable para los biofertilizantes. Las políticas gubernamentales y los procesos de registro más fáciles están favoreciendo a la industria a largo plazo. En Estados Unidos el proceso de registro se hace a nivel estatal.

En Canadá, la Agencia Canadiense de Inspección de Alimentos (CFIA) tiene procesos bien definidos aceptados por la industria, para el registro de biofertilizantes. El mercado de fertilizantes orgánicos de América del Norte está muy fragmentado, con los cinco principales empresas representan alrededor del 14.8% del mercado en 2020. Agrinos Inc., Kiwa Bio-Tech, Nutrient Ltd, Rizobacter Argentina SA y California Organic Fertilizers son los principales en el mercado (Intelligence, 2022).

#### *1.2.2.2 Biofertilizantes en Latinoamérica*

El uso de biofertilizantes como respuesta para enfrentar la escasez de fertilizantes producto de la guerra en Ucrania fue analizado en un encuentro, organizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), donde participaron expertos de Argentina, Brasil, Chile, Perú y países del Caribe. El ingeniero agrónomo especialista en Agroecología de la Secretaría de Agricultura Familiar, Campesina e Indígena, de Argentina, Federico Pognante, describe el trabajo de la biofábrica donde se producen bioinsumos y preparados biológicos para abastecer y capacitar a agricultores familiares de la región, que se encuentran produciendo de manera agroecológica o en transición, menciona el representante de la FAO, Julio Berdegú “necesitamos innovar para enfrentar la escasez y el alto precio de los fertilizantes sintéticos, y la diversificación de fuentes de nutrientes”, por lo que para contribuir a que la agricultura sea más sustentable se tiene que mantener abierto el comercio internacional de los

bioinsumos; monitorear los stock, volúmenes de importación y precios; compartir los beneficios a través de plataformas transparentes (Milciades, 2022).

Las relaciones que se establecen a partir de la vinculación académica, industria y gobierno, el problema de la generación de conocimiento e innovación en América Latina se concentra, en la escasa participación de la industria en este tipo de actividades y en los avances tecnológicos exitosos que parten desde lo micro, difícilmente son trasladados hacia una escala mayor (Judith Sutz, 2000). Por lo que las actividades relacionadas con la generación de innovaciones, gestión de la tecnología, transferencia tecnológica y protección de la propiedad intelectual tienen que ser apoyados directamente, bajo programas específicos que promueven el desarrollo tecnológico de la región.

Es fundamental encontrar alternativas que den viabilidad y sustentabilidad a los problemas de producción agrícola y de alimentación. La biotecnología agrícola ofrece alternativas como el uso de los biofertilizantes (microorganismos benéficos, bacterias y hongos) para la reducción del uso de agroquímicos. La mejora constante de los biofertilizantes es fundamental ya que han demostrado su eficiencia e impacto en la producción agrícola, gracias a los beneficios asociados a su uso como promotores del crecimiento, aumento de la productividad, reducción de costos de producción, mejoramiento de la fertilidad de los suelos, auxiliar en enfermedades causadas por microorganismos patógenos, mejorar las condiciones medioambientales, entre otras (Bhardwaj, Ansari, Ranjan, & Naredra, 2014; Malusa, Sas-Paszt, & Ciesielka, 2012).

El empleo de los biofertilizantes cada vez se extiende en más productos agrícolas a nivel nacional y mundial. El estudio de estas tecnologías es importante para comprender el impacto económico, social, ambiental, político, productivo (Baum, El-Tohamy, & Gruda, 2015; Zaidi, Ahmad, Khan, Saif, & Rizvi, 2015). En marzo de 2021 en Cuba se aprobaron las normas jurídicas

de la política para la producción, desarrollo y uso de los biofertilizantes, bioestimulantes y bioplaguicidas de uso agrícola (MINAG, 2022), que tiene como objetivo recuperar y ampliar las capacidades de producción de bioproductos económica y socialmente viables para satisfacer la demanda del país y la posible exportación, así como perfeccionar las tecnologías de producción acorde al desarrollo mundial. Entre los principales problemas identificados es que no existe un marco regulatorio que ordene la investigación, desarrollo, producción, comercialización y aplicación de bioproductos de uso agrícola en Cuba. Infraestructura para la Investigación y Desarrollo está deteriorada, incluyendo los laboratorios de suelo y sanidad vegetal, falta disponibilidad de equipamiento e insumos para el mantenimiento y certificación de cepas a nivel nacional e internacional. Demora en la obtención de registros por insuficiente capacidad en los laboratorios y centros acreditados, no existe financiamiento, y los costos de producción tienden a ser elevados.

No se han implementado los Sistemas de Gestión de la Calidad para certificar la calidad de los bioproductos e inexistencia del Sistema de Control Estatal. Insuficientes estudios de factibilidad de uso de bioproductos en la producción agrícola, de su impacto ambiental y la compatibilidad con otros productos químicos y biológicos. Entre las principales propuestas de política están incorporar el uso integral de los bioproductos en las tecnologías agrícolas de los diferentes cultivos como un complemento del manejo sustentable de nutrientes. Incorporar los bioproductos en el Programa de Autoabastecimiento Municipal y que su empleo en la actividad agropecuario en todas las provincias se convierta en un indicador medible a fin de evaluar su impacto.

Defender el concepto de desarrollo agroecológico y el empleo de los bioproductos que contribuya a alcanzar una agricultura sustentable. Complementar el uso de los bioproductos, con

fertilizantes de origen mineral y químico. Garantizar mediante la I+D+I (Investigación, Desarrollo e Innovación) la obtención de los bioproductos de uso agrícola; la mejora continua de las tecnologías existentes, el proceso productivo y la calidad de forma más económica y eficiente. Mantener y fortalecer la red de investigación y producción de bioproductos. Garantizar el cumplimiento de las regulaciones de seguridad biológica, ambientales y sanitarias en las diferentes etapas de investigación, desarrollo, producción y aplicación de los bioproductos de uso agrícola. Registrar los bioproductos de uso agrícola producidos a nivel industrial y semindustrial en el menor tiempo posible. Asegurar que los biofertilizantes sean más baratos que los productos importados multiplicados por el tipo de cambio (Ministerio de la Agricultura, 2022).

Para Peña (Peña-Borrego, Rodríguez, & Zayas, 2018) una de las causas del escaso empleo de biofertilizantes para la mejora de los suelos y el incremento de la productividad en el municipio Calixto García, de la provincia de Holguín, Cuba, es el insuficiente conocimiento del productor respecto a las ventajas de su uso. La aplicación de biofertilizantes en Cuba se ha extendido más al occidente del país, donde se encuentran los principales centros de investigación. Entre las causas de la poca popularidad de los bioproductos en la región oriental de Cuba se encuentran la falta de políticas y distribución, escasos programas para la gestión del conocimiento dirigido a los productores y extensionistas. En la década del 90 del siglo pasado, se crearon en la mayoría de las provincias cubanas laboratorios de suelos y fertilizantes, inicialmente de manera artesanal de inoculables a base de *Rhizobium* sp.

El municipio de Calixto García, en la provincia de Holguín existe degradación de los suelos, específicamente por la salinización, lo que provoca baja productividad agrícola. A pesar de ello, no es común entre los agricultores la aplicación de los productos biológicos, que podrían revertir parte del problema al incrementar la disponibilidad de los nutrientes, entre las causas están la

lejanía entre los fabricantes y los agricultores, además del insuficiente conocimiento de los beneficios del uso de los biofertilizantes por parte de los agricultores del municipio. Se empleó el inoculante micorrízico Ecomic(R) en yuca (*Manihot sp.*), maíz (*Zea mays*) y calabaza (*Cucurbita sp.*), inoculan de rizobios en frijol (*Phaseolus vulgaris*).

El equipo de trabajo integrados por miembros de la Universidad de Holguín y por la unidad productiva “Juan Manuel Romero”, la Unidad de Extensión, Investigación y Capacitación de la Agricultura en Holguín (UEICAH), la dirección municipal de Granja Urbana, la Biblioteca municipal “Onelio Jorge Cardoso” y la Escuela Provincial de Capacitación del MINAG establecieron como prioridades los lineamientos de Política de Ciencia, Tecnología, Innovación y Medio Ambiente, la Política Agroindustrial.

Se obtuvo como resultado la inserción de la unidad productiva en un proyecto institucional, dos proyectos asociados a un programa y un proyecto internacional dirigidos al aislamiento de cepas de rizobios y micorrizas, adaptadas a condiciones de estrés salino y sequía. Productores agrícolas con menos de 3 hectáreas y algunos con más de 6 mencionaron que aplican fertilizantes químicos, pero quieren ser capacitados en temas de fertilización. Los productores sujetos de estudio no conocen, ni emplean biofertilizantes, solo unos pocos emplea *Rhizobium* en la siembra de frijol. Los productores no están dispuestos a aprender si sienten que lo que se les enseñaba no satisface sus necesidades y deseos. Se demostró como se obtienen microorganismos. Se aplicaron biofertilizantes en 13 ha de cultivos: yuca, maíz, calabaza, tomate y frijol, con inoculables micorrízicos y rizobios (AZOFERT (R)).

Es importante tener en cuenta el criterio o percepción de los agricultores para adaptar el conocimiento de los expertos al contexto local. Entre las limitaciones mencionadas por los agricultores fueron que los rizobios solo son distribuidos a los agricultores que reciben el paquete

tecnológico para la siembra de frijol; no existe un mecanismo que garantice los bioproductos a base de micorrizas en el municipio. La adopción y uso eficaz de biofertilizantes microbianos en la agricultura es una de las biotecnologías claves para asegurar la sustentabilidad y la productividad de este sector en los países iberoamericanos (Izaguirre-Mayoral, Labandera, & Sanjuán, 2008).

En 1957, en Argentina, comienza actividades la primera fábrica de biofertilizantes. Antes de esa fecha los pocos biofertilizantes que se aplicaban provenían principalmente de Estados Unidos de Norteamérica, que entraban sin control sanitario. El impulso

de la producción nacional de biofertilizantes se debió a la expansión del cultivo de la soja, junto con el conocimiento de los beneficios económicos y ecológicos de la inoculación de las semillas con bacterias fijadoras de nitrógeno. Entre los primeros estudios se encuentra el trabajo “Cultivo de *Rhizobium meliloti*” publicado en 1969 en la revista “Soil Science”. El personal dedicado a tareas de investigación y desarrollo en la producción y comercialización de biofertilizantes es del 12.5% del total. Más del 90% de los productos cumplen con las normas de control de calidad vigentes (Corvalán et al., 2008). El mercado de biofertilizantes para leguminosas, particularmente de inoculantes para la soja, se compone de demanda local y regional con un marcado crecimiento.

Los biofertilizantes, denominados “fertilizantes biológicos” en el contexto legal, deben estar registrados en el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), que es el organismo sanitario rector de Argentina, cuyo objetivo principal es la fiscalización y certificación de productos y subproductos de origen animal y vegetal, insumos y residuos agroquímicos. La Coordinación General de Agroquímicos y Biológicos dirige las tareas relacionadas a la producción, comercialización y fiscalización de la distribución, despacho, conservación y condiciones de venta de productos agroquímicos y biológicos, como son los fertilizantes biológicos. No existe reglamento respecto del origen de las bacterias, como ocurre en

otros países. No existe una normativa de requisitos cuantitativos para microorganismos, distintos a rizobios, utilizados para la elaboración de biofertilizantes, como formulaciones a base de *Azospirillum*, *Pseudomonas*, micorrizas, *Bacillus*, etc.

Los datos en el SENASA registran cerca de 50 firmas con más de 100 productos de biofertilizantes. El origen del capital de las empresas productoras y comercializadoras de biofertilizantes en Argentina es 88% nacional y 12% internacional, el 80% son empresas pequeñas, y el 16 % de los biofertilizantes se exportan Principalmente a Brasil, Uruguay, Paraguay, Bolivia, EE.UU, y Canadá (Izaguirre-Mayoral, Labanderay, & Sanjuán, 2007).

Las empresas argentinas productoras y comercializadoras de biofertilizantes trabajarón en el control de calidad y difusión de los beneficios de la práctica de inoculación, se realizaron los registros de productos y empresas. Es a partir de 1985 que se incrementa el número de laboratorios que investigan microorganismos beneficiosos para la agricultura.

En Bolivia los biofertilizantes más desarrollados son aquellos en base a rhizobios para la inoculación de leguminosas. La soya es el cultivo que sostiene el mercado de inoculantes con bacterias fijadoras de nitrógeno, mientras que los inoculantes para otras leguminosas se fabrican por encargo a instituciones del sector público.

El uso de biofertilizantes a base de micorrizas aumentan significativamente la producción en el campo. Incrementan el número de microorganismos beneficiosos en la rizósfera creando una micorrizosfera favorable para el desarrollo de poblaciones nativas. Conformadas por bacterias simbiotes fijadoras de nitrógeno, microorganismos que solubilizan el fósforo, bacterias promotoras de crecimiento tales como *Pseudomonas* y *Bacillus*, así como otros organismos de vida libre (Azcon-Aguilar & Barea, 1996). La clave en la formulación de un inoculante es combinar microorganismo rizosféricos seleccionados (micorriza, hongos saprobios, bacterias) que

al realizar diferentes procesos en el suelo minimicen la aplicación de fertilizantes químicos y maximicen el crecimiento y nutrición de las plantas. Análisis económicos sobre agricultura orgánica han demostrado alta rentabilidad solo si los productores conocen las bondades de los microorganismos y utilizan biofertilizantes en el cultivo (FIRA, 2003; Imagen Agropecuaria, 2022).

### *1.2.2.3 Biofertilizantes en Asia*

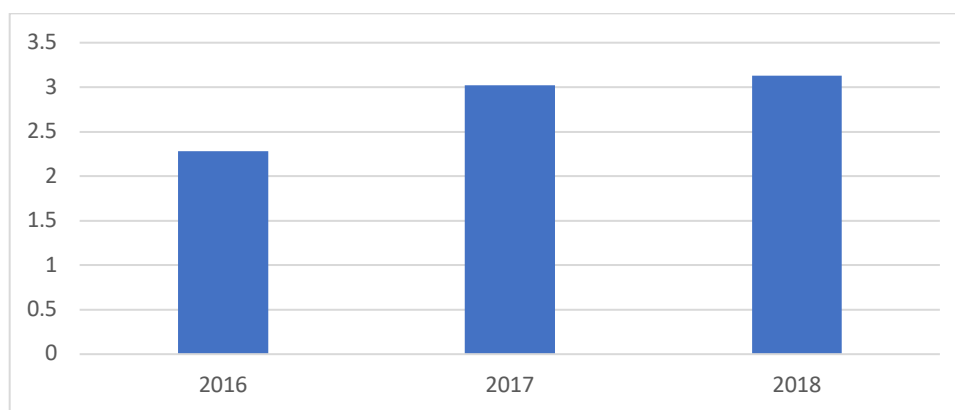
El mercado de biofertilizantes de China está segmentado por microorganismos en *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, bacterias solubilizadoras de fosfato, micorrizas y otros microorganismos, por tipo de tecnología en biofertilizantes enriquecidos con portador, biofertilizantes líquidos y otros tipos de tecnología, por aplicación en el tratamiento de semillas y tratamiento de suelos, y por tipo de cultivo en cereales, legumbres, frutas y hortalizas, plantaciones y otros tipos de cultivos.

Se proyecta que el mercado chino de biofertilizantes aumentará a una tasa de crecimiento anual compuesto entre el 3.5% y 11.6 % durante el período 2020-2025. La creciente importancia de la agricultura orgánica y las políticas gubernamentales favorables que apoyan la agricultura sustentable son algunos de los factores que impulsan el crecimiento del mercado de biofertilizantes. Los biofertilizantes comunes utilizados en China incluyen fertilizantes bacterianos, biofertilizantes orgánicos y biofertilizantes compuestos. Hay más de 950 empresas productoras de biofertilizantes con más de 2000 productos registrados que se utilizan en cultivos comerciales como verduras, frutas, hierbas medicinales chinas y cultivos de caña de azúcar (Mordor Intelligence, 2022a).

China representó el 43% de la cuota de mercado de biofertilizantes para la región Asia-Pacífico en 2019. Los procesos de producción de fertilizantes orgánicos de China han continuado durante más de cinco décadas. La investigación y aplicación de biofertilizantes en China comenzó en la década de 1950.

En China, el Ministerio de Agricultura presentó la Política de Crecimiento Cero de Pesticidas y Fertilizantes para 2020 en 2015, con el fin de eliminar gradualmente el uso de fertilizantes sintéticos y promover el uso de fertilizantes orgánicos y de base biológica. En 2017, se lanzó el plan para el reemplazo de fertilizantes en alrededor de 100 distritos de China, cuyo objetivo es reducir el uso de fertilizantes químicos en al menos 20%. El crecimiento exponencial en el área de cultivo orgánico ha resultado en una mayor demanda de agroinsumos biológicos en China. Se han asignado fondos de investigación al Centro Nacional de Investigación y Promoción de Tecnología de Fertilizantes Microbianos para el desarrollo de la agricultura ecológica en China (Mordor Intelligence, 2022a).

Gráfica 6. Mercado de Biofertilizantes (Millones de hectáreas)

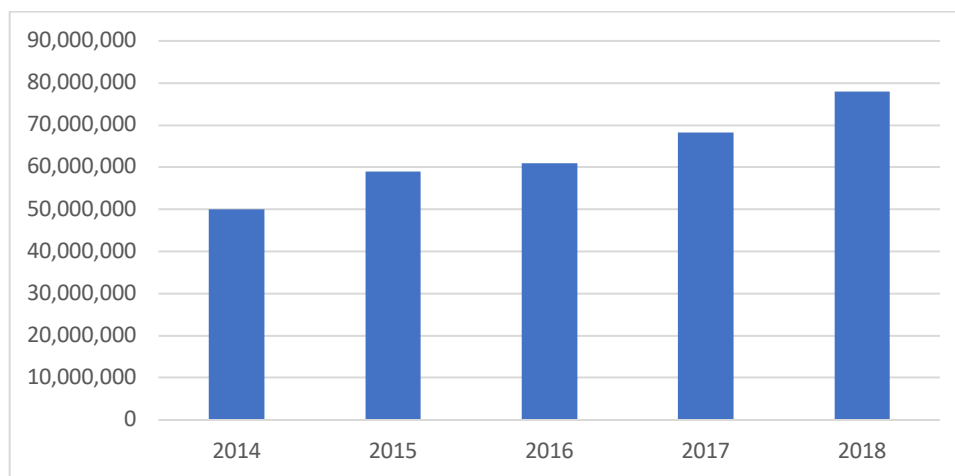


Fuente: Elaboración propia basada en datos del Instituto de Investigación de Agricultura Orgánica

Kiwa Bio-Tech Products Group Corporation, Bodisen Biotech, Inc., Shanxi Haozhida Biotechnology Co., Ltd y Genlido Biotechnology Co., Ltd son algunos de los actores destacados que operan en el mercado.

Para el caso de Vietnam se preve que el mercado de biofertilizantes registre una tasa de crecimiento anual del 10.8% durante el periodo 2020-2025. Por tipo de microorganismo, el segmento Azolla fue el más grande ocupando una participación de mercado del 25% en 2016. Un mayor rendimiento de cultivos producidos orgánicamente, la adopción de tecnologías agrícolas nuevas y avanzadas, y el aumento de las regulaciones sobre los límites de residuos químicos son los factores que aumentan el crecimiento del mercado. Se ha demostrado que los biofertilizantes son extremadamente efectivos en cultivos que son clave para la agricultura en Vietnam, como la mendioca, el arroz, el maíz, la caña de azúcar, la pimienta negra, las nueces de árbol y el café.

Gráfica 7. Mercado de Biofertilizantes en Millones de dólares, Vietnam 2014-2018



Fuente: Elaboración propia basada en datos de Mordor Intelligence, 2022.

Las principales empresas en Vietnam son Vedan Enterprise Corp. Ltd., Que Lam Group, Can Tho Fertilizer @ Chemical Jsc, Ho Chi Minh Agriculture Technical Services Corporation y Trung Hiep Loi Fertilizer Company (Mordor Intelligence, 2022c).

#### *1.2.2.4 Biofertilizantes en Europa*

El mercado europeo de biofertilizantes está segmentado por microorganismos (*Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, bacterias solubilizadoras, micorrizas y otros microorganismos). El pronóstico en el mercado de biofertilizantes de la Unión Europea es que crezca a una tasa anual del 6.7% durante el periodo 2022-2027. La pandemia de COVID-19 frenó el crecimiento del mercado de biofertilizantes en Europa. Los productores de cultivos se vieron afectados por interrupciones en el transporte local e internacional, puertos y carreteras obstruidas y demoras en los trámites aduaneros, lo que impidió el acceso a insumos.

Europa fue el segundo mayor consumidor de biofertilizantes y tenía una participación del 30% del mercado mundial de biofertilizantes en 2019. Debido a la imposición de regulaciones estrictas sobre el uso de fertilizantes químicos en Europa, el uso de fertilizantes químicos tiende a ser reemplazado por fertilizantes biológicos. La Unión Europea (UE) aconseja a los agricultores reemplacen total o parcialmente los fertilizantes convencionales por biofertilizantes para obtener mejores rendimientos económicos. La Política Agrícola Común de la UE promueve la adopción y el uso de biofertilizantes y la agricultura orgánica. Proporciona hasta el 30% del presupuesto como pagos verdes directos a los agricultores para mantener prácticas agrícolas sustentables. El área de la agricultura orgánica aumentó de 12.81 millones de hectáreas en 2017 a 14.57 en 2019.

Europa en el 2020 fue el mercado más grande de biofertilizantes y representó la mayor parte de la cuota de mercado mundial en 2020. Alemania, España y Francia contaban juntas con más de la mitad de la participación europea. Francia tiene la mayor participación en el mercado. *Rhizobium* es el biofertilizante de origen microbiano más utilizado. En 2019 los principales países basados en la agricultura ecológica fueron España (14.3%), Francia (13.6%), Italia (12.1%), Alemania (9.8%) y Austria (4.1%). El aumento de la demanda de productos orgánicos está en auge

debido a un aumento en la conciencia de los consumidores sobre la toxicidad de los fertilizantes sintéticos. Las empresas europeas de biofertilizantes están adoptando diversas estrategias, como lanzamientos de productos, asociaciones y adquisiciones, para obtener una mayor participación en el mercado. Las inversiones en I+D y la introducción de nuevos productos son las principales estrategias. Las principales empresas incluyen Rizobacter Argentina SA, Desarrollo Agrícola y Minero, SA, ABS Greenworld, Agrinos AS, Symborg SL y Andermatt Biocontrol AG.

#### *1.2.2.5 Biofertilizantes en África*

Se prevé que el mercado africano de biofertilizantes registre una tasa de crecimiento anual de 9.3% de 2022 a 2027. La agricultura orgánica y las prácticas agrícolas sustentables, así como los subsidios gubernamentales son las principales razones del consumo creciente de biofertilizantes en África. Uganda tiene el área orgánica más grande con 231,000 hectáreas. Sudáfrica es el primer país entre los países africanos en términos de ingresos generados por el segmento de biofertilizantes, representó el 45.8% de los ingresos totales del mercado africano en 2019, seguido muy de lejos por Kenia y Nigeria. Factores como las preocupaciones ambientales, la mayor conciencia entre los agricultores y la degradación de la calidad del suelo son los principales impulsores del mercado en la región. Entre las principales empresas están Rizobacter Argentina S.A., Novozymes A/S, Symborg, International Panaacea Limited, y MBFI (Mordor Intelligence, 2022b).

#### **1.2.3 Marco Contextual Nacional**

En México el sector agroindustrial contribuyó con 8.5% del Producto Interno Bruto (PIB) en 2017, genero empleos para 7.5 millones de personas, equivalentes a 15% de las plazas formales, y divisas de acuerdo con datos de la entonces Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca

(actualmente Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural) y del Consejo Nacional Agropecuario (CNA, 2020).

El sector agroalimentario creció a una tasa promedio anual real de 2.4%, 0.4% por encima de la economía nacional. Para marzo de 2018, el PIB agroalimentario alcanzó 27 trimestres de crecimiento ininterrumpido. Ese mismo año, las exportaciones del sector alcanzaron los 34 mil millones de dólares y, por cuarto año consecutivo, México en ese momento, obtuvo un superávit (ingresos superiores a los gastos) en la balanza comercial por más de 5 mil 800 millones de dólares, según cifras del CNA (2020).

Los principales socios económicos de México como Estados Unidos y Canadá sufrieron una contracción de sus economías en un 5.9 y 6.2% respectivamente, ante la situación del covid-19. La balanza comercial de productos agroalimentarios que comercializa México con el mundo tuvo un superávit de 11.68% durante el primer cuatrimestre de 2020 (enero-abril), en comparación con el mismo periodo de 2019, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2020). La balanza comercial registró un saldo a favor por 4,843 millones de dólares, lo que indica que la actividad agrícola en México no se detuvo, ante el periodo de pandemia que inicio en marzo (SADER, 2020).

Las exportaciones agroalimentarias, que incluyen productos agropecuarios y agroindustriales, alcanzaron los 14,092 millones de dólares, un aumento de 5.58% en términos anuales, y un comercio agroalimentario global por 23,341 millones de dólares, en los meses de enero a abril de 2020 (Martínez, 2020).

México es el 11° productor mundial, debido al auge exportador que ha experimentado el país, en gran medida a la apertura comercial y firma de 12 tratados de libre comercio con más de 44 países (SIAP-SAGARPA, 2018). El sector frutícola es una actividad estratégica, donde las

*berries* (fresas, zarzamoras, arándanos, frambuesas) se ubican en tercer lugar, después de la cerveza y el aguacate, aportando el 10.6% en el valor de exportaciones (SIAP-SAGARPA, 2018).

En México el INEGI trata de incluir el factor ambiental en el Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas. La base de esa contabilidad es el Producto Interno Neto (PIN), que es el Producto Interno Bruto (PIB) menos el consumo de capital fijo. Con base en el PIN se calcula el Producto Interno Ecológico (PINE), el cual considera el uso y degradación de activos ambientales como el suelo, agua. En las cuentas ecológicas, entre 1999 y 2004, el PIB ecológico (PIBE) representaba en promedio 90% del PIB, lo que implica que los costos totales por agotamiento y degradación ambiental representan 10% del PIB (Cue Mancera & Quintana Romero, 2014a).

En México la actividad agroalimentaria tiene un carácter depredador, por el alto grado de contaminación que genera, tanto en el suelo, mantos freáticos, ríos, mares y atmósfera. En términos del Producto Interno Bruto la actividad agropecuaria representa un 15% en términos de agotamiento y deterioro ambiental (Morales Ibarra, 2014). Para una hectárea de maíz se requiere invertir 4 mil pesos en fertilizantes químicos, mientras que en biofertilizantes se demandan 400 pesos, lo que al incluir biofertilizantes en los cultivos de maíz se podría incrementar en 2,000 pesos el ingreso adicional por hectárea, 400 mil pequeños productores se podrían beneficiar (Andrade, 2018).

Los fertilizantes nitrogenados, por mucho los más importantes en consumo y volumen de producción, se han encarecido. En México, en la primera década del siglo XXI los fertilizantes registraron un incremento del 500% (Secretaría de Economía, 2012). El nivel de eficiencia de los fertilizantes, tanto nitrogenados como fosfatados es de menos del 20%, ya que de cada 100 kilos de fertilizante que se aplica al suelo, la planta no aprovecha más de 20. Además que el desperdicio

de estos fertilizantes es altamente dañino para el medio ambiente, con enorme potencial para contaminar suelos, agua y atmósfera, ya que son considerados generadores del óxido nitroso, uno de los gases más potentes responsables del cambio climático.

México jugó un importante papel mundial en el tema de la fijación del nitrógeno, la base de los biofertilizantes. En el año de 1980 se creó el Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno (hoy Centro de Ciencias Genómicas) de la Universidad Nacional Autónoma de México, que fue pionero a nivel internacional en este tema (Morales Ibarra, 2014).

No existe información que permita cuantificar la superficie en la que se usan biofertilizantes en México, pero se considera que en el 2018 fueron superior a las cuatro millones de hectáreas. En México en el cultivo del café solo el 34% utiliza fertilizantes químicos, y es el segundo cultivo perenne con mayor superficie sembrada, se dejó de promover y apoyar el uso de fertilizantes químicos, ya que los bajos precios al productor imposibilitaban la adquisición de los mismos y la afectación por la roya contribuyeron a que el productor buscara opciones para sustituir el uso de estos fertilizantes, encontrando que los biofertilizantes le permitían, además de un ahorro económico poder incursionar en los mercados de orgánicos que le otorgan mejores precios, y lograr mejores condiciones de salud a las plantaciones. El INIFAP ha realizado pruebas experimentales con biofertilizantes en cultivos de maíz de alto rendimiento en que ha probado que se puede reducir en un 30% el uso de fertilizantes nitrogenados manteniendo los rendimientos e incluso incrementándolos (Guzmán, 2018).

La empresa ASIA (Asesoría Integral Agropecuaria y Administrativa S. A. De C.V.) inició operaciones en 1990 brindando servicios de estudios y proyectos agropecuarios y asistencia técnica a productores. Fue en el año 2000 cuando inicio con los biofertilizantes a partir de un programa de la Secretaria de Agricultura en el Estado de Morelos. Fue en el 2003 cuando se crea

la empresa Biofábrica Siglo XXI S.A. de C.V. que ha mantenido como uno de sus principales objetivos el desarrollo de biofertilizantes para mejorar la productividad, calidad, rendimiento y posicionamiento en el mercado. Se ha vinculado con la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN), el Centro Internacional para el Mejoramiento del Trigo y Maíz (CIMMYT), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Con el Instituto de Investigaciones Biomédicas (IIB) ha desarrollado un biofertilizante líquido, con el Instituto de Ecología ha realizado estudios para medir el impacto ecológico del uso de biofertilizantes. Ha establecido relaciones con los gobiernos de Michoacán y Guerrero en programas de fertilización.

Los biofertilizantes los ha certificado como resultado de procesos orgánicos. Cuenta con estancias de investigación y becas de estudiantes de maestría, mediante Programas del Gobierno del Distrito Federal de “Investigación en tu empresa”. En 2007 Biofábrica obtuvo el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECYT) que le ha permitido presentar proyectos apoyados por CONAHCYT (“Biofábrica siglo XXI,” 2022).

Algunas causas que explican el atraso tecnológico de América Latina son su baja participación en la producción de conocimiento y su vinculación con el mercado, escasa inversión en Investigación y Desarrollo (Barragán, 2021). En el caso de México su dependencia tecnológica esta ligada a bienes de capital importados, conocimiento del extranjero y participación en grandes empresas del exterior (Arocena & Sutz, 2001).

Barragán (2021) llevo a cabo un estudio de caso realizado en la Biofábrica Siglo XXI enfocandose en el estudio de los Sistemas Agroalimentarios Localizados (SIAL) y el empleo de biofertilizantes, en el desarrollo de capacidades endógenas (tecnológicas y organizacionales) para la atención de problemas locales, los SIAL promueven el desarrollo territorial a partir del uso de

recursos locales y la cooperación entre actores de la región, mirando hacia lo global, pero teniendo en cuenta la problemática de cada entorno en particular (Boucher, 2012).

El trabajo de la Biofábrica Siglo XXI se ha fortalecido por su estrecha vinculación con la academia y el gobierno, lo que ha aumentado la confianza en los agricultores y aumentar su participación en el mercado. La empresa destaca en la comercialización de productos basados en dos bacterias (*Azospirillum brasilense* y *Rhizobium etli*) y hongos micorrízicos arbusculares (*Rhizophagus irregularis*). La bacteria *Azospirillum brasilense* se aplica en la mayoría de los cultivos, es un bioinoculante no simbiótico, que ayuda en la fijación del nitrógeno y produce fitohormonas y estimula el crecimiento de las plantas. La bacteria *Rhizobium etli* es simbiótica con las plantas, dirigida principalmente a las leguminosas, aporta nitrógeno y favorece el crecimiento. Los hongos micorrízicos arbusculares ayudan a solubilizar diversos nutrientes, cómo el fósforo (Barragán Ocaña, 2021).

Los biofertilizantes que comercializa 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 más amplia, pero en el caso de los pequeños productores campesinos el suministro está ligado a programas gubernamentales (Barragán, 2021).

En cuanto a la productividad la empresa ha llevado una cantidad de pruebas significativas en diversas especies de cultivos agrícolas. Específicamente en experimentos de agricultura protegida, en invernaderos se ha observado el aumento en la cantidad y tamaño de los frutos de jitomate tratada con biofertilizantes, en comparación con plantas testigo con fertilización convencional (Barragán, 2021). Biofábrica Siglo XXI cuenta con oficinas centrales en la Ciudad de México, planta de producción en Cuautla, Morelos y siete distribuidores en los estados de Veracruz, Nuevo León, Puebla, Michoacán, Sinaloa y Chiapas.

En el 2021 la empresa se encontraba desarrollando nuevos productos en vinculación con Instituciones Académicas Nacionales como el Instituto de Investigaciones Biomédica de la UNAM, para la producción *in vitro* de micorrizas; Con el IPN en un producto para el control de plagas y enfermedades basado en el uso de bacterias *bacillus*. Cuenta con convenios con el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav), con Stela-Genomics, INIFAP. Sus bioinoculantes son aceptados por las certificadoras de Citrofrut, de la cual es proveedora de biofertilizantes. El empleo de tecnologías accesibles y de bajo costo, como los biofertilizantes, es una alternativa para mitigar los altos costos de uso de fertilizantes convencionales y mejorar la fertilidad de los suelos agrícolas de los pequeños y medianos agricultores mexicanos. Es una opción pertinente y sustentable para aumentar la productividad, incrementar la rentabilidad y mejorar las condiciones ambientales, principalmente de suelos y agua.

#### ***1.2.4 Marco Contextual Estatal***

En Michoacán se apostó por cambiar las prácticas en la producción de cultivo en el ciclo de cultivo de 2020, triplicando el presupuesto para el programa de Agricultura Sustentable, con 45 millones de pesos, para alcanzar 20 mil hectáreas con este esquema. El titular de la Secretaría de Desarrollo Rural y Agroalimentaria (SEDRUA), Rubén Medina Niño (Secretaría de Desarrollo Rural y Agroalimentario, 2019) , explicó que el programa de Agricultura Sustentable surgió en 2019 en tres cultivos y seis mil hectáreas, pero ante los buenos resultados que tuvieron, como el incremento de la producción desde el 40% hasta un 80%, se decidió incrementar el presupuesto e iniciar el ciclo agrícola con 12 cultivos.

Entre los productos donde se aplican las innovaciones de la Agricultura Sustentable están el maíz, frutillas, frutales como la guayaba, mango, toronja, así como jamaica, lenteja y arroz. Este

tipo de innovaciones en la agricultura han disminuido los costos de producción, al emplear biofertilizantes, se dejan de emplear agroquímicos para el control de plagas y enfermedades, obteniendo productos más sanos y conservando y regenerando el suelo.

Michoacán aporta el 96% de la producción nacional de zarzamora. La zarzamora mexicana se exporta a 31 países, de los cuales el 93.1% lo consume Estados Unidos. México es el principal productor de zarzamora con 270,399 toneladas en el 2017, lo que representa una cuarta parte del volumen cosechado a nivel mundial (SIAP-SAGARPA, 2018). El sector agrícola aporta el 10.7% del PIB total de la entidad. Los Reyes son el municipio líder a nivel estatal por el valor de la producción agrícola (9.9%), seguido de Peribán (7.4%).

En producción orgánica se registran 1 millón 129 mil hectáreas (ha). Lo que representa más del 5% del total de las ha. destinadas a la agricultura, siendo el café, el aguacate, el cártamo y el maíz los productos que mayor extensión territorial ocupan a nivel nacional. Los principales productos agrícolas orgánicos que se exportan son el aguacate, el plátano y el café (SIAP-SAGARPA, 2018).

Con el objetivo de implementar técnicas innovadoras y agroecológicas para la producción y mejoramiento del campo, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Sader), avanza en la sustitución de fertilizantes químicos por bioinoculantes. El gobernador Alfredo Ramírez Bedolla, informó que a través del programa Agrosano, se brindó apoyo a productores del campo con 22 mil toneladas de biofertilizante. El titular de Sader, Cuauhtémoc Ramírez Romero, detalló que el programa de biofertilizantes es un esquema de transición agroecológica para incorporar elementos que permitan mejorar la rentabilidad, fertilidad del suelo e incrementar los rendimientos bajando los costos de producción (Sader, 2022).

Se realizaron 414 talleres en el 2022 con la finalidad de transmitir conocimientos y enseñar a las personas y estudiantes de educación media superior y superior, la producción de biofertilizantes, compostas y reproducción de microorganismos benéficos para los suelos a fin de establecer una red de 25 biofábricas con inversión federal y estatal. Son 113 municipios los que están cubiertos con la producción de bioinsumos a través de la red de biofábricas para alcanzar las 50 en el 2022. Se trabaja en capacitar a los municipios para que puedan producir sus propios biofertilizantes a fin de bajar costos, cuidar la tierra, no contaminar y evitar la dependencia de otros países. Sin embargo el conflicto entre Rusia y Ucrania generó un incremento desproporcionado en el costo de fertilizantes químicos a nivel mundial en donde México no es la excepción (Mendoza, 2022).

### **1.3 Planteamiento del Problema**

En reuniones con productores de aguacate de Los Reyes Michoacán, y productores de zarzamora de Ziracuaretiro, Michoacán, así como pláticas realizadas con biofábricas de Los Reyes y Ziracuaretiro, Michoacán, y mediante encuestas realizadas a los productores agrícolas y a las biofábricas se determinaron las variables de la presente investigación, siendo la variable dependiente la innovación y las independientes la sustentabilidad, productividad y rentabilidad.

Se investigó sobre los biofertilizantes, producidos por las biofábricas, de tal manera que brindaron la oportunidad de conocer lo relacionado con sus procesos de innovación, sustentabilidad, productividad y rentabilidad. Por lo que la presente investigación tiene como variable dependiente la innovación en las biofábricas de biofertilizantes. Se analizaron y explicaron ¿Cuáles son los factores que inciden de manera más significativa en la innovación de los biofertilizantes, producidos en las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México? El

estudio es correlacional-explicativo, ya que se determina la relación de la variable dependiente, en esta investigación es la innovación, con las variables independientes sustentabilidad, productividad y rentabilidad.

Se consideraron los productores agrícolas de asociaciones de Los Reyes y Ziracuaretiro Michoacán, y las biofábricas relacionadas con las actividades agrícolas del estado de Michoacán, como Biosa-Procal de los Reyes y Agroquintana de Ziracuaretiro, la muestra se consideró de acuerdo a lo establecido para trabajar con el software SmartPLS4, de 10 cuestionarios por cada indicador, de acuerdo a la variable latente exógena compuesta por más indicadores.

Se analizaron fuentes escritas, así como las que se encontraron en el internet, donde se seleccionó el material que se determinó con mayor relevancia y al tema de investigación, realizando una lectura crítica y objetiva. Se utilizaron técnicas de investigación como la recogida de datos, observación directa, entrevistas, herramientas e instrumentos como cuestionarios. En la presente investigación se utilizaron los programas Excel, Word, Smartpls4, para desarrollar la parte cuantitativa de la investigación. En México y más aún en Michoacán las publicaciones sobre la producción y comercialización de biofertilizantes, elaborados por las biofábricas, en el sector agrícola son pocas, aunque con una tendencia al alza principalmente en temas biológicos, ambientales y agronómicos, por lo que el presente trabajo llena un vacío en este campo del conocimiento.

### ***1.3.1 Problema Identificado***

La población tanto internacional como la nacional demanda gran cantidad de alimentos inocuos y nutritivos, por lo que el sector agrícola mexicano en su búsqueda de satisfacer dicha demanda atraviesa grandes problemas como son la degradación de sus ecosistemas, el cambio

climático y la contaminación, lo que ha llevado a disminuir y degradar las tierras dedicadas al cultivo y ha incrementado los daños ocasionados por plagas, y enfermedades. Por lo que, para revertir y mejorar las condiciones de producción, es necesario una reconversión hacia la aplicación de biofertilizantes.

Se han hecho investigaciones en otros países, principalmente en Estados Unidos y España, así como Italia, China, Cuba, Brasil y México sobre el tema biofábricas en el Sector Agrícola, donde se han enfatizado las numerosas problemáticas medioambientales, que tienen repercusiones sobre la vida del planeta en general, donde existe una preocupación por el tema de innovación y sustentabilidad.

Los insumos que se ofrecen en el mercado para aumentar la rentabilidad de los productos agropecuarios, como los agroquímicos, tienen una repercusión que impacta de manera negativa en el entorno, tanto en el suelo, mantos acuíferos, aire, la salud de las personas. La gente que se encuentra en las comunidades donde se emplean los productos químicos tienen una gran probabilidad de enfermarse, ya que, entre los materiales de desechos, se encuentran los clasificados como peligrosos por su contenido de sustancias químicas.

Cerca de un 90% de los agricultores en Michoacán utilizan agroquímicos, además del impacto negativo en su aplicación directa, se desechan aproximadamente 50 millones de envases vacíos de agroquímicos los cuales en su mayoría son depositados en barrancas, cuerpos de agua, basureros municipales y carreteras (SAGARPA, 2015). Lo que provoca la contaminación de los cuerpos de agua, contaminación atmosférica cuando son quemados, e importantes riesgos para la salud como el cáncer.

Algunas enfermedades, como el cáncer, se relacionan por la filtración de las sustancias de los fertilizantes químicos, en el subsuelo, que se manifiesta en los pobladores que habitan y/o

trabajan cerca de las tierras donde se realizan actividades agrícolas donde se utiliza de manera indiscriminada dichos agroquímicos. Algunas personas reutilizan los envases y envolturas de los agroquímicos sin darle el tratamiento apropiado, lo que conlleva importantes riesgos a la salud, así tampoco tienen los cuidados necesarios al aplicar los fertilizantes químicos tradicionales. Durante las visitas realizadas a los productores se comentó que algunos productores se enfermaron de cáncer, atribuyendo la enfermedad al empleo indiscriminado y sin equipo de protección al aplicar los agroquímicos y a la cercanía relativa a los campos agrícolas donde se emplean estos agroquímicos.

En Michoacán se generan cerca de dos millones de envases de agroquímicos al año, equivalentes a 171, 000 toneladas anuales, siendo capaces de contaminar suelos y aguas, tanto superficiales como subterráneas, generando riesgos de intoxicación en seres vivos, de los cual no se encuentra excluido el hombre (Nuñez, 2019).

Además de los problemas de contaminación, salud humana, y en particular la pérdida de fertilidad de los suelos por el empleo indiscriminado de agroquímicos, está también el aumento cada vez más elevado de los precios de los fertilizantes sintéticos, además que de estos solo el 20% es aprovechado para el desarrollo de los cultivos. Además de problemas existen oportunidades cómo lo son el mercado de productos orgánicos que esta siendo impulsado tanto a nivel local como internacional. Es por lo anterior la importancia de una investigación más profunda sobre el tema de los biofertilizantes.

### **1.3 Pregunta de Investigación**

La pregunta de esta investigación delimitó el área a investigar, permitiendo una mejor orientación y precisando lo más claro posible lo que se pretende, ligando la pregunta con la metodología, los

procedimientos e instrumentos utilizados, ligados con el objetivo general planteado y con la hipótesis, por lo que a continuación se mencionan la pregunta general y las específicas que permiten un mejor enfoque del presente trabajo.

#### ***1.4.1 Pregunta General***

¿Cuáles son los factores que inciden de manera más significativa en la innovación de los biofertilizantes, producidos en las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México?

#### ***1.4.1 Preguntas Específicas***

¿De que manera influye la Sustentabilidad en la Innovación de los biofertilizantes, en el sector agrícola de Michoacán, México?

¿Cómo es el impacto de la Productividad en el proceso de innovación de los biofertilizantes, elaborados en las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México?

¿Por qué es la Rentabilidad uno de los factores más significativos en el proceso de innovación de los biofertilizantes, elaborados en las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México?

### **1.4 Objetivo de Investigación**

A continuación se describe el objetivo general y específicos que expresan lo que se busca así como la forma en que se determina la finalidad y la postura frente a la pregunta de investigación anteriormente formulada, permitiendo contrastar la hipótesis planteada.

### ***1.5.1 Objetivo General***

Explicar los factores que inciden de manera más significativa en la innovación de los biofertilizantes, producidos y comercializados por las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México.

### ***1.5.2 Objetivos Específicos***

Analizar en que medida la sustentabilidad influye en el proceso de innovación de los biofertilizantes, producidos y comercializados por las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México.

Determinar como afecta la productividad en la innovación de los biofertilizantes, producidos y comercializados por las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México.

Describir los principales aspectos de la rentabilidad con la innovación de los biofertilizantes, producidos y comercializados por las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México.

## **1.6 Hipótesis**

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.

## **1.7 Modelo de Variables.**

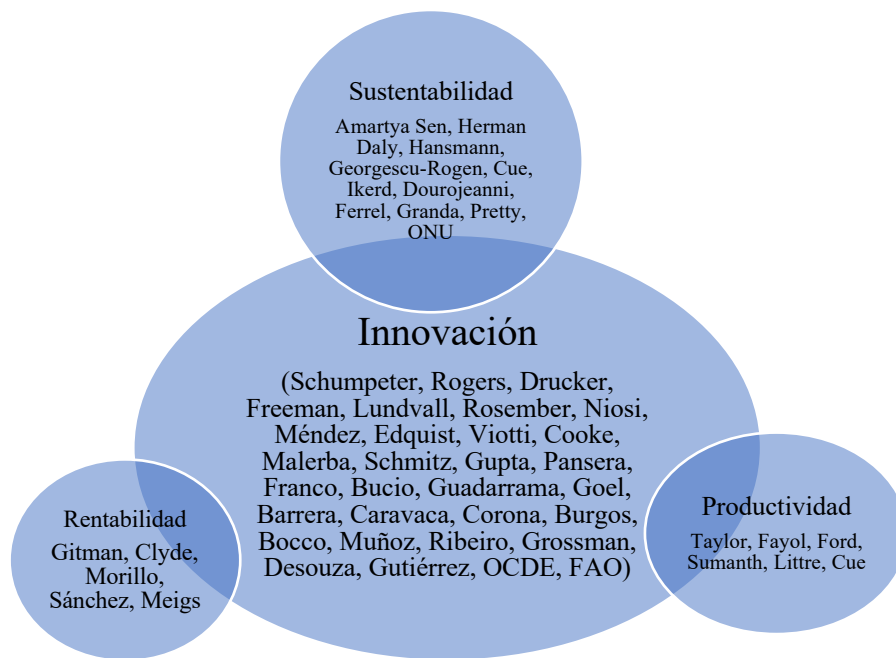
### ***1.7.1 Variable Dependiente***

Innovación

### ***1.7.2 Variables Independientes***

La Sustentabilidad, Productividad, Rentabilidad.

Gráfica 8 Modelo de Variables



Fuente: Elaboración Propia

## **Capítulo 2. Marco Teórico**

La innovación es un factor clave para el crecimiento económico y desarrollo de la empresa, región, estado o del país a largo plazo ya que permite el incremento de la productividad y por lo tanto de la rentabilidad, genera nuevos empleos, promoviendo la creación de nuevos productos y formas de realizar las cosas. Y es más importante cuando el desarrollo es sustentable mejorando el bienestar social, y al mismo tiempo el medioambiental, a través de la solución de problemas como son la salud, la pobreza y de los recursos naturales.

Como menciona Sánchez-Ancochea (2005) el estudio teórico de la innovación parte de los análisis del economista austriaco Schumpeter quién afirmó que el desarrollo económico está sustentado en la innovación, a través de un proceso dinámico en el cual nuevas tecnologías sustituyen a las antiguas. A este proceso lo llamo “destrucción creativa”. Sánchez-Ancochea afirma que para Schumpeter las innovaciones radicales originan grandes cambios del mundo mientras que las innovaciones incrementales alimentan de manera continua el proceso de cambio. La relación entre innovación y crecimiento económico es que la creación de nuevos productos y métodos más productivos ayudan a que las empresas y otras organizaciones mejoren sus resultados aumentando la producción o reduciendo costos.

Gráfica 9 Tipos de Innovación en el Manual de Oslo

El manual de Oslo (2005) destaca los tipos de innovación de la siguiente manera:



Fuente: Elaboración propia.

La innovación es todo cambio basado en conocimiento que genera riqueza, la meta de cualquier proceso innovador es la generación de riqueza (Muñoz, Aguilar, Rendón, & Altamirano, 2007). Cualquier tipo de cambio orientado a la innovación, debe estar basado en conocimientos, soportados en información y datos.

## **2.1 Innovación**

La innovación nace de ideas y propuestas concebidas y expresadas por personas, se concreta en planes y proyectos y son las personas las que llevan a la práctica los proyectos innovadores. La meta de cualquier proceso innovador es el bienestar económico y social. La capacidad de innovación es la habilidad de una empresa para integrar sus recursos tangibles e intangibles, con el fin de lograr algún resultado específico (Muñoz et al., 2007)..

Joseph A. Schumpeter (1883-1950) economista austriaco del siglo veinte introduce como elemento central en el análisis económico el proceso de innovación empresarial, conceptualiza la innovación como producir otras cosas, o las mismas por métodos distintos (Schumpeter, 1968). Para Schumpeter citado por Montoya (2004) el cambio surge dentro del sistema (proceso endógeno), en su propuesta de desarrollo económico introdujo el concepto de la innovación como causa del desarrollo y el empresario innovador como propiciador de los procesos de innovación. Schumpeter (1978) considera el proceso de producción como una combinación de fuerzas productivas, las que a su vez, están compuestas por fuerzas materiales: que son los llamados factores de la producción como el trabajo, la tierra y el capital; y fuerzas inmateriales que son los hechos técnicos y la organización social.

Para Schumpeter (1978) la fuerza fundamental que mueve la producción capitalista y la causante de sus procesos de transformación constante es el proceso de innovación tecnológica.

Entendiendo por innovación una invención que se introduce en el mercado. Para Schumpeter las innovaciones radicales, capaces de provocar cambios revolucionarios, transformaciones decisivas en la sociedad y en la economía son las que explican las transformaciones sociales. Por innovación radical entiende: la introducción de nuevos bienes de consumo en el mercado, el surgimiento de un nuevo método de producción y transporte, la apertura de un nuevo mercado, la generación de una nueva fuente de oferta de materias primas, cambio en la organización de cualquier organización o en su proceso de gestión.

El desarrollo territorial de los países y regiones depende en buena medida de su capacidad para aprovechar y transformar los conocimientos en innovaciones (Solís, 2015), es decir en bienes, servicios y procesos nuevos o mejorados, basados en el uso intensivo del conocimiento (Ribeiro-Soriano et al. 2020).

Los biofertilizantes se pueden considerar una innovación radical ya que son nuevos insumos en el mercado que se adaptan a las necesidades de los cultivos, implica un nuevo método en el proceso productivo agrícola, ya que se requiere un conocimiento específico que en su momento lo brinda la biofábrica, al capacitar al productor; un mercado específico y que actualmente es dirigido, es el mercado de los productos orgánicos y la agricultura sustentable, se pueden considerar una nueva fuente de insumos ya que para muchos agricultores es algo nuevo, y se necesita cierto cambio en la organización del productor, puesto que los propios productores, con la asesoría adecuada, pueden producirlo directamente en sus terrenos agrícolas.

Para Schumpeter (1996) el empresario es aquella persona que tiene capacidad e iniciativa para proponer y realizar nuevas combinaciones de medios de producción, la persona con negocio o sin negocio que sea capaz de generar y gestionar innovaciones radicales dentro de las organizaciones o fuera de ellas. La velocidad en la innovación de nuevas tecnologías, procesos,

productos caracteriza el siglo XXI. El surgimiento de nuevas innovaciones, cambian la manera en que se producen, comercian, intercambian y consumen los bienes y servicios.

La difusión de innovaciones ocurre a través de individuos en un sistema social, y el patrón de comunicación a través de estos individuos configura una red social (Valente, 1999). El contexto es una referencia esencial, la interacción una estrategia imprescindible y la ética el garante de la sustentabilidad y evolución de cualquier emprendimiento de innovación. El estudio de las redes de innovación permite analizar la situación de los flujos de información entre productores, empresas e instituciones, y ubicar factores relacionados con la existencia de estas relaciones, favoreciendo la toma de decisiones.

Drucker (1985) define la innovación como un análisis sistemático de los cambios para transformarlos en oportunidades de negocio. Enlista las posibles fuentes de innovación de la siguiente manera: Las sorpresas, las incongruencias, necesidades de proceso, cambios en los sectores y en el mercado, cambios demográficos o poblacionales, tendencias o cambios en la percepción de los consumidores y nuevos conocimientos.

Los actores que generan innovaciones se encuentran tanto en el sector público como privado. En América Latina en el sector público está representada por universidades, centros de investigación sobre innovación principalmente, los actores involucrados en la innovación no sólo son los que innovan; son también los que reciben innovaciones. El sector empresarial privado es un receptor fundamental de innovaciones, el sindicato es otro actor de recepción de innovaciones, a diferencia del empresarial que tiene el poder de tomar decisiones, el sindical es un receptor pasivo (Sutz, 2002).

La innovación es reconocida como el proceso clave para el crecimiento económico de empresas, regiones y países (Grossman & Helpman, 1994). La innovación se puede dar en el

desarrollo de nuevos productos, procesos, servicios o modelos de negocio en el sector agroindustrial. En comparación con los contextos urbano-industriales, los procesos de innovación en áreas rurales han recibido escasa atención.

Rogers (1995) en la teoría de la difusión de innovaciones explica cómo, por qué y a qué velocidad se mueven las nuevas ideas y tecnologías a través de las diversas culturas. Para Rogers el principal elemento de la innovación es una idea, práctica u objeto que es percibido por un individuo como nuevo.

Algunos de los principales conceptos sobre lo que es la innovación de acuerdo a principales investigadores sobre el tema: Schumpeter (1978) lo ve desde una perspectiva evolucionista, refiriéndose a innovación en producto, donde se incluye la materia prima, la evolución en proceso y de nuevas estructuras de mercado; Freeman (1995) describe la innovación como proceso de integración de la tecnología existente y los inventos para crear o mejorar un producto, un proceso o un sistema; consiste en la consolidación de un nuevo producto, proceso o sistema mejorado en un sentido económico.

Existe diferencia entre lo que es invención e innovación, ya que a veces se les considera como sinónimos, la invención es toda creación humana que permite transformar la materia o la energía para su aprovechamiento mientras que la innovación está dirigido a un mercado bajo un enfoque de negocio que detecta oportunidades y capacidades organizacionales para generar productos, procesos o servicios novedosos, e innovación tecnológica es un proceso que conjuga una oportunidad de mercado con una necesidad y/o una invención tecnológica que tiene.

La innovación es muy vital para sostener y avanzar en los negocios, es un proceso muy complejo, es necesario una administración efectiva de la innovación para crear innovaciones radicales y generar adaptaciones en dichas innovaciones para alargar su vida útil. La definición

de innovación más aceptada hoy en día es la que ofrece la OCDE (2018) que la describe como un producto o proceso nuevo o mejorado (o una combinación de ellos) que difiere significativamente de los productos o procesos previos de la unidad y que ha sido puesto a disposición de los usuarios potenciales (producto) o puesto en uso por la unidad (proceso).

Se distinguen cuatro tipos de innovación, de acuerdo a la OCDE (2005):

**Innovación de producto:** es un bien o servicio que es nuevo o significativamente mejorado respecto a sus características o usos. Esto incluye mejoramientos en componentes, materiales y especificaciones técnicas, software, facilidad de uso y otras características funcionales.

**Innovación de proceso:** es la implementación de un nuevo o significativamente mejorado método de producción o distribución. Esto incluye cambios en la técnica, equipo o el software.

**Innovación de marketing:** es la implementación de un nuevo método de marketing que involucra cambios significativos en el diseño o empaquetado del producto, la plaza, promoción o precio.

**Innovación organizacional:** un nuevo método organizacional en la práctica de los negocios, organización del lugar o en las relaciones externas de la empresa.

Desouza (2009) describe el proceso de innovación en las siguientes 5 etapas:

**La generación y movilización de ideas.** La generación de nuevas ideas se debe alimentar de la presión generada por la competencia, así como de la creatividad. La movilización de ideas entre diferentes agentes es esencial en esta etapa ya que facilita su desarrollo.

**Revisión y selección de ideas.** Esta etapa consiste en considerar sólo las ideas con mayor potencial de generación de valor y crecimiento económico y social.

**Experimentación.** La experimentación prueba la viabilidad de las ideas en un ambiente determinado y ayuda a confirmar que la invención o idea resuelve efectivamente un problema.

Comercialización. Permite llevar la innovación a una mayor escala y ampliar y desplegar el nuevo producto, servicio o método de organización en un mercado.

Difusión e implementación. Esta etapa consiste en la aceptación final de la innovación y la implementación de las estructuras y recursos necesarios para la producción, el mantenimiento y la difusión de la innovación.

Estas etapas no necesariamente deben seguir ese orden lineal. En cada etapa intervienen diferentes actores que con su conocimiento, recursos y experiencia contribuyen a la generación de nuevos productos, servicios, métodos de marketing y procesos organizacionales.

Los biofertilizantes son productos innovadores, como expresan Gutiérrez y Díaz (2018), la innovación es fundamental para el desarrollo tecnológico y económico, es un factor, para destacar ante los rápidos cambios tecnológicos, ante un mercado cada vez más exigente e internacional, preocupado por el medio ambiente Gil (2020) menciona que cuando una tecnología está amparada por numerosas patentes, es necesario negociar el consentimiento con todos los titulares para poder explotarla, lo que puede conllevar costes excesivos.

Los países latinoamericanos que generan el mayor número de patentes son Brasil (7505), México (2522), Chile (876) y Argentina (766) IMPI (IMPI, 2017). México tiene la tasa de crecimiento anual más alta de América Latina en generación de patentes IES, con 18.3% para el período 2010-2020. Dicho crecimiento se debe al aumento de recursos financieros y recursos humanos, infraestructura y oficinas de transferencia de tecnología (Beltrán-Morales et al., 2020).

La generación de políticas de Estado en materia de ciencia, tecnología e innovación adecuadas y factibles representan una prioridad para el desarrollo y avance de un país en materia de desarrollo social y competitividad económica. Se busca que la innovación incida favorablemente en las condiciones para enfrentar la crisis alimentaria y la crisis ecológica mediante

formas sustentables de producción agropecuaria e industrial (Jargalsaikhan et al., 2019) y al mismo tiempo formas de producir alimentos suficientes inocuos y nutritivos (FAO, 2011).

Las tecnologías tienen que ser apropiadas, accesibles y adaptadas a las necesidades locales de los agricultores. Para aumentar la productividad, se deben emplear nuevas opciones tecnológicas, que mejoren la ordenación del agua, que reduzcan las pérdidas posteriores a la cosecha, mejoren los recursos naturales, aumenten la fertilidad del suelo (Sonnino & Ruane, 2013).

Ya no se puede, ni se debe, basar la producción agrícola en los energéticos, como es el caso de los fertilizantes, que en su proceso de producción, bajo el método de Haber-Bosch, requiere altos volúmenes de energía, despiden a la atmósfera, a nivel mundial 275 millones de toneladas de dióxido de carbono por año (Olivares, Bedmar, & Sanjuán, 2013). Se está agotando la roca fósforica usada para la elaboración de fertilizantes fosfatados, que bajo las condiciones actuales de consumo, se agotará en aproximadamente setenta años.

Entre los factores que estimulan la innovación en la agricultura se encuentran los ubicados por sectores como son cambios de los patrones de consumo alimentario como resultado del crecimiento de la población, la posición dominante de las cadenas de distribución de alimentos: los que vienen del mercado como son el comercio internacional y cambios de la demanda global, cambios en la sensibilidad de los consumidores relacionados con la sustentabilidad, la inocuidad de los alimentos, los precios de los insumos (fertilizantes), costos de la mano de obra: los referentes al ambiente como son el cambio climático, desastres naturales, disponibilidad de recursos naturales (tierra, agua, biodiversidad): los de políticas y marco regulatorio como son las reglas, estándares y normas, impuestos, incentivos y subsidios: los de ciencia y tecnología como los avances en los conocimientos básicos de las ciencias de la vida, tecnologías basadas en la información y comunicación, conocimiento de oportunidades de mercado, disponibilidad de nuevos insumos

(biofertilizantes, bioplaguicidas), disponibilidad de nuevas practicas agronómicas, nuevas tecnologías e infraestructura de almacenaje y conservación (Sonnino & Ruane, 2013).

Al hablar de biotecnología también se hace referencia al uso de organismos vivos (bacterias y hongos), que se encuentran en la naturaleza, que se asocian con las plantas, y ayudan, biológicamente, al proceso de desarrollo y nutrición de las plantas, siendo el caso de los biofertilizantes. En 1888 se descubre el origen microbiano de los nódulos en las plantas de las leguminosas, que las provee de nitrógeno e identifican a la bacteria del género *Rhizobium*, como la causante de este proceso.

En la segunda mitad del siglo XX se descubre que la capacidad de fijar nitrógeno en las plantas no es exclusiva del *Rhizobium* en leguminosas, sino que existen otras bacterias que tienen esa capacidad en plantas no leguminosas, como es el caso del *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Clostridium*, que no tienen relación simbiótica con la planta pero son capaces de proporcionarle nitrógeno y estimular el crecimiento, así como protegerla contra patógenos (Olivares et al., 2013).

Las políticas y estrategias de innovación en agricultura deben demostrar su importancia, para conseguir el reconocimiento de la sociedad y el apoyo de los gobiernos, comunicar efectiva y transparentemente los resultados logrados, así como los impactos de desarrollo conseguidos. Entre las principales ventajas del uso de biofertilizantes destacan el incremento de la producción, ausencia de contaminación de suelos, bajo costo en el proceso de fertilización, disminución de los costos de operación, aumento en la calidad de la tierra y mayor resistencia a la sequía.

La innovación significa la implementación de nuevas variedades de cultivos, la combinación de prácticas tradicionales con nuevos conocimientos científicos, la utilización de nuevas tecnologías y maquinaria, la aplicación de viejas o nuevas prácticas de producción y postcosecha o la participación en los mercados de una forma nueva y más rentable, entre otros

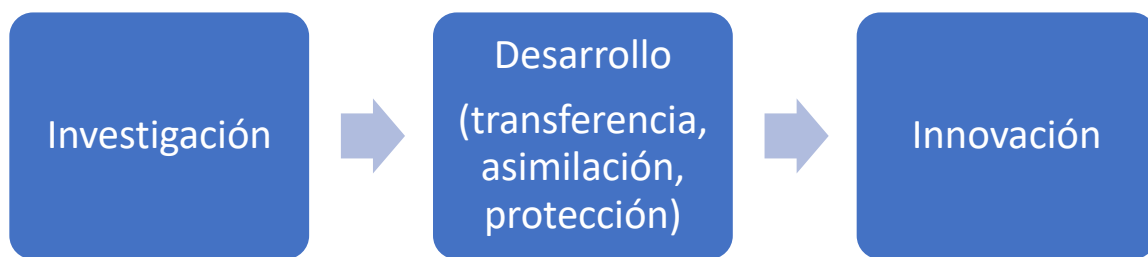
aspectos (FAO, 2015).

La innovación es una de las principales actividades para superar los desafíos del sistema agroalimentario en los ámbitos global, hemisférico, regional y nacional, contribuyendo a desarrollar una agricultura sustentable, factor imprescindible para mitigar y revertir el cambio climático, uno de los mayores desafíos que debe enfrentar la humanidad. Otro gran reto es afrontar la pobreza, que genera rezago, marginación y desigualdad en la mayoría de la población del mundo y que está concentrada en los sectores rurales (IICA, 2017)

### ***2.1.1. Ciclo de Vida de la Innovación***

De acuerdo a la OCDE/Eurostat (2018) las actividades de la innovación son la investigación y desarrollo, transferencia de conocimiento dentro de la empresa e innovación en mercadotecnia y comercialización. En el enfoque lineal del proceso de investigación y desarrollo se parte de la investigación, se prosigue con el desarrollo donde se pueden integrar la asimilación, transferencia y protección, llegando finalmente a la innovación.

Gráfica 10 enfoque lineal de la innovación



Fuente: Elaboración propia

La innovación es un proceso sistémico, interactivo, multidisciplinario y de múltiples y diferentes autores. Entre los autores se pueden encontrar las instituciones públicas, como las

universidades y centros de investigación y desarrollo, el Estado, la sociedad, redes sociales y las empresas.

Un innovador inteligente primero valida si el mercado aceptará su producto, entiende cómo hacerlo llegar a sus futuros clientes; para posteriormente desarrollarlo a bajo costo, buscando con el tiempo las mejoras que el mismo mercado le pida, algo que los innovadores de los biofertilizantes de las biofábricas tienen muy en cuenta.

Una parte clave de los biofertilizantes en la innovación es su creación de valor, ya que la necesidad de suma importancia del sector agrícola es la fertilidad y sustentabilidad de sus suelos agrícolas, que han llevado a algunos a comprar tierra en otros países, caso específico de China, quién actualmente tiene como objetivo un cero crecimiento en la aplicación de fertilizantes convencionales.

### ***2.1.2 Organismos que Regulan e Incentivan la Innovación en México.***

Entre los principales organismos e instituciones que regulan e incentivan la innovación en México están el Consejo Nacional de humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI), el Instituto Nacional del Emprendedor (INADEM), la Red Nacional de Consejos y Organismos Estatales de Ciencia y Tecnología A. C. (REDNACECYT), el ADIAT, el Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A. C. y el Premio Nacional de Tecnología e Innovación.

### ***2.1.3 Sistemas de Innovación***

Algunos problemas de la parte ambiental de la sustentabilidad que está impulsando las innovaciones en el sector agrícola son el cambio climático, la degradación ambiental, la creciente

competencia por la tierra y agua, los elevados precios de los fertilizantes debido al agotamiento de las fuentes primarias como son la roca fosfórica.

El desempeño en innovación depende de la trayectoria de las políticas en ciencia y tecnología y de las circunstancias que definen como se genera la innovación en determinada sociedad. Algunos tipos de políticas que influyen en la innovación son las relacionadas con la regulación, los impuestos, las finanzas, la competencia o la propiedad intelectual. Las diferencias institucionales en el desarrollo y difusión de nuevas tecnologías juegan un papel importante en la determinación de la tasa de crecimiento (Freeman, 1995).

Los sistemas de innovación son un proceso en el que se enfatiza la importancia de las interacciones entre actores, como la transmisión y difusión de ideas y conocimientos, y en el que se señala la importancia del contexto social, político y cultural que guía y define la innovación. Para Lundvall (2002) los sistemas nacionales de innovación son partes y aspectos de la estructura económica y el marco institucional que afectan el aprendizaje y el uso del conocimiento. Son entendidas como el conjunto de instituciones cuyas interacciones determinan el desempeño innovador de las empresas (Nelson & Rosemberg, 1993). También son consideradas como una red de instituciones en los sectores público y privado cuyas actividades e interacciones comienzan, importan, modifican y difunden nuevas tecnologías (Freeman, 1997).

En cuanto a los sistemas regionales son el conjunto de instituciones (empresas innovadoras, agencias de financiamiento, empresas de capital de riesgo, centros de investigaciones, instituciones de educación superior) los flujos de conocimiento, personal, dinero para la investigación, regulación y tecnología creada, que ocurren en una región (Niosi & Banik, 2005). Los factores para impulsar la construcción de territorios innovadores dependerán de las capacidades endógenas,

como son los recursos, actores locales, sistemas de producción y redes sociales de cooperación, así como del fortalecimiento de las instituciones.

Los sistemas locales de innovación son una combinación de transferencia de tecnología e innovación, inversiones en ciencia y tecnología y la generación de conocimiento, como pueden ser programas de vinculación, de cultura científica, e incentivos y estímulos, impulsados por las empresas, la sociedad, los sectores de educación superior y de investigaciones. Los sistemas nacionales y regionales de innovación proponen una visión integrada de los procesos innovadores en los que participan actores diversos, desde los que producen conocimiento y lo transmiten a quienes lo utilizan, junto a una serie de instituciones e infraestructuras que regulan ese flujo, lo que permite la elaboración de diagnósticos sobre la estructura del sistema de innovación (o ciencia-tecnología-industria) existente en cada territorio, identificando las características de sus componentes y la existencia o no de relaciones entre ellos y con el exterior (Méndez, 2002).

Para Edquist (2001) los Sistemas de Innovación para el Desarrollo son una variante del enfoque general que enfatiza las cuestiones específicas del subdesarrollo, por lo que para los países menos desarrollados, la difusión de nuevo conocimiento es más importante que su generación, por lo que el cambio tecnológico se busca en los sectores tradicionales en lugar de los de alta tecnología. Viotti (2002), resalta la importancia de adaptar el enfoque de los sistemas nacionales de innovación a las especificidades de los países de menor desarrollo relativo.

Partiendo de la definición de Sistemas de Innovación para el Desarrollo (SID) de Edquist (2001) y Cooke (2021) se diferencia entre países desarrollados y países en desarrollo, donde los primeros persiguen innovaciones radicales de producto, mientras los segundos se especializan en innovaciones incrementales de proceso y servicio. Así, los países desarrollados crean conocimiento nuevo y los países en desarrollo se adaptan.

Aunque el gasto en Investigación y Desarrollo es un factor que explica el menor desarrollo relativo en los países latinoamericanos, en desarrollo, un aumento relativo del gasto latinoamericano tendrá un impacto distinto al que podría observarse de un aumento equivalente en Estados Unidos. Ya que las instituciones formales y no formalizadas y la dinámica de interacción entre ellas darán lugar a efectos multiplicadores dispares, así también las capacidades de los recursos humanos para transformar ese gasto en innovación y apropiarse de sus resultados son desiguales.

Son el bajo compromiso con la innovación, el cambio tecnológico y los procesos de cambio estructural los que conducen a menores niveles de productividad e ingresos (CEPAL, 2008; Cimoli, Porcile, Primi, & Vergara, 2006). Por lo que el estar debajo de la frontera tecnológica internacional es una consecuencia, y no una causa, del menor desarrollo relativo. Por lo que la absorción y adaptación de tecnología desarrolladas de manera exógena no son suficiente para traccionar el camino al desarrollo sustentable.

Para Perez y Soete (1988) cada revolución tecnológica y cada transición entre un paradigma y otro, abre ventanas de oportunidad y nichos con bajos costos de entrada para los países de menor desarrollo relativo, pero el acceso a estas oportunidades solo es posible con un umbral mínimo de inversiones y capacidades, que son mucho más complejas que las necesarias para adaptar la tecnología desarrollada en la frontera. Por lo que hay que crear capacidades endógenas para la generación, aplicación y apropiación de conocimientos.

Para Lundvall (2007) los sistemas nacionales difieren en términos de su especialización en la producción, en el comercio y en la generación de conocimientos. En el caso de los países latinoamericanos tienen una estructura productiva sesgada hacia los productos primarios, con un bajo contenido de conocimiento, débiles encadenamientos productivos y unas pocas firmas

dinámicas que no son suficientes para impulsar un crecimiento generalizado en la productividad (Cimoli et al., 2006; Katz, 2007; Ocampo, 2012).

Una de las alternativas en la innovación para el desarrollo territorial es en la investigación y transferencia de tecnología en la fijación de nitrógeno a través del uso de microorganismos, mediante el uso de biofertilizantes que permitan una mayor eficiencia, menor contaminación e incremento de la producción, en una explotación agrícola comercial se puede disminuir hasta 50% el uso de fertilizantes químicos usando biofertilizantes, sin demérito de la producción, al contrario incrementandola, proporcionando un significativo desarrollo del sistema radicular, disminuyendo del 80 al 90% la contaminación (Morales, 2014). Produciendo a la vez con menor costo y menor contaminación.

Tabla 1 Principales Características de Políticas de Innovación por Continente

	<b>América del Norte</b>	<b>Latinoamérica</b>	<b>Europa</b>	<b>Asia</b>	<b>Africa</b>
Gasto en I+D	Alto	Bajo	Alto	Baja (Excepto China)	Bajo
Tipo de Innovaciones	Radicales de producto	Tenología sesgada hacia productos primarios	Radicales de producto. Lanzamiento de productos, asociaciones y adquisiciones	Incrementales a excepción de China	Incrementales
Conocimiento	Crean conocimiento nuevo	Absoven y se adaptan	Crean conocimiento	Abosrven conocimiento a excepción de China	Absorben conocimiento exógeno
Proceso de registro	Estatal, y por agencias	Lento	Rápido	Lento, a excepción de China	Lento
Mercado	Fragmentado (Tiene el 32% del mercado mundial)	Baja vinculación, Argentina tiene la mayor parte del mercado de la región	Tiene el 30% del mercado	China tiene la mayor participación	Sudáfrica, Kenia, Nigeria y Uganda tienen mayor participación
Vinculación academia-industria-gobierno	Alta	Escasa participación	Alta	Baja a excepción de China	Baja
Gestión de tecnología, transferencia tecnológica y protección de la propiedad intelectual	Alta	Apoyadas bajo programas gubernamentales específicos	Alta	Baja, a excepción de China	Baja
Origen de capital	Nacional	En su mayoría proviene del	En su mayoría nacional.	Nacional-Extranjero	No se encontró información

		Estado, Nacional-extranjero			
Marco regulatorio	Existe	No existe	Existe	No existe con excepción de China	No existe
Infraestructura	De vanguardia	Deteriorada y escasa	De vanguardia	Mala a excepción de China	Mala
Apoyos gubernamentales	Alto	Mediano	Alto	Mediano	Escaso pero en aumento
Control de calidad en el proceso de producción	Alto	Baja	Alto	Bajo, con excepción de China	Muy bajo

Fuente: Elaboración propia.

Cómo se muestra en la tabla América del Norte, y Europa muestran mejores indicadores en políticas de innovación, y un gran rezago por parte de África, esto concuerda con trabajos realizados sobre el análisis del número de patentes registradas por continentes con base en información de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual WIPO, 2004 (Restrepo & Montoya, 2017) en lo referente a tecnologías como la informática, comunicación digital, telecomunicaciones y medios audiovisuales, aunque en el caso particular de la presente investigación sea un área de la biotecnología, la conclusión es que existe una brecha grande entre Asia, Norteamérica y Europa respecto a África, Oceanía y Latinoamérica. Algo que también concuerda con la calificación Mundial del Índice Mundial de Innovación 2021 (OMPI, 2021), donde la región de Europa se encuentra en primer lugar, Seguida por la región de América del Norte, y en tercero la de Asia Sudoriental y Oriental donde se encuentra China, ubicando a África Subsaharina en la última posición, América Latina en una posición intermedia.

#### ***2.1.4 Sistemas Sectoriales de Innovación***

Los patrones de innovación sectorial varían según diversos sectores productivos de una economía en términos de características, fuentes de innovación, actores, límites del sector,

procesos y organización de las actividades innovadoras, que, entre economías, cuando se consideran los mismos sectores en distintas economías (Malerba, 2002). Por lo que el nivel de análisis más pertinente desde esta perspectiva es el de los sectores, y no el nacional o regional. Los objetivos de los agentes son un elemento fundamental de las diferencias de patrones de innovación entre sectores. Los sectores y las tecnologías difieren en términos de la base de conocimiento y de los procesos de aprendizaje de cada sector.

Un sector es un conjunto de actividades unificadas, para un logro de productos relacionados, con una demanda dada o emergente, y que comparten algún conocimiento básico. Un sistema de innovación está compuesto por un conjunto de agentes que despliega en interacción un conjunto de actividades de mercado y extramercado con el objeto de crear, producir y vender productos del sector (Malerba, 2002).

Un Sistema Sectorial de Innovación es un conjunto de productos (nuevos o establecidos) que comparten usos específicos y un conjunto de agentes que realizan actividades mercantiles y extra-mercantiles para la creación, producción y venta de esos productos. Un sistema sectorial tiene una base de conocimiento, unas tecnologías específicas, unos inputs y una demanda existente o potencial (Malerba, 2002), y de una serie de instituciones que configuran el entorno en el que se despliegan su actividad los agentes del sector.

El Sistema Sectorial de Innovación es un modelo multidimensional para analizar la estructura productiva y la dinámica de determinados sectores de la economía, como el progreso técnico, el aprendizaje y autoconocimiento, así como la diversidad de innovación de los distintos sectores de la economía, sus semejanzas y diferencias. Esta conformada por empresas productoras que compiten e innovan, por usuarios, consumidores o productores de otros sectores, centros de investigación, proveedores e instituciones.

Uno de los principales retos para los Sistemas Nacionales de Innovación (SNI), es lograr la articulación efectiva entre sus actores y que se concreten en soluciones tecnológicas que atiendan eficientemente las demandas del mercado. Dichos sistemas de innovación, por lo tanto, constituyen el marco por excelencia en el cual se generan, sobre una base sólida de aprendizaje (Freeman, 1995) y cooperación colectiva (Schmitz, 1995) redes de intercambio de conocimientos y capacidades que resultan en ventajas competitivas para todos.

### ***2.1.5 Principales Actores de los Sistemas de Innovación***

El sector empresarial, también llamado sector productivo, es conformado por organizaciones de carácter privado con fines de lucro, que demandan una dinámica innovadora, que puede ser satisfecha por la propia empresa, o mediante el establecimiento de relaciones estratégicas de mutua conveniencia, con la participación de la sociedad, la academia y el gobierno.

El sector académico, también llamado sector científico, educativo o universitario. Se conforma por instituciones de educación superior, centros de investigación, públicas o privadas. Es el relacionado con la generación y transferencia de conocimiento tanto científico como tecnológico, del que se encargan principalmente los investigadores que se vinculan en menor o mayor medida con las otras esferas del sistema para lograr que los resultados de sus investigaciones tengan mayor impacto en el territorio.

Sector gubernamental, llamado administrativo, se refiere a las instituciones de gobierno, en sus diferentes niveles administrativos, que forman parte del sistema de innovación, que actúan como facilitadores de los procesos de innovación y de los procesos de desarrollo.

Sector social está conformado principalmente por organizaciones de la sociedad civil, particulares o gubernamentales sin fines de lucro que actúan como agentes facilitadores para la

interacción entre los demás sectores, al tiempo que realizan tareas de financiamiento y de investigación.

### ***2.1.6 Innovación de Base***

Desde inicios del año 2000 nuevos conceptos de innovación han surgido y algunos consideran aspectos de sustentabilidad, estos nuevos criterios como los llama la Organización de las Naciones Unidas (ONU) además de tomar en cuenta la sustentabilidad, también consideran la inclusión social y las relaciones más equitativas. Ya que buscan que la innovación sea generadora de valor social y no sólo de valor económico. Un tema relacionado con la innovación sustentable es el cambio climático que impacta casi todos los aspectos del bienestar y es un asunto público.

Es la innovación de base la que genera soluciones para reducir la exclusión social y contribuir a la generación de capacidades para sectores de la población más desfavorecidos, conduce a incrementar el acceso a bienes y servicios de calidad que crean oportunidades para la inclusión social sobre una base sustentable a largo plazo. Desarrolla proyectos en el ámbito local para mejorar las condiciones de vida de la población y promover la sustentabilidad.

Las soluciones logradas deben ser capaces de resolver problemas de la comunidad y, a la vez, generar ganancias al entorno productivo elevando el estándar de vida. Genera soluciones para el desarrollo sustentable, que son novedosas y de abajo hacia arriba mediante procedimientos que responden a la situación local, conocimiento, interés y valores de la comunidad.

El enfoque de innovación de base, surgió en la India a finales de la década de los ochenta e inicios de los noventa, promovido por Anil K. Gupta, que tenía la finalidad de inventar soluciones tecnológicas que fueran económicas, eficientes, sustentables y basadas en conocimiento local. La innovación de base se da en sectores como abastecimiento de agua y saneamiento, vivienda,

alimentación y agricultura, energía, fabricación, movilidad con aplicaciones a las iniciativas de energía renovable basadas en la comunidad, mercados de agricultura (Organización de las Naciones Unidas, 2017).

### ***2.1.7 Innovación Frugal***

Es la innovación que tiene la capacidad de generar valor comercial y social reduciendo significativamente el uso de recursos, desarrolla bienes que tienen ventajas de costos comparadas con los productos y servicios existentes. Lo que se consigue disminuyendo la complejidad y el costo de un bien durante su producción al aprovechar al máximo los factores de producción.

Los bajos costos que se manejan no afectan la calidad ni el funcionamiento del producto y permiten establecer un precio más bajo haciendo que los grupos de bajos ingresos compren esas innovaciones. La innovación frugal crea productos y servicios que logran solucionar una necesidad valorada por las personas, son accesibles y fáciles de conseguir. Un componente fundamental es que logran producir con menos recursos, lo que contribuye a la sustentabilidad, características que se cumplen en la producción y comercialización de los biofertilizantes producidos por las biofábricas.

A través de la innovación frugal se busca aprovechar al máximo los factores de producción disponibles en mercados emergentes. Es una respuesta a restricciones de recursos severas con productos que tienen ventajas de costos extremas soluciones existentes y suelen estar hechos de materiales más simples y menos costosos.

La innovación frugal tiene muchas implicaciones para el futuro de la sustentabilidad global (Pansera, Narvaez-Mena, & Hermann, 2013):

\* Favorece la optimización de recursos, sea a nivel local o con las grandes empresas transnacionales.

\* Favorece el empoderamiento y la democratización de tecnología por parte de los usuarios introduciendo el concepto de límite en el uso de los recursos naturales.

\* Revitaliza y redescubre el valor de la sabiduría tradicional basada en prácticas que preservan el medioambiente.

\* Favorece una disminución del impacto sobre el medioambiente: menos energía, menos desechos, menos consumo, menos recursos.

\* Favorece la inclusión de los componentes sociales más desfavorecidos por el proceso productivo industrial, dándoles posibilidades de desarrollo.

Gráfica 11. La Innovación Frugal



Fuente: Elaboración Propia, a partir de los trabajos de Franco y Guerra (2018) sobre innovación social y sustentabilidad en nuevos enfoques de la innovación.

### ***2.1.8 Innovación Social***

La innovación social se refiere al desarrollo y la implementación de nuevas ideas para cubrir necesidades sociales y crear nuevas relaciones sociales o colaboraciones, mejorando la calidad de vida de la sociedad con una visión de inclusión y sustentabilidad, con nuevos métodos y formas de hacer las cosas, creando nuevas redes de intervención en contextos específicos y con la participación de actores locales en beneficio de los sectores más desprotegidos.

La innovación tecnológica contribuye al crecimiento de las economías, pero también modifica la forma en que se vive y las formas de relacionarse. No es suficiente innovar tecnológicamente, es primordial mejorar la calidad de vida de la sociedad con un énfasis en la sustentabilidad. La innovación social consiste en la generación de nuevos productos, procesos, servicios o modelos, con impactos cuantificables y enfocados a solucionar problemáticas de interés público y donde el valor generado se distribuya entre la sociedad (Bucio-Mendoza, Solis-Navarete, & Paneque-Gálvez, 2019).

Las innovaciones sociales juegan un rol importante en dirigir a la sociedad a través de la transición socio ecológica necesaria para combatir o mitigar el cambio climático y en el caso de la agricultura la conservación y regeneración de los recursos naturales como el suelo, el agua, la atmósfera y la microflora y microfauna local.

Entre los temas claves se encuentran la sustentabilidad de recursos, consumo sustentable, transformación tecnológica en la agricultura, salud y bienestar, entre otros. Los ecosistemas de innovación se han descrito como “un ente vivo en el que interactúan diversos actores, es el conjunto de relaciones y flujos de recursos, conocimientos, que permite su asimilación en todos los aspectos, dando lugar al surgimiento del emprendimiento” (Guadarrama & Acosta, 2016).

La innovación social trasciende sectores, niveles de análisis y métodos para descubrir los procesos que producen impacto duradero. La innovación social es entendida como “un proceso para la solución de problemáticas sociales a partir de la sociedad misma” (Guadarrama & Acosta, 2017).

La innovación social está vinculada a cambios sociales positivos para el beneficio de individuos, comunidades y/o el medio ambiente (Stephan, Patterson, Kelly, & Mair, 2016) que permiten la producción y reproducción de las condiciones materiales (biofísicas, económicas, culturales e institucionales) hacia una sustentabilidad en la coexistencia entre seres vivos y el ambiente (Vargas, 2008).

### ***2.1.9 Innovación Agrícola***

Para Goel y Raipuria (2019) la agricultura se considera una actividad fundamental y esencial para la supervivencia humana en la tierra. Sin embargo, con el cambio continuo en el tiempo y la tecnología actualizada, las tendencias en la agricultura tradicional han cambiado mucho. El uso de plaguicidas, fertilizantes artificiales y maquinaria actualizada han permitido a los países mejorar su sector agrícola y con ello también enfrentar problemas relacionados con la sustentabilidad en el sector agrícola.

Los biofertilizantes son considerados un producto innovador, ya que cualquier tipo de cambio orientado a la innovación, debe estar basado en conocimientos, soportados en información y datos, y el utilizar biofertilizantes conlleva conocimientos tanto del cultivo como del ambiente, en específico las condiciones históricas de producción, la calidad del suelo y requerimientos de la planta, así también el uso y almacenamiento de biofertilizantes. La meta de cualquier proceso

innovador es el bienestar económico y social, y los biofertilizantes son productos innovadores ya que:

El conocimiento es migratorio, pues al comprar biofertilizantes, producto nuevo, es necesario el entrenamiento para su uso, por parte de la biofábrica o vendedor hacia los agricultores, por lo que los agricultores adquieren un conocimiento que ellos pueden transmitir a otras personas.

La capacidad de absorción del usuario; los conocimientos acumulados en los años como agricultores en las características de sus tierras y las necesidades de las plantas permitan adecuar el empleo de los biofertilizantes a las particularidades de la región, por lo que se convierte en un aprendizaje endógeno.

Los conocimientos de la calidad del suelo y necesidades de los cultivos que el agricultor necesita permiten operar la tecnología necesaria para elaborar los biofertilizantes adecuados, ya que existen biofábricas con centros de investigación que adecuan el proceso de producción, diseño y creación de nuevos productos a las necesidades del agricultor. Es un producto que puede repercutir de manera positiva en las condiciones ambientales y beneficiar un desarrollo sustentable.

Para permanecer en el mercado las biofábricas requieren que su oferta y el modo en que es creada permanezcan en un estado continuo de cambio para lo cual deben realizar un diagnóstico de las unidades de producción, luego focalizar en los problemas más apremiantes, enseguida emprender acciones de capacitación para poder implantar soluciones y garantizar el aprendizaje, la velocidad y eficacia con que realice este ciclo de actividades determina el ritmo de la innovación en las empresas. El biofertilizante es un producto innovador que requiere un proceso innovador en su aplicación.

Los 5 planos o dimensiones son:

Innovación en Productos y Servicios: Mejoras significativas en la funcionalidad y *performance* del producto o servicio

Innovación en Procesos: Incluye todo lo relacionado a cómo hacer lo que se hace: aumentar productividad, reducir tiempos y costos, eliminar fallas y errores que generan desperdicio, etc.

Innovación Organizacional: Dimensión que incluye la forma en que se organiza y comunica internamente en la empresa

Innovación en Modelos de Negocio: Se refiere a la implementación de cambios y mejoras en la forma en que se hace entrega de los productos o servicios a los clientes y de qué manera ellos pagan.

Innovación en Marketing: Relacionado con ajustes continuos o cambios abruptos en el esquema de precios, la promoción, el embalaje, la forma en que se comunica con los clientes y demás atributos secundarios del producto/servicio

La innovación agrícola designa los procesos de innovación que ocurren en un sector de actividad productiva de alimentos y se apoya en el paradigma de la teoría ortodoxa de la innovación y el modelo de la triple hélice (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000), el cual reconoce a la industria, la academia y el gobierno como sectores determinantes para integrar el sistema o ecosistema de innovación (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000; B. Å. Lundvall et al., 2002). Desde estos modelos se valoran los cambios y mejoras en las formas de producción mediante generación de tecnologías, modelos de agronegocios y redes de actores, y se relacionan sus impactos en la eficiencia y la productividad del sector (Klerkx, Aarts, & Leeuwis, 2010; Röling, 2009).

Las innovaciones orientadas al mercado son motivadas por fines económicos (obtener ganancias, mejorar los ingresos, incrementar la producción); otras innovaciones responden a

problemas y necesidades sociales o ambientales que resultan en innovaciones sociales, institucionales, eco-innovaciones, innovaciones para la sustentabilidad (Burgos & Bocco, 2020). Es en estos grupos donde los productores y comercializadores de productos como los biofertilizantes generados en las biofábricas, muestran la importancia de la innovación en productos para la conservación y sustentabilidad del suelo y del medio ambiente.

El papel del conocimiento local en el proceso de innovación, la mejora de algo previo es parte de la definición schumpeteriana de innovación. En las sociedades rurales, la reformulación de conocimientos, saberes y cosmovisiones locales ante nuevos problemas adquiere un significado particular, en tanto lo viejo frente a lo nuevo representa la continuidad intergeneracional como proceso de identificación, a la vez de dar lugar a nuevos aprendizajes y adaptación.

Territorios innovadores son aquellos espacios geográficos específicos con dinámicas de aprendizaje en la dimensión económica y socio-institucional, donde ocurre la emergencia de redes para el manejo de todos los recursos disponibles en el territorio (Caravaca, González, & Silva, 2005; Vázquez-Barquero, 2007). El enfoque endógeno destaca el papel de los actores locales, a quienes se asigna un rol protagónico en la integración de redes que propicien la emergencia de lo nuevo, en el aprendizaje, y en la regulación para una apropiación sustentable de los recursos territoriales (Burgos & Bocco, 2020).

En los territorios rurales en desventaja, es común que las instituciones de gobierno estén ausentes, que la inversión privada externa este encaminada a actividades extractivas, y que las universidades permanezcan ajenas a problemas locales. Por lo que otros actores cobran relevancia, tales como agentes económicos alineados a la economía social (cooperativas, asociaciones de productores pobres, unidades familiares artesanales, o micro emprendimientos); grupos universitarios comprometidos; grupos de ciudadanos; proveedores de bienes y servicios con

responsabilidad social, y grupos de consumidores afines al comercio justo. Estos actores se describen mejor con un modelo de n-hélices (Leydesdorff, 2012).

En el examen de las políticas comerciales de la Organización Mundial del Comercio (Organización Mundial del Comercio, 2013a) en el componente Innovación y Transferencia de Tecnología tiene como meta el fomentar y apoyar la ejecución de proyectos de investigación y transferencia de tecnología, en actividades agrícolas, pecuarias, pesqueras y acuícolas. El apoyo para la ejecución de proyectos puede llegar hasta 1 millón de pesos para proyectos de ámbito estatal y hasta 20 millones de pesos para los proyectos de impacto regional o nacional.

Para Barrera-Perales (2022) la innovación agrícola se centra en la tecnología, los agronegocios y la competitividad de los sistemas agrícolas. Una meta desafiante es la incorporación de nuevos avances tecnológicos, económicos, sociales y prácticas institucionales que mejoren los ingresos de las familias sin poner en peligro los recursos como son la biodiversidad, el suelo, el agua, los servicios ecosistémicos, las relaciones comunitarias y la cultura local (Fernández, Castro-Pardo, & Azevedo, 2020).

La adopción de nueva tecnología está determinada por el tamaño de la explotación, experiencia de los agricultores, la educación y participación de la industria asociada a la innovación (Zepeda, 1994), y los derechos de propiedad (Perret & Stevens, 2006).

Como se puede observar en la siguiente figura las innovaciones fueron más de carácter tecnológico y biotecnológico. En lo tecnológico las innovaciones fueron en su mayoría en nuevos productos, propagación in vitro, tecnología integrada y de postcosecha, tecnología de riego, tecnologías verdes, sistema de etiquetados, sistemas de precisión multiescala, nueva maquinaria y equipo, hidroponía, nuevos sistemas de cultivo, transplante mecanizado, termoterapia, índice espectroscopico, empleo de marcadores Single Nucleotide Polymorphism de alto grado de

precisión, inyección de nutrientes, sensores remotos, cromatografía, radares meteorológicos y marcadores moleculares.

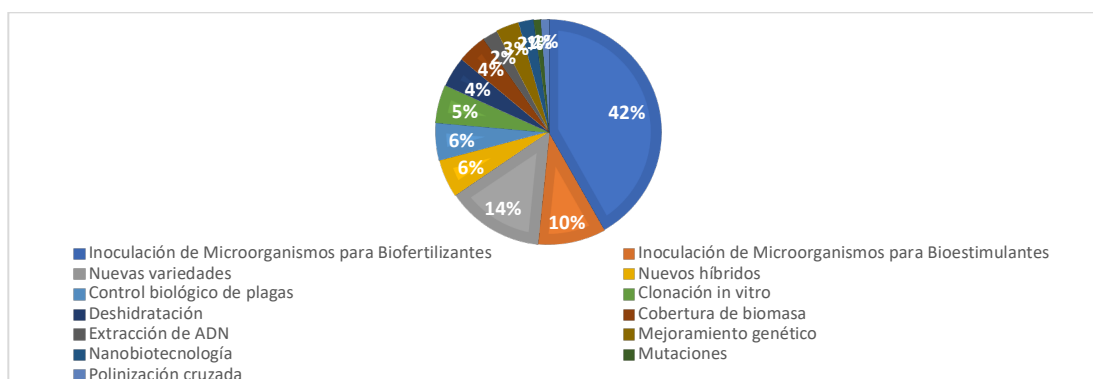
Gráfica 12. Innovaciones Tecnológicas en el Sector Agrícola Durante el Período 2019-2023



Fuente: Elaboración Propia

En lo que respecta a la parte biotecnológica cerca del 30% de los trabajos estuvieron enfocados en la inoculación bacteriana, biofertilizantes y bioestimulantes, en la búsqueda de nuevas variedades, en nuevos híbridos, en control biológico de plagas, bioinsumos y clonación in vitro, seguidos por estudios de deshidratación, cobertura de biomasa, cobertura orgánica, extracción de ADN bacteriano y genómico, mejoramiento genético, nano biotecnología, mutaciones, polinización cruzada. En procesos fueron pocos estudios dos referentes específicamente a la autosuficiencia alimentaria y uno en el estudio de empresas sociales rurales.

Gráfica 13. Innovaciones Biotecnológicas en el Sector Agrícola Durante el Período 2019-2023



Fuente: Elaboración Propia

### ***2.1.10 Innovación en México***

De acuerdo a la búsqueda realizada en patenscope (2021). El sistema de innovación de México se caracteriza por tener bajos niveles de inversión en Investigación y Desarrollo, así como vinculaciones débiles entre los diferentes actores de la innovación. Comparado con otros países de la OCDE, México tiene un bajo gasto en Investigación y Desarrollo tanto empresarial como público, un bajo desempeño en la creación de conocimientos y tecnología que se representa por una baja tasa de creación de patentes y marcas, así como de artículos científicos en revistas internacionales (OCDE, 2012). En cuanto a infraestructura y capital humano México también presenta una población poco educada en ciencia y tecnología respecto a otros países de la OECD, y una infraestructura de información y comunicación más débil.

En cuanto al índice global de innovación 2020 México avanzó al sitio 55 de entre 131 naciones, comparándolo con el lugar 59 del 2018 y 2019 de 129 países, y ocupando el segundo lugar tomando en cuenta solo países latinoamericanos, superando a Costa Rica. Chile es el país mejor clasificado en el lugar 54 (Hernández, 2020).

México mejoró en sofisticación de negocios y producción creativa, en el subpilar de absorción de conocimiento se incrementó gracias al mejor desempeño en importación de alta tecnología y el ingreso de inversión extranjera directa, en talento en investigación entre corporaciones se situó en el lugar 35. En el rubro de insumos y producción se ubicó en el sitio 61. En Latinoamérica Chile, México y Costa Rica son las economías con mayor innovación; sin embargo, México, Brasil y Argentina son los únicos tres países con compañías de Investigación y Desarrollo de Latinoamérica, en mayoría financiada por inversión pública.

En cuanto a innovación por parte de la Secretaría de Economía se han emitido más de treinta convocatorias desde 2011 enfocadas al desarrollo tecnológico principalmente relacionados

a la innovación, destacando el desarrollo de productos y procesos, la creación de infraestructura y la certificación para la transferencia de tecnología en instituciones de educación superior y centros de investigación.

En temas de convergencia destacan las aplicaciones biotecnológicas como son el desarrollo de biofertilizantes, biocombustibles y bioinsecticidas; desarrollo de bioprocesos de alimentos, nutrición, salud agrícola y humana, así como la creación de la infraestructura respectiva, la nanotecnología, nutracéutica, cosméticos.

La transferencia de tecnología es una de las actividades fundamentales que impactan de forma positiva el sistema de innovación de México. La Secretaría de Economía y el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) crearon el programa de Fondo Sectorial de Innovación (FINNOVA) que promovió el establecimiento de Oficinas de Transferencia de Conocimiento (OTCs) públicas y privadas en México.

En 2010 la Secretaría de Economía (SE) y el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), a través del Fondo Sectorial de Innovación, Secretaría de Economía-CONAHCYT iniciaron el fomento a la creación y fortalecimiento de Oficinas de Transferencia de Conocimiento (OTCs) a nivel nacional. De acuerdo con el FINNOVA el propósito de estas oficinas fue incrementar las oportunidades de vinculación entre instituciones generadoras de conocimientos y el sector privado al ofrecer una serie de servicios que facilitarán la transferencia de conocimiento vía la consultoría, licenciamiento y spin off (el surgimiento de una empresa a partir de otra que ya existe).

En México existen 117 OTCs certificadas por el programa de CONAHCYT- SE. Este número incluye oficinas establecidas en Universidades públicas y privadas, Centros de

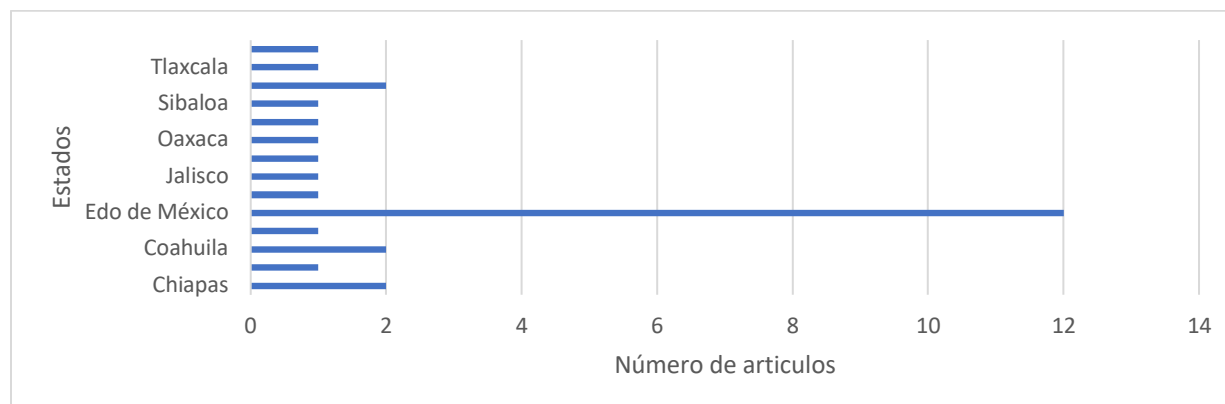
investigación públicos y privados; así como empresas consultoras en el área de innovación tecnológica.

En cuanto a la Distribución de las OTCs certificadas por tipo existen un total de 6 Centros de investigación, 14 Centros públicos de investigación, 6 de Gobierno, 23 de Instituciones de Educación Superior públicas, 14 Instituciones de Educación Superior privadas y 54 de empresas o consultorías privadas, que hacen un total de 117 (Aguilar, Canto, & Matos, 2018).

Las principales funciones de una OTT son: Facilitar la conversión de los resultados de investigación en nuevos productos o servicios, en beneficio para la sociedad, promover el desarrollo económico regional y la creación de empleo, recompensar, retener y reclutar a investigadores y estudiantes, fomentar las relaciones con la empresa, generar recursos financieros complementarios para la institución y/o los investigadores, a través del patrocinio a la investigación, los servicios de consultoría y las donaciones, prestaciones a todo el personal de la universidad, servicios relacionados con la propiedad intelectual y el emprendimiento, generar ingresos por regalías para la institución y los investigadores.

Algunos de los proyectos que se impulsan son los relacionados a fuentes renovables de energía: Eficiencia energética, uso de tecnologías limpias, y diversificación de fuentes primarias de energía. Algunos de los proyectos relacionados con la sustentabilidad impulsados por los fondos sectoriales son: Transición energética y cambio climático, con modelos tecnológicos de bajo consumo de energía aplicados a la ciudad y al campo. Sistemas socioambientales y sustentabilidad: Conservación de ecosistemas terrestres, costeros y marinos con manejo y producción sustentable. En el caso de Michoacán en el 2019 se impulsó el Programa de Agricultura Sustentable y en 2020 se ampliaron a 12 cultivos.

Gráfica 14. Entidades de México con Innovaciones Relacionadas con la Sustentabilidad Agrícola Durante el Período 2019-2023



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Redalyc y Ebsco

Entre los estados de la república mexicana que más contribuciones realizaron en investigaciones de innovaciones relacionadas con la sustentabilidad agrícola, están los estados de México, Chiapas, Coahuila y Sinaloa durante el periodo 2019-2023. Y Michoacán es uno de los 14 estados de México que realizó este tipo de investigaciones de gran importancia en el desarrollo biotecnológico en el sector primario.

### ***2.1.11 La Administración de la Innovación***

Rupali y Samraj (2020) examinan el impacto de las alianzas técnicas en la capacidad de las empresas para innovar, medido por el número de patentes de productos y procesos presentadas, e investigan los factores que motivan la presentación de patentes en diferentes regiones utilizando el método de datos de panel. Sus hallazgos revelan que las estrategias y los motivos de la empresa tienen una influencia significativa en el destino de la solicitud de patente.

Para Corona (2005) la innovación es la búsqueda, descubrimiento, experimentación, desarrollo, imitación y adopción de nuevas formas de hacer, de pensar y de actuar en las organizaciones. Es la utilización de los conocimientos al transformar ideas y reflejarlas en nuevos

o mejores productos que se introducen y usan en el mercado (innovación de producto), o bien en un nuevo proceso o sistema operacional adoptado en las organizaciones (innovación de proceso).

Administrar la innovación es realizar acciones rutinarias y deliberadas de previsión, organización, dirección y control de las empresas y otras organizaciones (Corona, 2005). Dichas acciones abarcan funciones y procesos financieros, informáticos, mercadotécnicos, productivos y operativos, para manejar crear, acceder, usar y/o resguardar el conocimiento.

Los modelos de innovación, reflejan la forma como se concibe a la tecnología y a la innovación. Los modelos manifiestan una interpretación sintética del fenómeno innovador y de responder preguntas relativas a decisiones relacionadas con la innovación en la empresa de cómo producir algo mejor, cómo elaborar un mejor producto o porqué unas innovan más que otras. Los enfoques sugieren que la administración de la innovación avanza desde aspectos micro centrados en la empresa y sus operaciones a enfoques que conforman aspectos relacionados con el entorno de las organizaciones, esto de lo meso o lo macro, hasta llegar al enfoque sistémico.

A continuación, se describirá lo que son las patentes y que instituciones otorgan sus concesiones y los beneficios de desarrollar innovación tecnología y su relación con las patentes, en el anexo de la presente investigación se describen todas las patentes y concesiones otorgadas a los países de acuerdo a Patenscope (2021).

### ***2.1.12 Situación Mundial de las Solicitudes y Concesiones de Patentes***

La patente es un derecho subjetivo otorgado por el Estado al titular, quien puede ser persona natural o jurídica, para la explotación, producción o uso exclusivo o por medio de un tercero bajo licencia de su invención con las limitaciones de territorialidad y temporalidad. En 2021 diseñaron una metodología que proporciona una clasificación de patentes al reducir los componentes de

evaluación cualitativa y realizar una evaluación basada en indicadores clave de desempeño (IMPI, 2017).

El derecho exclusivo que otorga una patente es el derecho a impedir que otras personas, si la patente es un producto, fabriquen, usen, vendan o importen el producto patentado sin su consentimiento; si la patente es un proceso: utilizar el proceso patentado, vender o importar el producto de ese proceso sin su consentimiento (artículo 25, Ley de Protección de Invenciones).

### ***2.1.13 Solicitud de Patente de Biofertilizante en México***

En México, en 2002, la Universidad Nacional Autónoma de México solicitó una patente para un biofertilizante para plantas a base de bacterias *Rhizobium* con capacidad mejorada de fijación de nitrógeno, con la intención de sustituir los fertilizantes químicos nitrogenados que se aplican masivamente a los cultivos. En 2003, Elena Herrera solicitó una patente para un proceso de tratamiento de vinazas residuales generadas por destilación en la industria del tequila; los sólidos recuperados del proceso se pueden utilizar como biofertilizantes.

En 2007, la Investigación en Química Aplicada solicitó una patente para un dispositivo para microorganismos microencapsulados y compuestos bioactivos que se pueden utilizar como antagonistas, biofertilizantes y biocidas en usos biomédicos, agrícolas y forestales; fabricados a partir de una matriz biopolimérica, que contiene un núcleo del ingrediente activo con acción antibacteriana, antifúngica de microorganismos patógenos de plantas y humanos, así como inhibidor o repelente de insectos que afecten cultivos, almacenes de alimentos o el ambiente doméstico, también pueden ser utilizado como antibióticos o desinfectantes.

En 2011 Yolanda Sánchez solicitó una patente para un biofertilizante nitrogenado a base de microorganismos *Azotobacter chroococcum* y su proceso de producción, que produce auxinas,

citoquininas y giberelinas necesarias para el desarrollo vegetal. En 2012, un mexicano solicitó una patente para un dispositivo biogestor para procesar productos y subproductos de la planta del nopal para generar humus, biofertilizantes y biogás. En 2018 en México, la empresa Paakan Innovation Mexican en bioenergía S.A. de C.V. solicitó una patente para un bioproceso mesofílico continuo para la producción de biogás y biofertilizantes a partir de biomasa de nopal.

En términos de solicitudes de patentes sobre biofertilizantes, los países con más patentes son China con 40, India 22, Rusia 21, Estados Unidos y México 10 cada uno, Francia 4, Alemania, Brasil, Canadá, España, Egipto, Israel y Malasia tienen 2 cada uno, Bulgaria, Indonesia, Filipinas y Rumania 1 respectivamente.

Los únicos países que han recibido concesiones sobre patentes de biofertilizantes son China con 7 y Rusia con 4, Canadá, Egipto e India con 2 cada uno, y Francia ha obtenido una patente. Las innovaciones en biofertilizantes son algo de lo que se tiene registro desde 1984, y es desde el año 2000 donde se aprecia un incremento con los años hasta la actualidad.

## ***2.2 Sustentabilidad***

Para la Ley General de Protección al Ambiente y Equilibrio Ecológico, promulgada en 1988 en su artículo 3º, numeral XI el desarrollo sustentable es el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social, que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas a la preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades futuras (Cue & Quintana, 2014b, p. 195). En la sección II, se señala que se otorgarán incentivos a quien proteja el ambiente y quien lo dañe deberá asumir los costos generados.

Para Ikerd (1990) la agricultura sustentable es aquella capaz de mantener niveles aceptables de productividad biológica y económica, preservando el ambiente, los recursos naturales y satisfaciendo al mismo tiempo un requerimiento de la sociedad.

### ***2.2.1 Teorías del Desarrollo***

El desarrollo sustentable con respecto a las teorías del desarrollo representa un cambio cualitativo que articula el crecimiento, la equidad y la conservación ecológica. Las teorías del desarrollo aparecen como una especialidad de la ciencia económica después de la segunda guerra mundial. Desde su inicio, las teorías del desarrollo delimitaron su campo de estudio a las transformaciones de las estructuras económicas de las sociedades en el mediano y largo plazo, así como las restricciones específicas que bloquean dichos cambios estructurales en las sociedades (Gutiérrez, 2007).

Las teorías del desarrollo humano y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) pasaron de la visión economicista centrada en el tener (dinero y mercancías) por una visión holística centrada en el ser (bienestar y capacidades de los seres humanos) (Nussbaum & Sen, 1993). Se menciona que muy a menudo algunas hambrunas tienen lugar ahí donde existen cantidades de alimento disponible, por lo que concluye que no son sólo los factores materiales, sino las oportunidades reales de que gozan los individuos lo que puede explicar la pobreza extrema que reflejan las hambrunas. Amartya Sen entiende las libertades humanas como oportunidades determinadas por otras realidades, como lo son las condiciones que facilitan el acceso a la educación, la salud y las libertades cívicas.

El término sustentabilidad se amplía a la producción, la ecología, el medio ambiente, la sociedad o el desarrollo. Tiene una connotación de renovación continua en el tiempo o posibilidad de reutilización de los recursos por parte de las generaciones futuras. Un problema ambiental es

una categorización que hace el ser humano con respecto a un fenómeno natural o un problema creado por él mismo. Por ello se trata a los problemas ambientales como conflictos humanos en relación con el ambiente, con el fin de buscarle soluciones.

La gestión ambiental es la búsqueda de soluciones a los conflictos ambientales compatibilizando las necesidades humanas y el entorno (Dourojeanni, 2000). Los biofertilizantes son un producto que genera las condiciones que permite la solución de algunos problemas ambientales como la infertilidad de suelos, contaminación de mantos freáticos, propagación de enfermedades causadas por el uso de agroquímicos convencionales, y es compatible con la micro fauna y micro flora local.

Existen tres objetivos principales del desarrollo sustentable que son económico, ambiental y social, y se puede agregar el político. Para Dourojeanni (2000) los tres objetivos pueden entrar en conflicto e influirse mutuamente, sobre todo a corto plazo. Por lo tanto, para lograr un óptimo general hay que sacrificar los óptimos parciales, la determinación de los porcentajes, que definen el área de equilibrio del desarrollo sustentable depende esencialmente de los acuerdos entre actores.

Los modelos ideales de desarrollo sustentable varían constantemente debido a los adelantos tecnológicos, el descubrimiento de nuevos recursos y las cambiantes aspiraciones de los actores. No existen indicadores que permitan cuantificar lo social, lo ambiental y lo económico de acuerdo a un sistema de valores intercambiables entre dichas dimensiones, es decir que midan de la misma forma los tres aspectos.

En la década de los noventa surge una propuesta holística y multidisciplinaria que conocemos como desarrollo sustentable, durable o sostenible (Aguilar, 2002). Desde finales de la década de los cuarenta aparecen movimientos de la sociedad civil y la academia que cuestionan el

modelo de industrialización y de desarrollo y los efectos contaminantes en la atmósfera, el agua y los suelos, y sus impactos en la integridad de los ecosistemas y en la biodiversidad.

En el club de Roma, en 1972 se cuestionó las teorías del desarrollo sobre las posibilidades ilimitadas de crecimiento en los países desarrollados, y que los países subdesarrollados deberían alcanzar los niveles de consumo de las sociedades del Primer Mundo. En la declaración de Cocoyoc de 1974 y en el reporte Dag Hammarskjöld de 1975 se analizó el carácter insostenible del crecimiento de la población, del consumo de recursos naturales no renovables y del aumento creciente de la contaminación.

En 1987 la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo de las Naciones Unidas propone impulsar el desarrollo sustentable como un camino para corregir la crisis ecológica global y los problemas de equidad, fue definido como aquel “desarrollo que permite satisfacer las necesidades de la presente generación, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas (ONU, 1987).

El desarrollo sustentable considera además de las cuestiones ambientales, aspectos relativos a la pobreza y la explosión demográfica en el mismo nivel de importancia de las cuestiones del medio ambiente. El desarrollo sustentable es un campo de conocimiento de frontera que integra el desarrollo económico y la equidad, el ambiente y la biodiversidad, y la cultura y la sociedad.

El desarrollo sustentable integra tres dimensiones: la económica, la ecológica y lo político-social, con una visión integral de construcción holística y multidisciplinaria. Al incorporar las aportaciones de movimientos ambientalistas, sociales y científicos, el desarrollo se concibe como un proyecto de voluntad política. El desarrollo sustentable propone tres ejes analíticos: un desarrollo que tome en cuenta la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes, un

desarrollo respetuoso del medio ambiente y un desarrollo que no sacrifique los derechos de las generaciones futuras. Por lo que es necesario la intervención del Estado, la sociedad y las organizaciones.

Entre sus ejes fundamentales destacan impulsar el crecimiento y la distribución del ingreso orientadas al cuidado de la vida en la Tierra por medio de la sociedad a través de iniciativas, proyectos, acciones y actitudes de sustentabilidad. Impulsar un sistema productivo basado en tecnologías que no degraden el ambiente biofísico, ni generen el agotamiento de los recursos naturales (ONU, 2022).

### ***2.2.2 La Economía Ecológica***

El crecimiento económico enfrenta límites que son los límites del ecosistema para absorber los desechos y reponer las materias primas para sostener la economía. La economía tiene límites para su crecimiento, que pueden ser físicos y biológicos (Meadows & Rangers, 1992). Todo crecimiento medido por el PIB se considera crecimiento económico.

Cuando la expansión de la economía invade demasiado el ecosistema, comenzamos a sacrificar el capital natural como fauna, minerales, microorganismos, bosques con la finalidad de incrementar el capital artificial como son carreteras, edificios, fábricas, terrenos para cultivos, entre otros, para obtener un crecimiento económico. Lo que puede considerarse como un crecimiento antieconómico, produciendo “males” más rápido que los bienes.

Evitar el crecimiento antieconómico, que se presenta al sobrepasar el punto óptimo económico, no es fácil, ya que algunas personas se benefician del crecimiento antieconómico, y no tienen incentivos para que eso cambie. Por lo que es necesario la transición hacia una economía sustentable que tenga en cuenta los límites biofísicos del ecosistema, ya que si no se respetan esos

límites se puede llegar a una catástrofe ecológica, como en el caso del sector agrícola la infertilidad de los suelos y la contaminación del subsuelo.

La Comisión del Desarrollo Económico propuso inicialmente 134 indicadores, México formó parte del grupo de los veintidós países voluntarios, ha reportado periódicamente 113 de ellos. Un índice que intenta operacionalizar la sustentabilidad (como el de la huella ecológica) es el de el bienestar de las naciones en el que se combinan 36 indicadores sociales y económicos con 52 indicadores de calidad ambiental.

Esta metodología determina un denominado índice de Estrés de Bienestar que remite a los daños ocasionados por la sociedad para alcanzar la sustentabilidad. En la escala resultante el mínimo para alcanzar la sustentabilidad es 81, donde los países mejor posicionados son Suecia (64), Finlandia y Noruega (62.5), Islandia (61.5) y Australia (61), Estados Unidos se encuentra en el lugar 27 con 52 puntos y México en el lugar 150 con 33 puntos. Por lo anterior se concluye que ningún país puede considerarse sustentable.

La sustentabilidad es un proceso que avanza hacia la equidad social y conservación de la calidad del ambiente. El proceso de desarrollo impulsado por la globalización, con base en la producción industrial a gran escala lleva a escenarios de catástrofe ecológica y grandes desigualdades sociales.

Para que la economía pueda ser sustentable a largo plazo es necesario limitar el uso de todos los recursos a tasas que resulten en niveles de desechos que puedan ser absorbidos por el ecosistema; explotar los recursos renovables a tasas que no excedan la capacidad del ecosistema para regenerar los recursos; agotar los recursos no renovables a tasas que, en la medida de lo posible, no excedan las energías renovables sustitutas.

Se puede definir la economía sustentable como la que puede mantenerse indefinidamente frente a los límites biofísicos. La economía sustentable debe dejar de crecer en algún momento, pero no necesita dejar de desarrollarse. No hay razón para limitar la mejora cualitativa en el diseño de los productos, lo que puede aumentar el PIB sin aumentar la cantidad de recursos utilizados.

Para garantizar la salud económica a largo plazo, las naciones deben mantener los niveles de capital natural, no solo la riqueza total. Cuando los aumentos de producción se producen a expensas de los recursos y el bienestar que valen más que los productos fabricados surge un balance indeseable de cantidades conocido como desutilidad. La utilidad es el nivel de satisfacción de las necesidades y deseos de la población; en términos generales es el nivel de bienestar de la población. La desutilidad se refiere a los sacrificios al aumentar la producción y el consumo (Herman, 2007).

Los sacrificios pueden incluir el agotamiento de recursos como la erosión y pérdida de fertilidad de los suelos, exposición a la contaminación. La desutilidad marginal es la cantidad de sacrificio necesario para lograr cada unidad adicional de consumo. La desutilidad marginal aumenta con el consumo porque las personas presumiblemente hacen los sacrificios más fáciles primero. La escala óptima de consumo es el punto en el que la utilidad marginal y la desutilidad marginal son iguales. Después de ese punto el crecimiento se vuelve antieconómico. La tecnología podría mover el punto óptimo permitiendo un mayor crecimiento del consumo antes de que la desutilidad domine (Herman, 2007), los biofertilizantes producidos por las biofábricas son parte de esa tecnología.

La lógica económica dice que nos concentremos en el factor limitante: economizarlo a corto plazo e invertir en su aumento a largo plazo. La lógica económica no ha cambiado, pero la identidad del factor limitante sí: era capital hecho por el hombre, ahora es cada vez más un capital

natural, como son los suelos agrícolas. El suelo como capital natural se ha estado acabando, es la materia prima de la actividad económica primaria, como actividades ganaderas, pesqueras, silvícolas, agrícolas, por lo que es importante su sustentabilidad para garantizar la seguridad alimentaria de los consumidores presentes y futuros, y generar conciencia del uso de biofertilizantes para el manejo sustentable de la tierra y así revertir la tendencia de degradación del suelo e ir eliminando los residuos y contaminantes de los fertilizantes convencionales.

En el crecimiento antieconómico actual los costos ambientales y sociales adicionales son mayores que los beneficios adicionales de la producción. El desafío de la economía es reconocer y cambiar el camino del progreso del crecimiento cuantitativo a la mejora cualitativa, pasar de una economía de mayor a una economía de mejor. A medida que la economía crece invade el ecosistema incurriendo en un costo de oportunidad de capital natural y servicios anticipados. Estos costos de oportunidad (escases de recursos, contaminación, etc.) a menudo valen más que los beneficios adicionales de producción.

La macroeconomía no tiene una regla de cuando parar, no se cree que el crecimiento de la macroeconomía invada nada y, por lo tanto, incurra en un costo de oportunidad que limita el crecimiento. Se cree que la macroeconomía crece en el vacío, sin invadir ni desplazar nada de valor, lo que puede llevar a la insustentabilidad ecológica. Pero la macroeconomía es parte de algo más grande, el ecosistema (Herman, 2007).

En el pasado los economistas consideraban que la naturaleza no era escasa, pero ahora están comenzando a considerar la escasez de la naturaleza y a incluirla en el mercado. El capital natural es la capacidad del ecosistema para producir tanto flujo de recursos naturales como un flujo de servicios naturales. Mantener constante el capital natural se denomina sustentabilidad fuerte.

Cuando el crecimiento de la producción y de la población aumentan los costos sociales y ambientales más que los beneficios de la producción se genera el crecimiento antieconómico. La sustentabilidad fuerte significa mantener intacto el capital natural bajo el supuesto de que no es un sustituto del capital artificial sino un complemento, siendo el capital natural el factor limitante. El consumo total de recursos, por el cual el subsistema económico vive del ecosistema contenedor, es limitado, porque el ecosistema que suministra recursos y absorbe sus productos de desecho es en sí mismo limitado.

Con frecuencia la producción se trata solo en función del capital y el trabajo: los recursos se omiten por completo. No solo consumimos el valor que agregamos a la materia, sino también el valor agregado por la naturaleza antes de importarlo al subsistema económico. Es por esto que debemos valorar el recurso natural del suelo y emplear fertilizantes biológicos ya que su bajo costo, en comparación con fertilizantes convencionales comerciales, reduce los costos de producción e incrementa los rendimientos, a la vez que su uso reduce el impacto ambiental, al ser regeneradores de suelo.

El valor agregado por la naturaleza debe ser valorado igualmente con el valor agregado por el trabajo y el capital. Tendemos a tratar el valor agregado natural como un subsidio, algo gratuito de la naturaleza. Cuanto mayor es el subsidio natural, menor es el precio que se le otorga. El crecimiento físico del subsistema es la transformación del capital natural en capital artificial.

Hay un costo y un beneficio para aumentar la escala del subsistema. El beneficio son los servicios económicos obtenidos; el costo es sacrificar los servicios del ecosistema. A medida que aumenta la escala, los costos marginales tienden a aumentar, los beneficios marginales tienden a disminuir. La igualdad de costos y beneficios define la escala óptima, más allá de la cual un mayor crecimiento en escala sería antieconómico. La pérdida de capital natural no se deduce del Producto

Nacional Bruto (PNB), solo se cuenta el valor agregado en el proceso de transformación del capital natural en capital artificial.

La cantidad de capital natural ya está dada, y no es producto del trabajo humano ni del capital. Lo que se consume más allá del valor agregado convencional es el valor agregado por la naturaleza. Las implicaciones de la política son economizar e invertir en capital natural, porque se ha convertido en el factor limitante.

Si se mantiene la producción dentro de la capacidad natural del ecosistema para absorber desechos y regenerar recursos agotados, entonces la escala de la economía es ecológicamente sustentable. El trabajo y el capital son la causa eficiente en la producción (agente transformador), mientras que los recursos naturales son la causa material (lo que se transforma). Para los neoclásicos el Producto Nacional Bruto (PNB) se define como la suma de todo el valor agregado por trabajo y capital, no se reconoce ninguna contribución valiosa de la naturaleza (Herman, 2007).

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.

### ***2.2.3 Las Dimensiones de la Sustentabilidad***

Las tres dimensiones de la sustentabilidad son el ambiental, político-social y económico. El desarrollo de productos y procesos refleja cómo la innovación en las biofábricas puede generar beneficios sociales y económicos y al mismo tiempo facilitar la reducción y el uso responsable de los recursos naturales.

El desarrollo requiere capital natural, humano y económico. Los tres pilares tienen diferentes tipos de valores, por ejemplo: el ambiental tiene valores como la biodiversidad, la belleza del paisaje, la economía tiene valores como las ganancias, menos costos y en lo social la equidad, salud, valores culturales, por mencionar algunos, que no son directamente conmensurables en relación con cada uno (Hansmann, Mieg, & Fricknecht, 2012). Las tres dimensiones pueden influenciarse mutuamente tanto en lo positivo como en lo negativo.

La sustentabilidad no únicamente se relaciona con lo económico sino también tiene un impacto en los sistemas naturales y sociales. Esto es un equilibrio entre lo que es la rentabilidad que por sí misma pueden generar las empresas del sector agrícola que también involucran la inclusión del medio ambiente, de proteger el hábitat de la flora y la fauna, de inculcar y fomentar los valores éticos, de aplicar nuevas tecnologías que sean amigables con el medio ambiente y se genere una buena imagen ante la sociedad de que la empresa se preocupa no únicamente por obtener una ganancia financiera sino también de apoyar y de ser consciente de que la sociedad y el mercado requieren de empresas comprometidas con la protección del medio ambiente, fomentar el cuidado de la salud y de generar un clima de igualdad de oportunidades (Dixon, 2003).

Para Laasch (2015) existe un fuerte acuerdo sobre la definición del término desarrollo sustentable, gracias al reporte de las Naciones Unidas titulado “nuestro futuro común”. El reporte establece que el desarrollo sustentable cumple con las necesidades del presente, sin comprometer las de las generaciones futuras. La sustentabilidad es el grado en el que en una situación se mantendrán los tres tipos de capital (político-social, ambiental y económico).

Ferrell (Ferrel, Fraedrich, & Ferre, 2017) menciona que la sustentabilidad, desde una perspectiva estratégica de negocios, es el potencial para el bienestar del ambiente a largo plazo, incluyendo todas las entidades biológicas, así como el beneficio mutuo en las interacciones entre naturaleza, individuos, organizaciones y estrategias de negocios. La sustentabilidad incluye la evaluación y mejora de las estrategias de negocios, los sectores económicos, las prácticas laborales, las tecnologías y el estilo de vida mientras se mantenga el ambiente. El desarrollo sustentable se ha convertido en una preocupación para muchas empresas ya que implica encontrar las necesidades de presentar sin compromiso alguno, la habilidad para que las futuras generaciones puedan satisfacer sus propias necesidades.

La responsabilidad social empresarial es un concepto con arreglo al cual las empresas deciden voluntariamente integrar las preocupaciones sociales y medioambientales en sus actividades comerciales y en las relaciones con sus interlocutores (Fernández, 2010). Las empresas son conscientes de que pueden contribuir al desarrollo sustentable orientando sus operaciones a fin de favorecer el crecimiento económico y aumentar su competitividad, al tiempo que garantizan la protección del medio ambiente y fomentan la responsabilidad social, incluidos los intereses de los consumidores (Granda & Camisón, 2008).

“Con el crecimiento de las comunidades se pone en gran riesgo la sustentabilidad de la zona, al no haber controles eficientes que supervisen el correcto uso de la tierra y sus recursos” (Chacón, Santos, & Morales, 2019). Por lo que el empleo de productos amigables con el medioambiente y que permitan la regeneración del suelo en las actividades agrícolas, como los biofertilizantes, así como su difusión entre los agricultores y la adecuada capacitación en el empleo correcto de los mismos, además de elevar la producción, bajar los costos de producción, permitirá un uso sustentable de los recursos naturales.

Para una empresa, ser sustentable representa más allá que contar con buenas prácticas en materia de sustentabilidad, poder reducir riesgos y aprovechar mejor las oportunidades disminuyendo el impacto negativo en sus operaciones, no solo en lo ambiental, sino en el campo económico y social (Del Arco Fernández, 2017).

La producción sustentable en el sector agrícola se refiere a las labores en producción que permiten elevar el rendimiento sin dañar el medio ambiente y la biodiversidad, que incluye métodos de cultivo responsables con el medio ambiente como los biofertilizantes. Para García (2018) uno de los aportes de la sustentabilidad hacia la innovación agraria es lo referente a la

dimensión social y sus determinantes como el salario, derechos de los trabajadores rurales y las demás relaciones sociales de producción.

El desarrollo sustentable debe considerar el aspecto económico como la creación de riqueza en todos los actores, el aspecto social al tener en cuenta las consecuencias de la actividad económica en la sociedad en general y los servicios básicos como un mejor nivel en la calidad de vida no solo de los productores sino de todos los involucrados tanto directa como indirectamente, tanto humanos como otros seres vivos y los factores abióticos como el agua, suelo, buscando la preservación de la biodiversidad y de los ecosistemas.

Las principales dimensiones de la sustentabilidad analizadas en la presente investigación fueron la ecológica y económica, seguidas no tan de cerca las culturales, sociales y políticas. Los indicadores económicos más estudiados fueron el ingreso, nuevos mercados, costos de producción, seguidos por precio, gastos de mano de obra, gastos de insumos, asistencia técnica, estudio de clúster, créditos, certificación y determinación del punto de equilibrio.

En la dimensión ecológica los indicadores más recurridos en las investigaciones fueron la biofertilización, aporte de nitrógeno, carbono, rotación de cultivos, recubrimientos con materia orgánica, lombricultura, cambio climático, seguidos por agricultura protegida, barreras muertas y vivas, asociación de cultivos, los cuales están enfocados principalmente en la preocupación de la recuperación de la fertilidad de los suelos agrícolas y el agua.

En lo referente a lo social se identificaron aquellos relacionados con la educación, la salud, la equidad y la vivienda; en lo político-cultural en el reconocimiento del empoderamiento de la mujer rural, calidad de vida de los productores, calidad del trabajo, identificación de actores claves y redes de producción.

### 2.2.4 Objetivos del Desarrollo Sustentable de la ONU

En 2015 más de 150 líderes mundiales asistieron a la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sustentable en Nueva York para aprobar la Agenda para el Desarrollo Sustentable. Los 193 Estados Miembros de las Naciones Unidas adoptaron el documento final, “Transformar Nuestro Mundo”: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sustentable. Este incluye los 17 Objetivos del Desarrollo Sustentable cuyo fin es: erradicar la pobreza, luchar contra la desigualdad y la injusticia, y hacer frente al cambio climático sin que nadie quede rezagado para el 2030 (ONU, 2015).

Ilustración 1. Objetivos del Desarrollo sustentable de la ONU



Fuente: (ONU, 2015)

Con respecto al objetivo número 9 sobre la industria, innovación e infraestructura. La industria sustentable desempeña un papel clave en la introducción y promoción de nuevas tecnologías y permite el uso eficiente de los recursos. Es clave para los desafíos económicos y medioambientales como el aumento de la eficiencia energética y de recursos. La inversión en investigación y desarrollo, como porcentaje del PIB a nivel mundial, fue de 1.7 entre 2015 y 2017, en las regiones en desarrollo fue menor al 1% (ONU, 2015).

El Banco Mundial estima que los países en desarrollo necesitan invertir alrededor del 4.5% del PIB para lograr los objetivos de desarrollo sustentable y, al mismo tiempo, limitar el

calentamiento global, reducir la pobreza y estimular la inversión productiva. El efecto multiplicador del trabajo de la industria crea 2.2 empleos en otros sectores. Los países menos adelantados tienen un inmenso potencial en la agroindustria, con buenas perspectivas de empleo sustentable y mayor productividad.

En cuanto al objetivo número 11 el organismo de las Naciones Unidas para los alimentos, la FAO, advirtió de que el hambre y las muertes podrían aumentar de manera significativa en las zonas urbanas que no cuenten con medidas para garantizar que los residentes pobres y vulnerables tengan acceso a alimentos, entre sus objetivos se encuentran proteger y salvaguardar los recursos naturales del mundo, reducir el impacto ambiental negativo, apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales fortaleciendo la planificación del desarrollo nacional y regional.

México cuenta desde 1988 con la Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, en la que Artículo 3o, inciso XI, el desarrollo sustentable se concibe como el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.

Otros objetivos de la agenda 2030 para el desarrollo sustentable, en que los biofertilizantes pueden contribuir en su alcance son el 2 (hambre cero) ya que esta ligado al sector primario productor y abastecedor de alimentos y materias primas, el 3 (salud y bienestar) ya que no perjudica la salud de productores y consumidores, el 4 (Agua limpia y saneamiento) ya que no contamina los mantos freáticos y de más cuerpos hidrológicos, el 7 (energía asequible y no

contaminante) ya que son considerados no contaminantes del medioambiente y son más baratos que los agroquímicos convencionales, el 8 (trabajo decente y crecimiento económico) ya que disminuyen los costos de producción, por ende aumentan la rentabilidad, el 12 (producción y consumo responsables) son considerados amigables con el medioambiente, el 13 (acción por el agua) como se ha comentado no perjudican las características físico-químicas y biológicas de las fuentes de agua, el 14, (vida submarina) no dañan la vida de animales submarinos ya que no contaminan los mantos freáticos como los fertilizantes sintéticos, el 15 (vida de ecosistemas terrestres) no afecta la biodiversidad como los productos agroquímicos. Como se observa los biofertilizantes ayudan al logro directamente de 11 de 17 objetivos de la agenda 2030.

### ***2.2.5 Agricultura Sustentable***

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 nutrientes, 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) Endógenismo
- 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).

### ***2.2.6 Limitaciones de la Agricultura Sustentable***

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).

### 2.2.7 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.

La palabra fertilizante proviene del adjetivo *fértil*, el cual expresa la cualidad de producir mucho; generalmente se aplica a las tierras que tienen la capacidad de producir mucho. De este adjetivo se deriva el verbo fertilizar, que significa hacer que la tierra sea fértil o más fértil, por lo que se considera que una sustancia o materia es fertilizante cuando contribuye a que la tierra sea fértil. Agregando el prefijo *bio*, que significa vida, a la palabra fertilizante, se refiere a sustancias o materiales con vida que hacen que la tierra sea fértil, es decir que produzca mucho. Por lo que un biofertilizante es un material o sustancia fertilizante que contiene vida para cumplir su función.

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-Nuñez, 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 fueron descubiertos inicialmente por un científico holandés llamado David Salfeld en 1888, sin embargo, su uso comenzó después del lanzamiento de “Nitragin”, un inoculante de leguminosas, por Friedrich Nobbe y Lorenz Hiltner con un cultivo de laboratorio de rizoba, en 1895. En 1940, Sir Albert Howard, también conocido como el padre de la agricultura orgánica moderna, publicó un libro titulado “*An Agriculture Testament*”, que documentó las prácticas agrícolas tradicionales en la India y concluyó que eran superiores en comparación con las prácticas modernas en términos de impacto ambiental. En 1943, Lady Eve Balfour inició el Experimento Haughler en las tierras de cultivo en Inglaterra, que comparó la agricultura orgánica y convencional. Publicó sus hallazgos en su libro “*The Living Soil*” que defendía las ventajas de los biofertilizantes (Marketsandmarkets, 2021).

Entre otros beneficios los biofertilizantes mejoran la estructura y la porosidad del suelo, la capacidad de retención de agua y la biodisponibilidad de los nutrientes. Los biofertilizantes ofrecen servicios ecosistémicos vitales para la biósfera, como la transformación de la materia

orgánica, el reciclaje de los nutrimentos, la formación y la aireación de los agregados del suelo, el secuestro de carbono y la regulación del crecimiento de los cultivos y microorganismos fitopatógenos (De los Santos-Villalobos, Parra-Cota, Herrera-Sepúlveda, Valenzuela-Aragón, & Estrada-Mora, 2018).

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 fósforo 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-Nuñez, 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.

En el resumen del examen de las políticas comerciales de la Organización Mundial del Comercio (2013b) el Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales busca contribuir a la conservación, uso y manejo sustentable de los recursos naturales utilizados en la producción primaria mediante el otorgamiento de apoyos y servicios que permitan desarrollar sistemas integrales, obras, acciones y prácticas sustentables que ayuden a inducir una nueva estructura productiva incluyendo cultivos para la producción de insumos para bioenergéticos, el

aprovechamiento sustentable de la energía; así como la conservación y aprovechamiento sustentable del suelo, agua y vegetación de las unidades productivas.

En el área de bioenergía y fuentes alternativas se busca fomentar la producción de biofertilizantes y abonos orgánicos y el uso de energías renovables. La ayuda es hasta el 30% del costo del paquete tecnológico, sin rebasar los 750, 000 pesos por beneficiario y entre 3,000,000 y 5,000,000 por proyecto (Organización Mundial del Comercio, 2013a).

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.

En economía, el concepto “tierra” no significa únicamente la tierra que el campesino cultiva, sino también el suelo urbano para edificar, así como lo que hay dentro de él, e incluye el subsuelo mineral, el agua y cualesquiera otros insumos presentes ahí (Graue, 2014).

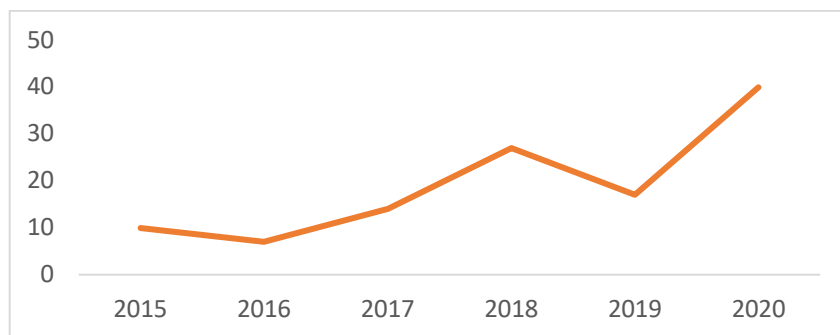
Los biofertilizantes comercializados se encuentran en versiones líquidas, que le dan mayor vida de anaquel, y permite una aplicación más fácil por parte de los productores. La aceptación de los productos es cada vez mayor, pero en el caso de los productores campesinos a pequeña escala el suministro depende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

### ***2.2.9 Producción Científica sobre Biofertilizantes en México***

En México, se manifiesta un alza en la producción de artículos sobre biofertilizantes a base de microorganismos en el periodo 2015-2020 (Figura 15). Los años 2018 y 2020 (con 40 y 29

artículos respectivamente), resultaron los más productivos, a excepción del 2016 y 2019 en los cuales se observan disminuciones en las publicaciones sobre el tema.

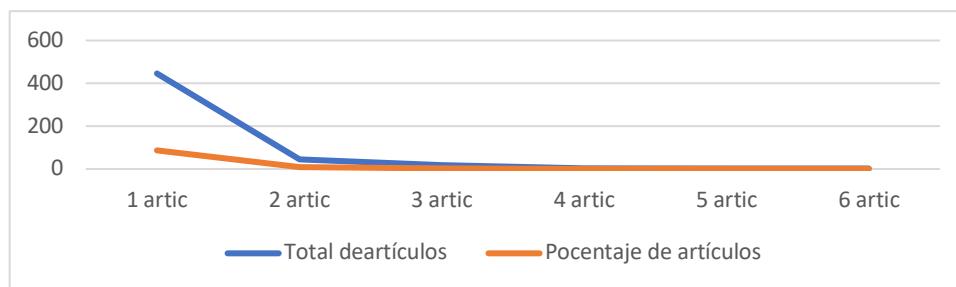
Gráfica 15. Productividad de Artículos Científicos sobre Biofertilizantes de México por Años en el Período 2015-2020



Fuente: Elaboración Propia con base en un estudio bibliométrico de 2015-2020

Durante el período 2015-2020 un total de 519 autores publicaron artículos sobre biofertilizantes en México a base de microorganismos, de los cuales el 98.65% publicaron de uno a tres artículos, mientras que sólo el 1.36% publicaron de cuatro a seis artículos durante el periodo.

Gráfica 16. Número de Artículos por Autor

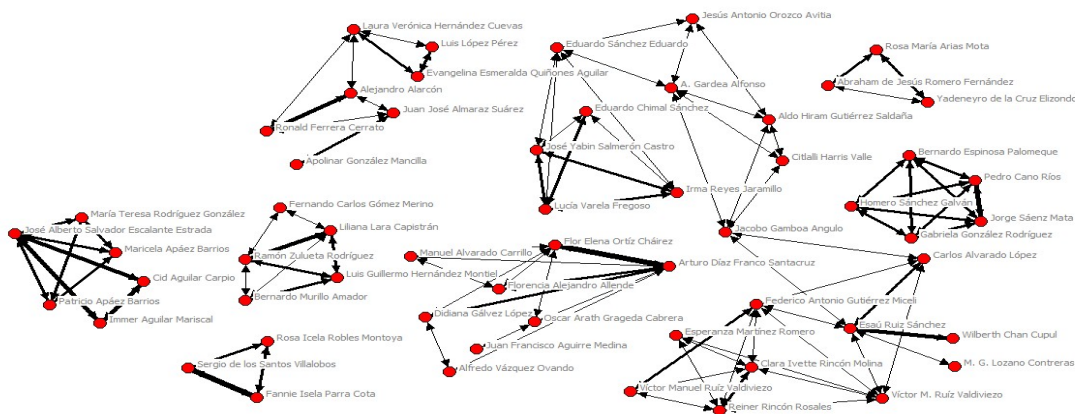


Fuente: Elaboración propia en base a artículos sobre biofertilizantes en Ebsco, Elvisier, Springer, Scielo, Willey y Redalyc, durante el periodo 2015-2020

Los autores con mayor producción fueron Esaú Ruíz Sánchez y Arturo Díaz Franco Santacruz con seis publicaciones durante el periodo de análisis, ambos autores no publican juntos, cada uno pertenece a una red diferente, Esaú trabaja más con *Rhizophagus intraradices* y *Glomus*

*intraradices*, mientras que Díaz trabaja con *Bacillus*, *Trichoderma* y *Azospirillum brasilense* principalmente.

Gráfica 17. Red de Autores sobre Biofertilizantes



G

Fuente: Elaboración propia en base a artículos sobre biofertilizantes en Ebsco, Elvisier, Springer, Scielo, Willey y Redalyc, durante el periodo 2015-2020

Los autores que publicaron de cuatro a cinco artículos fueron Ronald Ferrera Cerrato, Flor Elena Ortíz Cháirez, Fannie Isela Parra Cota, Sergio de los Santos Villalobos y José Alberto Salvador Escalante Estrada. Se observan 8 redes de colaboración entre autores, la más grande esta formada por 20 investigadores, siendo Jacobo Gamboa Angulo el que une dos redes de colaboración para formar esta más grande, observándose otros 3 líderes en esta red: Esaú Ruiz Sánchez, Clara Ivette Rincón Molina y A. Gardea Alfonso puesto que otros investigadores tienden a colaborar con ellos.

En 5 redes pequeñas de colaboración no se aprecian líderes, en las otras dos conformadas por 7 y 8 investigadores respectivamente se observa un ligero liderazgo en los investigadores Flor Elena Ortiz Cháirez y Laura Verónica Hernández Cuevas. Siendo la colaboración más fuerte entre Flor Elena Ortíz Cháirez y Arturo Díaz Franco Santacruz. El total de artículos fue publicado en 57

revistas, de las cuales las principales revistas sobre la temática son Terra Latinoamericana y Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

Gráfica 18. Revistas Donde se Publicaron los Artículos sobre Biofertilizantes Durante el Período 2015-2020

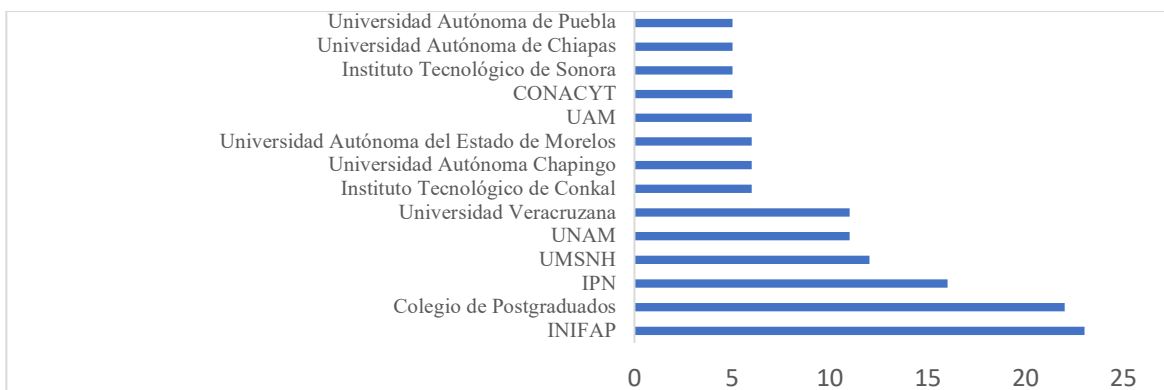


Fuente: Elaboración propia en base a artículos sobre biofertilizantes en Ebsco, Elvisier, Springer, Scielo, Willey y Redalyc, durante el periodo 2015-2020

Participaron 67 instituciones mexicanas en las publicaciones de los artículos sobre biofertilizantes, siendo las principales el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), el Colegio de Postgraduados, el Instituto Politécnico Nacional (IPN), la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Universidad Veracruzana.

En la gráfica 19 se observa que priman el INIFAP y el Colegio de Postgraduados ambas con 23 y 22 artículos respectivamente, que representan en conjunto el 39,1% de las publicaciones totales del periodo, la institución con cuatro publicaciones fueron *The Norhwestern Center for Biological Research* -está institución publica sola, de ahí que no se observa en la red de instituciones-, el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) y la Universidad de Durango, otras 53 instituciones publicaron tres o menos artículos.

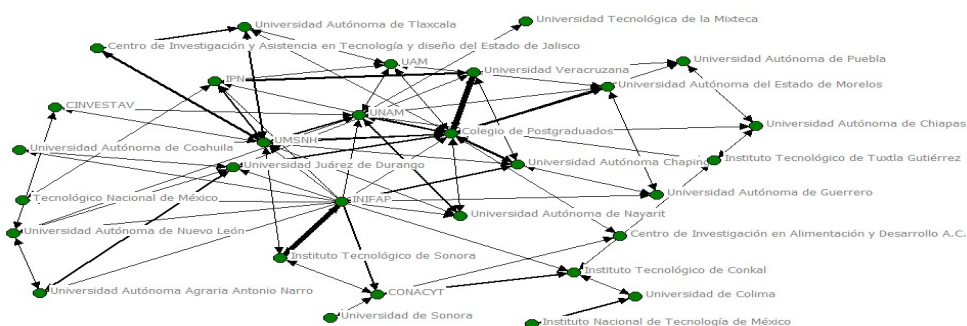
Gráfica 19. Principales Instituciones que Publican sobre Biofertilizantes en México



Fuente: Elaboración propia en base a artículos sobre biofertilizantes en Ebsco, Elviesier, Springer, Scielo, Willey y Redalyc, durante el periodo 2015-2020

En lo que se refiere a la red de las relaciones entre instituciones, el Colegio de Postgraduados, tiene la relación más fuerte de colaboración con instituciones como la Universidad Autónoma Chapingo, la UNAM, la UMSNH, el INIFAP, la Universidad Juárez de Durango, la Universidad Autónoma de Chiapas, pero principalmente con la Universidad Veracruzana y la Universidad Autónoma del Estado de Morelos; En general, existe una red de colaboración entre 30 instituciones que tienen como centro al colegio de Postgraduados, la UNAM, el INIFAP, la UMSNH, el IPN, la Universidad Autónoma Chapingo y la Universidad Juárez de Durango.

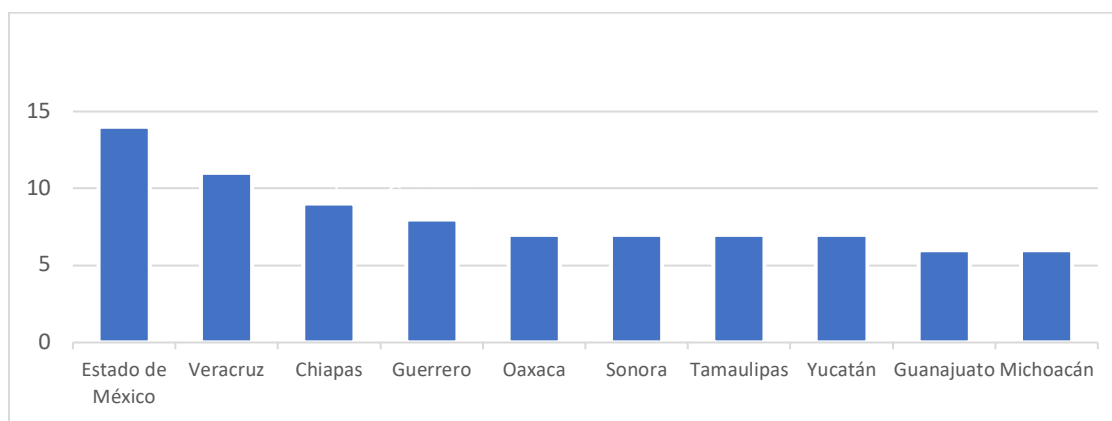
Gráfica 20. Red de Colaboración entre Instituciones



Fuente: Elaboración propia en base a artículos sobre biofertilizantes en Ebsco, Elviesier, Springer, Scielo, Willey y Redalyc, durante el periodo 2015-2020

Estas instituciones mexicanas representan a 24 estados, siendo el Estado de México y Veracruz las entidades federativas más representadas en estas investigaciones, con el 12 % y el 10 % de las publicaciones. Ocupan el tercer y cuarto puesto en este rubro Chiapas y Guerrero con el 7 y 10 % de las publicaciones mexicanas.

Gráfica 21. Entidades Federativas de México que Publicaron Artículos sobre Biofertilizantes Durante el Período 2015-2020

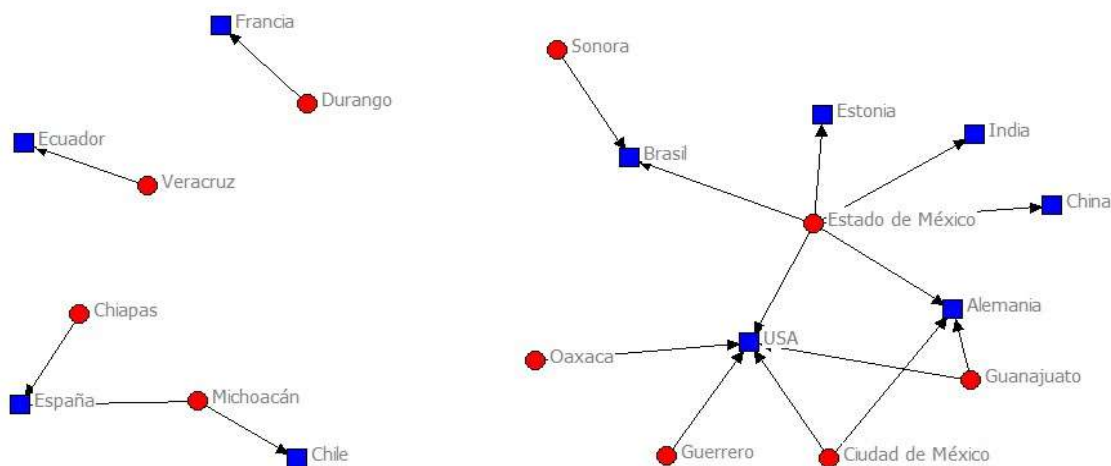


Fuente: Elaboración propia en base a artículos sobre biofertilizantes en Ebsco, Elviesier, Springer, Scielo, Willey y Redalyc, durante el periodo 2015-2020

El estado que más colaboró con otros países fue el Estado de México, ya que colaboró con investigadores de instituciones de Estados Unidos de América, Brasil, Alemania, Estonia, China e India. Dichos países en su mayoría son los más productivos en solicitud de patentes de biofertilizantes, a excepción de Estonia. Colaboraron con México en el 31.6% de las publicaciones alrededor de 17 países (gráfico 22), entre los principales se encuentran los Estados Unidos de América, Chile, Alemania, China y España.

En cuanto a Michoacán tuvo colaboración en las publicaciones con Chile y España, este último país también colaboró con el estado de Chiapas durante el periodo de investigación. Estados Unidos de América fue el país que colaboró con más estados mexicanos, como fueron Ciudad de México, Estado de México, Guanajuato, Guerrero y Oaxaca.

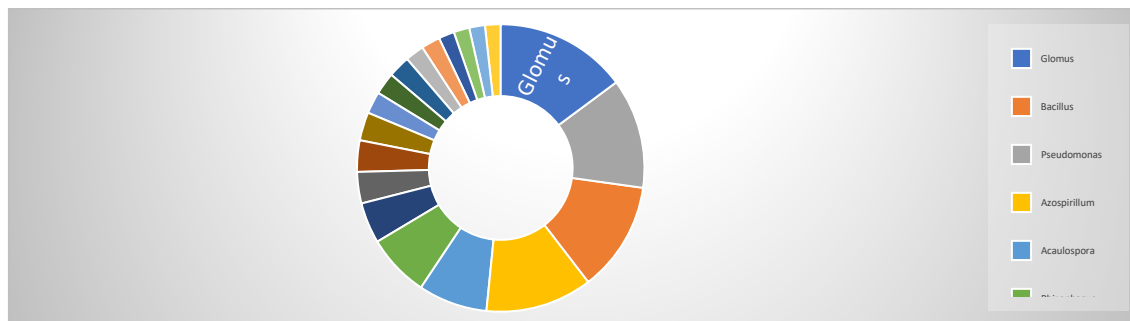
Gráfica 22. Redes de Colaboración con los Estados sobre Biofertilizantes



Fuente: Elaboración propia en base a artículos sobre biofertilizantes en Ebsco, Elvieser, Springer, Scielo, Willey y Redalyc, durante el periodo 2015-2020

Resultaron objeto de investigación 85 géneros de microorganismos, entre los cuales se destacan por los géneros: *Glomus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Acaulospora* y *Rhizofagus*, por encontrarse entre el 17-36% de las publicaciones. Se puede plantear que en México se muestra un interés por la introducción de innovaciones en la temática de biofertilizantes a partir de la diversidad de microorganismos objetos de estas investigaciones identificados como bacterias, cianobacterias y hongos.

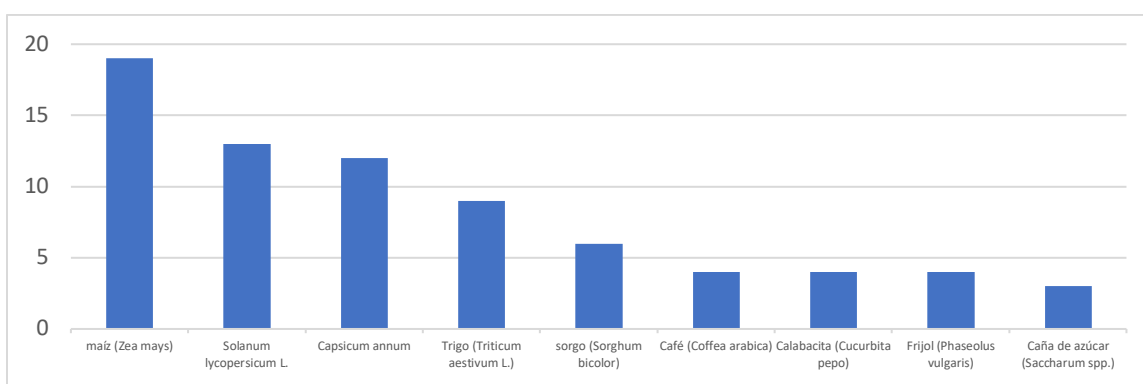
Gráfica 23. Microorganismos Bioinoculantes



Fuente: Elaboración propia en base a artículos sobre biofertilizantes en Ebsco, Elvieser, Springer, Scielo, Willey y Redalyc, durante el periodo 2015-2020

Los microorganismos empleados como biofertilizantes se aplicaron como objeto de investigación en 51 cultivos en México, de ellos se encuentran como principales el maíz, tomate, chile o pimiento, trigo, sorgo, café, calabacita, frijol y la caña de azúcar. El maíz resultó objeto de investigación en el 13.2% de las publicaciones, cuestión que reafirma a este cultivo como símbolo de la cultura agroalimentaria mexicana.

Gráfica 24. Cultivos en los que se Aplicó Biofertilizantes en México Durante el Período 2015-2020



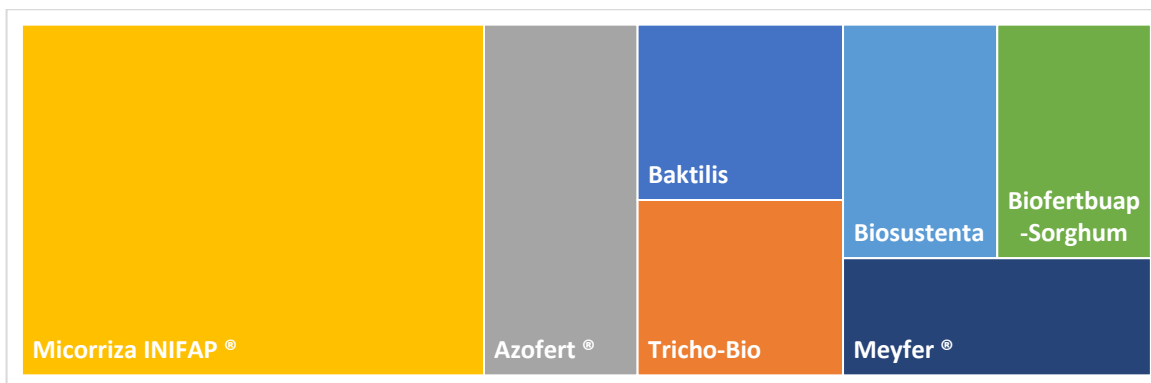
Fuente: Elaboración propia en base a artículos sobre biofertilizantes en Ebsco, Elvieser, Springer, Scielo, Willey y Redalyc, durante el periodo 2015-2020

De 33 marcas de biofertilizantes analizadas durante el periodo de estudio, la marca Micorriza INIFAP ® fue aplicada en más del 27% de los cultivos donde se emplearon biofertilizantes comerciales, seguida por Azofert ® en poco más del 9%. Tricho-Bio, Biosustenta, Meyfer ®, Biofertibuap-Sorghum y Baktillis en el 6% de los estudios respectivamente (Gráfico 25). “A pesar de las ventajas aparentes que ofrece la inoculación se han comercializado muy pocas formulaciones mixtas, siendo los inóculos basados en un solo microorganismo los que más se producen, ejemplo son Soil Implant®, Gold Coat®, Azogreen” (Mendoza y Cruz, 2012, p.173).

Las aplicaciones de hongos micorrízico-arbusculares en el campo mexicano tuvieron su mayor impulso a partir del programa masivo desarrollado a partir de 1999 por el INIFAP y la colaboración de la FUMIAF, A.C. a través del Programa Alianza Para el Campo, por lo que se

desarrolló un producto biológico Micorriza INIFAP ®. Azofert® es un inoculante a base de bacterias del género *Rhizobium*, que es fabricado hace más de 15 años en el Instituto Nacional de Ciencia Agrícolas de Cuba. Trichobio es producido por la empresa BIOSAE, Biofertibuap es producido por la Universidad Autónoma de Puebla.

Gráfica 25. Marcas de Biofertilizantes Aplicadas a los Cultivos en México Durante 2015-2020



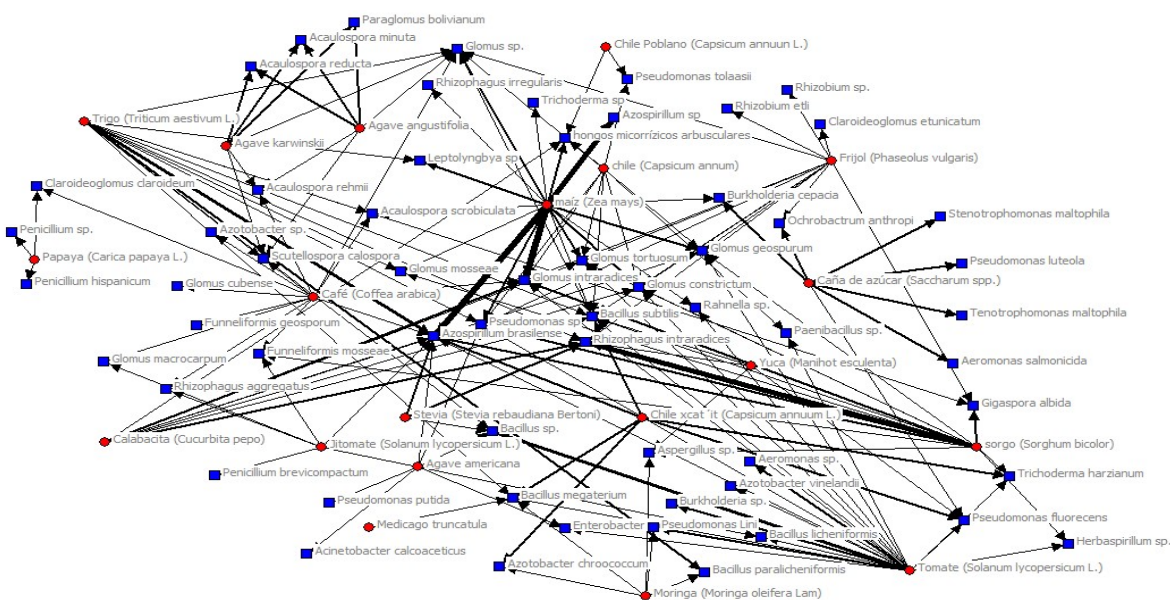
Fuente: Elaboración propia en base a artículos sobre biofertilizantes en Ebsco, Elvisier, Springer, Scielo, Willey y Redalyc, durante el periodo 2015-2020

En México, la producción actual de biofertilizantes se realiza por pequeñas empresas, instituciones de educación e investigación y por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 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, et al., 2012).

Si se analiza la relación entre los cultivos y los microorganismos empleados a partir del análisis bibliométrico (gráfico 26) se puede observar que el maíz es el cultivo en el cual se han evaluado diversos géneros de microorganismos. Las líneas más gruesas muestran los microorganismos que más se emplearon en determinados cultivos en los estudios, para el caso del maíz los géneros: *Glomus intraradices*, *Azospirillum brasilense* y *Azospirillum sp.* se utilizaron con mayor frecuencia. En el caso del sorgo se observa que *Rhizophagus intraradices* fue el

microorganismo más investigado. En cultivos como la moringa o el trigo los biofertilizantes en su mayoría fueron elaborados por un solo género. La especie de hongo micorrízico *Glomus intraradices* se utilizó para la elaboración de biofertilizantes aplicados a diversos cultivos como el maíz, calabacita, yuca, frijol y café principalmente.

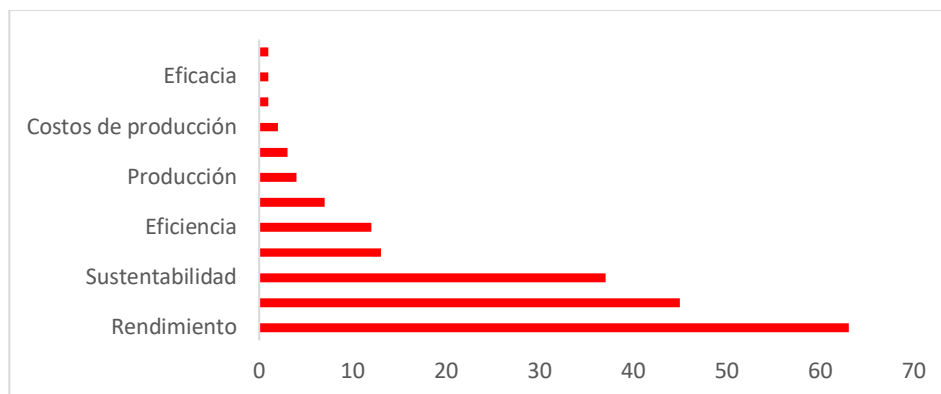
Gráfica 26. Relación entre los Microorganismos Empleados como Biofertilizantes por Cultivos en México



Fuente: Elaboración propia en base a artículos sobre biofertilizantes en Ebsco, Elsevier, Springer, Scielo, Wiley y Redalyc, durante el periodo 2015-2020

En la gráfica 27 se relacionan las variables econométricas empleadas para evaluar los biofertilizantes; entre las cuales el rendimiento, la productividad y la sustentabilidad ocupan entre el 19 y 33%, seguidas por la rentabilidad y la eficiencia. Por lo que se puede inferir que los estudios están enfocados en determinar si los biofertilizantes tienen mejores resultados en cuanto al incremento en el rendimiento y productividad de los cultivos, así como a la conservación de los recursos naturales, como son la fertilidad del suelo, del agua, la atmósfera y de la calidad de vida de las personas involucradas en el proceso de producción y comercialización. Son estudios más agronómicos que buscan el óptimo técnico, más que el óptimo económico.

Gráfica 27. Variables Econométricas en los Artículos sobre Biofertilizantes en México en el Período 2015-2020



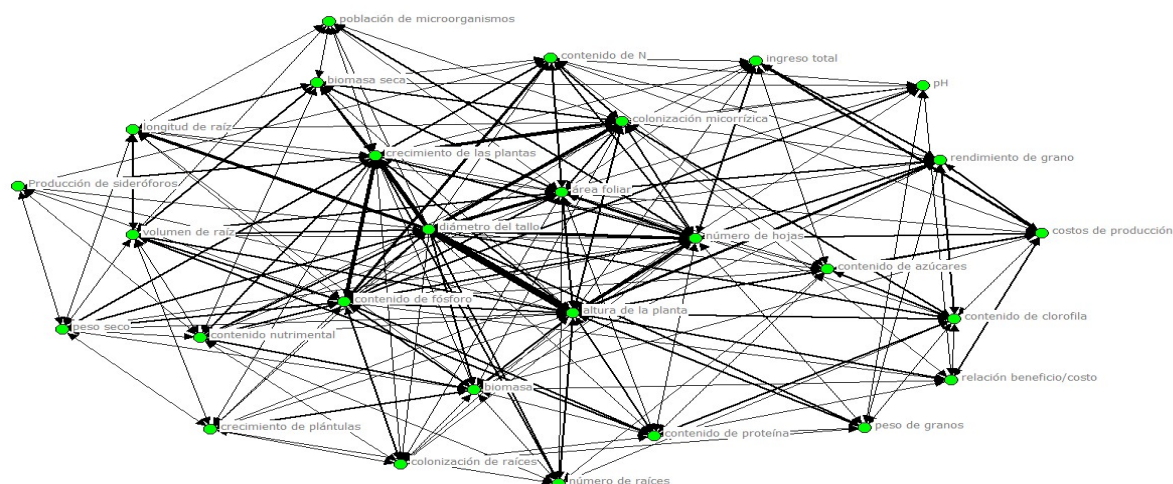
Fuente: Elaboración propia en base a artículos sobre biofertilizantes en Ebsco, Elsevier, Springer, Scielo, Wiley y Redalyc, durante el periodo 2015-2020

Un total de 193 indicadores que tributan a estas variables econométricas fueron medidos por los autores en sus trabajos. Los indicadores más empleados están relacionados con las variables rendimiento y productividad, ya que los investigadores buscan en la mayoría de los artículos del periodo de análisis, medir el crecimiento o altura del cultivo como principal indicador de la eficiencia del uso de los biofertilizantes. Otros indicadores directamente relacionados con la producción del cultivo son el diámetro del tallo, su área foliar, longitud de la raíz, rendimiento, colonización por parte de los microorganismos, peso de grano, contenido de azúcares y de nutrientes, y como indicador relacionado con la rentabilidad se observan, principalmente, los costos de producción.

Si se analiza la relación entre los indicadores empleados por los investigadores para evaluar diversas variables presentes en el gráfico 28, se pueden interpretar que el diámetro del tallo, el crecimiento o altura de la planta, el área foliar y el número de hojas son variables de productividad que aparecen con significativa frecuencia en los artículos sobre biofertilizantes. Igualmente, es recurrente el empleo de los indicadores como: la colonización micorrízica, en el caso de los

biofertilizantes elaborados a partir de hongos micorrízicos arbusculares; el contenido de azúcares; la biomasa y el rendimiento biofertilizante-cultivo. Los indicadores econométricos que miden aspectos como ingresos, costos de producción, relación beneficio/costo se considera fueron indicadores más aislados en comparación con los indicadores de productividad o rendimiento, encontrándose sólo entre el 5-7 % de las publicaciones.

Gráfica 28. Relación entre los Principales Indicadores Utilizados en los Artículos Científicos sobre Biofertilizantes en México Durante el Período 2015-2020



Fuente: Elaboración propia en base a artículos sobre biofertilizantes en Ebsco, Elvieser, Springer, Scielo, Willey y Redalyc, durante el periodo 2015-2020

En este diagrama se emplearon aquellos indicadores presentes en más de cinco artículos científicos. De ahí que se observa una única red en la cual existe una interrelación de indicadores en las cuales los que aparecen con mayor fuerza en su relación en los artículos de biofertilizantes son 1) altura de la planta, 2) diámetro de la planta, 3) crecimiento de la planta, 4) número de hojas, 5) área foliar, 6) colonización micorrízica y 7) rendimiento del grano.

### 2.3 Productividad

La escuela de la administración científica desarrollada en los Estados Unidos a partir de los trabajos de Frederick W. Taylor (Chiavenato, 2004), a comienzos del siglo XX estaba centrada en incrementar la productividad de la empresa mediante el aumento de la eficiencia en el nivel operacional, en el nivel de los obreros. Hacia énfasis en el análisis y en la división del trabajo del obrero. Era un enfoque de abajo hacia arriba (del obrero hacia el supervisor o gerente). El énfasis en las tareas es la principal característica de la administración científica.

La organización y la administración deben tratarse de manera científica. La improvisación debe ceder lugar a la planeación, y el empirismo a la ciencia. Entre 1880 y 1890 se instala en los Estados Unidos la producción en masa, lo cual origina el aumento del número de asalariados en las industrias, se hace necesario evitar el desperdicio y economizar la fuerza laboral. Se inicia la división del trabajo entre quienes piensan y quienes ejecutan.

Henry Ford (Chiavenato, 2004), fue otro de los representantes de la administración científica entre sus principios básicos estaba la productividad, que consiste en aumentar la capacidad de producción del hombre en el mismo periodo (productividad), mediante la especialización y la línea de montaje.

La escuela clásica de la administración desarrollada en Francia a inicios del siglo XX, formada principalmente por los trabajos de Henri Fayol (Chiavenato, 2004), buscaba incrementar la productividad aumentando la eficiencia de la empresa, a través de la forma y disposición de los órganos componentes de la organización (departamentos) y de sus interrelaciones estructurales.

En este apartado se describirán diferentes conceptos y tipos de productividad, así como su importancia y su relación con los insumos o recursos empleados para obtener los productos. Con la finalidad de incrementar su productividad los agricultores hacen uso excesivo de agroquímicos,

aplicando sobredosis de fertilizantes químicos que tienen un impacto negativo en el medioambiente y la sustentabilidad del sistema de producción, ya que afecta la salud del suelo y la solvencia económica de los productores.

Para Sumanth (1990) la palabra productividad en su sentido formal se mencionó por primera vez en un artículo de Quesnay en 1766, más tarde en el año de 1883, Littré la definió como la facultad de producir; fue en el siglo veinte que el término productividad adquirió un significado más preciso con relación entre lo producido y los recursos empleados para obtenerlo. Sumanth define la productividad como la relación existente entre la cantidad producida y los insumos utilizados dentro de un mismo proceso productivo. No es una medida de la producción, es una medida del uso eficiente de los recursos para cumplir con los resultados deseados.

La medición de la productividad en las empresas puede realizarse para el total de los productos que ofrece una empresa o para cada uno de los productos que produce, por lo que se pueden medir las productividades parciales de cada uno de los insumos tangibles, tanto la producción como los insumos se expresan en términos reales, convirtiéndolos en pesos constantes de un periodo de referencia o periodo base.

Sumanth (1990) se refiere a tres tipos básicos de productividad:

Productividad parcial: es la razón entre la cantidad producida y un solo tipo de insumo, que puede ser mano de obra, capital, materia prima, entre otros.

Productividad de factor total: es la razón de la producción neta con la suma asociada con los factores de mano de obra y capital. Por producción neta se entiende producción total menos servicios y bienes intermedios comprados.

Productividad total: es la razón entre la producción total y la suma de todos los factores de insumo.

La producción agrícola tiene características específicas porque se realiza con elementos que tienen vida y pasan por varias etapas de sus ciclos biológicos, por lo que los biofertilizantes tienen que tomar en cuenta las distintas etapas de desarrollo que atraviesan los cultivos, ya que en cada fase requieren dosis diferentes y las mezclas tanto de macro como micronutrientes pueden variar dependiendo del cultivo y la fase de desarrollo en que se encuentre.

Los procesos productivos pueden tener ciclos de semanas, meses o inclusive años, pero una vez iniciado no se puede volver atrás ya que se pone en riesgo la producción y todo lo invertido en ella, hay cultivos como las zarzamoras, conocidas como moras, o por su nombre científico *Rubus Ullmifubus*, que tienen ciclos madurativos, donde se realiza la corta de la cosecha, hay cultivos como el aguacate donde se tienen que esperar hasta cinco años para realizar la primera cosecha, la cual va teniendo mayor producción en los siguientes años.

El progreso técnico y el crecimiento de la inversión son las fuerzas primordiales que incrementan la productividad; mejores métodos de producción, nuevas tecnologías y la incorporación de maquinaria y equipo nuevos elevan el producto por hombre ocupado (Cue & Quintana, 2014a). Los incrementos de inversión en un periodo, permiten la producción de más bienes en el periodo siguiente. La productividad es el producto por insumo utilizado en la actividad económica.

Al contabilizar la producción de todos los factores productivos, resulta la productividad total de los factores. Los dos cálculos más difundidos de productividad son la productividad laboral y la del capital. La evolución de la productividad contribuye a elevar la calidad de los productos y a reducir costos. A nivel nación contribuye a establecer el crecimiento económico. Para usar con eficiencia los factores productivos se realizan inversiones en desarrollo tecnológico, lo que eleva la productividad de los factores.

La producción agrícola se puede realizar en un ambiente a cielo abierto o protegido como pueden ser los invernaderos. Son varios los factores que determinan la cantidad y calidad del producto a cosechar, que pueden agruparse en geológicos, climatológicos, bióticos y económicos. Entre los geológicos se encuentran las características de los suelos, tales como la textura, profundidad, relieve y su composición, siendo uno de ellos la fertilidad del suelo, y los requerimientos de nutrientes que se le pueden suministrar a través de los biofertilizantes, que pueden elevar la productividad o generar repercusiones incosteables de superarlas. El clima afecta la productividad agrícola a través de la duración del período de crecimiento de los cultivos, de la temperatura, la precipitación y la erosión del suelo. Por lo que se puede hablar productividad de acuerdo al capital, a la inversión o algún recurso que forma parte de la materia prima, como son los fertilizantes.

El principio de la productividad marginal decreciente significa que es inevitable que a, partir de cierto punto, al añadir una unidad adicional del factor variable, como pueden ser el número de trabajadores en este caso jornaleros, o densidad de plantas, árboles o semillas por metro cuadrado, la producción aumente, pero lo hará a tasas decrecientes, o como en el caso específico en que cada vez hay que emplear mayores cantidades de fertilizantes sintéticos para elevar o incluso mantener la producción, por ende la productividad, siendo los biofertilizantes una opción ante esta situación. El momento en el cual empezarán a operar los rendimientos decrecientes respecto de un factor, en este caso el suelo, dependerá de las características específicas del proceso productivo y de la calidad del suelo.

En el mundo real, todos los procesos productivos confirman la presencia de rendimientos decrecientes respecto de un factor. Tarde o temprano, la producción comienza a aumentar en tasas decrecientes (Cue& Quintana, 2014b). Si no operaran los rendimientos decrecientes respecto de

un factor, sería factible alimentar a la población mundial con sólo la producción obtenida en una pequeña área de terreno manteniendo la calidad y fertilidad del suelo con sólo aumentar el factor trabajo y los insumos agrícolas. Para evitar confusión entre producción y productividad, la producción se refiere a la actividad de producir bienes y/o servicios, y productividad se refiere a la utilización eficiente de los recursos (insumos) al producir bienes y/o servicios (productos).

## **2.4 Rentabilidad**

Para realizar sus operaciones una empresa necesita invertir en activos, puede hacerse un análisis de la actividad relacionando el nivel de operaciones, como son las ventas, con los activos utilizados para alcanzar ese nivel. Con lo que se pueden obtener datos acerca de la eficiencia operativa de la empresa. Cada sector económico, como lo es el agrícola y la agroindustria, tienen características específicas con respecto a la magnitud y el tipo de recursos requeridos para competir de manera sustentable; lo que el análisis permite conocer la posición de la empresa y su desempeño.

Los productores invierten en sus tierras y cultivos para obtener un rendimiento determinado, en cierto periodo de tiempo, pudiendo ser un ciclo agrícola, o determinado periodo en el proceso de producción. Alcanzar y mantener un nivel de rendimiento es requisito para que los productores sean competitivos, permanezcan y crezcan en el sector. Por lo que el rendimiento es una variable importante del desempeño de los productores. La rentabilidad se mide sobre la inversión en activo o patrimonio. Es el cociente de las ganancias entre los recursos utilizados para obtenerlas. La ganancia es el excedente que puede atribuirse a la inversión.

El concepto general de rentabilidad es la relación entre los beneficios, (o diferencia entre ingresos y costos, de un periodo determinado, generalmente de un año), y los recursos que se han

mantenido invertidos para lograrlo. Cualquier forma de entender los conceptos de beneficios y recursos permite calcular algún índice de rentabilidad. Los diferentes índices posibles no significan lo mismo.

Clyde (Clyde, Roman, & Weil, 2013) define la rentabilidad como el retorno sobre la inversión que se da en un tiempo determinado, donde el poder de generación de utilidades y la capacidad de obtener un rendimiento sobre la inversión, permite obtener un elemento de análisis para la gestión empresarial. Una de las formas de medir la rentabilidad es a través de los rendimientos de la empresa con las ventas, los activos o el capital, es decir, el porcentaje que muestra la utilidad sobre las ventas, activos o el patrimonio.

Para Sánchez (1994) los tipos de rentabilidad son:

Rentabilidad económica es una medida que se refiere a determinado periodo de tiempo, del rendimiento de los activos de una empresa con independencia de la financiación de los mismos. Es considerada como una medida de la capacidad de los activos de una empresa para generar valor con independencia de cómo han sido financiados.

Rentabilidad financiera es un indicador de la capacidad de la empresa para crear riqueza a favor de sus accionistas. Se realiza tomando en cuenta la riqueza generada en un periodo que es dividida por la aportación realizada por los accionistas para conseguirlo.

Sánchez (1994), describe la rentabilidad como una noción que se aplica a toda acción económica en la que se movilizan unos medios, materiales, humanos y financieros con el fin de obtener unos resultados. En general la rentabilidad es la medida del rendimiento que en un determinado periodo de tiempo producen los capitales utilizados en el mismo. Es una comparación entre la renta generada y los medios utilizados para obtenerla con el fin de permitir la elección entre alternativas o juzgar la eficiencia de las acciones realizadas.

Morillo (2001) considera la rentabilidad como una medida relativa de las utilidades, es la comparación de las utilidades netas obtenidas en la empresa con las ventas (rentabilidad o margen de utilidad neta sobre ventas), con la inversión realizada (rentabilidad económica o del negocio), y con los fondos aportados por sus propietarios (rentabilidad financiera o del propietario).

La utilidad neta es el incremento del patrimonio resultante de una operación lucrativa de la empresa, esperado por quienes invierten en el capital social de una compañía para incrementar el valor de su inversión. Es un efecto sobre el patrimonio mediante el incremento de cualquier activo (no necesariamente efectivo) o la disminución del pasivo (Meigs, 1998).

Para mejorar tanto la rentabilidad financiera como la económica se debe incrementar el margen de utilidad neta sobre ventas, la cual se define como la proporción de ventas netas de la empresa que serán utilidades a ser repartidas como dividendos o capitalizadas, y calculada mediante el coeficiente :  $\text{Utilidad neta} / \text{Ventas netas}$  (Gitman, 1996).

Para incrementar la rentabilidad, a partir del margen de utilidad sobre ventas, se tienen dos alternativas, la primera consiste en aumentar la participación en el mercado. Una empresa, con un gran volumen de ventas multiplicado por un moderado margen de utilidad obtendrá una considerable ganancia, que tendrá que ser medida respecto a la inversión realizada de sus propietarios. La segunda alternativa, consiste en elevar el margen de utilidad sobre ventas a partir de factores cualitativos que incrementen el precio de venta como pueden ser la innovación, la diferenciación del producto, posicionamiento y segmentación de mercado, y a partir de herramientas que disminuyan los costos.

“La factibilidad de emplear en México microorganismos promotores de crecimiento como una opción tecnológica viable para reducir costos asociados a la fertilización química manteniendo, o aún incrementando, la productividad de los cultivos ha resurgido en virtud

de la problemática actual entorno a los precios del petróleo, así como también del acrecentado interés de la sociedad por adoptar tecnologías compatibles con la conservación de los recursos naturales y la producción de alimentos libres de pesticidas” (Aguado, 2012, p.18).

### **Capítulo 3. Aspectos Metodológicos**

La ciencia no estudia de manera directa la realidad, sino que lo hace a través de la construcción de modelos, el cual es una simplificación de la realidad que se desea estudiar, donde sólo se incluye lo fundamental para la comprensión del objeto de estudio, eliminándose lo que se considere irrelevante para el propósito de la investigación; un modelo resalta sólo las variables y las relaciones más importantes que se establecen entre ellas, permitiendo al investigador obtener conclusiones relevantes (Cue & Quintana, 2014a).

En la presente investigación se utilizaron la metodología de Modelización de Ecuaciones Estructurales de Mínimos Cuadrados y la Metodología de Marco Lógico, la primera una metodología estadística que refuerza la parte cuantitativa y la de Marco Lógico aspectos cualitativos de la presente investigación.

La metodología de marco lógico está compuesta por una serie de pasos, que pueden variar de acuerdo al problema y se obtiene un resumen narrativo. En el marco lógico elaborado se consideraron a los productores como las fuentes primarias de información, tomando como variable central la innovación en la agricultura, se determinaron los efectos y causas lo cuál llevo a generar el árbol de problemas, posteriormente, se elaboró el árbol de objetivos identificando fines y medios, lo cuál llevo a la identificación de acciones, de acuerdo al análisis de alternativas obtenidas del trabajo de investigación en campo.

### **3.1 Metodología del Marco Lógico**

La Metodología de Marco Lógico (MML) es un método orientado a la solución de problemas específicos. Tiene tres grandes fases, en la primera se identifica el problema a resolver, por medio de un diagnóstico sistémico que permita establecer las causas del problema, en la segunda se construye el modelo sistémico y en la tercera se elabora la matriz de objetivos

secuenciales que deben alcanzarse, donde se incorporan los indicadores. Debe aplicarse dentro de un determinado contexto, que es su espacio de validez. Permite presentar en forma resumida y estructurada cualquier iniciativa de intervención. La MML identifica de manera oportuna retos y necesidades con el fin de que se puedan tomar decisiones pertinentes en torno a su diseño e implementación (Universidad Autónoma de Occidente, 2007).

Comunica información básica y esencial, estructurada de forma tal que permite entender con facilidad la lógica de la intervención a realizar. Permite focalizar la atención y esfuerzos. Contiene toda la información necesaria para permitir un seguimiento y control a nivel agregado y dar seguimiento. No es única, ya que distintas agencias han adaptado el concepto básico, generándose una serie de distintas versiones de lo que debe ser una MML (Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social, 2004). Este método puede ser aplicado por una sola persona, pero sus resultados son muy superiores cuando se trabaja en un equipo multidisciplinario, puede ser desarrollado en conjunto con la comunidad donde se detecta el problema.

La metodología Marco Lógico (Logical Framework o Logframe), elaborado originalmente por el Departamento de Defensa de los EE.UU. a finales de los años 60, fue desarrollada en ese país por la empresa Practical Concepts Inc. a principios de la década de los 70's. Ha sido adaptado por el fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) (Universidad Autónoma de Occidente, 2007). En México la MML inició su implementación a nivel federal en 2007.

El Marco Lógico recoge y fija resultados y deja actuar, mediante un desglose analítico de objetivos, modelo sistémico de causa-efecto. El desglose analítico plantea que para llegar a

solucionar un problema, se deben reconocer todas las causas inmediatas que lo determinan, a su vez, cada una de estas causas inmediatas son consecuencias de causas de un segundo nivel jerárquico, y éstas se originan en causas de nivel más desagregado.

El marco lógico es una matriz 4x4, en las columnas se encuentran los objetivos, indicadores, medios de verificación y supuestos y en las filas el fin, propósito, componentes y actividades. Las categorías fin y propósito expresan una necesidad social, la primera el impacto en la población y la segunda el entorno de política pública en que se inserta el impacto esperado.

Entre los métodos de la MML están las técnicas para la identificación de problemas, la construcción de mapas de involucrados, sus intereses y expectativas, ya sean personas, instituciones, empresas u organizaciones tanto públicas como privadas, el método del árbol de problemas y árbol de objetivos, mediante el cual se busca identificar claramente el problema que se pretende solucionar, los efectos, las causas que lo originan, los medios de solución, las acciones para lograr el objetivo o solución deseada y la definición de alternativas para solucionar el problema identificado (Ortegón, Pacheco, & Prieto, 2015).

La MML aporta un formato para llegar a acuerdos precisos acerca de los objetivos, metas y riesgos que comparten los diferentes actores, suministra información organizada, proporciona una estructura para expresar, en un solo cuadro, la información más importante. El énfasis de la Metodología de Marco Lógico está centrado en la orientación por objetivos, la orientación hacia grupos beneficiarios y el facilitar la participación y la comunicación entre las partes interesadas. Contempla análisis del problema, análisis de los involucrados, jerarquía de objetivos y selección de una estrategia de implementación óptima. El producto de esta metodología es la Matriz o Marco Mágico, la cual resume lo que se pretende hacer y como, cuales son los supuestos claves y como los insumos y productos serían monitoreados y evaluados. Una Matriz de Marco Lógico recoge

las relaciones e hipótesis del Marco Lógico y las ordena desde un punto de vista institucional particular.

La Metodología, nace con la percepción de una situación problemática y la motivación para solucionarla, contempla dos etapas que se desarrollan en las fases de identificación y diseño:

\* Identificación del problema y alternativas de solución, en la que se analiza la situación existente para crear una visión de la situación deseada y seleccionar las estrategias que se aplicaran para conseguirla. Existen cuatro tipos de análisis para realizar: el análisis de involucrados, el análisis de problemas (imagen de la realidad), el análisis de objetivos (imagen del futuro y de una situación mejor) y el análisis de estrategias (comparación de diferentes alternativas en respuesta a una situación precisa). \*La etapa de planificación, en la que la idea se convierte en un plan operativo práctico para la ejecución. En esta etapa se elabora la matriz de Marco Lógico.

A continuación se enumeran cada uno de los componentes que integran la Metodología Marco Lógico:

#### 1. Análisis de involucrados

El análisis de involucrados permite optimizar los beneficios sociales e institucionales y limitar los impactos negativos, al analizar sus intereses y expectativas se puede aprovechar y potenciar el apoyo de aquellos con intereses coincidentes o complementarios, disminuir la oposición de aquellos con intereses opuestos y conseguir el apoyo de los indiferentes. Se presenta antes del análisis del problema con la finalidad de clarificar a quiénes debe involucrarse para participar en dicho análisis. Se agrupa a los involucrados (stakeholders) de acuerdo a ciertas características, la relación que tengan con el proyecto. Definir para cada involucrado su posición, fuerza e intensidad frente al proyecto.

Población de referencia, corresponde a la población global que se toma para el cálculo, comparación y análisis de la población objetivo. Población potencial es la que es afectada por el problema. Población objetivo es la parte de la población potencial en la que se realiza el estudio en condiciones reales.

## 2. Análisis del problema

La primera tarea para analizar los factores críticos que limitan el desarrollo de los agronegocios es identificar correctamente el problema que se va a abordar, sus causas y sus efectos. Por ello se entenderá como problema a la deficiencia, necesidad o limitante sobre la cual los actores pueden incidir. Los principales actores son productores agrícolas, agroindustria, proveedores de insumos, empaques y comercializadores (FIRA, 2012).

Es necesario identificar el problema que se desea intervenir, así como sus causas y sus efectos. Por lo que se analiza e identifica lo que se considere como problemas principales de la situación a abordar. Definir los efectos más importantes del problema, anotar las causas del problema central detectado. Una vez que tanto el problema central, como las causas y los efectos están identificados, se construye el árbol de problemas. El árbol de problemas da una imagen completa de la situación negativa existente. Identificarlo plenamente para poder proponer alternativas de solución que respondan a ese problema.

A partir de una lluvia de ideas establecer cuál es el problema central que afecta a la comunidad analizada. Formularlo en un estado negativo, centrar el análisis de causas y efectos en torno a un solo problema central. Se continúa con la gráfica del árbol de efectos, definiendo los efectos más importantes del problema. Se prosigue con graficar el árbol de causas, a partir del problema central, hacia abajo, se identifican y se sigue la pista a todas las causas que puedan originar el problema.

Una vez que se identifican las causas y efectos del problema central, el paso siguiente es integrarlas en un solo cuadro, que representa el resumen de la situación del problema analizado. Es conveniente que la identificación de la situación problema sea realizada con la participación de personas que tienen distintas perspectivas para mirar y analizar el problema (Aldunate & Córdoba, 2011). Las soluciones se vinculan a los problemas específicos y lo que es solución en un ámbito pudiera no ser apropiado para un ámbito diferente. En la parte efectos, aparecen las consecuencias que experimenta la población por el hecho de que el problema principal no se haya resuelto. En la parte de las causas, aparecen los factores que determinan que el problema central exista.

### 3. Análisis de objetivos

El análisis de los objetivos permite describir la situación futura a la que se desea llegar una vez que se han resuelto los problemas. Consiste en convertir los estados negativos del árbol de problemas en soluciones, expresadas en forma de estados positivos. Todos los estados positivos son objetivos y se presentan en un diagrama de objetivos en el que se observa la jerarquía de los medios y de los fines. Este diagrama permite tener una visión global y clara de la situación positiva que se desea. Una vez que se ha construido el árbol de objetivos es necesario examinar las relaciones de medios y fines que se han establecido para garantizar la validez e integridad del esquema de análisis.

Para construir el árbol de la solución o árbol de objetivos se parte del árbol de problemas, cambiar todas las condiciones negativas del árbol de problemas a condiciones positivas que se estime que son deseadas y viables de ser alcanzadas. Todas las que eran causas en el árbol de problemas se transforman en medios en el árbol de objetivos, los que eran efectos se transforman en fines y lo que era el problema central se convierte en el objetivo central o propósito.

El análisis del árbol de objetivos indica una serie de oportunidades de desarrollo para la red en áreas de producción, mercados, organización, sustentabilidad, además de enfocar los apoyos tecnológicos para fortalecer la organización y productores (Véliz et al., 2013). Después de construir el árbol de objetivos se examinan las relaciones entre medios y fines establecidos para garantizar que el esquema de análisis es válido e íntegro. Cada celda del árbol de objetivos es una condición necesaria, para resolver el problema. Si cualquiera de ellas falla, o se atrasa, la solución integral no se alcanza, el problema puede mejorar temporalmente, pero tarde o temprano rebrotará (Aldunate & Córdoba, 2011).

Los elementos metodológicos como el árbol del problema y análisis de involucrados no requieren largos estudios ni cuantiosos datos estadísticos. Requieren la decisión de conversar con las personas que saben del problema, porque lo viven diariamente o porque lo han estudiado previamente (Aldunate & Córdoba, 2011). Un traslado directo y total del árbol de objetivos al resumen narrativo de la MML rara vez es posible, ya que es necesario cambiar la redacción y revisar que se mantenga la lógica causa-efecto (Cárdenas et al., 2013).

#### 4. Selección de la estrategia óptima

A partir de los medios que están más abajo en las raíces del árbol de problema, se proponen acciones probables que puedan en términos operativos conseguir el medio. Si se consiguen los medios más bajos se soluciona el problema, al eliminar las causas más profundas. Para los medios identificados se establecen acciones, a partir de estas acciones se establecen alternativas para evaluar y decidir cual se llevara a cabo.

Posteriormente se selecciona una alternativa para alcanzar los objetivos deseados. En la jerarquía de los objetivos, se llaman estrategias los distintos grupos de objetivos de la misma naturaleza. Se selecciona la estrategia, no solo más factible en terminos económicos, técnicos,

legales y ambientales, sino también la más pertinente, eficiente y eficaz. Para seleccionar una alternativa se evalúan y comparan entre las identificadas como posibles soluciones del problema. Todas las estrategias deben cumplir con el propósito y los fines.

Se deben formular acciones para solucionar el problema planteado, para esto se debe utilizar como herramienta el árbol de objetivos con el fin de buscar de manera creativa una acción. Los medios que deben operacionalizarse son los que están en la parte inferior del árbol de objetivos. Son aquellos que no tienen otro medio que los genere y están en correspondencia con las causas independientes que estén en la parte más baja del árbol del problema. Para operacionalizar un medio pueden existir distintas formas, ya que para cada medio existen diversas acciones posibles. La identificación de las acciones dependerá de la creatividad y experiencia de quienes analizan el problema.

Es importante verificar la coherencia entre causa, medio y acción. La relación se puede expresar: la existencia de un problema se explica por la existencia de una causa que lo provoca, para solucionarlo es necesario recurrir a unos medios que eliminen la causa, para hacer efectivos estos medios se debe identificar una acción que los operacionalice.

Gráfica 29. Coherencia entre Causa, Medio y Acción



Fuente: Elaboración propia

Luego de formular las respectivas acciones para la solución del problema, se deben configurar alternativas viables y pertinentes. Lo primero es discriminar entre acciones, clasificándolas en complementarias y excluyentes. Las acciones complementarias son factibles en conjunto, es posible agruparlas en torno a la solución. Las excluyentes no son posibles realizarlas en conjunto.

Dar prioridad a las de mayor porcentaje de incidencia presumible. Siempre es posible incorporar nuevas alternativas. Las alternativas resultantes deben ser analizadas en relación con el espacio geográfico y socioeconómico al cual están referidas, con el fin de especificar mejor el problema y de verificar su factibilidad y pertinencia como soluciones adecuadas al problema. Se selecciona la que mejor resuelva el problema y garantice el uso más eficiente de los recursos, que sea sustentable, sea aceptada por los beneficiarios y sea más eficaz.

#### 5. Elaborar la estructura analítica

Con la información que se recogió para la selección de la estrategia óptima se construye la Estructura Analítica, que consiste en diagramar un árbol de objetivos ajustado a la alternativa seleccionada pero con 4 niveles jerárquicos: fin, propósito, componentes y actividades. El fin y propósito se toman del árbol de objetivos original, mientras que los componentes y actividades deberán construirse a partir de la información.

Antes de la construcción de la Matriz de Marco Lógico es recomendable construir la Estructura Analítica del Proyecto (EAP) para establecer los niveles jerárquicos, como el fin, el objetivo central (propósito), los componentes y las actividades. La EAP se estructura desde abajo hacia arriba estableciendo una jerarquía vertical, de tal modo que las actividades aparecen en la parte inferior del árbol, se sube un nivel para los componentes, otro para propósito y finalmente en la parte superior se encuentran los fines, este orden es la base para la construcción de la Matriz de Marco Lógico. El fin se toma de los niveles superiores del árbol de los objetivos.

El objetivo central es el propósito, que también se toma del árbol de objetivos. Lo primero es obtener los fines o fin, que se toman del árbol de objetivos, considerando los niveles superiores en el árbol. Los productos o componentes se desarrollan en actividades cuando se hace el estudio de cada alternativa. Se continua con la elaboración de la matriz de marco lógico. Es una matriz de

cuatro por cuatro, que contiene de manera vertical: fin, Propósito, componentes y actividades, y en sentido horizontal: Resumen narrativo, Indicadores, Medios de verificación y Supuestos.

El propósito debe responder a la pregunta ¿qué cambio se desea lograr en la población objetivo? Y se expresa como la situación deseada ya lograda. Por lo general la contribución del proyecto al logro del fin no se materializará tan pronto concluya la ejecución, sino que se requerirá que este haya estado en operación durante cierto tiempo, puede requerir varios años. Los componentes se definen como resultados logrados.

#### 6. Resumen narrativo de objetivos y actividades

Se construye la columna de resumen narrativo de la MML, la cual sintetiza las actividades del proyecto, los productos que se entregarán, y los resultados de corto, mediano y largo plazo que se esperan lograr en la población objetivo. La definición del propósito se debe hacer en términos hipotéticos, es algo que debe ocurrir, es un resultado esperado.

En la metodología de marco lógico, los objetivos son logros, éxitos y metas cumplidas, es decir lleva a especificar el producto o resultado que se busca, no el proceso. Los objetivos deben ser realistas, se deben poder alcanzar con los recursos disponibles; eficaces, no sólo deben responder a los problemas presentes, sino a aquellos que existirán en el tiempo futuro en el que se ubica el objetivo; coherentes, que un objetivo no imposibilite el cumplimiento de otro, y cuantificable.

Las condiciones que debe cumplir la columna de objetivos de la MML son: las actividades especificadas para cada componente deben ser necesarias para producir el componente, cada componente es necesario para lograr el propósito, no debe faltar ningún componente para lograr el propósito, el propósito debe contribuir al fin, el fin es una respuesta al problema más importante.

Las actividades son aquellas que se tienen que llevar a cabo para producir cada componente e implican la utilización de recursos. Se deben elaborar detalladamente y ordenar de manera cronológica y agruparlas por componente. La matriz no tiene por que incluir todas las actividades.

Los componentes son las obras, estudios, servicios y capacitación específicos que se requiere que produzcan y realicen los interesados. Cada uno de los componentes tiene que ser necesario para lograr el propósito. Los interesados son los responsables que se produzcan los componentes. Deben expresarse claramente, en la matriz de marco lógico se definen como resultados, como algo terminado.

El propósito describe el efecto directo (cambios de comportamiento) o resultado esperado. Es el cambio que se fomentará. Es una hipótesis sobre lo que debería de ocurrir a consecuencia de producir y utilizar los componentes. El cuál esta directamente ligada con el título de la investigación. Si existe más de un propósito hay ambigüedad. Dado que es una hipótesis el logro del propósito está fuera de control de los investigadores. La definición del propósito se hace en términos hipotéticos, no es controlable por el proyecto, señala el cambio o impacto que se busca, es un resultado esperado. El propósito es la hipótesis central. Es lo que debería ocurrir como efecto directo de utilizar los Componentes. Responde a la pregunta ¿Qué efecto directo se desea lograr con el proyecto?, por efecto directo se hace referencia a cambios de comportamiento.

El fin es una descripción de la solución a problemas de nivel superior e importancia nacional, sectorial o regional que se ha diagnosticado. El fin representa un objetivo de desarrollo que generalmente obedece a un nivel estratégico, ayuda a establecer el contexto y describe el impacto a largo plazo, por lo tanto no implica que se lograra poco después de llevada a cabo el estudio.

## 7. Indicadores

Los indicadores presentan información necesaria para determinar el progreso hacia el logro de los objetivos establecidos. Los indicadores hacen específico los resultados esperados en cantidad, calidad y tiempo. Los indicadores deben medir el cambio que puede atribuirse al proyecto, y deben obtenerse a costo razonable, preferiblemente de la fuente de datos existentes. Los indicadores de propósito son una medida del resultado de tener los componentes en operación.

Definen operacionalmente lo escrito en la columna de objetivos de la MML y aparecen en cada nivel de la matriz. Pueden ser cualitativos o cuantitativos. Cuando se mide rentabilidad es más apropiado utilizar indicadores cuantitativos. En cambio cuando se evalúa sustentabilidad los indicadores cualitativos tienen mayores ventajas. Es importante incluir el menor número de indicadores posibles. Los indicadores que se incluyan en la Matriz de Marco Lógico son los que cumplan mayores criterios para alcanzar el objetivo.

Los indicadores deben ser acordados por los beneficiarios e involucrados, para evitar conflictos posteriores, deben ser suficientes para ser utilizados en diferentes momentos. Para formular los indicadores es necesario seguir una secuencia de pasos: Especificar el objetivo (fin, propósito y componentes) de manera clara, separando la causa del efecto. Definir cantidad, calidad y tiempo. Especificar el grupo meta ¿Para quién? y donde (lugar/área). Además los indicadores permiten identificar logros y actividades de mercadeo. Permiten demostrar si los objetivos y componentes han sido logrados.

Los indicadores del propósito representan a los beneficiarios y los indicadores de los componentes a los servicios. Para que un indicador genere información de buena calidad debe ser específico: información explícitamente particular al objetivo que se quiere observar. Realizable: Se refiere a la probabilidad de alcanzar el indicador en todos los aspectos, que depende del

contexto. Medible: cuantitativamente o cualitativamente. Relevante: depende del contexto. Enmarcado en el tiempo. Independiente: no puede haber una relación de causa-efecto entre el indicador y el objetivo.

Los indicadores permiten seguir en forma objetiva, el comportamiento de cada hipótesis de la formulación lógica-institucional. Los indicadores se diseñan para permitir medir los valores cada cierto tiempo.

Los indicadores de eficacia deben ser muy simples y estar basados en el sentido común, más que en cualquier otra consideración. A nivel fin suelen ser indicadores de eficacia, a nivel propósito de eficacia y eficiencia, a nivel componentes de eficacia, eficiencia, calidad. En actividades suelen ser de eficiencia y eficacia. Dos a cuatro indicadores por objetivo suelen ser suficientes.

Para establecer indicadores son necesarios establecer líneas de base, que es el estándar básico contra el cual se medirán las metas futuras del indicador; establecer puntos de referencia, son estándares aceptados. Incorporar datos de tendencia. Si los impactos se producirán a muy largo plazo o si el costo de estimar el indicador es muy alto, es recomendable buscar indirectos (“proxy”). Estos son indicadores que miden alguna característica distinta de la deseada, pero que se sabe está altamente correlacionada con la que se quiere medir (Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social, 2004)

## 8. Medios de verificación

Con respecto a la columna de medios de verificación obliga a identificar fuentes existentes de información o a hacer previsiones para recoger información. No toda la información tiene que ser estadística, se puede verificar de manera visual. Se deben precisar los métodos y fuentes de recolección de información que permitan evaluar y monitorear los indicadores.

Los medios de verificación pueden ser estadísticas de distintos institutos, secretarías, organismos; estudios de caso, periódicos, revistas, tesis, normas; inspección visual, entrevista a expertos, encuestas; auditorías, registros contables. Algunos métodos son, visita personal, solicitud por teléfono, carta, fax, e-mail, búsqueda en internet, encuestas.

## 9. Supuestos

Los supuestos son las condiciones suficientes para obtener los resultados. También definen la sustentabilidad del resultado en muchos años. Están fuera del control de los beneficiarios, y son necesarios para el logro de los objetivos, por lo que afectan las probabilidades de éxito. La probabilidad de ocurrencia tiene que ser media, ya que si es baja o alta no se debe incluir el supuesto, deben ser formulados positivamente. Los supuestos incorporados en una matriz de marco lógico pueden cambiar.

Definir los supuestos en cada uno de los niveles de objetivos, corresponden a acontecimientos, condiciones o decisiones que tienen que ocurrir para que se logren los distintos niveles de objetivos de la intervención, pueden ser riesgos ambientales, financieros, institucionales, sociales, políticos u otros factores (BID, 1997). Representa un verdadero riesgo para el propósito y deben tener probabilidad de ocurrencia media. Es importante que el supuesto sea expresado como un objetivo a alcanzar o mantener. Deben ser formulados positivamente, deben ser medibles.

Los supuestos complementan la lógica vertical de la MML, si se llevan a cabo las actividades y los supuestos se rectifican se obtendrán los componentes, si se producen los componentes y los supuestos a este nivel se conforman. La columna de supuestos sirve para identificar riesgos que pueden evitarse incorporando componentes adicionales, indican los factores que deben anticiparse y encararse.

Para la construcción de los supuestos, es necesario que los riesgos se expresen como situaciones que tienen que cumplirse para que se alcance el siguiente nivel en la jerarquía de objetivos. El ámbito de control de las actividades son procesos, de los componentes productos, del propósito resultados y del fin el impacto sustentable.

Pueden ser riesgos ambientales, financieros, institucionales, sociales, políticos, climatológicos u otros factores que pueden hacer que el mismo fracase. El riesgo se expresa como un supuesto que debe ser cumplido para avanzar al nivel siguiente en la jerarquía de objetivos. Por lo tanto, si se llavan a cabo las actividades indicadas y ciertos supuestos se cumplen, entonces se producen los componentes indicados. Si se producen los componentes indicados y otros supuestos entonces se logra el propósito, y si éste se logra entonces se contribuye al logro del fin. Los riesgos están más allá del control directo.

#### 10. Matriz de Marco Lógico

La matriz de Marco Lógico presenta en forma resumida los aspectos más importantes. Posee cuatro columnas donde se encuentran el resumen narrativo de los objetivos y las actividades, los indicadores que son resultados específicos a alcanzar, los medios de verificación y los supuestos; y cuatro filas donde se ubican el fin, el propósito, los componentes y las actividades requeridas para producir los componentes.

La Matriz de Marco Lógico, se construye de forma que se puedan examinar los vínculos causales de abajo hacia arriba entre los niveles de los objetivos, lo que se denomina lógica vertical, las actividades especificadas para cada componente son necesarias para producir el componente, cada componente es necesario para lograr el propósito, si se logra el propósito se contribuye al logro del fin, el fin es una respuesta al problema más importante del sector.

Tabla 2. Estructura de la Matriz de Marco Lógico

Resumen Narrativo de Objetivos	Indicadores	Medios de Verificación	Supuestos
Fin Propósito Componentes Actividades			

Fuente: Elaboración propia basada en el trabajo de Área de Proyectos y Programación de Inversiones, ILPES.

La lógica horizontal de la MML corresponde a los elementos de monitoreo y evaluación, que hacen posible determinar si esta cumple con sus objetivos, se integra por las columnas de resumen narrativo, indicadores, medios de verificación y supuestos. En la matriz de marco lógico los indicadores definen operacionalmente lo escrito en la columna de resumen narrativo, se refieren al resultado esperado al completarse un componente, lograrse el propósito o una contribución significativa al fin del proyecto.

Se debe usar el mínimo de indicadores requeridos para especificar adecuadamente un objetivo. La lógica horizontal establece cómo se controlará y medirá el logro de cada nivel de objetivos y de donde se obtendrá la información necesaria para ello. Constituye la base para el seguimiento, control y evaluación.

En la matriz de marco lógico los medios de verificación indican dónde el ejecutor o el evaluador pueden obtener información acerca de los indicadores. Deben ser prácticos y económicos. Las fuentes indican de dónde provendría la información. Los métodos de recopilación de información como encuestas, observación directa, grupos focales, muestreo pueden ser algunas formas de obtener la información.

Las entrevistas son muy útiles cuando se desea obtener información de los beneficiarios directos. Se pueden hacer individualmente o en grupos, dependiendo de los temas a cubrir. Los cuestionarios se utilizan también para recoger información personal. Es posible alcanzar a un mayor número de personas. Estos métodos proporcionan información cualitativa muy particular y específica, al documentar la realidad en una comunidad tal cual la percibe la propia comunidad. El análisis de eficiencia indica en qué medida se han realizado las actividades a tiempo y al menor costo para producir los componentes. El análisis de efectividad indica en qué medida se produjeron los componentes y si se está logrando el propósito.

La política pública más general en que se enmarca la solución al problema específico de la población de referencia se denomina fin. La solución del problema específico de la población se denomina propósito. Es importante tener presente que no se espera que el llevar a cabo el proyecto sea suficiente para alcanzar el fin; pero sí debe hacer una contribución significativa a lograrlo. El Propósito es el resultado esperado como consecuencia de que la población objetivo disponga de los componentes (bienes o servicios). Es un resultado hipotético. El propósito debe ser único, ya que si existe más de uno no habrá claridad respecto a qué esperar lograr y existiría competencia por los recursos entre los objetivos planteados. Es un impacto que ocurre dentro de la población.

La matriz de marco lógico se utiliza para definir los parámetros de desempeño, líneas de base, puntos de referencia e indicadores. Al determinar los indicadores y sus correspondientes medios de verificación, se establecen las condiciones para futuras evaluaciones y ajustes. El propósito no puede cambiar, aunque sí pueden cambiar los componentes y actividades para aumentar la probabilidad de éxito. Los datos que se obtengan tienen que estar relacionados con los componentes, propósito y fin no sobre actividades. La información debe ser replicable, en el sentido que otros puedan utilizar los mismos métodos y llegar a resultados comparables.

La aplicación de la MML no es suficiente para conseguir el objetivo en el fin, el alcance de este representa la suma de muchas intervenciones desarrolladas por otras instituciones y/o niveles de gobierno. Pero debe de contribuir de manera significativa para alcanzar dicho nivel de objetivo. En ocasiones puede ocurrir que el fin se defina considerando niveles que correspondan a algún recuadro intermedio (Cárdenas et al., 2013).

Las actividades y componentes son los primeros eslabones en el encadenamiento vertical de la MML, si se cumplen las metas logradas en estos niveles se determina el logro del propósito y el fin. Una MML expresa las responsabilidades respecto de la solución del problema, que corresponden a cada una de las instituciones participantes en la solución total, se derivan del árbol (Cárdenas Elizalde et al., 2013).

La primera fila de la MML corresponde al fin y describe un objetivo de desarrollo de nivel superior e importancia nacional, sectorial o regional, a cuyo logro contribuirá el programa a mediano o largo plazo. La segunda fila corresponde al propósito y representa la situación esperada en la población objetivo al disponerse de los bienes y servicios proporcionados. Esta situación se expresa como es que la población pudo realizar algo que antes no podía. La tercera fila corresponde a los componentes, que pueden ser infraestructura, bienes o servicios, son necesarios para el logro del propósito, y la cuarta a las actividades que deberán realizarse para producir los componentes. Los componentes se redactan como objetivos logrados. Las actividades son las principales acciones que se deben realizar para producir o entregar los componentes.

### **3.2 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.

PLS valora un modelo que involucra múltiples variables con múltiples ítems observados, esta valoración se realiza simultáneamente sobre el modelo estructural (causalidad entre constructos independientes y dependientes) y sobre el modelo de medida (carga de los ítems observados con sus respectivos constructos o variables latentes). Entre las características destacables de PLS están que no requiere una fuerte base teórica, ya que soporta tanto investigación exploratoria como confirmatoria, y es relativamente robusta a desviaciones de normalidad (Jargalsaikhan et al., 2019).

La Modelización de Ecuaciones Estructurales es una técnica avanzada de análisis estadístico, es una técnica multivariante de análisis de datos que combina aspectos del análisis factorial y de la regresión, posibilitando que el investigador examine simultáneamente las relaciones entre variables observables y variables latentes (valoración de la teoría de medida) así como entre variables latentes (valoración de la teoría estructural) (Joseph F. Hair et al., 2019). PLS-SEM se enfoca en la explicación de la variable dependiente final cuando se examina el modelo.

Cuando el fenómeno que se mide es abstracto, complejo y no directamente observable se trata de medición de variables latentes o constructos. Cada ítem, el cuál se obtiene de cada pregunta del cuestionario que se dirigió en la investigación, representa un único aspecto diferente de un concepto abstracto más amplio. Cuando se combinan varios ítems, se forma una escala o índice, que forma a la variable endógena, cada ítem es representada comúnmente por una  $x$  en el modelo.

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 cuanto a la modelización se emplean nomogramas (modelos *path*) con variables latentes. Los constructos (variables que no se miden directamente) se representan en el modelo *path* como círculos o elipses (Y's). Los indicadores también llamados ítems o variables manifiestas, se obtienen de las respuestas de la encuesta, se representan con cuadrados o rectángulos (x's). Las relaciones entre constructos, además de las existentes entre constructos y sus indicadores, se muestran con flechas.

El nomograma (modelo *path*) consta de dos elementos: El modelo estructural (denominado modelo interno) que está compuesto por constructos (círculos u óvalos), el cual muestra las relaciones (*paths*) entre los diferentes constructos. Los modelos de medida (modelos externos) de los constructos, los cuales reflejan las relaciones entre estos constructos y las variables indicador (rectángulos). Por lo que se pueden diferenciar las variables latentes exógenas, que son los constructos que ayudan a explicar otros constructos en el modelo, y las variables latentes endógenas, constructos que son explicados en el modelo. Los términos de error representan la varianza no explicada cuando se estiman los nomogramas (indicadores medidos reflectivamente).

Como se ha mencionado en los modelos *path* existen la teoría de medida que hace referencia a cómo los constructos se miden y la teoría estructural que especifica cómo los constructos se relacionan unos con otros en el modelo estructural.

La teoría de medida determina cómo se miden las variables latentes (constructos). Hay dos formas diferentes para medir las variables no observables. Un enfoque se conoce como medida reflectiva y el otro como medida formativa. En el modelo de medida formativa las flechas apuntan desde las variables indicador (x's hacia Y's) al constructo, indicando una relación causal (predictiva) en esa dirección.

En el modelo de medida reflectivo la dirección de las flechas va desde el constructo a las variables indicador, sosteniendo la idea de que el constructo causa la medida de las variables indicador. Las medidas reflectivas tienen un término de error asociado a cada indicador, no siendo esto aplicable a las medidas formativas.

La teoría estructural muestra cómo se vinculan las variables latentes unas con otras. Las variables en el lado izquierdo en el modelo *path* son las variables independientes, y cualquier variable del lado derecho es una variable dependiente.

Cuando las variables latentes se conforman sólo como variables independientes, se denominan variables latentes exógenas, cuando las variables latentes actúan como variables dependientes o al mismo tiempo como variables independiente y dependiente, se denominan variables latentes endógenas.

En aquellas situaciones en las que la teoría está menos desarrollada, los investigadores pueden tomar en consideración el uso de PLS-SEM como alternativa, particularmente si el objetivo primordial que se persigue al aplicar la modelización de ecuaciones estructurales es la predicción y la explicación de constructos clave (Ringdon, 2012).

PLS siempre estima una puntuación única y específica para cada compuesto en cada observación, una vez que se han establecido los pesos o ponderaciones. PLS aplica regresiones de mínimos cuadrados ordinarios al objeto de minimizar los términos de error (la varianza residual) de los constructos endógenos. PLS estima coeficientes (relaciones en el nomograma) que maximizan la varianza explicada ( $R^2$ ) de los constructos endógenos (objetivos). PLS es útil cuando se quiere desarrollar alguna teoría y predecir.

En PLS no hay problemas de identificación con tamaños muestrales reducidos, se alcanzan altos niveles de potencia estadística con pequeños tamaños muestrales, no hay suposiciones respecto a la distribución de los datos: PLS-SEM es un método no paramétrico, funciona bien con datos métricos, ordinales, cuasi-métricos y con codificación binaria, admite constructos medidos tanto con uno como con varios ítems, no se admiten relaciones circulares. Minimiza la cantidad de varianza no explicada, las puntuaciones de sus constructos son usadas como propósitos predictivos.

En la evaluación de los modelos de medida si son reflectivos se valora la fiabilidad y validez y si son formativos la validez, relevancia y significación de los pesos de los indicadores y la colinealidad de los indicadores; en la evaluación del modelo estructural la colonealidad entre los distintos constructos, significación de los coeficientes *path*, criterios para medir la capacidad predictiva del modelo. Las propiedades estadísticas de PLS-SEM confieren estimaciones muy robustas del modelo tanto para datos con distribuciones normales como para aquellas extremadamente no normales.

El tamaño mínimo de la muestra en un análisis PLS-SEM debería ser una cifra igual al mayor de multiplicar por 10 el mayor número de indicadores formativos utilizados para medir un determinado constructo o multiplicar por 10 el mayor número de caminos estructurales dirigidos a un determinado constructo en el modelo estructural. PLS-SEM puede tratar datos

extremadamente no normales (niveles altos de asimetría). Se puede emplear ya sea para explorar o para confirmar teorías.

Los nomogramas son diagramas que se emplean para mostrar de forma visual las hipótesis y las relaciones entre variables que se examinan cuando se aplica la modelización de ecuaciones estructurales. Las relaciones entre variables representan las hipótesis en los nomogramas y se representan con flechas de una sola dirección, indicando que existe una relación causal o predictiva. Los términos de error representan la varianza no explicada cuando se estima el nomograma y se asocian a los constructos endógenos y a los indicadores medidos de manera reflectiva. Los constructos exógenos y los indicadores formativos no tienen términos de error en PLS-SEM.

Como se ha comentado los nomogramas, o modelos *path*, se componen de el modelo estructural o modelo interno, que describe las relaciones entre las variables latentes, y los modelos de medida que describen las relaciones entre variables latentes y sus medidas (indicadores). Un efecto de mediación se produce cuando una tercera variable o constructo interviene entre otros dos constructos relacionados. Los constructos exógenos se miden por medio de indicadores, que se obtienen mediante las respuestas que se proporcionan a las preguntas de la encuesta.

Los modelos de medida formativos se basan en la suposición de que los indicadores causales forman el constructo por medio de combinaciones lineales. Los indicadores formativos no son intercambiables como los reflectivos. Cada indicador de un constructo formativo captura un aspecto específico del constructo. Los ítems determinan el significado del constructo. Los indicadores formativos no tienen términos de error de medida individuales.

Los datos perdidos aparecen cuando un encuestado, bien deliberadamente, bien de forma inadvertida, no responden a una o más preguntas. Cuando la cantidad de datos perdidos en un

cuestionario sobrepasa el 15%, la observación o caso, se elimina. Se usa el reemplazo por media cuando existen menos de un 5% de valores perdidos por indicador.

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 proporciono.

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.

La meta del análisis PLS-SEM es testar empíricamente la teoría. Dado que los indicadores formativos representan fuentes independientes del contenido del constructo, no necesitan estar necesariamente correlacionados. Los constructos  $y$ 's no son variables, sino variables latentes. Las variables manifiestas  $x$ 's son utilizadas como datos para estimar las puntuaciones de los constructos. En los pesos externos cuando se etiquetan como  $w_{12}$ , el primer número se asocia al constructo  $y$ . El segundo al indicador;  $w$  es el peso. El peso externo en el modelo de medida formativo se estima por medio de una regresión múltiple parcial. Hay un modelo de regresión parcial para cada variable latente endógena que estima todos los coeficientes *path* que hay en el modelo estructural.

EL método PLS-SEM se centra en la predicción de un conjunto específico de relaciones que maximizan la varianza explicada en las variables dependientes. Se centra en la diferencia de los valores observados (en el caso de las variables manifiestas) o aproximados (en el caso de las variables latentes) de las variables dependientes y los valores predichos por el modelo. Da como resultado el mayor valor  $R^2$  para las variables latentes endógenas. Para cada modelo estructural y

los modelos de medida, el algoritmo calcula coeficientes estandarizados aproximadamente entre -1 y +1. Los coeficientes *path* cercanos a 1 indican una fuerte relación positiva y viceversa para los valores negativos. Cuanto más cercano a 0 estén los coeficientes estimados, más débiles serán las relaciones. Los valores muy bajos o cercanos a 0, no son estadísticamente significativos.

Para iniciar el algoritmo PLS-SEM se utiliza +1 como valor inicial para todos los pesos externos,  $1 \cdot 10^{-7}$  como criterio de parada, el número máximo de iteraciones se selecciona un valor de al menos 300. En el caso de los constructos medidos formativamente, los pesos son los coeficientes resultantes de una regresión múltiple con el constructo como variable independiente ( $x$ 's). Los valores  $R^2$  están comprendidos entre 0 y +1 y representan la cantidad de varianza explicada en el constructo. Los coeficientes *path* con valores estandarizados por encima de 0.20 suelen ser significativos, y aquellos con valores por debajo de 0.10 suelen ser no significativos.

El objetivo de PLS-SEM es maximizar la varianza explicada ( $R^2$ ) de las variables latentes endógenas del modelo. Los índices más importantes del modelo de medida son la fiabilidad, la validez convergente y la validez discriminante. En el modelo estructural, las métricas más destacadas son  $R^2$  (varianza explicada),  $f^2$  (tamaño del efecto), Q (relevancia predictiva).

Las medidas de ajuste en PLS-SEM están generalmente basadas en la varianza y se concentran en la discrepancia entre los valores observados (en el caso de las variables manifiestas) o aproximados (en el caso de variables latentes) de las variables dependientes y los valores que se predicen por el modelo.

El alfa de Cronbach asume que todos los indicadores son igualmente fiables (tienen cargas externas equivalentes en un constructo). La fiabilidad compuesta oscila entre 0 y 1, de tal modo que cuanto mayor es el valor, mayor nivel de fiabilidad se alcanzará. Valores de fiabilidad compuesta entre 0.60 y 0.70 se consideran aceptables en investigación exploratoria, y en fases más avanzadas,

valores entre 0.70 y 0.90. Valores más allá de 0.90 no son deseables ya que indican que todas las variables indicador están midiendo el mismo fenómeno y son una medida no válida del constructo. Tales valores se dan si se emplean ítems semánticamente redundantes al repetir de la misma forma diversas preguntas. Valores de fiabilidad compuesta por debajo de 0.60 indican falta de fiabilidad de consistencia interna.

La validez convergente es el grado en el que una medida correlaciona positivamente con medidas alternativas del mismo constructo. Los ítems que son indicadores (medidas) de un constructo reflectivo concreto deben converger o compartir una alta proporción de la varianza. La carga externa debería ser igual o mayor que 0.708, aquellos indicadores con cargas entre 0.40 y 0.70 deberían ser candidatos para ser eliminados de la escala sólo en el caso de que la depuración suponga un incremento o mejora en la fiabilidad compuesta. Indicadores con valores muy bajos (por debajo de 0.40) han de eliminarse del constructo (Hair, Ringle, & Sarstedt, 2013).

Una medida habitual para determinar la validez convergente a nivel constructo es la varianza extraída media (AVE), un AVE de 0.50 o más, indica que el constructo explica más de la mitad de la varianza de sus indicadores. La validez discriminante informa el grado en que un constructo es distinto de otro. La existencia de validez discriminante implica que un constructo es único y captura fenómenos no representados por otros constructos del modelo. Las cargas cruzadas han sido el enfoque tradicional para la valoración de la validez discriminante de los indicadores. Las cargas tienen que ser superiores a las cargas cruzadas.

Para establecer la existencia de validez discriminante, la raíz cuadrada del AVE de cada constructo debe ser mayor que la correlación que mantiene con los otros constructos. Heterotrait-monotrait (HTMT) es la media de todas las correlaciones entre indicadores de constructos distintos que miden fenómenos diferentes con relación a la media geométrica de la media de las correlaciones

entre los indicadores que miden un mismo constructo. Es el mejor criterio para evaluar la validez discriminante en PLS-SEM. Una correlación desatenuada entre dos constructos que éste cercana a 1 indica falta de validez discriminante.

Henseler et al. (2009) mencionado por Hair recomiendan un valor del umbral de 0.90 si el modelo incluye constructos que son conceptualmente muy similares, un HTMT por encima de 0.90 supone una falta de validez discriminante, y un umbral más conservador sería de 0.85. Un intervalo de confianza que contenga el valor 1 indica que existe una falta de validez discriminante. Si el valor 1 cae fuera del rango del intervalo los dos constructos son empíricamente distintos. Para disminuir la ratio HTMT por medio del incremento de la media de las correlaciones monotrait-heteromethod de un constructo, se pueden eliminar ítems que tengan bajas correlaciones con otros ítems del mismo constructo. Para reducir el valor de la media de las correlaciones heteromethod-heterotrait, se puede eliminar ítems que están fuertemente correlacionados con los ítems de los restantes constructos o reasignar estos indicadores a otros constructos.

La evaluación de modelos de medida formativos implica validar la validez convergente de las medidas y la relevancia y significación de los pesos de los indicadores además de su colinealidad. La obtención de resultados satisfactorios es un prerrequisito para poder evaluar las relaciones del modelo estructural que incluye el cálculo de la significación de los caminos *path* y el coeficiente de determinación.

La validez convergente supone que el constructo comparte más del 50% de la varianza con sus indicadores. La validez discriminante que cada constructo reflectivo debe compartir más varianza con sus indicadores que con los otros constructos del modelo.

El proceso de *bootstrapping* ayuda a testar la significación estadística de las estimaciones que proporciona PLS-SEM. Se asume que los indicadores formativos están libres de error. La validez

convergente es el grado en el que una medida correlaciona positivamente con otras medidas del mismo constructo utilizando diferentes indicadores. Se requiere un valor de  $R^2$  de 0.64, o al menos de 0.50. Si el análisis muestra una falta de validez convergente es decir  $R^2$  de  $Y < 0.50$ , los indicadores formativos del constructo  $Y$  no contribuyen en un grado suficiente al contenido pretendido.

No se esperan altas correlaciones entre los ítems de los modelos de medida formativos. Una alta correlación entre dos indicadores formativos, conocida como colinealidad, puede resultar problemática desde un punto de vista metodológico e interpretativo. La colinealidad ocurre si dos o más indicadores formativos se encuentran en el mismo bloque de indicadores con exactamente la misma información en ellos, ya sea que el mismo indicador se haya incluido dos veces o porque un indicador sea una combinación lineal de otro indicador.

La colinealidad aumenta los errores estándar y reduce la capacidad de demostrar que los pesos estimados son significativamente distintos de cero. Una alta colinealidad puede dar lugar a que los pesos se calculen incorrectamente y a que se inviertan sus signos. Una alta colinealidad puede invertir el signo del indicador más débil.

El peso externo es el resultado de una regresión múltiple con las puntuaciones de la variable latente como variable dependiente y los indicadores formativos como variables independientes. El constructo en sí mismo se forma por sus indicadores formativos subyacentes como una combinación lineal de las puntuaciones de los indicadores y los pesos externos, la realización de dicho análisis de regresión múltiple proporciona un valor de  $R^2$  de 1.0. Es decir, el 100% del constructo se explica por los indicadores. Los valores de los pesos externos indican la contribución relativa de cada indicador al constructo, o su importancia relativa para formar el constructo.

Cuando se emplea un alto número de indicadores formativos para medir un constructo, es más probable que uno o más indicadores tengan pesos externos bajos e incluso sean no significativos. El máximo peso externo posible disminuye con el número de indicadores, el valor medio de los pesos externos disminuye significativamente con un mayor número de ítems o indicadores, cuantos más indicadores formativos adicionales se incluyan en un constructo más probable es que los indicadores se vuelvan no significativos.

Cuando el peso externo de un indicador no es significativo pero su carga externa es alta, superior a 0.50, el indicador debe interpretarse como absolutamente importante, aunque no como relativamente importante. En esta situación, el indicador se retendrá. Cuando un indicador tiene un peso no significativo y la carga externa está por debajo de 0.50, se tiene que decidir si mantener el indicador. Si la carga es baja, inferior a 0.10, y no significativa, no hay respaldo empírico para la relevancia del indicador a la hora de proporcionar contenido al índice formativo (Cenfetelli & Bassellier, 2009). Por lo tanto, dicho indicador debería eliminarse del modelo de medida formativo.

PLS-SEM se apoya en un procedimiento de *bootstrap* no paramétrico para testar la significación de los coeficientes. En el proceso de *bootstrapping* se extrae un elevado número de muestras con reemplazo de la muestra original. Cada muestra *bootstrap* tiene la misma cantidad de observaciones. El número de muestras *bootstrap* debe ser alto, al menos igual al número de observaciones válidas en el conjunto de datos. Como regla general, se recomiendan 5,000 muestras *bootstrap*. El método *bootstrap* permite testar estadísticamente la hipótesis de que un peso externo específico  $w_1$  es igual a cero en la población.

Cuando el tamaño del valor empírico de  $t$  resultante se encuentra por encima de 1.96, se puede asumir que el coeficiente *path* es significativamente distinto de cero, con una significancia del 5%

( $\alpha=0.05$ ; test de dos colas). El valor  $p$  es la probabilidad de rechazar erróneamente una hipótesis nula verdadera.

El intervalo de confianza es el rango dentro del cual se ubicará el verdadero parámetro poblacional asumiendo un cierto nivel de confianza (por ejemplo del 95%). La construcción del intervalo se basa en los errores estándar obtenidos en el procedimiento *bootstrap*. Si el intervalo de confianza para un coeficiente *estimado*, tal como un peso externo  $w_1$ , no incluye cero, se rechaza la hipótesis de que  $w_1$  es igual a cero y se asume la existencia de un efecto significativo. Cuanto mayor sea el intervalo de confianza de un coeficiente, menor será su estabilidad. Se recomiendan 5,000 muestras *bootstrap*. Este proceso proporciona el error estándar para cualquier coeficiente estimado (peso del indicador), y este error estándar sirve de base para determinar el valor empírico  $t$  y su correspondiente valor  $p$ .

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%.

La valoración del modelo estructural permite determinar la capacidad que tiene el modelo para predecir uno o varios constructos objetivos. Una vez que se ha confirmado que las medidas de los constructos son fiables y válidas, el siguiente paso es la valoración de los resultados del modelo estructural. Los criterios clave para valorar el modelo estructural en PLS-SEM son la significación de los coeficientes *path*, el nivel de los valores  $R^2$ , el tamaño del efecto  $f^2$ , la *relevancia predictiva*  $Q^2$ .

Después de ejecutar el algoritmo PLS-SEM, se obtienen las estimaciones del modelo estructural (los coeficientes *path*), las cuales representan las relaciones hipotetizadas entre los constructos. Los coeficientes *path* tienen valores estandarizados entre -1 y +1, los cercanos a +1 representan relaciones positivas fuertes que son normalmente estadísticamente significativos. Cuando un valor *t* empírico es mayor que el valor crítico, el coeficiente es estadísticamente significativo con una determinada probabilidad de error (nivel de significación).

Los valores críticos más utilizados para test de dos colas son 1.65 (nivel de significación de 10%), 1.96 (nivel de significación de 5%). Cuando se asume un nivel de significación del 5%, el valor *p* tiene que ser menor que 0.05 para concluir que la relación que está siendo considerada es significativa a un nivel del 5%

Si el coeficiente *path* es mayor que otro, su efecto en la variable latente endógena es mayor, su valor indica hasta que punto el constructo exógeno está ligado al constructo endógeno. El valor de  $R^2$  va desde 0 a 1, de tal forma que cuanto mayor sea el valor, mayor será el nivel de precisión en la predicción. Cuantos más caminos *path* haya apuntando hacia un constructo, mayor será el valor de  $R^2$ .

$Q^2$  es un indicador de poder predictivo fuera de la muestra o relevancia predictiva. Los valores de  $Q^2$  mayores que 0 para una variable letente endógena específica indican relevancia predictiva del nomograma para un constructo dependiente. El valor de  $Q^2$  se obtiene utilizando el procedimiento *blindfolding* para una distancia de omisión *D*. La distancia de omisión se debería usar entre 5 y 10 (J.F. Hair, Sarstedt, Pieper, & Ringle, 2012), lo que representa una omisión aproximadamente del 20% ( $D=5$ ) y 10% ( $D=10$ ) de los datos por cada ronda de *blindfolding*. La distancia de omisión *D* debe ser elegida de manera que el número de observaciones utilizadas en la estimación del modelo dividida por *D* no sea un número entero. El procedimiento *blindfolding* es una técnica de

reutilización de la muestra que omite cada d-ésimo dato de los indicadores del constructo endógeno y estima los parámetros con los datos restantes (Chin, 2010). Valores de  $q^2$  de 0.02, 0.15 y 0.35 indican que, para un constructo endógeno en concreto, un constructo endógeno tiene una relevancia predictiva pequeña, mediana o grande, respectivamente.

Las relaciones causa-efecto en los modelos PLS implican que los constructos exógenos afectan a los constructos endógenos sin influencias sistematicas de otras variables. La mediación se da cuando una tercera variable, denominada variable mediadora, interviene entre dos constructos que están relacionados. Un cambio en el constructo exógeno da lugar a un cambio en la variable mediadora, la cual, a su vez, cambia el constructo endógeno del modelo.

El proceso de *bootstrapping* no hace ningún tipo de suposición sobre el tipo de distribución que siguen las variables o sobre la distribución de la muestra de los estadísticos y puede ser aplicado a muestras pequeñas con mayor nivel de confianza. La moderación describe una situación en la que la relación entre dos constructos no es constante sino que depende de los valores de una tercera variable, la cual es denominada como variable moderadora. La variable moderadora cambia la intensidad o incluso el sentido de la relación entre dos constructos en un modelo. La variable moderadora no depende de la variable independiente.

$F^2$  facilita el cálculo de la variación de  $R^2$  cuando un constructo independiente se omite en el modelo, indica cuanto contribuye la moderación a la explicación de la variable latente dependiente, valores de 0.02, 0.15 y 0.35 representan efectos tamaños pequeños, medios o grandes respectivamente.

El análisis del mapa de importancia-rendimiento (IPMA) compara los efectos totales del modelo estructural sobre un constructo objetivo específico con las puntuaciones medias de las variables latentes predecesoras de dicho constructo. Los efectos totales representan la importancia que tiene

los constructos antecedentes a la hora de explicar la variable objetivo, mientras que las puntuaciones medias de las variables latentes representan sus respectivos rendimientos.

Lo principal para decantarse entre si un modelo es de medida reflectivo o formativo es el análisis de tétrada. Una tétrada es la diferencia entre el producto de un par de covarianzas y el producto de otro par de covarianzas. En los modelos reflectivos, se espera que cada tétrada tenga un valor de cero. La representación gráfica permite a los investigadores identificar fácilmente áreas claves en las que prestar más atención y llevar a cabo acciones.

## **Capítulo 4. Resultados**

Se realizaron entrevistas y se aplicaron cuestionarios a productores aguacateros de la asociación “Cupandari” de los reyes Michoacán, productores de zarzamora de Ziracuaretiro, Michoacán y visitas al Centro de Innovación y Transferencia de Tecnología para la Agricultura Orgánica (CITTAO) de Biosa-Procal, que entre sus actividades está la producción de biofertilizantes y capacitación sobre su empleo a los distintos productores agrícolas. Así mismo, se visitó y entrevistó a la empresa agroquintana en Ziracuaretiro, que ofrece biofertilizantes y asesoría técnica a los productores agrícolas, principalmente a los productores de berries, donde la ingeniera Quintana impartió una exposición sobre “Programas de Nutrición Integral y Residuo Cero”.

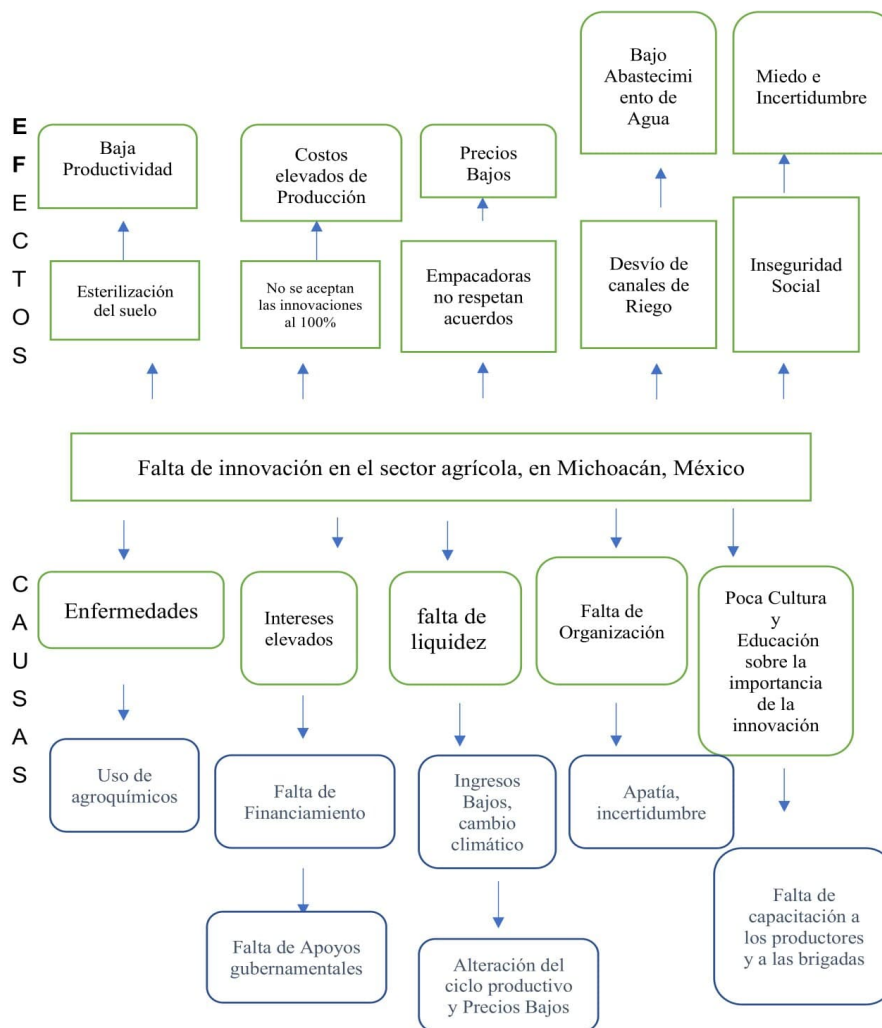
Con la información recopilada, se aplicó la metodología del marco lógico, la cual es una herramienta que ayuda a facilitar el proceso de conceptualización, planificación, diseño y evaluación, basado en objetivos con énfasis en los principales problemas que enfrentan los beneficiarios, en este caso, de productores de zarzamora.

Uno de los retos que los productores están conscientes que deben enfrentar, es el dejar de usar agroquímicos, como una alternativa viable para garantizar la preservación de las tierras agrícolas. Mencionaron que además de esforzarse por dejar de utilizar agroquímicos, emplean la lixiviación de lombriz, el uso de la roja californiana y otros insumos orgánicos preparados por ellos mismo, a través de desechos de materiales orgánicos como residuos de pescado y estiércol de gallinas. Los apoyos gubernamentales son escasos o nulos, por lo que es importante el conocimiento de los apoyos del gobierno tanto financieros como de capacitación destinados a ellos y hacer de su conocimiento cuales son los requisitos para que accedan a dichos recursos.

De acuerdo a la metodología mencionada en el apartado anterior, se construyó el marco lógico de la siguiente manera:

### Ilustración 2. Árbol de Problemas

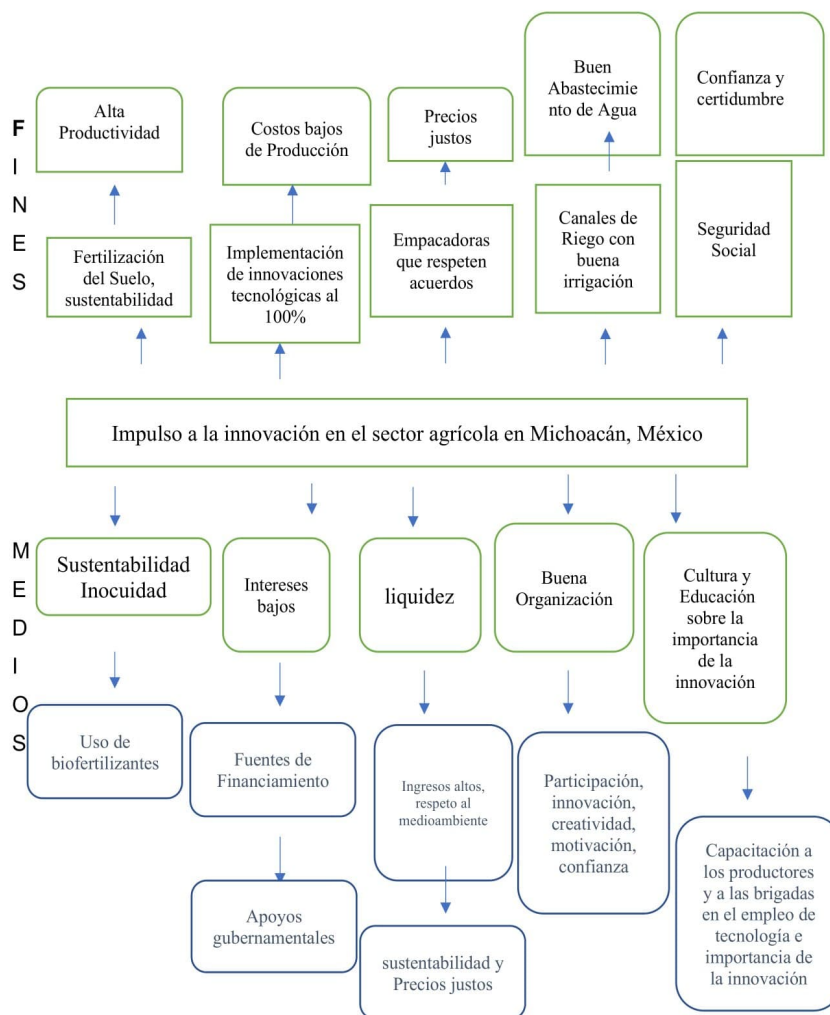
Árbol de Problemas



Fuente: Elaboración propia con base en información directa de productores de zarzamora de Ziracuaretiro y Los Reyes, Michoacán.

### Ilustración 3. Árbol de Objetivos

Árbol de Objetivos



Fuente: Elaboración propia con base en información directa de productores de zarzamora de Ziracuaretiro y Los Reyes, Michoacán

Para llegar a tener precios justos, y practiquen actividades que lleven a la sustentabilidad, los productores encuestados reconocen que es necesario el empleo de nuevas tecnologías como son los programas de nutrición integral, riego por goteo, equipo de aspersión, uso de parihuelas, y el empleo más frecuente, y en mayor proporción de biofertilizantes. Aunque los productores manifiestan poca empatía y desconfianza en formar parte de las organizaciones, son conscientes

que es necesario la organización tanto para negociar precios más justos, como para obtener insumos más baratos, y poder transferir conocimiento de productor a productor. Mencionan que los productores líderes en innovación son Beto R. Que produce 100% orgánico, que emplea biofertilizantes en toda su producción, Abel S. V. está a la vanguardia en cuanto a modo de producción, AgroQuintana y Agromaquinaria del Fresmo son empresas impulsoras de la biotecnología y residuo cero en la región, con aplicación de biofertilizantes.

Tabla 3. Matriz de Marco Lógico

Resumen Narrativo de Objetivos	Indicadores	Medios de Verificación	Supuestos
<p>Fin: Mejorar la productividad, rentabilidad y sustentabilidad en el sector agrícola de Michoacán mediante el empleo de biofertilizantes.</p>	<p>Incremento en un 40% de la productividad, aumento de la rentabilidad dependiendo del cultivo, mejora de la fertilidad del suelo al cabo de 5 años después de la adopción del empleo de bioinoculantes.</p>	<p>Datos de la SADER, revistas científicas agrícolas, entrevista directa a los productores.</p>	<p>Instalación de las biofábricas en los municipios agrícolas de Michoacán.</p> <p>Que los microorganismos en los biofertilizantes lleguen vivos y en condiciones optimas al agricultos.</p> <p>Que los precios de los biofertilizantes sean atractivos para los agricultores.</p> <p>Que los productores agrícolas dejan de usar agroquímicos en un 20% en 5 años.</p>
<p>Propósito: Conocimiento y aplicación de biofertilizantes por parte de los productores agrícolas de Michoacán.</p>	<p>Aumento en el número de productores que aplican bioinsumos en sus producciones</p>	<p>Entrevistas personales a los productores, indicadores estadísticos.</p>	<p>Que los apoyos gubernamentales tanto federales como estatales lleguen a tiempo y en condiciones adecuadas.</p> <p>Seguridad del mercado tanto nacional como internacional.</p>
<p>Componentes: biofábricas en los municipios, preponderantemente agrícolas del Estado.</p>	<p>Adopción de la tecnología en el uso de los biofertilizantes en las comunidades de Los Reyes y Ziracuaretiro por más del 25% de los</p>	<p>Visita en los campos agrícolas, reuniones con productores de la región.</p>	<p>Qué los precios de los productos agrícolas sean mejores.</p> <p>Que disminuya o elimine el coyotaje o intermediarismo.</p>

<p>Capacitación a los productores sobre los beneficios y empleo de biofertilizantes.</p> <p>Actividades</p> <p>Construcción de instalaciones necesarias para la elaboración de los bioinoculantes.</p> <p>Que los agricultores aprendan a preparar sus propios bioinoculantes.</p> <p>Que los productores aprendan a aplicar los biofertilizantes de acuerdo al tipo de cultivo, y a sus diferentes etapas fisiológicas.</p> <p>Organización de los productores de la región.</p> <p>Aceptación de las nuevas tecnologías</p>	<p>productores agrícolas en el 2027</p> <p>Obtención de precios justos.</p> <p>Incremento entre un 10 a 15% de aplicación de biofertilizantes en un periodo de 5 años</p>	<p>Verificación en campo, reuniones con productores agrícolas, informes estadísticos de fuentes oficiales del sector.</p>	<p>Apertura a nuevos mercados como Canadá.</p> <p>Qué se termine la exportación ilegal de productos agrícolas.</p> <p>Que mejore el precio ofrecido por las empacadoras.</p> <p>Mejoras en el almacenamiento y distribución de biofertilizantes.</p> <p>Mayor publicidad y políticas gubernamentales para difundir los beneficios de los biofertilizantes.</p> <p>Mejoras en la calidad del proceso de producción y disponibilidad.</p> <p>Que las autoridades de la administración pública del sector impulsen y apoyen mediante recursos económicos y programas la instalación de biofábricas y capacitaciones</p>
---	---	---	--

#### Elaboración Propia

Entre los problemas principales que enfrentan los agricultores son el incremento de los precios de los fertilizantes, la infertilidad de los suelos, la contaminación de los recursos naturales y el abastecimiento de agua. Emplean biofertilizantes al inicio de su producción, buscando la fertilidad de sus suelos, la sustentabilidad del ambiente y conseguir un producto orgánico, cuando cae una plaga o enfermedad en su cultivo, recurren a los agroquímicos convencionales, por el miedo de perder sus cosechas, y su inversión.

El 12 de junio de 2020 se realizó una visita a la biofábrica PROCAL y se tuvo una reunión con productores de la asociación “Cupandari”, para la exportación de aguacates, de los Reyes, Michoacán. Entre sus objetivos consideran como destino de sus exportaciones el país de Canadá,

ya que consideran que ofrece los mejores precios de compra por sus aguacates, y ofrece mayor seguridad en el mercado, evitando que la caída del precio que ofrecen mercados como Estados Unidos los impacte de manera negativa.

Canadá paga mejor por sus aguacates que los Estados Unidos y Japón, que son considerados los principales mercados internacionales de ese producto. De 2,000 toneladas de aguacates producidos por medio del sistema orgánico, representan el 20% del total de su producción, en la cual emplean biofertilizantes, aunque están consciente que lo orgánico abre las puertas a los mercados de exportación, el precio que reciben por sus 10,000 toneladas de producción total (incluyendo la orgánica) es a precios del producto convencional, que en promedio se encuentra en \$30. El año pasado fue una excepción y recibieron \$120 en campo, ya que hubo escases de producción de aguacate a nivel internacional. Michoacán produjo 1,700,000 ton de aguacate en el 2019, de acuerdo a información directa de los productores de la asociación.

Los precios que reciben, siempre son bajos en comparación con los que recibe el intermediario o proveedor final, llegando a ser del 200 al 300% arriba de lo que al productor le pagan en campo. Por lo que actualmente desarrollan un proyecto para instalar una bodega en Canadá que elimine el intermediarismo de sus productos y colocar una empacadora en campo. Actualmente el 95% de su producción es destinado a los Estados Unidos. Las variables que más les preocupan son el precio de su producto, las regulaciones internacionales, la calidad del producto, el tipo de cambio y la fertilidad de sus suelos agrícolas.

Entre los problemas más graves que enfrentan son el decrecimiento de la fertilidad de sus suelos agrícolas, la exportación ilegal de aguacates, el precio bajo que reciben de las empacadoras, 4 que controlan el mercado de 60, ya que son dueñas de tierras agrícolas tanto en México como en otros países, que les permite controlar el precio de compra-venta, y el 90% maquila la producción.

Entre los problemas que enfrentan con respecto a sus suelos agrícolas está la infertilidad, mencionan que el potasio es difícil de aplicar, y el glifosato provoca graves daños a la salud como el cáncer, que, aunque está prohibido su aplicación, aún se emplea. Los productores aguacateros de la asociación “Cupandari” emplean biofertilizantes, del 10 al 30% con respecto a los fertilizantes tradicionales, pocos como el director general de la asociación el psicólogo Javier M. comentan que el 100% de su producción es a base de fertilizantes orgánicos, que él mismo produce en sus terrenos, otros como el licenciado en comercio internacional Abraham S., gerente de la asociación, emplea métodos alternativos no tradicionales, basado en conocimientos prehispánicos, y en un 30% de sus tierras se aplican biofertilizantes.

Los agricultores se preocupan por la fertilidad de sus suelos y saben qué, aunque el mercado no los pague como orgánicos, ven que su empleo regenera el suelo, en periodos de entre 5 años, ya que son más productivos. Entre los resultados del uso de biofertilizantes están la proliferación de la microbiología del suelo y el intercambio catiónico. Comentan que incluso son más económicos que los convencionales, pero los problemas que encuentran en su empleo están el almacenamiento, ya que deben utilizarse más pronto, otro de los problemas es su disponibilidad, entre los que más emplean están el bio yam, y el s.a. propel de la empresa SHK.

El ingeniero Juan José, director de Biosa Procal, comenta que los biofertilizantes que produce son líquidos y microbiológicos, tienen una vigencia de 1 año para caldos minerales y 2 meses para microbiológicos (*Agospirillum*,). Comenta que los beneficios de usar biofertilizantes, además del bajo precio, aumentan la producción, son fáciles de elaborar y no son complejos los sistemas de innovación para su aplicación por etapas de acuerdo a las necesidades del cultivo y requerimientos del suelo, existe muy bajo riesgo de intoxicación al agricultor y al aplicador. Entre las principales innovaciones del Ingeniero, están la interpretación de análisis del suelo frente a las

metas de producción, ya que asegura un aumento en la productividad si se sigue su sistema, y el principal mercado son los productos orgánicos.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los principales problemas identificados por los agricultores fueron la infertilidad de suelos agrícolas, la calidad del proceso de producción de biofertilizantes, su almacenamiento, publicidad y cantidad ofertada, además de los precios que reciben por su producto.

Se realizó un estudio bibliométrico, con la Profesora-investigadora Maida Daylin Peña Borrego de la Universidad de Holguín, Cuba sobre biofertilizantes en México durante el período 2015-2020 se escogieron como unidades de análisis los artículos científicos publicados en revistas durante el periodo 2015-2020 en idioma español e inglés en las bases de datos: *Ebsco*, *Scielo*, *Redalyc*, *Elsevier*, *Springer* y *Willey*. Las palabras claves y términos de búsqueda empleados fueron “biofertilizantes AND México”/ “*biofertilizer AND Mexico*”. El texto de los documentos fue leído cuidadosamente y su lista de referencias bibliográficas examinada para identificar posibles artículos relevantes que no fueron identificados en la búsqueda inicial.

Se excluyeron del análisis los artículos que trataban aspectos metodológicos, control biológico, empleo de plaguicidas, elaboración de biocombustibles, fitohormonas o el análisis específico de los suelos inoculados. Tampoco se consideraron los artículos sobre biofertilizantes elaborados a base de macroorganismos como macroalgas, macrohongos o restos de otros organismos. Se descartaron, además, los trabajos de investigadores de otras naciones donde no participaban investigadores mexicanos, y solo aparecía el nombre de México como nota o referencia sin mayor importancia para los objetivos del presente trabajo; así como las revisiones generales sobre biométodos o revisiones de literatura.

A partir de los 115 artículos recuperados se confeccionó una base de datos en Microsoft Excel conformada por los siguientes campos: título del artículo, autores, institución, Estado o entidad federativa, colaboración internacional, revista, año de publicación, microorganismo benéfico, marca del biofertilizante, cultivo agrícola y variables para análisis económico. Para la compilación y procesamiento de los datos se utilizó el software ToolInf; el cual se incorpora como un complemento macro del Excel, es una herramienta de análisis desarrollada por la Consultoría BioMundi de Cuba, que permite la homogenización y conteo de datos y confección de matrices que tiene cinco botones, cuatro para realizar diferentes operaciones como conteo de datos desde una misma celda, clasificación de registros y creación de matrices. Cada una de las operaciones trabaja con datos almacenados en una hoja de trabajo Excel y los resultados se muestran en nuevas hojas de cálculo que crea el sistema.

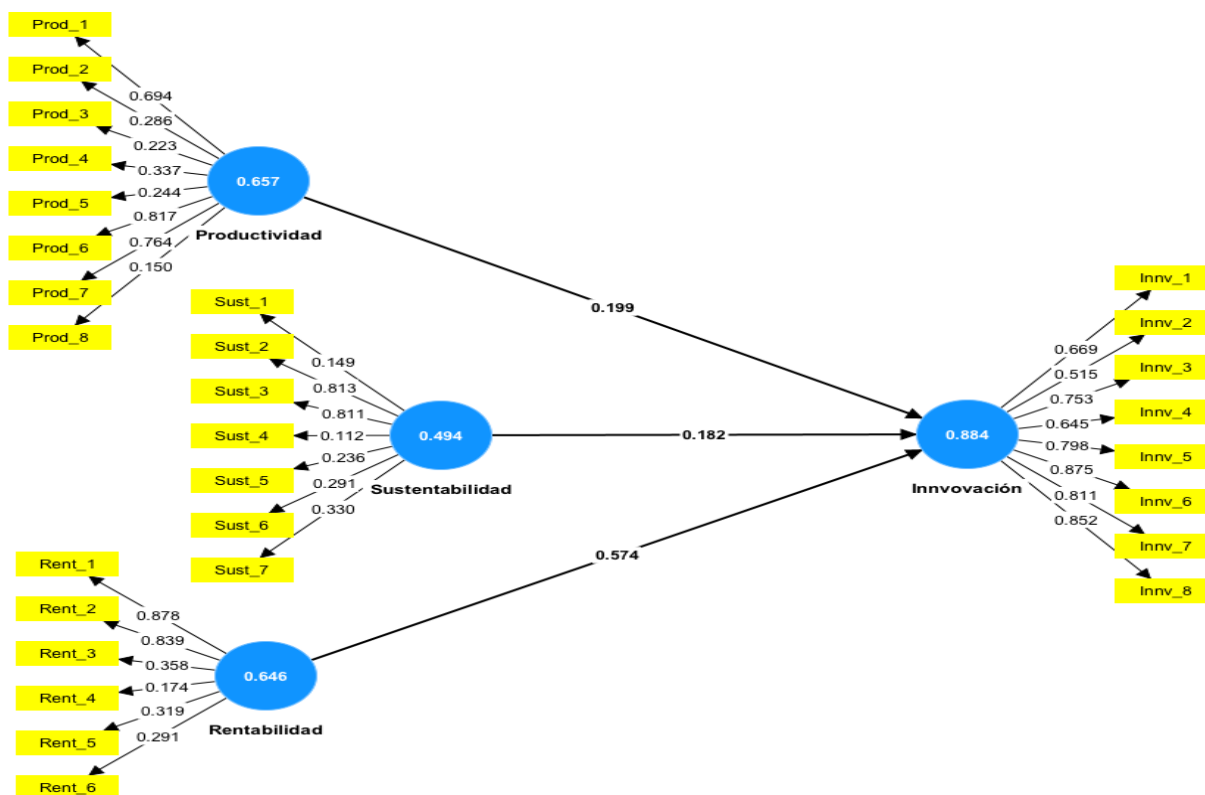
Finalmente, los ficheros obtenidos se llevaron a Ucinet y dentro de este se utilizó el NetDraw (<http://www.analytictech.com/ucinet/trial.htm>), para la obtención de matrices de co-ocurrencia entre dos variables, lo cual, permitió mapear, editar y analizar matrices sociales y visualizarlas.

Partiendo de la frecuencia absoluta se analizaron los siguientes indicadores bibliométricos: productividad por año; productividad por autores; productividad por revistas; productividad por instituciones; colaboraciones entre países y estados mexicanos; relación entre los microorganismos y los cultivos agrícolas; principales marcas de biofertilizantes más trabajados en la temática y principales variables e indicadores econométricas empleadas por los investigadores, los cuales se muestran en la parte de este documento sobre biofertilizantes.

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 SmartPLS4, se realizaron modelizaciones de ecuaciones estructurales de mínimos cuadrados parciales para llevar a cabo la presente investigación.

Gráfica 30. Modelo Estructural con la Variable Endógena Innovación como Dependiente

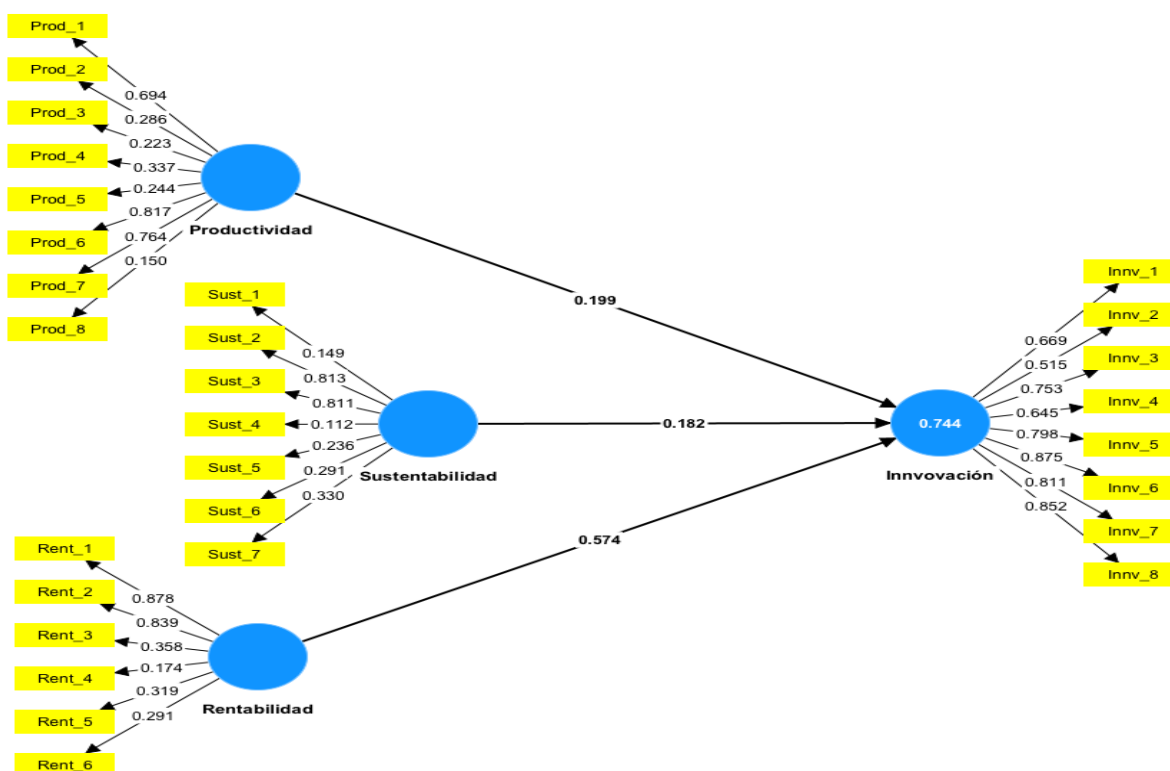


Fuente: Elaboración propia empleando el programa SmartPLS4

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 31. Modelo Estructural Inicial con Indicadores Completos de la Encuesta

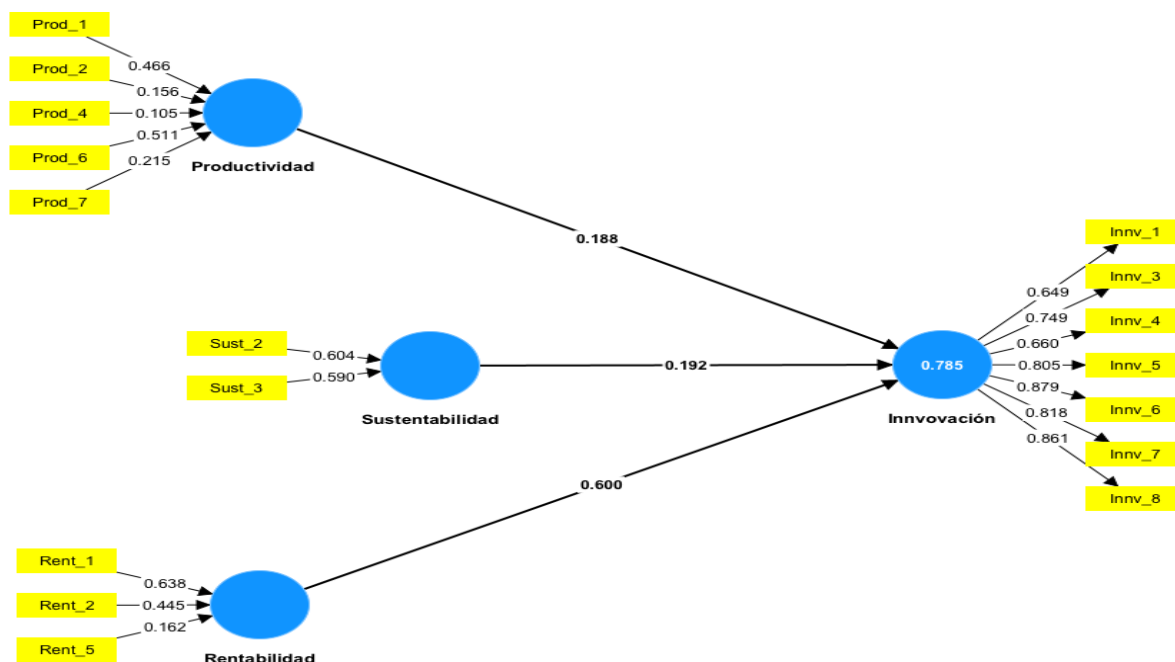


Fuente: Elaboración propia empleando el programa SmartPLS4

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 ir

descartando 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 tomo en cuenta su aportación relativa y parcial en la predicción del modelo.

Gráfica 32. 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 quedo 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 bioiculantes, *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 e apoyo a la innovación, algunos determinantes no significativos fueron los vinculados al impacto de la publicidad, y si existen suficientes marcas en el mercado.

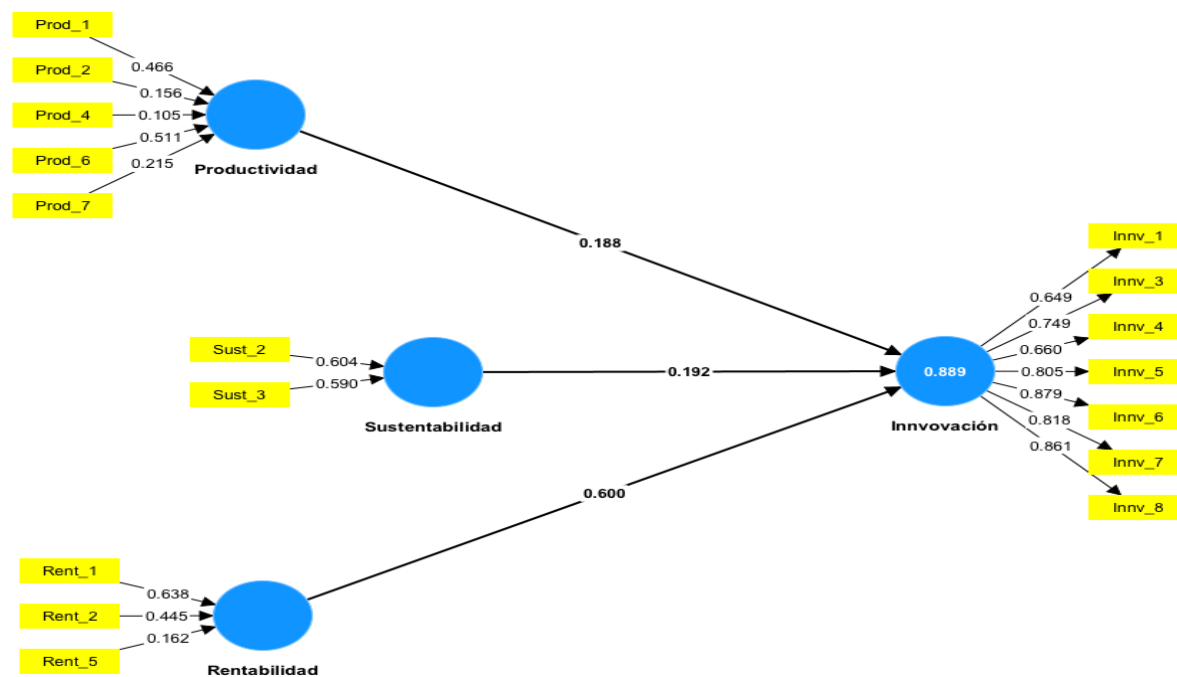
En un modelo Formativo-reflectivo se requiere al menos una  $R^2$  de 0.50, el modelo obtenido tiene un  $R^2$  de 0.785, lo que muestra la validez convergente, por lo que los indicadores formativos de las variables Sustentabilidad, Productividad y Rentabilidad contribuyen en un grado suficiente en la variable Innovación, así éstas 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%, ya que la realidad

de la innovación en el sector agrícola está formada por una gran cantidad de determinantes, que es muy difícil incorporar en un modelo, ya que el modelo trata de abstraer sólo las partes más significativas para poder explicar una parte de la realidad de manera más clara y de acuerdo a objetivos particulares.

Cómo 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 33. Alfa de Cronbach en la Modelización Estructural de la Innovación de los Biofertilizantes



Fuente: elaboración propia

## Análisis

Tabla 4. Estadístico de Colinealidad (VIF)

	VIF
Innv_1	1.507
Innv_3	1.764
Innv_4	1.573
Innv_5	2.336
Innv_6	3.069
Innv_7	2.320
Innv_8	2.820
Prod_1	1.231
Prod_2	1.297
Prod_4	1.304
Prod_6	1.688
Prod_7	1.563
Rent_1	1.550
Rent_2	1.545
Rent_5	1.011
Sust_2	1.192
Sust_3	1.192

Elaboración propia utilizando el programa SmartPLS4

Como se puede observar en la tabla anterior los valores VIF están uniformemente por debajo del valor límite de 5. Por lo que se concluye que 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.

Tabla 5. Estadístico de Colinealidad Modelo Interno

	Innovación
Innovación	
Productividad	1.720
Rentabilidad	2.641
Sustentabilidad	2.263

Fuente: Elaboración propia empleando el modelo SmartPLS4

La colinealidad no alcanza niveles críticos en ninguna de las variables externas medidas formativamente, por lo que no es un problema en la estimación del nomograma PLS del modelo interno extendido de Innovación.

Tabla 6. Pesos Externos

	Innovación	Productividad	Rentabilidad	Sustentabilidad
Innv_1	0.157			
Innv_3	0.176			
Innv_4	0.141			
Innv_5	0.197			
Innv_6	0.206			
Innv_7	0.193			
Innv_8	0.204			
Prod_1		0.466		
Prod_2		0.156		
Prod_4		0.105		
Prod_6		0.511		
Prod_7		0.215		
Rent_1			0.638	
Rent_2			0.445	
Rent_5			0.162	
Sust_2				0.604
Sust_3				0.590

Fuente: elaboración propia

En la grafica 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.

Tabla 7. Cargas Externas

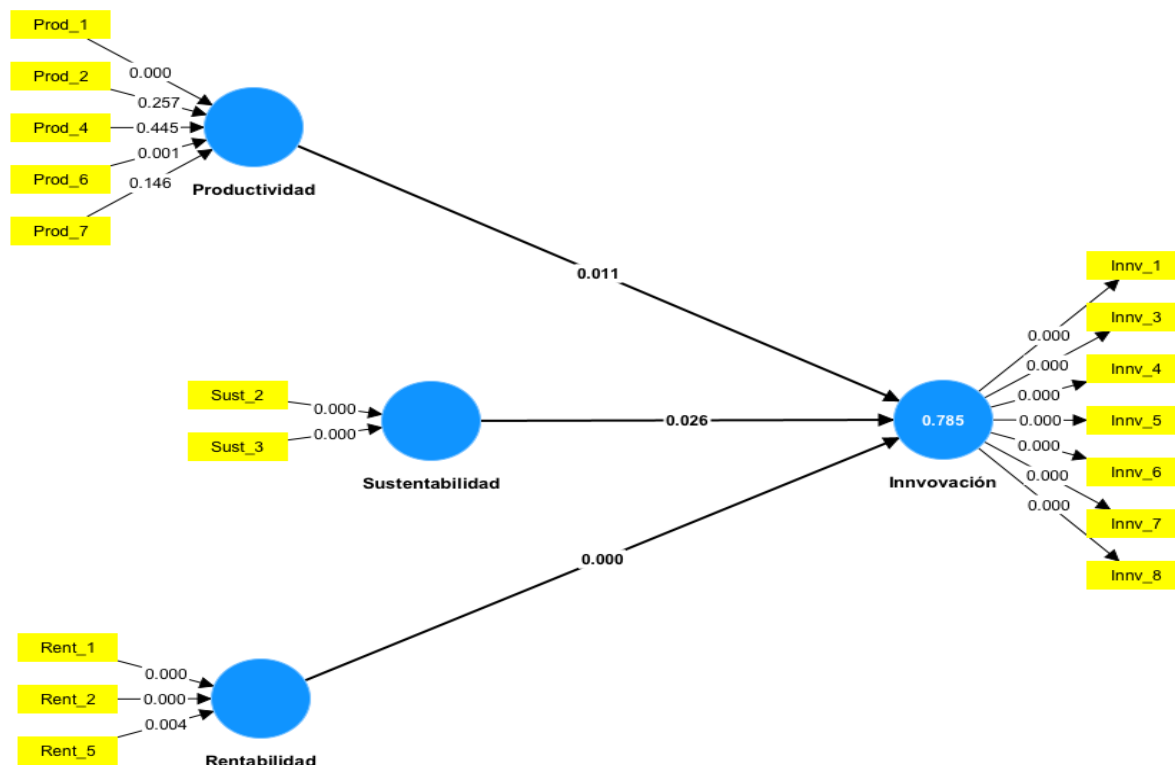
	Innovación	Productividad	Rentabilidad	Sustentabilidad
Innv_1	0.649			
Innv_3	0.749			
Innv_4	0.660			
Innv_5	0.805			
Innv_6	0.879			
Innv_7	0.818			
Innv_8	0.861			
Prod_1		0.758		
Prod_2		0.260		
Prod_4		0.273		
Prod_6		0.842		
Prod_7		0.685		
Rent_1			0.918	
Rent_2			0.837	
Rent_5			0.262	
Sust_2				0.841
Sust_3				0.833

Fuente: Elaboración propia utilizando el programa SmartPLS4

La tabla anterior muestra que *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 34. Valores P de Booststrapping



Elaboración propia utilizando el programa estadístico SamrtPLS4.

Lo 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.

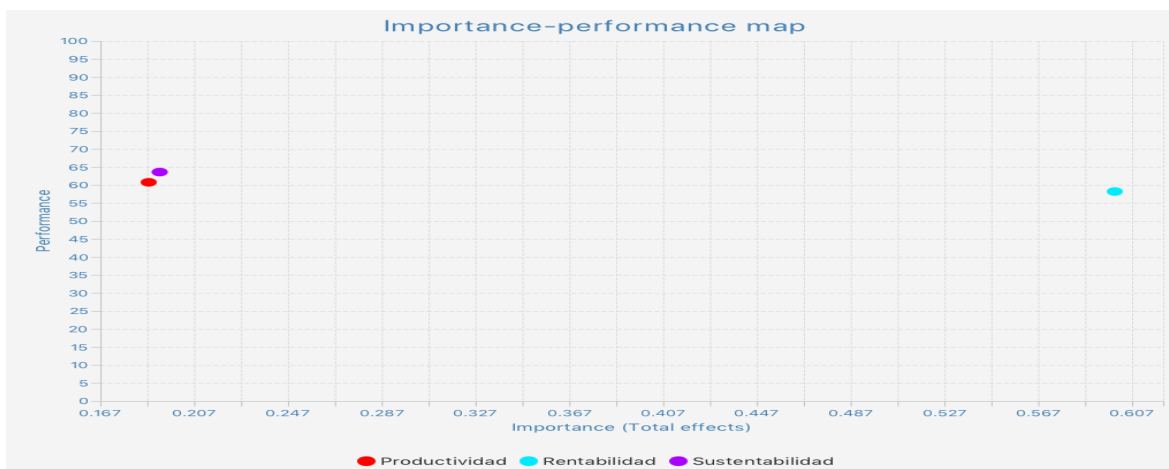
Tabla 8. Coeficientes *Path*, Media, Desviación Estándar, Valores T y P

	Original sample (O)	Sample mean (M)	Standard deviation (STDEV)	T statistics ( O/STDEV )	P values
Productividad -> Innovación	0.188	0.202	0.074	2.552	0.011
Rentabilidad -> Innovación	0.600	0.591	0.092	6.522	0.000
Sustentabilidad -> Innovación	0.192	0.193	0.087	2.220	0.026

Elaboración propia

Cómo se aprecia en la tabla 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%.

Gráfica 35. Mapa Importancia-Rendimiento

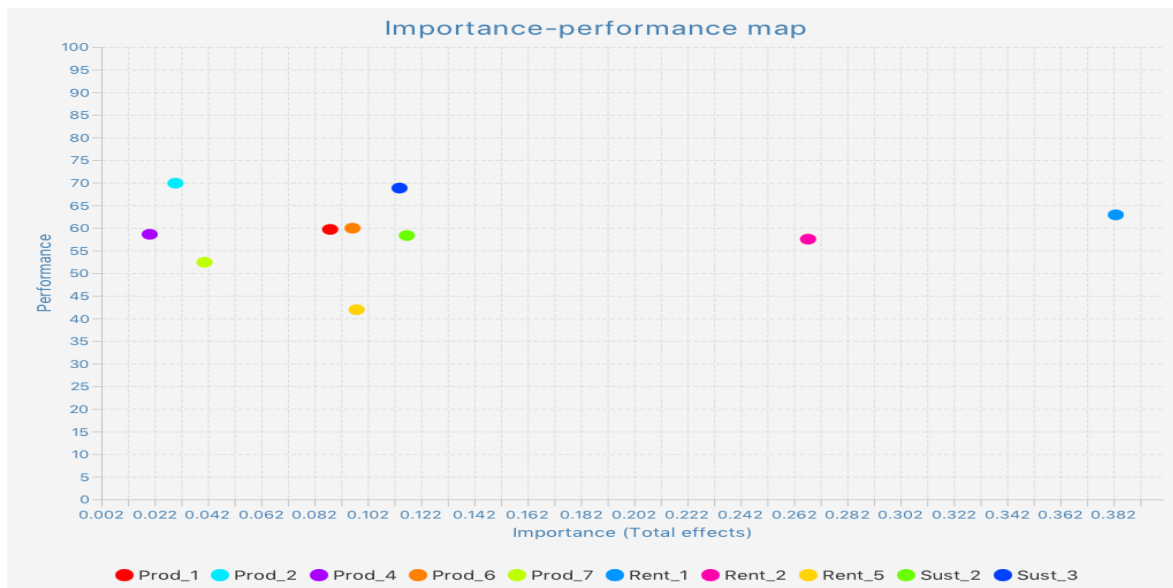


Fuente: Elaboración propia empleando en software SmartPLS4

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,

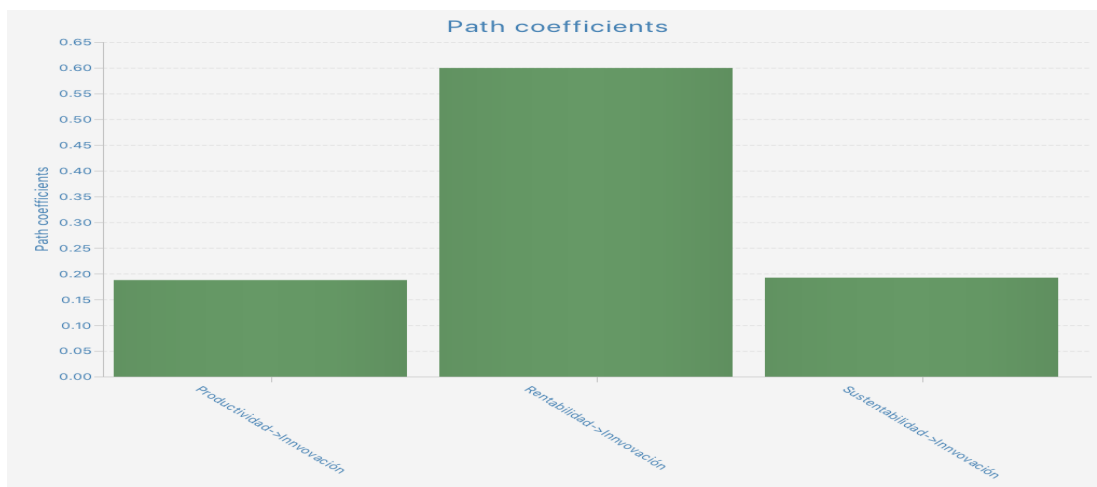
comercialización y producción de biofertilizantes, específicamente en el sector agrícola del campo michoacano.

Gráfica 36. Mapa Importancia-Rendimiento de los Indicadores por Variable



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.

Gráfica 37. Coeficientes Path



Fuente: Elaboración propia.

Cómo lo muestra la gráfica de barras 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 cómo 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.

Tabla 9. Constructo de Fiabilidad y Validez

	Cronbach's alpha	Composite reliability (rho_a)	Composite reliability (rho_c)	Average variance extracted (AVE)
Innovación	0.889	0.900	0.914	0.607

Fuente: Elaboración propia.

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 externas 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 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.

En Michoacán en el 2018 en el 91% de la superficie sembrada, se aplicó fertilización química, 15% más que en el 2017, los abonos y compostas se aplicaron en el 3% de la superficie, una reducción de 11%, el uso de biofertilizantes alcanzó el 5% de la superficie total, éste indicador registra mejoras, se refleja una recuperación en uso de biofertilizantes con respecto al año anterior, el uso de biofertilizantes fue mayor en cultivos de temporal, con un 7%, en comparación con cultivos bajo riego, 2% (Programa de Concurrencia con las Entidades Federativas, 2019).

## Conclusiones

En cuanto a la pregunta general de investigación ¿Cuáles son los factores que inciden de manera más significativa en la innovación de los biofertilizantes, producidos en las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México? La respuesta que da esta investigación es con mayor grado de significancia, en un 60%, la rentabilidad, ya que como se ha comentado 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). Por lo que se confirma de acuerdo a las variables aportadas por el marco lógico y corroborado a través del SmartPLS4 que factores que inciden de manera más significativa en la innovación de los biofertilizantes son en orden de importancia la rentabilidad, la sustentabilidad y la productividad.

En cuanto a las preguntas específicas:

¿De que manera influye la Sustentabilidad en la Innovación de las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México? La respuesta es que influye de acuerdo a los indicadores que la conforman, siendo los más importantes en términos de significancia 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.

¿Cómo es el impacto de la Productividad en el proceso de innovación de los biofertilizantes, elaborados en las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México?

La variable independiente productividad, tiene una significancia del 18.8%, el indicador que más impacto tiene en esta variable es a través de 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 resta credibilidad es que los biofertilizantes que les llegaron en 2022 por parte del programa estatal es que no son fueron efectivos ya que prácticamente los microorganismos, que son parte esencial de los biofertilizantes, llegaron muertos.

¿Por qué es la Rentabilidad uno de los factores más significativos en el proceso de innovación de los biofertilizantes, elaborados en las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México?

No sólo es uno de los más significativos, sino que desde el punto de vista de los involucrados es el más importante, ya que para ellos tiene una significancia alrededor del 60%. Y 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.

En cuanto a la hipótesis de investigación “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”. Es afirmada de manera cualitativa por la información proporcionada por los involucrados en el marco lógico y 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%.

Estos resultados de acuerdo con el modelo estructural inicial y final de la presente investigación, aun con modelos reflectivos, formativos, formativos-reflectivos, aun agregando otros indicadores a las variables latentes y la variable innovación, al replicarse generarían resultados muy similares, principalmente en la variable rentabilidad que es la que mayor significancia tiene en la innovación agrícola del campo michoacano, las variables productividad y sustentabilidad seguirían siendo significativas con un grado de significancia en la modelización arriba del 0.1.

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.

## Recomendaciones

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.

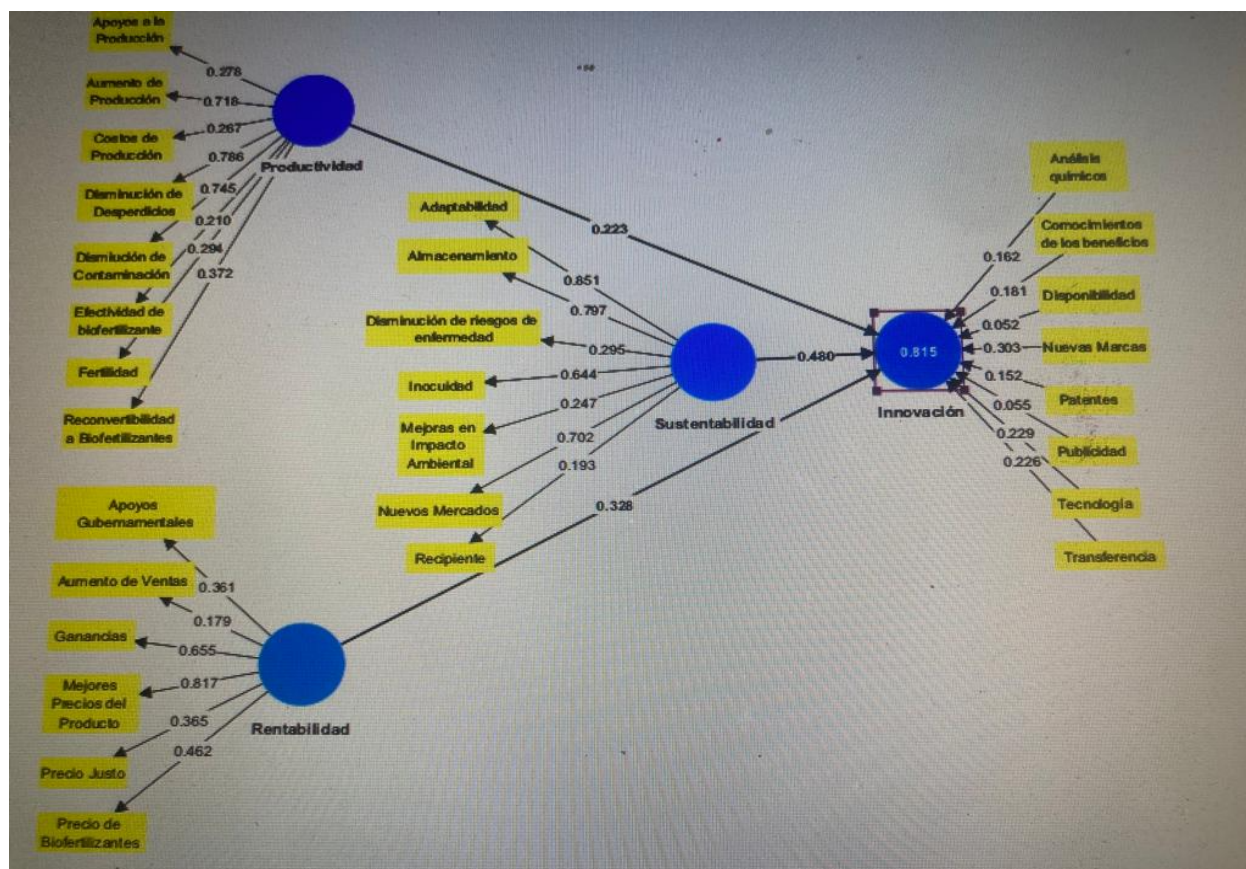
Así los biofertilizantes son un bioproducto innovador que impacta de manera significativa en cada uno de las dimensiones de la sustentabilidad, y cultivos tradicionales como los granos básicos como el maíz, frijol, arroz, café y cacao siguen generando importantes innovaciones en el sector agrícola, así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

## Sugerencias

Entre las limitantes de este estudio es que la innovación y más aún en los biofertilizantes es un área de gran expansión en las dos últimas décadas, y cada vez son más los organismos en los que se busca innovar en el desarrollo de bioninoculantes, por lo que los resultados pueden cambiar en el corto plazo, así también cada región está enfocada a algún tipo de innovación, como se ha encontrado los países desarrollados están más enfocados al desarrollo de productos y los países en vías de desarrollo en la aceptación y adaptación de las innovaciones por los que los procesos son más de carácter incremental. Por lo tanto los resultados variarán de acuerdo a la región que se estudie.

Si se añaden o quitan indicadores en las variables latentes exógenas o en la endogena, al incluir más o menos respuestas a las preguntas en el software, aumenta la probabilidad de que cambien los valores tanto de los pesos y cargas externas, así como el porcentaje de precisión de probabilidad

Ilustración 4. Modelo Estructural con modificaciones en los Indicadores de los Constructos



Fuente: Elaboración propia

En el nomograma anterior se agregaron respuestas de otros cuestionarios aplicados a productores a los constructos, así también se eliminó un indicador de la variable rentabilidad, por lo que cambió el peso aportado de cada indicador a las variables, así como la significancia de las variables sustentabilidad, rentabilidad y productividad y su nivel de explicación, aunque siguieron siendo significativas la variable sustentabilidad tuvo mayor significancia del 48% y el nivel de explicación del modelo en un 81.5%.

Por lo que se recomienda la realización de estudios similares al presente pero enfocado en otras regiones para realizar contrastes o a la misma región pero en otra línea temporal para conocer como está evolucionando el tema de los biofertilizantes producidos y comercializados tanto en Michoacán como en otras áreas geográficas.

## **Referencias Bibliográficas**

- (FAO), O. de las N. U. para la A. y la A. (2015). El estado mundial de la agricultura y la alimentación: la innovación en la agricultura familiar. In *FAO*. Roma, Italia.
- Ackoff, R. L. (1973). *Méthodes de planification dans l'entreprise, Paris: Les Editions d'organisation*. Les éditions d'organisation.
- Aguado-Santacruz. (2012). Introducción al Uso y Manejo de los Biofertilizantes en la Agricultura. In *INIFAP*. Celaya, Guanajuato: SAGARPA.
- Aguilar, I. (2002). Reflexiones sobre el desarrollo sustentable. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. *Comercio Exterior*, 52(2).
- Aguilar, M., Canto, A. M., & Matos, R. (2018). Análisis de la estructura actual de las oficinas de transferencia de tecnología en Yucatán, México. *Ciencias Administrativas Teoría y Praxis*, 1(14), 51–72.
- Aldunate, E., & Córdoba, J. (2011). *Formulación de programas con la metodología de marco lógico*. Santiago de Chile.
- Andrade, F. (2018). Uso de biofertilizantes reduciría gasto público. Retrieved June 10, 2022, from Biofábrica Siglo XXI website: <https://biofabrica.com.mx/blog/en-el-mundo/uso-de-biofertilizantes-reduciria-gasto-publico/>
- Arias, M., Bonetto, C., & Mugni, H. D. (2019). *Efecto del uso de fertilizantes y pesticidas sobre organismos acuáticos en arroyos de la zona hortícola de La Plata*. Universidad de La Plata.
- Arocena, R., & Sutz, J. (2001). Changing knowledge production and Latin American universities. *Research Policy*, 30(8), 1221–1234.
- Azcon-Aguilar, C., & Barea, J. M. (1996). Arbuscular Mycorrhizas and biological control of borne plant pathogens: an overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza*, 6, 457–44.
- Barragán-Ocaña, A., & Valle-Rivera, M. (2016). Rural development and environmental protection through the use of biofertilizers in agriculture: An alternative for underdeveloped countries? *Tech -Nology 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/https://doi.org/10.24275/etypuam/ne/552021/barragan>
- Barrera-Perales, O. T., & Burgos, A. L. (2022). Conceptual distinction between agricultural innovation and rural innovation: implications for scientific research and public policy, innovation and development. *Innovation and Development*, 1–22.
- Basham, Y. (2008). El uso de inoculantes microbianos como una importante contribución al futuro de la agricultura mexicana. *Plaza y Valdez*, 17–24.
- Baum, C., El-Tohamy, W., & Gruda, N. (2015). Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: a review. *Scientia Horticulturae*, 187, 131–141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.002>
- Beltrán-Morales, L., Almendarez-Hernández, M., Flores-Delgado, V., Trejo-Beltrán-Berumen, K., Lagunas-Vázquez, M., & Ortega-Rubio, A. (2020). Technology Transfer Offices as promoters of Technology, Innovation and Regional Development in Mexico. *International Journal of Innovation*, 8(1), 121–136. <https://doi.org/doi.org/10.5585/iji.v8i1.252>
- Bhardwaj, D., Ansari, M., Ranjan, S., & Naredra, T. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factories*, 13(66), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-66>
- Bilan, Y., Lyeonov, S., Stoyanets, N., & Vysochyna, A. (2018). The impact of environmental

- determinants of sustainable agriculture on country food security. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 21(5/6). <https://doi.org/10.1504/IJETM.2018.100580>
- Bio-fit.eu. (2020). Production managers in agriculture and forestry: Future perspective of biofertilizers.
- Biofábrica siglo XXI. (2022). Retrieved June 22, 2022, from <https://biofabrica.com.mx/>
- Boucher, F. (2012). De la air a los SIAL: reflexiones, retos y desafíos en América Latina. *Agroalimentaria*, 18(34), 79–90.
- Bucio-Mendoza, S., Solis-Navarete, J. A., & Paneque-Gálvez, J. (2019). Innovación social y sustentabilidad: El caso de la Comunidad Ecológica Jardines de la Mintsita, Michoacán. In *Innovación social: Desarrollo teórico y experiencias en México 2* (pp. 79–92). México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC.
- Burgos, A. L., & Bocco, G. (2020). Contribuciones a una teoría de la innovación rural. *Cuadernos de Economía*, 39(79), 219–249.
- Calderon, A., Medina, N., & Paneque, V. M. (2004). *Estudio de sustratos y micorrizas arbusculares en la adaptacion de vitroplantas de banano (musa spp)*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Caravaca, I., González, G., & Silva, R. (2005). Innovación, redes, recursos patrimoniales y desarrollo territorial. *Revista Eure*, 31(94), 5–24.
- Cárdenas Elizalde, M. del R., Cortés Cáceres, F. A., Escobar Latapí, A., Nahamad Sittón, S., Scott Andretta, J., & Teruel Belismelis, G. M. (2013). *Guía para la Elaboración de la Matriz de Indicadores para resultados*. México, D. F.
- Carreño-Meléndez, F., Vásquez-González, A. Y., & Vásquez González, G. (2019). Problemas sociales y Ambientales por el Uso de Agroquímicos en Tenancingo, México. *Revista Académica de Investigación TLATEMOANI, Carreño-Me(31)*.
- Casallas, D., Diaz C, J. M., Sánchez, J. A., Ramírez, H. J., & Ostos, D. (2004). *Desarrollo de alternativas de producción agrícola orgánica para la pequeña y mediana unidad campesina de las veredas de Santa Helena y San Ignacio, a través de la formación de bachilleres técnicos agropecuarios en el instituto agrícola la Holanda en Grana*. Universidad de Los Llanos.
- Cenfetelli, R. T., & Bassellier, G. (2009). Interpretation of formative measurement in information. *MIS Quarterly*, 33(4), 689–708. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/20650323>
- CEPAL. (2008). CEPAL. *La Transformación Productiva 20 Años Después. Viejos Problemas, Nuevas Oportunidades*.
- Chacón, E. A., Santos, R. A., & Morales, M. A. (2019). *¿Sostenible o sustentable?* México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chin, W. W. (2010). How to write up and report PLS analyses. En V. ESposito Vinzi, W.W. Chin. J. Henseler y H. Wang, *Handbook of partial least squares: Concepts, methods and applications in marketing and related fields. Springer Handbooks of Computational Statistics Series*, 2, 655–690. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-540-32827-8\\_29](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-540-32827-8_29)
- Cimoli, M., Porcile, G., Primi, A., & Vergara, S. (2006). Cambio Estructural, Heterogeneidad Productiva y Tecnológica en América Latina. In *Herogeneidad estructural, asimetrías tecnológicas y crecimiento en América Latina*. CEPAL. Santiago de Chile.
- Clyde, P., Roman, L., & Weil, K. S. (2013). Contabilidad financiera, una introducción a conceptos, métodos y usos. In *Cengage Learning* (Primera ed). Argentina.
- CNA. (2020). Sector Agroindustrial. Retrieved from <https://cna.org.mx/>

- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112, 1552–159. <https://doi.org/https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155>
- Conacyt. (2021). Biotecnología.
- Corona, L. (2005). México: el reto de Crear Ambientes Regionales de Innovación. *Fondo de Cultura Económica-CIDE*.
- Corvalán, D., Dubois, M., Medana, M., Peticari, A., Racca, R., & Ruíz, O. A. (2008). Situación actual y perspectivas del mercado de semillas y biofertilizantes en la Argentina. In *Biofertilizantes en Iberoamérica: Una visión técnica, científica y empresarial* (p. 104). LA Habana, Cuba: Universitaria.
- Cue, A., & Quintana, L. (2014). *Introducción a la MACROECONOMÍA: Un enfoque integral para México* (Primera Ed). México D. F.: Grupo Editorial Plata.
- Cue Mancera, A., & Quintana Romero, L. (2014a). *Introducción a la Macroeconomía: Un enfoque integral para México* (Primera ed). México, D. F.: Grupo Editorial Plata.
- Cue Mancera, A., & Quintana Romero, L. (2014b). *Introducción a la Microeconomía* (Primera ed). México, D. F.: Grupo Editorial Plata.
- Cuenca, G., Cáceres, A., Oirdobro, G., Hasmy, Z., & Urdaneta, C. (2007). Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales Interciencia. *Revista Interciencia*, 32(1), 23–29.
- De los Santos-Villalobos, S., Parra-Cota, F. I., Herrera-Sepúlveda, A., Valenzuela-Aragón, B., & Estrada-Mora, J. C. (2018). Colección de Microorganismos Edáficos y Endófitos Nativos, para contribuir a la seguridad alimentaria nacional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 191–202.
- Del Arco Fernández, P. (2017). ¿Sostenible o sustentable.
- Desouza, K. C., Dombrowski, C., Awazu, Y., Baloh, P., Papagari, S., Jha, S., & Kim, J. (2009). Crafting organizational innovation processes. *Innovation: Management, Policy & Practice*, 11(1), 6–33. <https://doi.org/10.5172/impp.453.11.1.6>
- Dixon, F. (2003). Total Corporate Responsibility and Real Prosperity. *Ethical Corporation Magazine*, 4(1).
- Dourojeanni, A. (2000). *Procedimientos para el desarrollo sustentable* (División de Recursos Naturales e Infraestructura, Ed.). Santiago de Chile: ONU; CEPAL, ECLAC.
- Drucker, P. (1985). *La innovación y el empresario innovador: la práctica y los principios*. Barcelona: Edsa.
- Edquist, C. (2001). systems of Innovation for Development (SID). In *Competitiveness, Innovation and Learning: Analytical Framework*.
- Espitia, E. (2009). Teoría ecológica del comportamiento del consumidor. Red Internacional de Investigadores en Competitividad. In *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. Morelia, Michoacán.
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from national systems and “Mode 2” to a triple helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, 29(2), 109–123. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)
- FAO. (2011). Una introducción a los conceptos básicos de la seguridad alimentaria. Retrieved June 13, 2022, from La Seguridad Alimentaria: Información para la toma de decisiones website: <https://www.fao.org/3/al936s/al936s00.pdf>
- 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*, 56.

- Fernández Martínez, P., Castro-Pardo, M., & Azevedo, J. C. (2020). Assessing Sustainable Rural Development Based on Ecosystem Services Vulnerability. *Land*, 9(7), 222.
- Fernández, R. (2010). *Responsabilidad social Corporativa*. Alicante, España: Club Universitario.
- Ferrel, O. C., Fraedrich, J., & Ferre, L. (2017). Ética en los negocios: casos y toma de decisiones. In *Cengage Learning* (11 edición). México, D. F.
- FIRA. (2003). *Agricultura Orgánica. una oportunidad para el sector agroalimentario mexicano*.
- FIRA. (2012). *Manual para el Mapeo de Redes de Agronegocios*. México.
- Franco, J., & Guerra Gómez, A. R. (2018). *Nuevos enfoques de la innovación: Inclusión social y sostenibilidad*. México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC.
- Freeman, C. (1997). *The economics of industrial innovación* (Tercera ed). Londres: Pinter.
- Freeman, Chris. (1995). The National System of Innovation in Historical Perspective. *JCambridge Journal of Economics*, 19(1), 5–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.cje.a035309>
- Frías-Espericueta, M. ., Osuna-López, J. I., Izaguirre-Fierro, G., Agular-Juárez, M., & Voltolina, D. (2010). Cadmio y plomo en organismos de importancia comercial de la zona costera de Sinaloa, México: 20 años de estudios. *CICIMAR Océánides*, 25(2), 121133.
- García-Gutiérrez, C., & Rodríguez-Meza, G. D. (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en sinaloa. *Ra Ximhai*, 1(10).
- García Arango, L. (2009). La propiedad intelectual en las biofábricas. *Revista Virtual Universidad Católica Del Norte*, 27(0), 1–23.
- García Bernado, R. (2018). Cambio tecnológico en la producción agraria argentina: algunas teorías en disputa. *Mundo Agrario*, 19(41). <https://doi.org/https://doi.org/10.24215/15155994e090>
- García González, M. T. (2006). *Uso de biofertilizantes en el cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.) en suelos arenosos*. Universidad Central de las Villas.
- Gelli, V. C. (2019). *Desenvolvimento ordenado e potencial da produção da macroalga Kappaphycus alvarezii no estado de São Paulo para a produção do biofertilizante*. Universidade Estadual de Campinas.
- Gil, R. (2020). *Análisis del consorcio de patentes desde la perspectiva del derecho de defensa de la competencia*. Universidad de Salamanca.
- Gitman, L. (1996). *Administración financiera básica* (Tercera ed). México, D. F.: Harla.
- Global biopesticides market. (2019). Mercado Global de Biofertilizantes. Retrieved June 14, 2020, from <https://www.researchandmarkets.com/reports/4368859/global-biopesticides-market-2019-2021#rela0-4790807>
- Goel, A., & Raipuria, A. (2019). Economics of Organic Fsrming in Different Crops: A Comparative Analysis between two Northern States of Uttrakhand and Uttar Pradesh. *Social Science*, 28(1), 49–57.
- Gómez-Calderón, N., Villagra-Mendoza, K., & Solorzano-Quintana, M. (2018). La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria). *Revista Tecnología En Marcha*, 31(167–177). <https://doi.org/doi.org/10.18845/tm.v31i1.3506>
- Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peá-Cabriales, J. J., & Vera-Nuñez, 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-Nuñez, 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>

- Granda, G., & Camisón, C. (2008). *El modelo de empresa del siglo XXI: Hacia una estrategia competitiva y sostenible*. Madrid, España: Cinca.
- Graue Russek, A. L. (2014). *Introducción a la economía* (Primera ed). México: Pearson Educación.
- Grossman, G. M., & Helpman, E. (1994). Endogenous innovation in the theory of growth. *Journal of Economic Perspectives*, 8(1), 23–44. <https://doi.org/10.1257/jep.8.1.23>
- Guadarrama, V., & Acosta, A. (2016). *Ecosistema de Innovación Social en México*. México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC.
- Guadarrama, V., & Acosta, A. (2017). *Ecosistema de Innovación Social en México*. México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC.
- Gutiérrez, C., & Díaz, S. (2018). Strategy for the analysis and design of Innovative Products. *Revista Electrónica Sobre Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación*, 5(10), 2–18.
- Gutiérrez Garza, E. (2007). De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable. Historia de la construcción de un enfoque multidisciplinario. *Trayectorias*, IX(25), 45–60.
- Guzmán Flores, J. (2018). *FERTILIZANTES QUÍMICOS Y BIOFERTILIZANTES EN MÉXICO. MÉXICO*.
- Hair, J. F., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2013). Partial least squares structural equation modeling: Rigorous applications, better results and higher acceptance. *Long Range Planning*, 46, 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/Cj.lrp.201.01.001i>
- Hair, J.F., Sarstedt, M., Pieper, T., & Ringle, S. M. (2012). The use of partial least squares structural equation modeling in strategic management research: A review of past practices and recomendations for future aplications. *Long Range Planning*, 45, 320–340. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lrp.2012.09.008>
- Hair, Joseph F., Hult, G. T., Ringle, C. M., Sarstedt, M., Castillo-Apriz, J., Cepeda-Carrión, G. A., & Roldán, J. L. (2019). *Manual de Partial Least Squares Estructural Equation Modeling* (Segunda ed). <https://doi.org/https://doi.org/10.3926/oss.37>
- Hansmann, R., Mieg, H. A., & Frickknecht, P. (2012). Principal sustainability components: empirical analysis of synergies between the tree pillars of sustainability. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 19(5), 451–459.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Mena, J. A. (2009). The use of partial least squares path modeling in international marketing. *Advances in International Marketing*, 20, 277–320. [https://doi.org/https://doi.org/10.1108/S1474-7979\(2009\)00000020014](https://doi.org/https://doi.org/10.1108/S1474-7979(2009)00000020014)
- Herman, D. (2007). Ecological Economics and Sustainable Development, Selected Essays of Herman Daly. In *Edward Elgar Publishing, Inc.* Massachusetts, USA.
- Hernández Chiavenato, I. (2004). *Introducción a la Teoría General de la Administración* (Quinta edi). México, D. F.: McGraw-Hill.
- Hernández, I. (2004). *Introducción a la Teoría General de la Administración* (Quinta). México: McGraw-Hill.
- Hernández, L. (2020). México avanza al sitio 55 en el Índice Global de Innovación.
- Hidalgo, C. (2001). Uso indiscriminado de. Retrieved January 21, 2020, from El Universal website: <https://archivo.eluniversal.com.mx/estados/27828.html>
- 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>
- Ikerd, J. E. (1990). Agriculture's search for sustainability and profitability. *Journal of Soil and Water Conservation*, 45, 18–23.

- Imagen Agropecuaria. (2022). Biofertilizantes reducen a la mitad fertilización convencional y aumentan rentabilidad en maíz y trigo.
- IMPI. (2017). *Guía del usuario de Patentes y Modelos de Utilidad* (P. division Directorate, Ed.). México: Secretaría de Economía.
- INEGI. (2017). Economía y Sectores Productivos.
- 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.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2017). *La innovación para el logro de una agricultura competitiva, sustentable e inclusiva*. México: IICA/Colegio de Postgraduados.
- Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y social. (2004). *Metodología del Marco Lógico*. Santiago de Chile.
- Intelligence, M. (2022). Mercado de fertilizantes orgánicos de América del Norte: Crecimiento, tendencias, impacto de Covid-19 y pronósticos (2022-2027).
- Izaguirre-Mayoral, M. L., Labandera, C., & Sanjuán, J. (2008). *Biofertilizantes en Iberoamérica: Una visión técnica, científica y empresarial*. LA Habana, Cuba: Editorial Universitaria.
- Izaguirre-Mayoral, M. L., Labanderay, C., & Sanjuán, J. (2007). *Biofertilizantes en Iberoamérica: una visión te'cnica, científica y empresarial* (Primera). LA Habana, Cuba: Universitaria.
- Jargalsaikhan, B. E., Ganbaatar, N., Urtnasan, M., Uranbileg, N., Begzsuren, D., Patil, K. R., ... Yuanita, E. (2019). 濟無No Title No Title No Title. *Molecules*, 9(1), 148–162. Retrieved from <http://jurnal.globalhealthsciencegroup.com/index.php/JPPP/article/download/83/65%0Ahttp://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L603546864%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1155/2015/420723%0Ahttp://link.springer.com/10.1007/978-3-319-76>
- Katz, J. (2007). Reformas estructurales orientadas al mercado, la globalización y la transformación de los sistemas de innovación en América Latina. In *Globalización, acumulación de capacidades e innovación. Los desafíos para las empresas, localidades y países*. México: FCE-OEI.
- Klerkx, L., Aarts, N., & Leeuwis, C. (2010). Adaptive management in agricultural innovation systems: The interactions between innovation networks and their environment. *Agricultural Systems*, 103(6), 390–400. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.03.012>
- Laasch, O., & Conaway, R. N. (2015). *Principios de administración responsable: sostenibilidad, responsabilidad y ética globales*. México, D. F.: Cengage Learning.
- Leydesdorff, L. (2012). The triple helix, quadruple helix,..., and an N-tuple of helices: explanatory models for analyzing the knowledge-based economy? *Journal of the Knowledge Economy*, 3(1), 25–35.
- Liverman, D., Hanson, M., Brown, B., & Merideth, R. (1988). Global sustainability: Toward Measurement. *Environmental Management*, 12(2), 133–143. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/bf01873382>
- Lundvall, B. Ä., Johnson, B., Andersen, E., & Dalum, B. (2002). National systems of production, innovation and competence building. *Research Policy*, 31(2), 213–231. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(01\)00137-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(01)00137-8)
- Lundvall, B.A. (2007). National Innovation System: Analytical Focusing Device and Policy Learning Tool. Retrieved May 30, 2022, from Swedish Institute for Growth Policy Studies

- website: [www.sourceoecd.org/scienceIT/978926](http://www.sourceoecd.org/scienceIT/978926)
- Malerba, F. (2002). Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy*, 31, 247–264.
- Malusa, E., Sas-Paszt, L., & Ciesielka, J. (2012). Technologies for beneficial microorganisms inocula used as biofertilizers. *The Scientific World Journal*, 2012, 12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1100/2012/491206>
- Marketsandmarkets. (2021). Biofertilizers.
- Martínez, M. (2020). Comercio Exterior. Retrieved June 18, 2020, from El Economista website: <https://www.economista.com.mx/>
- Masso, C., Bajjukya, F., Ebanyat, P., Bouaziz, S., Wendt, J., Bekunda, M., & Vanlauwe, B. (2015). Dilemma of nitrogen management for future food security in sub-Saharan Africa. *Soil Research*, 55(6), 425–434. <https://doi.org/Doi.org/10.1071/SR16332>
- Meadows, D., & Rangers, J. (1992). Más allá de los límites del crecimiento. In *El País*. Madrid, España.
- Meigs. (1998). *Contabilidad: La Base para la Toma de Decisiones Gerenciales* (Décima edi). México, D. F.: Mc Graw Hill.
- Méndez, R. (2002). Innovación y desarrollo territorial: algunos debates teóricos recientes. *EURE (Santiago)*, 28(84), 63–83. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612002008400004>
- Mendoza, O. (2022). Con el programa “Agrosano”, Michoacán busca reducir el uso de fertilizantes químicos.
- Milciades, C. (2022). Biofertilizantes, la propuesta de la FAO para enfrentar la escasez de fertilizantes por la guerra.
- Miller, D. C., & Salkind, N. J. (2002). *Research design and Socail Measurement* (6th ed.). <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.4135/9781412984386>
- MINAG. (2022). Política para la producción, desarrollo y uso de los biofertilizantes, bioestimulantes y bioplaguicidas de uso agrícola. Retrieved June 10, 2022, from <https://www.minag.gob.cu/politicas/politica-para-la-produccion-desarrollo-y-uso-de-los-biofertilizantes-bioestimulantes-y-bioplaguicidas-de-uso-agricola/>
- Ministerio de La, & Agricultura. (2022). Política para la Producción, Desarrollo y Uso de los Biofertilizantes, Bioestimulantes y Bioplaguicidas de Uso Agrícola.
- Mishra, P., & Dash, D. (2014). Rejuvenation of Biofertilizer for Sustainable Agriculture Economic. *Journal of Sustainable Development*, 11(1), 41–62.
- Montoya, O. (2004). Schumpeter, innovación y determinismo tecnológico. *Scientia et Technica*, 10(25).
- Morales Ibarra, M. (2014). La Revolución de la Producción Agroalimentaria en el siglo XXI. In *El Agro y las Áreas Rurales en el México del Siglo XXI* (Primera ed, pp. 151–178). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mordor Intelligence. (2022a). Mercado de bofertilizantes de China: Crecimiento, tendencias, impacto de Covid-19 y pronósticos (2022-2027). Retrieved June 10, 2022, from Agricultura website: <https://mordorintelligence.com/es/industry-reports/china-biofertilizer-market>
- Mordor Intelligence. (2022b). Mercado de fertilizantes orgánicos de África: Crecimiento, tendencias, impacto de Covid-19 y pronósticos (2022-2027).
- Mordor Intelligence. (2022c). Mercado de fertilizantes orgánicos en Vietnam: Crecimiento, tendencias, impacto de Covid-19 y pronósticos (2022-2027). Retrieved June 11, 2022, from <https://mordorintelligence.com/es/industry-reports/vietnam-organic-fertilizers-market>
- Morillo, M. (2001). Rentabilidad financiera y Reducción de costos. *Universidad de Los Andes*, 4(4).

- Muñoz Rodríguez, M., Aguilar Ávila, J., Rendón Medel, R., & Altamirano Cárdenas, J. R. (2007). Análisis de la dinámica de innovación en cadenas agroalimentarias. In *Agencias para la Gestión de la Innovación*. Texcoco.
- Naveed, M., Mehboob, I., Shakir, M. A., Hussain Baqir, M., & Farooq, M. (2015). Biofertilizers in Pakistan: Initiatives and Limitations. *International Journal of Agriculture and Biology*, 17(3), 411–420.
- Nelson, R. R., & Rosemberg, N. (1993). *National Systems of Innovation: A comparative Study*. Oxford: University Press.
- Niosi, J., & Banik, M. (2005). The evolution and performance of biotechnology regional systems of innovation. *Cambridge Journal of Economics*, 29(3), 343–357. <https://doi.org/10.1093/cje/bei044>
- Nussbaum, M., & Sen, A. (1993). The quality of life. In *Clarendon press*. Oxford.
- Ocampo, J. A. (2012). *La historia del desarrollo latinoamericano*. Santiago de Chile: CEPAL.
- OCDE/Eurostat. (2018). *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, reporting and Using Data on Innovation* (Cuarta ed; T. and I. A. The Measurement of Scientific, Ed.). Paris: OECD Publishing.
- OCDE. (2005). *Manual de Oslo* (Tercera ed). Paris: OCDE.
- OCDE. (2012). Technology and Industry Outlook. *OCDE Science*.
- Odame, H. (1997). Biofertilizers in Kenia, production and extension dilemmas. *Biotechnology and Development Monitor*, 30(1), 20–23.
- Olivares, J., Bedmar, E., & Sanjuán, J. (2013). Biological nitrogen fixation in the context of global change. Retrieved from Departamento de Microbiología del Suelo y sistemas simbióticos website: [www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23360457](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23360457)
- OMPI. (2021). *Índice Mundial de Innovación 2021*. [https://doi.org/https://www.wipo.int/pressroom/es/articles/2021/article\\_0008.html](https://doi.org/https://www.wipo.int/pressroom/es/articles/2021/article_0008.html)
- ONU. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*.
- ONU. (2015). La Asamblea General adopta la agenda 2030 para el Desarrollo sostenible. Retrieved July 14, 2020, from Objetivos de Desarrollo Sostenible website: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- ONU. (2022). Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos.
- Organización de las Naciones Unidas, C. E. y S. (2017). *Nuevos criterios de innovación para apoyar la aplicación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
- Organización Mundial del Comercio. (2013a). *Examen de las políticas comerciales: Resumen México*.
- Organización Mundial del Comercio. (2013b). Examen de las políticas comerciales: Resumen México. Retrieved June 3, 2020, from [https://www.wto.org/spanish/tratop\\_s/tpr\\_s/tp379\\_s.htm](https://www.wto.org/spanish/tratop_s/tpr_s/tp379_s.htm)
- Ortegón, E., Pacheco, J. F., & Prieto, A. (2015). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas* (reimpresión). Santiago de Chile: CEPAL.
- Pandey, C., & H, D. (2018). Comprehensive assessment of fertilizer-linked environmental externalities and its key determinants: IWRM approach. *Interdisciplinary Environmental Review*, 19(1), 44–89.
- Pansera, M., Narvaez-Mena, R., & Hermann, H. (2013). Frugalidad e innovación popular: nuevos

- caminos para la sustentabilidad y la inclusión social en Ecuador. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 12(35).
- PatentScope. (2021). Patentes de biofertilizantes. Retrieved from <https://patentscope.wipo.int/>
- Peña-Borrego, M. D., Rodríguez Fernández, R. M., A., A. P. N., F., P. R. Y., & Zayas Infante, S. (2018). Gestión del conocimiento sobre biofertilizantes a nivel local: estudio de caso municipio Calixto García, Cuba. *Cultivos Tropicales*, 39(2), 41–50.
- Perez, C., & Soete, L. (1988). *Catching Up in Technology: entry Barriers and Windows of Opportunity* (Technical Change and Economic Theory, Ed.). London: Francis Pinter.
- Pérez Jiménez, L. (2013). *Estrategia de Mercadotecnia para el servicio Biofábrica del Instituto de Biotecnología de las Plantas (IBP) hacia Latinoamérica y el Caribe*. Universidad Central “Martha Abreu” de Las Villas.
- Perret, S. R., & Stevens, J. B. (2006). Razones Socio-económicas de la baja adopción de tecnologías de conservación de agua por los pequeños agricultores en el África meridional: una revisión literaria. *Developmente Southern Africa*, 23(4).
- Plante, A. F. (2007). Soil biogeochemical cycling of inorganic nutrients and metals. *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*, 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.
- Programa de Concurrancia con las Entidades Federativas. (2019). *Compendio de indicadores 2018: Michoacán de Ocampo*.
- Reginaldo, G., & Nordberg, Å. (2021). Climate impact assessment of a pig manure storage system substituted with anaerobic digestion - a case study in Santa Catarina, Brazil. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 23(5–6), 414–433.
- Restrepo, L. F., & Montoya, W. D. (2017). Tecnologías de información: Análisis de invenciones patentadas entre continentes para el periodo 1980 al 2010. *E-Ciencias de La Información*, 7(1), 35–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.15517/eci.v7i1.27306>
- Ringdon, E. E. (2012). Rethinking partial least squares path modeling: In praise of simple methods. *Long Range Planning*, 45, 341–358. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lrp.2012.09.010>
- Rogers, E. (1995). *Diffusion of innovations* (Cuarta edi). New York: Free Press.
- Röling, N. (2009). Pathways for impact: scientists’ different perspectives on agricultural innovación. *International Journal of Agriculture Sustainability*, 7(2), 83–94. <https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0043>
- Ruan, Z., Qingyun, M., & Sternfeld, E. (2020). Biofertilizers in China A Potential Strategy for China’s Sustainable Agriculture Current Status and Further Perspectives. *Sino-German Agriculture Centre*, 1–24.
- Rueda-Puente, E. O., Rangel Preicado, P., & A., T. H. M. (2007). Uso y Aprovechamiento de Abonos Orgánicos e Inocuidad. *Sociedad Mexicana de La Ciencia Del Suelo, COCyTED*, 625.
- Rupali, K., & Samraj, S. (2020). Innovation through technical alliances: Assessment of a high technology industry using instrumental variable method. *International Journal of Business Innovation and Research*, 23(480), 500. <https://doi.org/DOI: 10.1504/IJBIR.2020.111760>
- Sader. (2022). Avanza Sader en sustitución de fertilizantes químicos por orgánicos. Retrieved June 22, 2022, from Gobierno de Michoacán website: <https://www.michoacan.gob.mx/noticias/avanza-sader-en-sustitucion-de-fertilizantes-quimicos-por-organicos/>

- SADER. (2020). Balanza comercial de productos agroalimentarios que comercializa México.
- 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.
- Sánchez-Ancochea, D. (2005). Capitalismo, Desarrollo y Estado: Una Revisión Crítica de la Teoría del Estado de Schumpeter. *Revista de Economía Institucional*, 7(13), 81–100.
- Sánchez, A. (1994). La Rentabilidad económica y financiera de la gran empresa española. Análisis de los factores determinantes. *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, XXIV(78), 159–179.
- Sandhu, H. ., Wratten, S. D., & Cullen, R. (2010). Organic agriculture and ecosystem services. *Environmental Science and Policy*, 13(1–7).
- Schmitz, H. (1995). Collective efficiency: growth path for small-scale industry. *Journal of Development Studies*, 31(4), 529–566. <https://doi.org/10.1080/00220389508422377>
- Schumpeter, J. (1968). *Capitalismo, sociedad y democracia* (cuarta; F. de C. Económica, Ed.). México.
- Schumpeter, J. (1978). *Teoría del desenvolvimiento económico* (Quinta rei). México: Fondo de Cultura Económica.
- Schumpeter, J. (1996). *Capitalismo, socialismo y democracia*. Madrid, España: Ediciones folio.
- Secretaría de Desarrollo Rural y Agroalimentario. (2019). Agricultura Sustentable. <https://doi.org/https://sedrua.michoacan.gob.mx/>
- Secretaría de Economía. (2012). Sistema Integral de Información de Mercados.
- SIAP-SAGARPA. (2018). Agricultura.
- Singh, K., & Kumar, D. (2021). A review article on vermibiotechnology and waste management. *World Review of Science, Technology and Sustainable Development*, 17(1), 81–97.
- Sonnino, A., & Ruane, J. (2013). La innovación en agricultura y las biotecnologías agrícolas como herramientas de las políticas de seguridad alimentaria. In E. Hodson & T. Zamudio (Eds.), *Biotechnologías e innovación: el compromiso social de la ciencia*. Bogotá, Colombia: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- Stephan, U., Patterson, M., Kelly, C., & Mair, J. (2016). Organizations driving positive social change: A review and an integrative framework of change processes. *Journal of Management Studies*, 49, 813–842.
- Sumanth, D. (1990). *Ingeniería y Administración de la Productividad*. México, D. F.: McGraw-Hill.
- Sutz, J. (2002). *Problemas avanzados de la innovación en América Latina* (Primera ed). Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de Quilmes.
- Sutz, Judith. (2000). The university-industry-government relations in Latin America. *Research Policy*, 29(2), 279–290.
- Torres, D., & Capote, T. (2004). Agroquímicos un problema ambiental global: uso del análisis químico como herramienta para el monitoreo ambiental. *Ecosistemas*, 13(3), 2–6.
- UNESCO. (2002). La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura. Declaración Universal sobre la Diversidad Cultural. UNESCO.
- Universidad Autónoma de Occidente. (2007). *Guía para la Elaboración del Marco Lógico*. Cali.
- Valencia, H. (2016). Biofertilizantes: alternativa ecológica y confiable. Retrieved June 11, 2020, from [cienciamx website:](https://www.cienciamx.com/index.php/tecnologia/biotecnologia/9822-biofertilizantes-)

alternativa-ecologica-y-confiable

- Valente, T. (1999). *Network models of the diffusion of innovations*. USA: Hampton Press.
- Vargas, J. C. (2008). “Hacia una economía para la vida” de Franz J. Hinkelammert y Henry Mora Jiménez. *OtraEconomía*, 2(2), 173–177.
- Vázquez-Barquero, A. (2007). Desarrollo endógeno. Teorías y políticas de desarrollo territorial. *Investigaciones Territoriales*, 11, 182–210.
- 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 hidroponía en agricultura protegida. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(8), 1603–1614. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1717>
- Véliz Aguilar, J. E., Salgado Guluarte, V., López Pérez, R., Pérez Trujillo, Á., Jara Flore, R., & Méndez Beltrán, M. Á. (2013). *Mapeo de la Red de Valor Langosta en Baja California Sur*. Baja California Sur.
- Vessey, J. K. (2003, August). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, Vol. 255, pp. 571–586. <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>
- Villareal Barrera, A. M. (2021). Importancia del manejo de suelos en la sostenibilidad agrícola. *Revista Semilla Del Este*, 2(1), 28–39. <https://doi.org/https://orcid.org/0000-0002-8704-7703>
- Viotti, E. . (2002). National Learning Systems: A new approach on technological change in late industrializing economies and evidences from the cases of Brazil and South Korea. *Technological Forescasting and Social Change*, 69, 653–680.
- Wakindiki, I. I. C., Malobane, M. E., & Nciizah, A. D. (2019). *Integrating Biofertilizers with Conservation Agriculture Can Enhance Its Capacity to Mitigate Climate Change: Examples from Southern Africa* (W. Leal Filho & R. Leal-Arcas, Eds.). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-89590-1>
- Zaidi, A., Ahmad, E., Khan, M., Saif, S., & Rizvi, A. (2015). Role of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable production of vegetables: current perspective. *Scientia Horticulturae*, 193, 231–239. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.020>
- Zebarth, B. J., Bowen, P. A., & Toivonen, P. M. A. (1995). Influence of nitrogen fertilization on broccoli yield, nitrogen accumulation and apparent fertilizer-nitrogen recovery. *Plant Sciences*, 75(3), 717–725. [https://doi.org/DOI: 10.4141/cjps95-122](https://doi.org/DOI:10.4141/cjps95-122)
- Zepeda, L. (1994). Simultaneity of Technology Adoption and Productivity. *Journal Agricultural and Resource Economics*, 19, 46–57.

## **Anexos**



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLÁS DE HIDALGO**



**Encuesta para Determinar la Innovación en la Producción Agrícola en Michoacán, México.**

**Cuestionario dirigido a Productores Agrícolas**

Objetivo: Obtener información directa de empresas y productores del sector agrícola, de Michoacán, México sobre la innovación. La información será de carácter confidencial y con fines de investigación académica.

Nombre: \_\_\_\_\_

1. ¿Emplea biofertilizantes en su producción?

R: \_\_\_\_\_

2. Sí la respuesta a la anterior pregunta es sí, ¿en que cultivos los ha empleado?

R: \_\_\_\_\_

3. ¿Qué problemas tiene en el empleo de biofertilizantes?

R: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. ¿Qué beneficios conoce de la aplicación de los biofertilizantes?

R: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5. ¿Qué marcas de biofertilizantes conoce?

R: \_\_\_\_\_

6. ¿En que proporción con respecto a los fertilizantes tradicionales emplea de biofertilizantes?

R: \_\_\_\_\_

7. ¿El almacenamiento tiene algún efecto en la calidad de los biofertilizantes?

R: \_\_\_\_\_

8. ¿Conoce como se aplican los biofertilizantes?

R: \_\_\_\_\_

9. ¿Qué resultados han tenido en la aplicación de biofertilizantes?

R: \_\_\_\_\_

10. ¿Es rentable la aplicación de biofertilizantes?

R: \_\_\_\_\_

11. ¿Son los biofertilizantes un factor significativo en la productividad de los cultivos?

R: \_\_\_\_\_

12. ¿Ha tenido algún apoyo por parte del gobierno ya sea por producir o aplicar biofertilizantes?  
En caso de ser afirmativa la respuesta, ¿Qué tipo de apoyos?

R: \_\_\_\_\_

Muchas Gracias



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE  
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



**Encuesta para Determinar la Innovación en la Producción Agrícola en Michoacán, México.**

**Dirigido a Productores de Biofertilizantes**

Objetivo: Obtener información directa de empresas y productores del sector agrícola, de Michoacán, México sobre la innovación. La información será de carácter confidencial y con fines de investigación académica.

13. ¿Qué tipos de biofertilizantes oferta?

R: \_\_\_\_\_

14. ¿El almacenamiento tiene algún efecto en la calidad de los biofertilizantes?

R: \_\_\_\_\_

15. ¿Ha tenido algún apoyo por parte del gobierno ya sea por producir o aplicar biofertilizantes?  
En caso de ser afirmativa la respuesta, ¿Qué tipo de apoyos?

R: \_\_\_\_\_

16. ¿Es la mercadotecnia uno de los factores más significativos en el proceso de innovación de los biofertilizantes, elaborados en las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México?

R: \_\_\_\_\_

17. ¿Cuáles son, para usted, los factores que inciden de manera más significativa en la innovación de los biofertilizantes, producidos en las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México? Por ejemplo, la publicidad, la productividad, la rentabilidad, la sustentabilidad...

R: \_\_\_\_\_

18. ¿Qué clase de innovaciones ha realizado en su empresa en los últimos años?

R: \_\_\_\_\_

19. ¿Cómo se comporta la demanda de los biofertilizantes, en su empresa?

R: \_\_\_\_\_

20. ¿Cree Usted que Falta algún tipo de Innovación en su Proceso Productivo?

R: \_\_\_\_\_

21. Si su respuesta a la anterior pregunta fue Si, ¿Cuál cree que sean los efectos directos o inmediatos de la falta de innovación en su empresa o negocio?

R: \_\_\_\_\_

22. ¿Cuáles serían para Usted las causas de la falta de innovación en su empresa o proceso productivo?

R: \_\_\_\_\_

23. ¿Cómo solucionaría la falta de innovación en su empresa agropecuaria?

R: \_\_\_\_\_

24. ¿Qué acciones sugeriría para innovar su negocio agrícola o pecuario?

R: \_\_\_\_\_

25. ¿Qué tipo de cambios ha habido en su empresa?

a) Nuevos mercados. B) cambios en sistema de transporte y comunicación

b) cambio en sus productos. d) en la tecnología empleada.

c) Ninguno f) Otro: ¿cuál?: \_\_\_\_\_

26. ¿Para Usted cuales factores influyen más en la innovación, elija 2 de las que considere más importantes:

A) Las instituciones: sus políticas y programas. B) Las personas y su educación.

B) C) Las tecnologías. D) EL medio ambiente y el entorno local.

C) E) el mercado: créditos y financiamiento, precios.

27. ¿Qué procesos nuevos o mejorados ha introducido en su negocio para mejorar los rendimientos (por hectárea)?

R: \_\_\_\_\_

28. ¿Qué procesos nuevos o mejorados ha introducido en su proceso de producción para reducir el impacto ambiental negativo generado?

R: \_\_\_\_\_

29. ¿ Ha introducido productos nuevos al mercado durante el periodo 2006-2010? ¿Cuáles?

R \_\_\_\_\_

30. ¿En qué nuevos mercados ha incursionado durante el período 2010-2020? ¿Cuáles?

R: \_\_\_\_\_

31. ¿Adquirió en el último año algún tipo de tecnología, como maquinaria o equipo, que requiera algún tipo de capacitación?

R: \_\_\_\_\_

32. Utilizó máquinas o herramientas nuevas en alguna parte del proceso productivo o comercial?

R: \_\_\_\_\_

33. Utilizó otros insumos nuevos, mejorados o importantes para usted

R: \_\_\_\_\_

34. ¿Emplea Biofertilizantes?

R: \_\_\_\_\_

35. Podría escribir algún productor, proveedor o conocido que le halla sugerido algo nuevo o innovador para poder emplearlo en sus procesos productivos.

R: \_\_\_\_\_

36. ¿Emplea biofertilizantes en su producción?  
R: \_\_\_\_\_
37. Sí la respuesta a la anterior pregunta es sí, ¿en que cultivos los ha empleado?  
R: \_\_\_\_\_
38. ¿Qué problemas tiene en el empleo de biofertilizantes?  
R: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
39. ¿Qué beneficios conoce de la aplicación de los biofertilizantes?  
R: \_\_\_\_\_
40. ¿Qué marcas de biofertilizantes conoce?  
R: \_\_\_\_\_
41. ¿En que proporción con respecto a los fertilizantes tradicionales emplea de biofertilizantes?  
R: \_\_\_\_\_
42. ¿El almacenamiento tiene algún efecto en la calidad de los biofertilizantes?  
  
R: \_\_\_\_\_
43. ¿Conoce como se aplican los biofertilizantes?  
  
R: \_\_\_\_\_
44. ¿Qué resultados han tenido en la aplicación de biofertilizantes?  
  
R: \_\_\_\_\_
45. ¿Es rentable la aplicación de biofertilizantes?  
R: \_\_\_\_\_
46. ¿Son los biofertilizantes un factor significativo en la productividad de los cultivos?  
R: \_\_\_\_\_
47. ¿Ha tenido algún apoyo por parte del gobierno ya sea por producir o aplicar biofertilizantes?  
En caso de ser afirmativa la respuesta, ¿Qué tipo de apoyos?  
R: \_\_\_\_\_

Muchas Gracias



## UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



### Encuesta para Determinar la Innovación en la Producción Agrícola en Michoacán, México.

#### Cuestionario dirigido a Productores Agrícolas

Objetivo: Obtener información directa de empresas y productores del sector agrícola, de Michoacán, México sobre la innovación. La información será de carácter confidencial y con fines de investigación académica.

Nombre: \_\_\_\_\_

¿Cuáles cultivos sembró este y el ciclo anterior? \_\_\_\_\_

1. ¿Los apoyos recibidos por el Gobierno para implementar una agricultura sustentable son importantes?

a) No son importantes    b) Poco importantes    c) Algo importantes    d) Muy Importantes e) Totalmente importantes

2. ¿Realiza algún análisis, ya sea físico, químico o biológico del suelo cuando aplica biofertilizantes?

a) Nunca    b) Raramente    c) Ocasionalmente    d) Frecuentemente e) Muy frecuentemente

3. ¿Reciben capacitación para la aplicación de los biofertilizantes?

a) Nunca    b) Raramente    c) Ocasionalmente    d) Frecuentemente e) Muy frecuentemente

4. ¿El empleo de biofertilizantes les ha permitido incursionar en mercado orgánico?

a) Nunca    b) Raramente    c) Algunas veces    d) Casi siempre    e) Siempre

5. ¿Ha estado en algún programa de gobierno donde reciben apoyos por utilizar biofertilizantes?

a) Nunca    b) Raramente    c) Algunas veces    d) Casi siempre e) Siempre

6. ¿Existen suficientes marcas comerciales de biofertilizantes en el mercado?

a) No existen    b) Pocas    c) Ni muchas ni pocas    d) Muchas    e) Demasiadas

7. ¿El recipiente o contenedor donde reciben los biofertilizantes es el adecuado?

a) Totalmente en desacuerdo    b) En desacuerdo    c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo    d) De acuerdo    e) Totalmente de acuerdo

8. ¿Considera que el empleo de biofertilizantes aumenta su rentabilidad?  
a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo  
d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
9. ¿El empleo de biofertilizantes impacta de manera positiva en el medio ambiente?  
a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo  
d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
10. Está satisfecho con los beneficios de aplicar biofertilizantes en sus cultivos  
a) Muy insatisfecho b) Insatisfecho c) Ni insatisfecho ni satisfecho d) Satisfecho e) Muy satisfecho
11. El empleo de biofertilizantes eleva la productividad de sus suelos:  
a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo  
d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
12. El tiempo de almacenamiento de los biofertilizantes es mejor que el de los fertilizantes convencionales:  
a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo  
d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
13. Los biofertilizantes están disponibles en el mercado, en cualquier momento de el año:  
a) Nunca b) Raramente c) Algunas veces d) Casi siempre e) Siempre
14. ¿Obtiene un precio justo por ofrecer productos orgánicos?  
a) Nunca b) Raramente c) Algunas veces d) Casi siempre e) Siempre
15. Es importante patentar la fabricación de un nuevo biofertilizante  
a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo  
d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
16. ¿Cómo es la publicidad o algún tipo de difusión sobre el uso de biofertilizantes?  
a) Pésima b) Mala c) Regular d) Buena e) Excelente
17. ¿Han aumentado sus ventas al emplear biofertilizantes?  
a) No han aumentado b) Poco c) Suficiente d) Más que suficiente e) Mucho
18. ¿Ha aumentado su empleo de biofertilizantes en comparación con el uso de fertilizantes industriales convencionales?  
a) No han aumentado b) Poco c) Suficiente d) Más que suficiente e) Mucho
19. Los biofertilizantes se adaptan bien al tipo de cultivos, suelos y clima:  
a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo  
d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo

20. Existe poco desperdicio de biofertilizantes debido a su almacenamiento:

- a) Totalmente en desacuerdo
- b) En desacuerdo
- c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo
- e) Totalmente de acuerdo

21. ¿Utiliza algún tipo de tecnología especial al practicar la agricultura orgánica?

- a) Nunca
- b) Raramente
- c) Algunas veces
- d) Casi siempre
- e) Siempre

22. Considera que el precio de los biofertilizantes es bajo comparado con el de los fertilizantes industriales:

- a) Totalmente en desacuerdo
- b) En desacuerdo
- c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo
- e) Totalmente de acuerdo

23. El empleo de biofertilizantes ha generado nuevos empleos en la región

- a) Totalmente en desacuerdo
- b) En desacuerdo.
- c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo
- e) Totalmente de acuerdo

24. Ha disminuido el costo de producción al utilizar biofertilizantes en vez de fertilizantes tradicionales:

- a) Totalmente en desacuerdo
- b) En desacuerdo.
- c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo
- e) Totalmente de acuerdo

25. Los biofertilizantes regeneran la fertilidad de los suelos agrícolas:

- a) Totalmente en desacuerdo
- b) En desacuerdo.
- c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo
- e) Totalmente de acuerdo

26. Los biofertilizantes son mucho menos perjudiciales que los fertilizantes químicos convencionales para la salud de las personas que están en contacto directo con ellos.

- a) Totalmente en desacuerdo
- b) En desacuerdo.
- c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo
- e) Totalmente de acuerdo

27. El empleo de biofertilizantes ayuda a disminuir la contaminación de los mantos freáticos, el agua que se encuentra en el subsuelo.

- a) Totalmente en desacuerdo
- b) En desacuerdo.
- c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo
- e) Totalmente de acuerdo

28. Cada ciclo agrícola aplica más cantidad de fertilizantes por hectárea

- a) Totalmente en desacuerdo
- b) En desacuerdo.
- c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo
- e) Totalmente de acuerdo

## Matriz de Congruencia

Tabla 10. Matriz de Congruencia

Título	Pregunta de Investigación	Objetivo de Investigación	Hipótesis	VARIABLES	Marco Teórico
<b>Análisis de la Innovación en las Biofábricas en el Sector Agrícola, en Michoacán, México.</b>	<b>Pregunta General</b> ¿Cuáles son los factores que inciden de manera más significativa en la innovación de los biofertilizantes, producidos en las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México?	<b>Objetivo General</b> Explicar los factores que inciden de manera más significativa en la innovación de los biofertilizantes, producidos y comercializados por las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México.	La sostenibilidad, la productividad, la rentabilidad y la mercadotecnia 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.	<b>Dependiente:</b>  Innovación	Shumpeter: Teoría del emprendedor y las innovaciones  Everett Rogers: Teoría de difusión de innovaciones  Peter Drucker:  Burgos: Innovación Agrícola
	<b>Preguntas Específicas:</b> ¿En qué influye la Sostenibilidad en la Innovación de las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México?	<b>Objetivos específicos:</b> Analizar en que medida la sostenibilidad influye en el proceso de innovación de los biofertilizantes, producidos y comercializados por las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México.	<b>Hipótesis específicas:</b> La sostenibilidad incide de manera significativa en la innovación de los biofertilizantes, producidos y comercializados por las biofábricas en el sector agrícola en Michoacán, México.	<b>Independientes:</b>  Sostenibilidad	Amartya Sen: Teoría de la economía del Desarrollo  Herman Daly: Teoría de la economía Ecológica.  Georgescu-Rogen: La Ley de la entropía y el proceso económico
	¿Cuál es el impacto de la Productividad en el proceso de innovación de los biofertilizantes, elaborados en las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México?	Determinar las principales dimensiones de la productividad que impactan en la innovación de los biofertilizantes, producidos y comercializados por las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México.	La productividad incide de manera significativa en la innovación de los biofertilizantes, producidos y comercializados por las biofábricas en el sector agrícola en Michoacán, México.	Productividad	Taylor: Teoría de la Administración Científica  Fayol: Teoría Clásica de la Administración  Ford: Principio de la Productividad  Sumanth: Modelo de Productividad
	¿Es la Rentabilidad uno de los factores más significativos en el proceso de innovación de los biofertilizantes, elaborados en las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México?	Describir los principales aspectos de la rentabilidad con la innovación de los biofertilizantes, producidos y comercializados por las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México.	La rentabilidad incide de manera significativa en la innovación de los biofertilizantes, producidos y comercializados por las biofábricas en el sector agrícola en Michoacán, México.	Rentabilidad	Gitman: Principios de Administración financiera
	¿Cuál es el impacto de la mercadotecnia en el proceso de innovación de los biofertilizantes, elaborados en las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México?	Explicar la significancia de la mercadotecnia en la innovación de los biofertilizantes, producidos y comercializados por las biofábricas, en el sector agrícola de Michoacán, México.	La mercadotecnia incide de manera significativa en la innovación de los biofertilizantes, producidos y comercializados por las biofábricas en el sector agrícola en Michoacán, México.	Mercadotecnia	Phillip Kotler: Marketing, Innovar para ganar

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Matriz de variables con indicadores

Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores	Items	
Innovación	<p>Drucker P. (1985) define “la innovación como un análisis sistemático de los cambios para transformarlos en oportunidades de negocio”.</p> <p>La OCDE la define como la introducción al mercado de un nuevo, o significativamente mejorado producto o servicio, proceso, método de comercialización o método organizativo. la OCDE (2018) que la describe como un producto o proceso nuevo o mejorado (o una combinación de ellos) que difiere significativamente de los productos o procesos previos de la unidad y que ha sido puesto a disposición de los usuarios potenciales (producto) o puesto en uso por la unidad (proceso).</p>	Desarrollo de conocimientos	asimilación	Sustitutos, conocimiento	
			transferencia	capacitación	
			protección	Patentes	
			Inversión	Apoyos del gobierno	
		Comercialización	Almacenamiento	Durabilidad	
				Desperdicio	
				Demanda	Difusión
				Oferta	Formas de entrega Disponibilidad durante el año? Forma de pago
		Producto	Aceptación	funcionalidad	
				Marcas	
				Presentación	
			Precio	Producto organico	
			valor	Productos amigables con el medio ambiente	
		Eficacia	Efectividad Se adapta a las condiciones locales		
		Proceso	Costo	Costos de producción	
				Apoyos de Gobierno	
			Financiamiento	Control y requisitos	
				Análisis químico	
				tecnología	Análisis del suelo Sensores opticos
		Sostenibilidad	<p>Permite satisfacer las necesidades de la presente generación, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas “(CMMAD, 1987). La sostenibilidad es el grado en el que en una situación se mantendrán los tres tipos de capital (social, ambiental y económico).</p>	Económico	crecimiento
Nuevos mercados (organico)					
Social	equidad			Justo, es obligatorio su empleo	
	Empleos			Genera nuevos empleos	
	Inocuidad			Salud (efecto al aplicarlo)	
Ambiental	Conservación ecológica			Fertilidad del suelo (Regeneración-años-)	
				Contaminación del agua del subsuelo	
				Enfermedades por el uso de agroquímicos.	
				Al cambio climático	
Productividad	<p>“facultad de producir” (Litre); Sumanth define la productividad como la relación existente entre la cantidad producida y los insumos utilizados dentro de un mismo proceso productivo. La Organización para la Cooperación Económica Europea (OCEE) en 1950 definió la productividad como el cociente que se obtiene de dividir</p>			Capital (Activos) K	Aumenta los rendimientos por unidad (ha)
		Trabajo	Especialización Producción		

	la producción final por uno de los factores de producción utilizados en la producción de bienes y servicios.	Recursos naturales	Existen desperdicios	
Rentabilidad	Es el cociente de las ganancias entre los recursos utilizados para obtenerlas. la relación entre los beneficios, (o diferencia entre ingresos y costos, de un periodo determinado, generalmente de un año), y los recursos que se han mantenido invertidos para lograrlo. Clyde P. Stickney P. Y Weil R. (2013) En general la rentabilidad es la medida del rendimiento que en un determinado periodo de tiempo producen los capitales utilizados en el mismo. Morillo M. (2001) considera la rentabilidad como una medida relativa de las utilidades, es la comparación de las utilidades netas obtenidas en la empresa con las ventas (rentabilidad o margen de utilidad neta sobre ventas), con la inversión realizada (rentabilidad económica o del negocio), y con los fondos aportados por sus propietarios (rentabilidad financiera o del propietario).	Rendimiento( \$)	Las utilidades han aumentado con el empleo de biofertilizantes  Han aumentado las ventas	

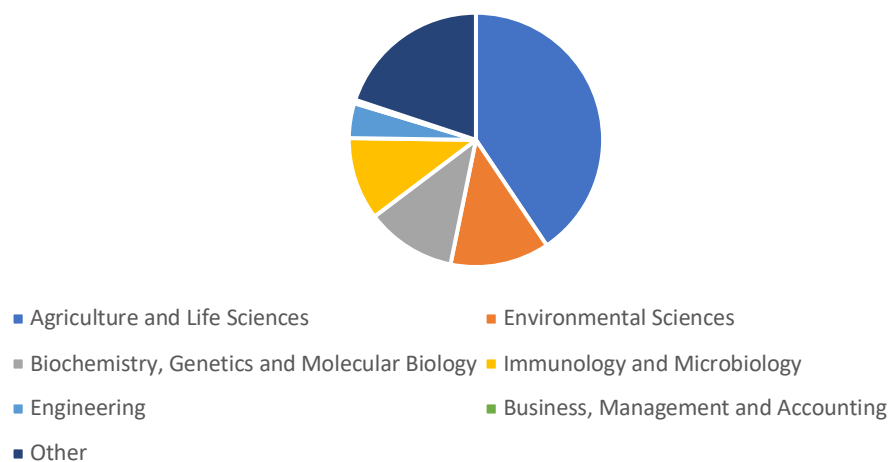
Fuente: Elaboración propia

## Estudio Bibliométrico

Los fertilizantes seguirán siendo importantes, además de otras nuevas tecnologías que puedan surgir (FAO, 2002), aunque contaminen el agua (Cuenca et al., 2007) y el suelo (Rueda, 2007). Una alternativa a la fertilización química y la contaminación que genera es el uso de biofertilizantes en los cultivos, que además son más baratos e inocuos (García, 1997).

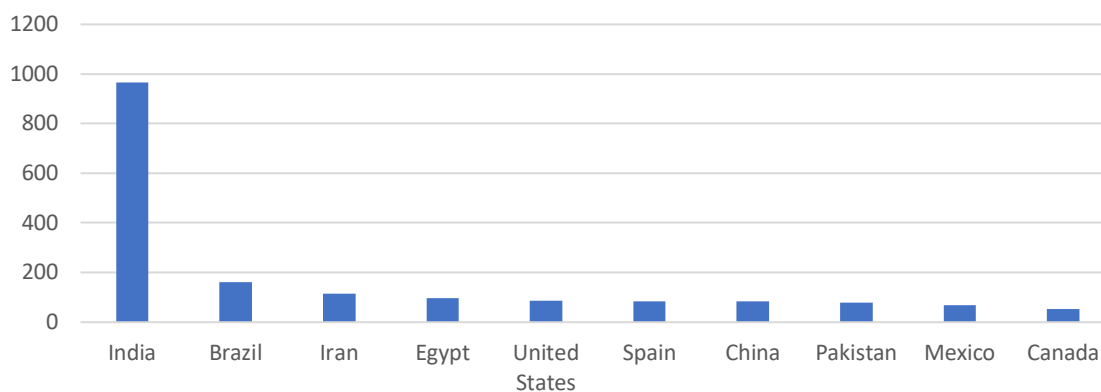
En cuanto a los biofertilizantes a nivel mundial, el número de trabajos sobre el tema de los biofertilizantes ha sido de 1,473 en el área de Ciencias Agrícolas y Biológicas, 458 en Ciencias Ambientales, 417 en Bioquímica, Genética y Biología Molecular, 382 en Inmunología y Microbiología, 161 en Ingeniería y 16 artículos en Negocios, Gestión y Contabilidad desde 1982 hasta 2020 en todo el mundo.

Gráfica 38. Documentos de Biofertilizantes por Área de Conocimiento



Fuente: Elaboración propia con datos de Scopus de 1982 a 2020.

Gráfica 39. Producción de Documentos sobre Biofertilizantes por País de 1982 a 2020

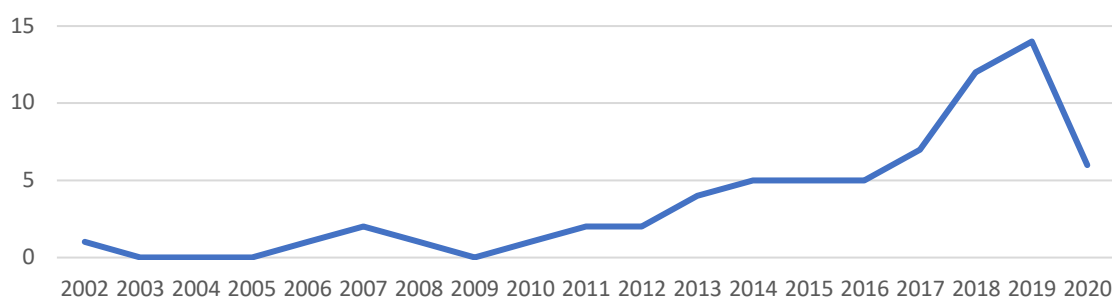


Fuente: elaboración propia con datos de Scopus.

India es el país que más documentos produce en el tema de biofertilizantes a nivel mundial con un total de 965, México, si bien se encuentra entre los diez países con mayor producción en el tema, solo ha producido 68 documentos en 38 años, en diferentes áreas. del conocimiento. Hay un total de 2.212 documentos al 29 de mayo de 2020.

El tema de los biofertilizantes es un tema relativamente nuevo en México, es a partir del 2013 cuando se comienzan a generar documentos sobre el tema, aunque en ese año se produjeron 4 documentos, la producción ha ido aumentando hasta llegar a 14 trabajos sobre el tema en 2019.

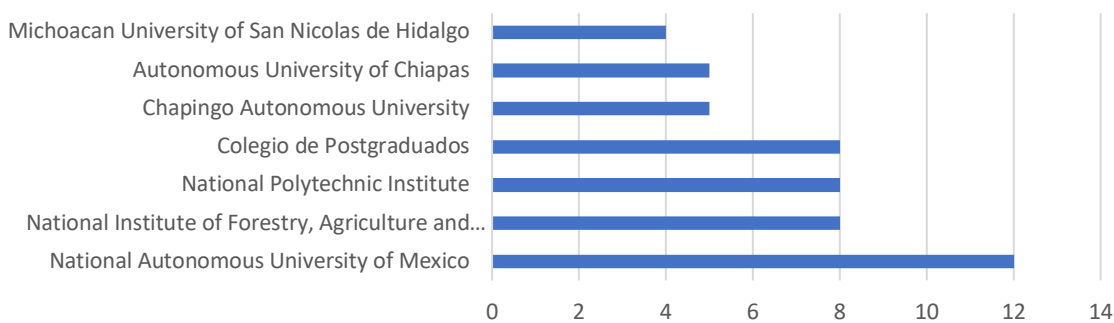
*Gráfica 40.* Documentos sobre Biofertilizantes para el Período 2002-2020



Fuente: elaboración propia con datos de Scopus

Las principales instituciones que elaboran documentos sobre biofertilizantes son las que se pueden ver en el siguiente gráfico. Se puede observar que existe poca producción en el tema de biofertilizantes a nivel nacional, siendo la Universidad Nacional Autónoma de México el mayor generador de trabajos sobre biofertilizantes, y la Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo parece tener 3 documentos al respecto. el tema.

*Gráfica 41.* Principales Instituciones y Universidades en México que Desarrollan Documentos sobre Biofertilizantes

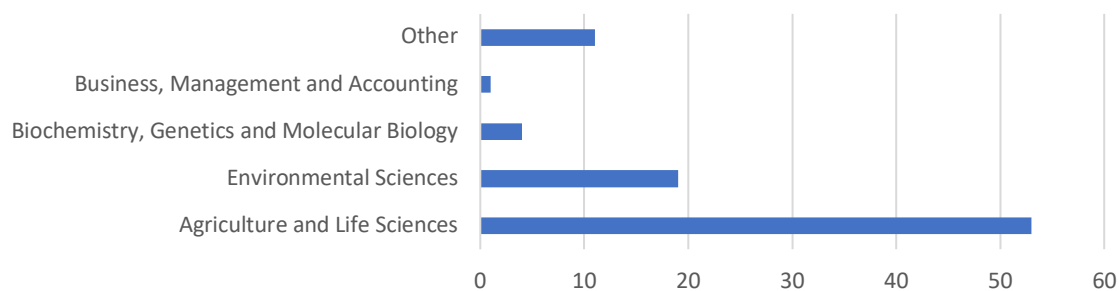


Fuente: Elaboración propia en base a datos de Scopus de 2002 a 2020.

Kharusi y Al Kindi (2018) explicaron que los gobiernos nacionales han reconocido el importante papel que juegan las instituciones de educación superior en la diversificación de su economía a través de la innovación. Las universidades y colegios están desempeñando un papel crucial no solo en su medio tradicional de servir al país (enseñanza, investigación y servicios comunitarios) sino también a través de la innovación. Alvarado-Moreno (2018, p. 5) escribe que “existe evidencia de que los investigadores prefieren dejar la comercialización de sus descubrimientos a otra persona, ya que la mayoría no fueron contratados para involucrarse en actividades de transferencia”. Por estas razones, muchas universidades no patentan sus descubrimientos. Fleith (2018) cree que, aunque los estudios muestran que las universidades y los intermediarios deben incluirse en el proceso de desarrollo de nuevos productos, dicha interacción aún requiere más investigación.

En la gráfica 40, solo se ha publicado un documento relacionado con biofertilizantes en México en el área de negocios, administración y contabilidad a mayo de 2020, lo que demuestra la importancia de generar investigación sobre biofertilizantes más relacionada con datos sobre innovación en la producción. y procesos de comercialización que sean fuente de información científica y veraz a la que recurrir.

Gráfica 42. Trabajos en las Áreas de Conocimiento en México sobre Biofertilizantes de 2002 a 2020



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Scopus.

### Cuestionario Tipo Likert

1. ¿Los apoyos recibidos por el Gobierno para implementar una agricultura sustentable son importantes?
  - a) No son importantes
  - b) Poco importantes
  - c) Algo importantes
  - d) Muy Importantes
  - e) Totalmente importantes
  
2. ¿Realiza algún análisis, ya sea físico, químico o biológico del suelo cuando aplica biofertilizantes?
  - a) Nunca
  - b) Raramente
  - c) Ocasionalmente
  - d) Frecuentemente
  - e) Muy frecuentemente
  
3. ¿Reciben capacitación para la aplicación de los biofertilizantes?
  - a) Nunca
  - b) Raramente
  - c) Ocasionalmente
  - d) Frecuentemente
  - e) Muy frecuentemente
  
4. ¿El empleo de biofertilizantes les ha permitido incursionar en mercado orgánico?
  - a) Nunca
  - b) Raramente
  - c) Algunas veces
  - d) Casi siempre
  - e) Siempre
  
5. ¿Ha estado en algún programa de gobierno donde reciben apoyos por utilizar biofertilizantes?
  - a) Nunca
  - b) Raramente
  - c) Algunas veces
  - d) Casi siempre
  - e) Siempre
  
6. ¿Existen suficientes marcas comerciales de biofertilizantes en el mercado?
  - a) No existen
  - b) Pocas
  - c) Ni muchas ni pocas
  - d) Muchas
  - e) Demasiadas
  
7. ¿El recipiente o contenedor donde reciben los biofertilizantes es el adecuado?
  - a) Totalmente en desacuerdo
  - b) En desacuerdo
  - c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
  - d) De acuerdo
  - e) Totalmente de acuerdo
  
8. ¿Considera que el empleo de biofertilizantes aumenta su rentabilidad?
  - a) Totalmente en desacuerdo
  - b) En desacuerdo
  - c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
  - d) De acuerdo
  - e) Totalmente de acuerdo
  
9. ¿El empleo de biofertilizantes impacta de manera positiva en el medio ambiente?
  - a) Totalmente en desacuerdo
  - b) En desacuerdo
  - c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
  - d) De acuerdo
  - e) Totalmente de acuerdo
  
10. Está satisfecho con los beneficios de aplicar biofertilizantes en sus cultivos
  - a) Muy insatisfecho
  - b) Insatisfecho
  - c) Ni insatisfecho ni satisfecho
  - d) Satisfecho
  - e) Muy satisfecho
  
11. El empleo de biofertilizantes eleva la productividad de sus suelos:
  - a) Totalmente en desacuerdo
  - b) En desacuerdo
  - c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
  - d) De acuerdo
  - e) Totalmente de acuerdo

12. El tiempo de almacenamiento de los biofertilizantes es mejor que el de los fertilizantes convencionales:

- a) Totalmente en desacuerdo
- b) En desacuerdo
- c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo
- e) Totalmente de acuerdo

13. Los biofertilizantes están disponibles en el mercado, en cualquier momento de el año:

- a) Nunca
- b) Raramente
- c) Algunas veces
- d) Casi siempre
- e) Siempre

14. ¿Obtiene un precio justo por ofrecer productos orgánicos?

- a) Nunca
- b) Raramente
- c) Algunas veces
- d) Casi siempre
- e) Siempre

15. Es importante patentar la fabricación de un nuevo biofertilizante

- a) Totalmente en desacuerdo
- b) En desacuerdo
- c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo
- e) Totalmente de acuerdo

16. ¿Cómo es la publicidad o algún tipo de difusión sobre el uso de biofertilizantes?

- a) Pésima
- b) Mala
- c) Regular
- d) Buena
- e) Excelente

17. ¿Han aumentado sus ventas al emplear biofertilizantes?

- a) No han aumentado
- b) Poco
- c) Suficiente
- d) Más que suficiente
- e) Mucho

18. ¿Ha aumentado su empleo de biofertilizantes en comparación con el uso de fertilizantes industriales convencionales?

- a) No han aumentado
- b) Poco
- c) Suficiente
- d) Más que suficiente
- e) Mucho

19. Los biofertilizantes se adaptan bien al tipo de cultivos, suelos y clima:

- a) Totalmente en desacuerdo
- b) En desacuerdo
- c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo
- e) Totalmente de acuerdo

20. Existe poco desperdicio de biofertilizantes debido a su almacenamiento:

- a) Totalmente en desacuerdo
- b) En desacuerdo
- c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo
- e) Totalmente de acuerdo

21. ¿Utiliza algún tipo de tecnología especial al practicar la agricultura orgánica?

- a) Nunca
- b) Raramente
- c) Algunas veces
- d) Casi siempre
- e) Siempre

22. Considera que el precio de los biofertilizantes es bajo comparado con el de los fertilizantes industriales:

- a) Totalmente en desacuerdo
- b) En desacuerdo
- c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo
- e) Totalmente de acuerdo

23. El empleo de biofertilizantes ha generado nuevos empleos en la región

- a) Totalmente en desacuerdo
- b) En desacuerdo.
- c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo
- e) Totalmente de acuerdo

24. Ha disminuido el costo de producción al utilizar biofertilizantes en vez de fertilizantes tradicionales:

- a) Totalmente en desacuerdo    b) En desacuerdo.    c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo    e) Totalmente de acuerdo

25. Los biofertilizantes regeneran la fertilidad de los suelos agrícolas:

- a) Totalmente en desacuerdo    b) En desacuerdo.    c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo    e) Totalmente de acuerdo

26. Los biofertilizantes son mucho menos perjudiciales que los fertilizantes químicos convencionales para la salud de las personas que están en contacto directo con ellos.

- a) Totalmente en desacuerdo    b) En desacuerdo.    c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo    e) Totalmente de acuerdo

27. El empleo de biofertilizantes ayuda a disminuir la contaminación de los mantos freáticos, el agua que se encuentra en el subsuelo.

- a) Totalmente en desacuerdo    b) En desacuerdo.    c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo    e) Totalmente de acuerdo

28. Cada ciclo agrícola aplica más cantidad de fertilizantes por hectárea

- a) Totalmente en desacuerdo    b) En desacuerdo.    c) Ni en desacuerdo ni de acuerdo
- d) De acuerdo    e) Totalmente de acuerdo