

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**Biofertilizantes como alternativa nutricional en agroecosistemas de maíz
(*Zea mays* L.) en México**

Por:

Gamaliel Chino Cecilio

Investigación Descriptiva

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:
INGENIERO EN AGROECOLOGÍA**

Torreón, Coahuila, México

Junio 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Biofertilizantes como alternativa nutricional en agroecosistemas de maíz
(*Zea mays* L.) en México

Por:

Gamaliel Chino Cecilio

Investigación Descriptiva

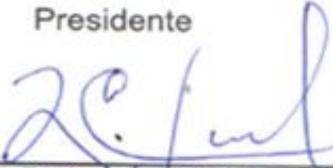
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como
requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

Aprobado por:


M.C. Eduardo Blanco Contreras
Presidente


Dr. Jesús Vásquez Arroyo
Vocal


M. C. Rafael Avila Cisneros
Vocal


Dra. Alejandra Cabrera Rodríguez
Vocal Suplente


Dr. J. Isabel Márquez Mendoza
Coordinador interno de la división de carreras agronómicas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Biofertilizantes como alternativa nutricional en agroecosistemas de maíz
(*Zea mays* L.) en México

Por:

Gamaliel Chino Cecilio

Investigación Descriptiva

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

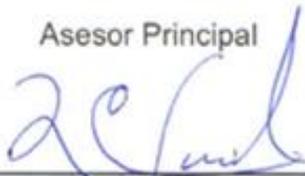
INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

Aprobado por el Comité de asesoría:



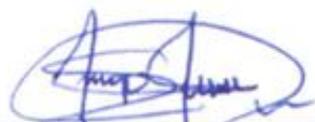
M. C. Eduardo Blanco Contreras

Asesor Principal



M.C. Rafael Avila Cisneros

Coasesor



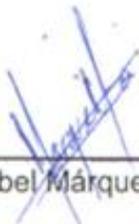
Dr. Jesús Vasquez Arroyo

Coasesor



Dra. Alejandra Cabrera Rodríguez

Coasesor



Dr. J. Isabel Márquez Mendoza

Coordinador de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México

Junio, 2023

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
RESUMEN.....	v
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVOS.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Agricultura actual.....	3
2.1.1. Agricultura convencional.....	3
2.1.2. Agricultura agroecológica.....	4
2.2. Agricultura actual en México.....	7
2.3. Agroecosistema.....	8
2.3.1. Biodiversidad en los agroecosistemas.....	11
2.4. El agroecosistema de maíz.....	12
2.4.1. Valor del maíz nativo (criollo) para la agricultura mexicana.....	13
2.5. El suelo vivo.....	14
2.6. Los nutrientes y sus funciones en las plantas.....	17
2.6.1. Función de los elementos esenciales.....	18
2.7. Fertilización.....	22
2.7.1. Fertilización sintética.....	22
2.7.1.1. Impacto económico.....	23
2.7.1.2. Impacto ambiental.....	23
2.7.1.3. Impacto social.....	24
2.8. Biofertilizantes.....	25
2.8.1. Tipos de biofertilizantes.....	26
2.8.1.1. Fijación de nitrógeno.....	26
2.8.1.2. Solubilización de fósforo y potasio.....	28
2.8.1.3. Movilización de fósforo y potasio.....	30
2.8.1.4. Solubilización y disponibilidad de otros micronutrientes.....	31
2.8.1.5. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.....	34
2.8.1.6. Fitoprotección.....	34
2.9. Microorganismos como biofertilizantes en maíz de México.....	36
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	41

3.1. Búsqueda y rastreo de documentos con relación a la biofertilidad en agroecosistemas de maíz	41
3.2. Análisis y filtración de datos.....	41
3.3. Análisis y filtración de datos sobre de la biodiversidad de microorganismos usados como biofertilizantes en agroecosistemas de maíz.	41
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
4.1. Recuperación de documentos con relación a la biofertilidad	43
4.2. Documentos específicos sobre biofertilidad de maíz en México.....	43
4.3. Diversidad de microorganismos identificados como objeto de investigación en México.....	45
CONCLUSIÓN.....	52
LITERATURA CITADA	53
ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- El papel de la agroecología en el apoyo a las múltiples dimensiones de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	6
Figura 2.- Esquema de clasificación de la biota edáfica según el tamaño corporal.....	15
Figura 3.- En comparación a la agricultura convencional, la agricultura alternativa genera un incremento en la biota del suelo.....	16
Figura 4.- Principales beneficios del uso de biofertilizantes en la agricultura con base en Anuradha & Singh, (2021); Pradhan et al., (2021).	26
Figura 5.- Número de documentos por año relacionados con la biofertilidad en maíz en México del periodo 2004-2022.....	44
Figura 6.- Cantidad de géneros de microorganismos estudiados como biofertilizantes en cultivos de maíz en México.....	48
Figura 7.- Gráfica representativa de las investigaciones según el género de microorganismo (bacterias) estudiado como biofertilizante en cultivos de maíz en México.....	49
Figura 8.- Grafica representativa de las investigaciones según el género de microorganismos (hongos) estudiados como biofertilizantes en cultivos de maíz en México.....	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.-El agroecosistema y sus dimensiones de diversidad.....	11
Cuadro 2.- Esenciales elementos para las plantas.	18
Cuadro 3.- Ejemplo de géneros de microbios utilizados como biofertilizantes en función del modo de acción.....	35
Cuadro 4.- Documentos con relación a la biofertilidad.	43
Cuadro 5.- Documentos específicos recuperados.....	43
Cuadro 6.- Biodiversidad de microorganismos usados como objeto de investigación en maíz en México.	45
Cuadro 7.- Ejemplo de diversidad de microorganismos utilizados como biofertilizantes en cultivos de maíz en México.	45

RESUMEN

Un mayor crecimiento de la población dará lugar a un aumento sustancial de la demanda de alimentos; la producción de alimentos actualmente contribuye a impactos ambientales. El uso de fertilizantes sintéticos aumentó la producción de los cultivos más importantes, no obstante, deben tenerse en cuenta las desventajas asociadas con el uso irregular de estos compuestos. Su uso excesivo provoca cambios en el medio ambiente y la salud humana, por lo tanto, hoy en día se promueve activamente el uso de biofertilizantes en agroecosistemas de maíz como alternativa nutricional agroecológica. El presente estudio, tuvo como objetivo determinar los microorganismos utilizados como biofertilizantes en cultivos de maíz en México, mediante el análisis bibliométrico de investigaciones científicas en el país. Se utilizó el motor de búsqueda Google académico, así como bases de datos: Redalyc, Scielo y Springer Link, para el rastreo y obtención de documentos relacionados con biofertilizantes como alternativa nutricional en agroecosistemas de maíz en México. Se elaboró una base de datos en Microsoft Excel conformada por los siguientes campos: tipo de microorganismo (bacterias y hongos), número de géneros, número de especies y documentos publicados. A partir de los 44 documentos recuperados, se logró identificar los microorganismos con relación a la biofertilidad de maíz en México; con una diversidad de 28 géneros y 67 especies. Al respecto, las bacterias tuvieron mayor número de investigaciones en cuanto a géneros que los hongos, y en su mayoría fueron empleados en consorcio. Los géneros bacterianos que mayor destacaron fueron: *Azospirillum*, *Bacillus* y *Pseudomonas*, mientras que, en los hongos fueron, *Glomus* y *Acaulospora*, esto debido a que proporcionan y facilitan la asimilación de los nutrientes, nitrógeno, fósforo y potasio, los cuales son relevantes en los agroecosistemas de maíz dada a la alta demanda de dichos cultivos.

Palabras Clave: Biofertilizantes, Microorganismos, Promotores del crecimiento, Agroecosistema, Biodiversidad

I. INTRODUCCIÓN

La población mundial se estimó para mediados de noviembre de 2022 en 8, 000 millones de personas, para el 2050 se estima que será de aproximadamente 9, 700 millones y podría alcanzar un máximo de alrededor de 10.400 mil millones a mediados de 2080 (ONU, 2021b). En consecuencia, un mayor crecimiento de la población dará lugar a un aumento sustancial de la demanda de alimentos; la producción de alimentos actualmente contribuye a impactos ambientales (ONU, 2021a). Impactos que surgieron a partir de las malas prácticas de la “revolución verde” que trajo consigo paquetes tecnológicos con el objetivo de aumentar la producción de alimentos para combatir el hambre.

Los paquetes tecnológicos se utilizaron especialmente para monocultivos de cereales como el maíz y el trigo, y se implementaron varios elementos técnicos clave, para hacer aceptable la idea: 1) usar variedades mejoradas, 2) usar pesticidas y herbicidas, 3) implementar el riego de las parcelas y 4) agregar una gran cantidad de fertilizante. Por otra parte, los fertilizantes aumentaron la producción de los cultivos más importantes. No obstante, deben tenerse en cuenta las desventajas asociadas con el uso irregular de estos compuestos (Pazos-Rojas *et al.*, 2016). En particular, los fertilizantes inorgánicos son importantes para la nutrición de las plantas, pero su uso excesivo provoca cambios en el medio ambiente y la salud humana (Farfán & Perales, 2021). Además, debido a los cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo, también afecta a los organismos que residen en la rizosfera (Ortiz *et al.*, 2020), así mismo, propicia la erosión y degradación del suelo.

Por otro lado, en México los fertilizantes inorgánicos y su uso, se hicieron muy comunes en cultivos de maíz ya que demanda grandes cantidades de nitrógeno, además, que es el cultivo base fundamental de la alimentación mexicana. Pero, las maneras de producción con el abuso de fertilizantes no son las adecuadas, por lo que genera impactos ambientales, ya mencionados anteriormente (Aguilar

et al., 2022). Por esta razón, desde el punto de vista ambiental, se buscan posibilidades para reducir el impacto en el medio ambiente sobre todo por prácticas agrícolas inapropiadas (Albarracín-Zaidiza *et al.*, 2019). Por lo tanto, hoy en día se promueve activamente el uso de biofertilizantes en agroecosistemas de maíz como alternativa nutricional agroecológica. La incorporación de biofertilizantes a nuestros agroecosistemas nos ayuda a mantener el equilibrio ecológico en el suelo, mejorar el crecimiento de los cultivos gracias a la mayor disponibilidad de nutrientes y potencia la producción agrícola sostenible (Anuradha & Singh, 2021; Pradhan *et al.*, 2021). Los biofertilizantes, llamados también inoculantes microbianos, son productos orgánicos que contienen microorganismos. Se ha comprobado que optimizan el crecimiento y rendimiento de los vegetales en un 10-40% (Nosheen *et al.*, 2021). Estos son aplicados al suelo y/o planta con el fin de proporcionar los nutrientes necesarios y, por ende, sustituir a corto, mediano o largo plazo la fertilización inorgánica. El presente estudio, tiene como objetivo determinar los microorganismos utilizados como biofertilizantes en cultivos de maíz en México, mediante el análisis bibliométrico de investigaciones científicas en el país.

1.1. OBJETIVOS

Determinar los microorganismos utilizados como biofertilizantes que pueden aumentar la productividad en los agroecosistemas de maíz en México.

Ayudar a comprender la importancia de los biofertilizantes en el campo agrícola y a superar los problemas asociados al uso inadecuado de fertilizantes sintéticos.

I. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Agricultura actual

La mayor demanda de producción de alimentos en el ámbito mundial se ha creado por el incremento de la población, por lo cual uno de los sectores más representativos es la agricultura, al tiempo que la generación de diferentes productos agrícolas proporciona equilibrio al sistema económico dado su aporte al PIB mundial (Beltrán-Pineda & Bernal-Figueroa, 2022).

Para alimentar una población en crecimiento constante frente a la limitación de tierras agrícolas y el uso insostenible de los recursos naturales, las soluciones tecnológicas hoy en días son indispensables, una de ellas es la mecanización motorizada. Recientemente, para informar a los productores, se está empezando a utilizar dispositivos no incorporados que, por medio de sensores, cámaras de alta resolución y diversas aplicaciones el productor puede saber el estado de su cultivo. No obstante, los mayores obstáculos para la introducción de esta tecnología en las zonas rurales siguen siendo, la alfabetización digital, falta adaptabilidad de tecnologías a los pequeños productores y el costo elevado de esta tecnología (FAO, 2022).

2.1.1. Agricultura convencional

El crecimiento de la población mundial, y por consiguiente el aumento de la demanda de alimentos, provocó el inicio de la revolución verde hace unos 50 años, con la única prioridad de aumentar por todos los medios, la disponibilidad de alimentos a cualquier precio, desde entonces, el mundo ha experimentado cambios significativos en la tecnología agrícola y ciertamente un aumento en la producción (Brechtel, 2004). Pero también fue cuando comienzan a aparecer efectos negativos indeseables.

La agricultura convencional se centra en grandes áreas de monocultivo que dependen del uso indiscriminado de productos químicos, combustibles fósiles y capital; además, son más susceptibles a plagas y enfermedades, tienen rendimientos más bajos que los sistemas de agricultura orgánica y diversificada. Conjuntamente, nos dieron falsas ideas y al borrar el mundo de saberes que brindaron nutrientes y medios de subsistencia a los suelos y las sociedades ancestrales, asentando los fundamentos de la desnutrición ecológica, que conlleva al hambre y la pobreza en todo el mundo (Shiva, 2020).

Para la agricultura convencional, la producción de alimentos se convirtió en un producto del que la gente especula y del que obtiene beneficios económicos y no en una fuente de nutrientes, además los agricultores se ven obligados a depender de costosas compras de semillas y productos químicos, y muchos de ellos endeudados por los altos costos de producción (Shiva, 2020), como por ejemplo el uso de fertilizantes inorgánicos que se ha convertido en uno de los insumos más costosos por su elevado costo de fabricación (FAO, 2022).

2.1.2. Agricultura agroecológica

Es un modelo productivo desarrollado para estar en equilibrio con la naturaleza reduciendo el impacto en el medioambiente, desde el fortalecimiento de la agrobiodiversidad y el usufructo de sus servicios ecosistémicos, prácticas implementadas como el intercalado y rotación de cultivos, el diseño de sistemas mixtos pecuarios y agrícolas, y la sustitución de insumos externos por insumos internos desarrollados naturalmente (Landini & Beramendi, 2020). Este tipo de agricultura se basa de las fuentes de conocimientos de la agricultura campesina-indígena prevalente, donde aún cultivan variedades nativas con tecnología ancestral, que muestra la existencia de una estrategia agrícola exitosa y en donde su forma pura ofrece un modelo ecológico (Altieri & Nicholls, 2010).

El modelo de desarrollo sustentable es ciertamente el resultado de la necesidad humana de sobrevivir en la tierra, sin embargo, cualquier viabilidad futura está ligada a lo que se pueda hacer en el presente. En este caso, es importante evitar el desperdicio y fomentar el ahorro de recursos, no obstante, los métodos inadecuados destruyen, perturban los ecosistemas y agroecosistemas de forma variada, (algunos directamente y otros indirectamente), creando desequilibrios que se manifiestan de diferentes maneras (López, 2000). Por ende, se buscan alternativas en la agricultura como lo es la agroecología, que tiene su origen en diferentes líneas de pensamiento que la sociedad reconoce a partir de la agricultura tradicional y el uso orgánico de la tierra, considera la interrelación de la vida y los procesos complejos que ocurren en la naturaleza (Shiva, 2020). La agroecología no es solo una ciencia de investigación especulativa, si no también, busca el cambio a través de la creación de sistemas agrícolas sostenibles (De Marchi *et al.*, 2022).

El conocimiento de la agroecología, validado a través de años de práctica y desarrollado en diferentes sistemas y culturas, ahora está siendo respaldado por los últimos descubrimientos de las ciencias modernas de la tierra, los últimos avances en epigenética, interacciones entre genes y medio ambiente y nuevos conocimientos de los servicios ambientales que nos brinda la biodiversidad y los ecosistemas (Shiva, 2020). Los sistemas productivos basados en los principios de la agroecología cuentan con biodiversidad, resiliencia, eficiencia energética y justicia social, constituyen la base de estrategias energéticas y productivas estrechamente ligadas a la soberanía alimentaria (Altieri & Toledo, 2011). La agroecología apoya a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en sus diversas dimensiones ambientales, sociales y económicas (Figura 1).

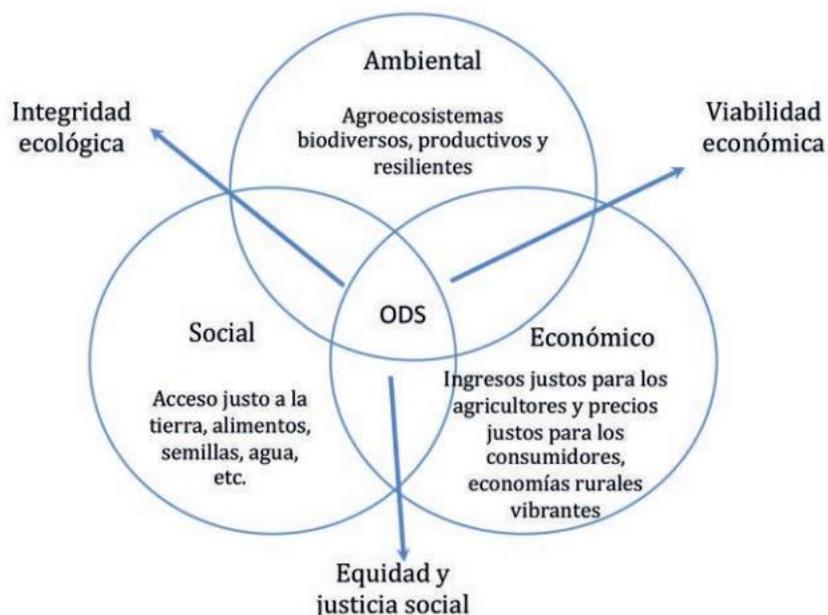


Figura 1.- El papel de la agroecología en el apoyo a las múltiples dimensiones de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Nicholls & Altieri, 2021).

En base a esto, la agroecología está presente en las producciones pequeñas de alimentos por su tipo de manejo, ya que tienen sistemas diversos los cuales proporcionan nutrientes al suelo, a los animales y a los seres vivos. Este tipo de producción son los que verdaderamente alimentan al mundo, ya que solo un 30% del alimento que consume la gente son provenientes de grandes explotaciones agrícolas convencionales, mientras que el 70% restante, son provenientes de explotaciones pequeñas en las que el granjero cultiva una porción de tierra pequeña con diversidad de especies (Shiva, 2020). Es decir, en una área definida, los policultivos dan mayor rendimiento que los monocultivos (Altieri & Nicholls, 2010).

De tal forma que, la agroecología estudia los agroecosistemas centrándose en los principios ecológicos, las estructuras culturales, la dinámica socioeconómica y la singularidad del sitio, ofreciendo una perspectiva multidimensional no solo sobre los agroecosistemas, sino también, sobre cuestiones de producción de alimentos, agricultura en diferentes contextos, medio ambiente, gestión de

recursos, y conocimiento cultural común para desarrollar mejores sistemas desde la granja hasta el sistema alimentario global (De Marchi *et al.*, 2022).

2.2. Agricultura actual en México

En México las variedades de alto rendimiento y las prácticas agrícolas intensivas de la era de la Revolución Verde fueron adquiridas casi en su totalidad por grandes agricultores comerciales, a diferencia de los pequeños agricultores, las poblaciones rurales no tienen esas oportunidades, lo que contribuye a la polarización económica y la desvalorización de la práctica tradicional y del medio rural (Chávez-Díaz *et al.*, 2020). Pero, las formas de producción convencional no están siendo suficientes para la producción de alimento pese a la demanda de una población que está en creciente ascenso.

Además, el uso excesivo de fertilizantes sintéticos tiene un impacto negativo sobre el medio ambiente, amenazando la salud de productores, consumidores, rendimiento de los cultivos, diversidad genética y biológica (Chávez-Díaz *et al.*, 2020).

A pesar de todo esto, la tecnología agrícola tradicional se sigue empleando en México, además, por su riqueza étnica y desarrollo cultural, nuestro país se destaca como uno de los centros de origen de la agricultura. Sin embargo, debido a los diversos aspectos negativos del actual proceso de aculturación en muchas comunidades rurales, su base moral y experiencial se encuentra seriamente amenazada, por lo que es importante registrar, comprender y comparar los criterios para este tipo de agricultura (Cuevas-Coeto *et al.*, 2019).

Por otro lado, a partir de 2021 las iniciativas en beneficio de la agroecología, con base en las propuestas del gobierno sobre agricultura sostenible, han sido impulsadas por diferentes programas de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y de la Secretaría del Bienestar en México. El sector

gubernamental ha adquirido un discurso agroecológico ("asistencia técnica", "ecología agrícola", "origen local" e incluso "transformación agroecológica") a través de programas de apoyo agroalimentario como Sembrando Vida y Producción para el Bienestar , con el fin de fortalecer la economía familiar, combatir la degradación ambiental y restaurar la estructura social (Hernández & Moreno, 2022). En este sentido, el programa de Producción para el Bienestar se enfoca en el apoyo a la producción agrícola, principalmente para agroecosistemas de maíz, también llamados milpa. Donde, la gran diversidad y riqueza de este agroecosistema, representan un invaluable patrimonio cultural, económico, social y ecológico (Hernández & Reséndiz, 2022).

2.3. Agroecosistema

Un agroecosistema es un sistema ecológico, conjunto de elementos interrelacionados para lograr un propósito particular, relacionado con variables socioeconómicas. Su propósito es la producción de bienes y servicios de importancia económica para las personas, así las partes biológicas de los agroecosistemas y ecosistemas se pueden dividir según su función en productores, consumidores y descomponedores (Sarandón, 2014). Se debe recordar que los elementos físicos están dados por la posición territorial donde el ecosistema o agroecosistema se establece.

Elementos biológicos; a manera de ejemplo se describen estos grandes grupos de elementos bióticos que encontraremos en los agroecosistemas:

Productores (autótrofos), su función es convertir y almacenar energía luminosa en energía química a través de la fotosíntesis, son la base de la cadena alimentaria y de la biodiversidad que el sistema puede sustentar, por ejemplo: árboles, arbustos, plantas agrícolas, vegetación espontánea (Paleologos *et al.*, 2017).

Consumidores (heterótrofos), están en el segundo nivel de la cadena alimentaria y requieren de productores para sobrevivir porque no pueden procesar la energía de la luz, por lo que a los herbívoros también se les llama consumidores primarios, aquí encontramos insectos plaga, otros animales domésticos y elementos salvajes (ovejas, cerdos, vacas, pájaros, liebres, etc.), los comedores de animales por otra parte, son consumidores secundarios o depredadores, aquí tenemos a los enemigos naturales (depredadores y plagas parasitarias) y otros animales (fieras, aves que cazan, etc.), (Paleologos *et al.*, 2017).

Descomponedores (heterótrofos), se alimentan de desechos, heces de animales o tejidos muertos (plantas o cadáveres) y participan en el procesamiento de materia orgánica y nutrientes. Este grupo incluye muchos microorganismos, por lo que podemos encontrar entre ellos una micro, meso y macrofauna (Paleologos *et al.*, 2017).

Además, tanto en los ecosistemas naturales como en los agroecosistemas, se pueden distinguir cinco procesos principales: fotosíntesis, respiración, flujo de nutrientes (ciclos biogeoquímicos), sucesión, procesos internos de regulación (ciclos reproductivos, fases fenológicas, asignación de recursos), (Sarandón, 2014).

Por otra parte, los agroecosistemas suelen ser más difíciles de estudiar que los ecosistemas naturales, porque la intervención humana ha alterado su estructura y funciones normales (Bover-Felices *et al.*, 2020). En base a esto, abordar la gestión sustentable de los agroecosistemas, es importante utilizar un enfoque holístico como una poderosa herramienta de manejo (Sarandón, 2014). Ya que la estructura y función de un agroecosistema puede ser muy simple o muy compleja dependiendo del número y tipo de componentes y su disposición (Bover-Felices *et al.*, 2020).

A partir de la influencia de la sociedad humana dependen las partes presentes en un agroecosistema, ya que las comunidades han aprendido, usar y transferir los saberes en relación con la biodiversidad local del agroecosistema y la forma en que puede ser aprovechada. Lo cual incluye desde medicina, vestimenta, prácticas de agricultura, crianza de animales (Stupino *et al.*, 2014), alimento y fibra, que tienen un gran impacto en la calidad ambiental y en nuestras vidas (Sarandón, 2014). De esta manera, los agroecosistemas de maíz que caracterizan la agricultura campesina, han surgido a lo largo de siglos de evolución biológica y cultural y, a menudo, se consideran sostenibles en términos ambientales, sociales y económicos, debido a la aplicación de principios agroecológicos (Cabrera *et al.*, 2019).

En cuanto a dichos principios se destacan los siguientes, desde la base agroecológica, (Gliessman, 1998: Modificado por: Casimiro, 2016):

- Reciclaje de nutrientes y materia orgánica, optimización de la disponibilidad y balances del flujo de nutrientes.
- Diversificación vegetal y animal a nivel de especies o genética en tiempo y en espacio.
- Optimización del flujo de nutrientes y agua.
- Provisión de condiciones edáficas óptimas para el crecimiento de cultivos, manejando materia orgánica y estimulando la biología del suelo.
- Minimización de pérdidas por insectos, patógenos y malezas mediante medidas preventivas y estímulo de fauna benéfica, antagonistas, alelopatía, etc.
- Explotación de sinergias que emergen de interacciones planta-planta, plantas-animales y animales-animales.
- Viabilidad económica.
- Justicia social.

2.3.1. Biodiversidad en los agroecosistemas

La biodiversidad forma la base para la vida en la Tierra y la sustentabilidad en los agroecosistemas, además de ser una fuente genética, proporciona una serie de servicios ecológicos que, entre otras cosas, pueden reducir la utilización de insumos externos. Debido a esta complejidad, la biodiversidad puede caracterizarse mediante dimensiones (Cuadro 1), estos parámetros permiten el análisis de la diversidad de forma desagregada, teniendo en cuenta los aspectos composicionales, estructurales y funcionales del sistema, incluidos los cambios eventuales (Stupino *et al.*, 2014).

Cuadro 1.- El agroecosistema y sus dimensiones de diversidad (Stupino *et al.*, 2014).

Dimensión	Descripción
Genética	Grado de variabilidad de información genética en el sistema (intra e Inter específica): variedades, etc.
Específica	Número de especies en el sistema.
Vertical	Número de estratos o niveles en el sistema.
Horizontal	Patrones de distribución espacial de los organismos y/o cultivos.
Estructural	Número de hábitats, nichos, papeles tróficos determinantes de la organización del sistema.
Temporal	Grado de heterogeneidad en el tiempo: rotaciones, sucesiones de cultivos.
Funcional	Complejidad de interacciones, flujo de energía y reciclaje de materia entre los componentes del sistema.

Los agricultores son administradores de la agrobiodiversidad a través de la planificación de cultivos, la selección de variedades y razas de ganado, el control de condiciones adversas y otras prácticas culturales aplicadas (Stupino *et al.*, 2014). Esto incluyendo a la biodiversidad de microorganismos que residen en el

suelo, los cuales se hallan naturalmente y forman diversos grupos (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012).

2.4. El agroecosistema de maíz

Las diferentes tecnologías que se emplean en el proceso de producción del agroecosistema de maíz, lo hacen muy diverso ya que puede ser desde la forma convencional, tradicional, conservación, subsistencia, agroecológica, etc.,(Martínez, 2020). Sin embargo, el más conocido y antiguo es el agroecosistema maíz mesoamericano, conformado principalmente por maíz, frijol y calabaza, y, algunas veces también incluyendo haba o tomate de cáscara, etc., y este ha proveído, históricamente, un aprovisionamiento comunal, duradero, de cultivos y especies locales, silvestres, toleradas y fomentadas. Para las sociedades mesoamericanas la gran diversidad y riqueza de este agroecosistema representan un invaluable patrimonio cultural, económico, social y ecológico (Hernández & Reséndiz, 2022).

Por ejemplo, en México los cultivos mixtos llamados “milpa”, donde, se cultiva maíz, frijol y calabaza, las leguminosas proporcionan nitrógeno en cereales como el maíz o el mijo, estos por su parte apoyan como soporte a las leguminosas, mientras que por otro lado las calabazas o calabacines provee de cobertura al suelo y previene la erosión, la evaporación y manifestación de arvenses (Altieri & Nicholls, 2010; Shiva, 2020). Esta estrategia campesina de minimizar el riesgo cultivando una variedad de cultivos, estabiliza los rendimientos a largo plazo, promueve la diversidad dietética y maximiza los retornos con tecnología de niveles bajos y recursos limitados (Altieri & Nicholls, 2010). Dado a esto, la agroecología y sus diversas prácticas dan una gran importancia a mantener activa la microbiología del suelo para mantener un buen equilibrio en el agroecosistema.

La fertilidad del suelo es un punto clave dentro de las prácticas agrícolas de un agroecosistema, para que los cultivos desarrollen ciclo tras ciclo una mayor productividad de buena calidad. Ya que en el suelo se encuentran hongos y bacterias benéficas de forma natural que se asocian con raíces de cultivos del agroecosistema, y así, proporcionarles los nutrientes necesarios como, fósforo, nitrógeno, zinc, cobre, níquel, azufre, molibdeno, boro, hierro (Alvarado, 2015).

2.4.1. Valor del maíz nativo (criollo) para la agricultura mexicana

En México el agroecosistema maíz es el más importante, ya que este brinda alimento básico para la dieta mexicana y es uno de los ingresos fundamentales para la familia del agricultor. Por su fácil adaptabilidad a las diversas condiciones climáticas el maíz ocupa el tercer lugar a nivel mundial sólo después del trigo y el arroz (Martínez, 2020). México es considerado como centro de origen y diversidad de más de 60 variedades autóctonas de maíz que han sido fuente de alimento a lo largo de la historia (Guerrero-Meléndez *et al.*, 2021), el maíz garantiza la seguridad alimentaria de millones de familias rurales por lo cual es un cultivo extremadamente importante (Cabrera *et al.*, 2019).

Los productores campesinos en México, han manejado esas 60 variedades autóctonas y sus propiedades multirraciales para crecer en altitudes de 0 a 3 000 m sobre el nivel del mar, desde condiciones palúdicas y de drenaje deficientes hasta áreas con buen drenaje, que van desde muy húmedas hasta áridas y condiciones de suelos semiáridos, desde un período de crecimiento corto hasta 365 días en los trópicos; desde suelos súper ácidos a súper alcalinos, profundo a superficial, plano a empinado, eficiente a degradante. En México los 68 grupos étnicos cultivan variedades locales adaptadas a la agricultura y con mejor calidad de grano para cada variedad de propósitos, que va desde la alimentación animal con maíz amarillo hasta la alimentación humana con el maíz blanco, en donde, estos grupos étnicos han contribuido al inventar el proceso de nixtamalización

para mejorar la calidad del maíz y el valor nutricional para el consumo humano (Turrent *et al.*, 2010). Sin embargo, también existen maíces de otros colores que se usan habitualmente para la elaboración de distintos antojitos (Aguilar, 2020), se elaboran más de 600 platillos y más de 300 tipos de tamales, existe una estrecha relación entre la variedad de maíz y la forma en que se cocina (Turrent *et al.*, 2010).

Las variedades autóctonas de maíz constituyen una parte importante del agroecosistema de maíz en México, porque son irremplazables por el material genético moderno, tanto por su capacidad de adaptarse a condiciones marginales como por su contribución única a la dieta multicultural del país (Turrent *et al.*, 2010). Además, que el manejo libre de semillas de maíz es el capital de los agricultores mexicanos y el principal producto agrícola del país, pero estas variedades de maíz ahora están sujetas a la presencia de maíz genéticamente modificado, si se introducen semillas de maíz genéticamente modificado a campo abierto se corre el riesgo de no tener zonas de siembra de maíz libre de transgénicos, por lo cual su conservación es primordial para el pueblo mexicano (Guerrero-Meléndez *et al.*, 2021).

2.5. El suelo vivo

Los sistemas agrícolas de todo el mundo están perdiendo 24 000 millones de toneladas de suelo fértil cada año, el monocultivo con aditivos químicos hace que el suelo sea más susceptible a la sequía y, por lo tanto, contribuye a la inseguridad alimentaria (Shiva, 2020). Esto está fuertemente influenciado por prácticas agrícolas intensivas no sostenibles y condiciones climáticas que alteran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2021). Por ende, la biota y la microbiota del suelo son factores clave que responden rápidamente a cualquier cambio ya sea por enmiendas o agroquímicos introducidos en el sistema del suelo (Mandal *et al.*, 2020).

El suelo es el hábitat de millones de organismos que ejercen un papel vital en la degradación biológica de sustancias químicas nocivas y contaminantes liberados por las actividades humanas (Mandal *et al.*, 2020), que forman una red compleja que aumenta el rendimiento de los cultivos, el mantenimiento y la renovación de la fertilidad del suelo, y toda la producción de alimentos está respaldada por esta red (Shiva, 2020). En consecuencia, los organismos del suelo son ampliamente reconocidos como indicadores biológicos de la salud del suelo (Mandal *et al.*, 2020). Para estudiar al suelo complejo, se dividió la biota por tamaño corporal en tres grandes grupos: a) microfauna (bacterias, archaea, hongos, nematodos y protozoa) conforma organismos de 1 a 120 μm , b) mesofauna (ácaro, entre otros) de 80 μm a 2 mm, y c) macrofauna (lombrices, hormigas y termitas) de 2 mm a 20 mm (Orduz *et al.*, 2021), como se puede observar a continuación.

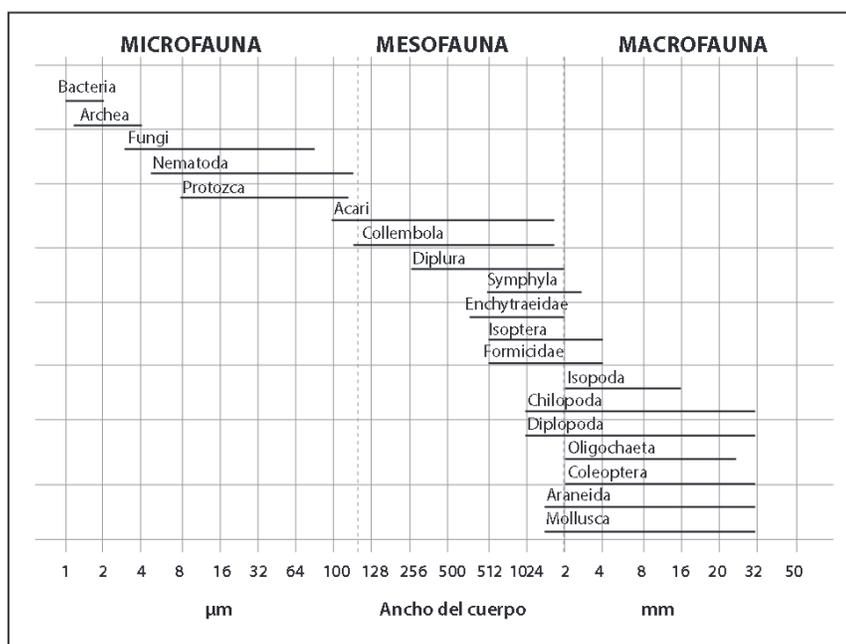


Figura 2.- Esquema de clasificación de la biota edáfica según el tamaño corporal (Orduz *et al.*, 2021).

Por otra parte, el objetivo principal del uso de insumos agrícolas externos es aumentar el rendimiento de los cultivos y los beneficios económicos, ignorando en la mayoría de los casos los efectos secundarios sobre los organismos benéficos del suelo, el uso excesivo de agroquímicos en la agricultura reduce la biodiversidad del suelo (Mandal *et al.*, 2020). Se ha demostrado que el uso intensivo de productos químicos en forma de fertilizantes sintéticos es una de las principales causas del mal estado del suelo. Por lo contrario, si hacemos uso de la agroecología o agricultura orgánica la situación es diferente en aspectos sobre la salud del suelo, teniendo una mejora en su estado por la gran abundancia de micro y macro organismo, por lo tanto a más fauna conlleva lleva a más procesos (Camilo *et al.*, 2022), como puede observarse a continuación.

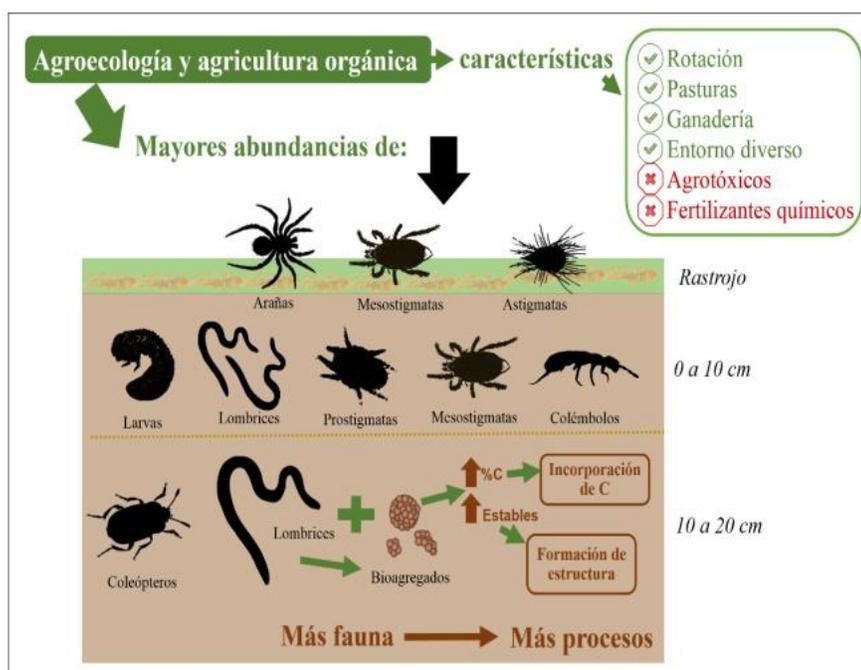


Figura 3. En comparación a la agricultura convencional, la agricultura alternativa genera un incremento en la biota del suelo (Camilo *et al.*, 2022).

Los procesos importantes del suelo, como la mineralización, la nitrificación y el reciclaje de fósforo, requiere directamente de la presencia de diferentes grupos

de organismos en el suelo, por lo tanto, la evaluación de la microbioma del suelo puede considerarse una herramienta potencial para recopilar información importante para una visión sobre el estado y la función del suelo (Mandal *et al.*, 2020). De esta manera, se considera a la salud del suelo, esencial para la abundancia humana y, desde este punto de vista, el propósito de los fertilizantes no debe demarcar en solo aumentar el rendimiento y fertilizar los cultivos, sino también en poder nutrir el sustrato vivo (Shiva, 2020).

2.6. Los nutrientes y sus funciones en las plantas

La nutrición se puede definir como el aprovisionamiento y absorción de compuestos químicos fundamentales para el crecimiento y el metabolismo de un organismo (Mengel & Kirkby, 2000). En base a esto, cada cultivo tiene un rango óptimo para cada nutriente, por lo cual, es importante comprender las demandas nutricionales de los cultivos (Navarro, 2021). Son un conjunto de nutrientes esenciales junto con el agua los que desempeñan importantes procesos vitales en las plantas, necesarios para formar carbohidratos complejos, aminoácidos, proteínas y tejidos vegetales (Gliessman & Engles, 2015).

Los principales nutrientes que necesitan las plantas superiores son de naturaleza inorgánica. Esta necesidad nutricional única de las plantas superiores las distingue esencialmente de los humanos, los animales y la multitud de microorganismos que requieren compuestos orgánicos. Los elementos nutricionales pueden dividirse en macronutrientes (en mayor cantidad) y micronutrientes (menor cantidad), (Mengel & Kirkby, 2000). Estos elementos se pueden observar a continuación.

Cuadro 2. Esenciales elementos para las plantas (Gourcy, s. f.).

Beneficiadas	Cantidades	Fuente	Elemento nutricional
Todas las plantas	Relativamente grandes	Extraído por lo general del aire, en forma de CO ₂ , o del agua del suelo (no minerales)	Carbono Hidrógeno Oxígeno
		De los sólidos del suelo (minerales)	Nitrógeno Fósforo Potasio Calcio Magnesio Azufre
	Pequeñas		Hierro Manganeso Boro Molibdeno Cobre Zinc Cloro
Para algunas	Pequeñas		Silicio Cobalto

2.6.1. Función de los elementos esenciales

Carbono (C), Oxígeno (O) e Hidrógeno (H): la función del carbono es construir moléculas orgánicas carbonadas en forma de triosa-fosfato formado durante la fotosíntesis, se convierten en azúcares simples que sirven como fuente de energía o se transforman en polímeros más complejos para utilizar como reserva de energía o como molécula estructural, como en el caso de paredes celulares (Hernández-Bernal *et al.*, 2022). Esta asimilación del C va acompañada con la del O, se metaboliza principalmente como componentes de grupos carboxílicos, mientras que el H se absorbe como agua de las soluciones del suelo o en condiciones húmedas directamente de la atmósfera y es esencial en los procesos

oxido-reducción, forma parte de la materia orgánica, pero de igual manera participa en los procesos inorgánicos (Mengel & Kirkby, 2000).

Nitrógeno N: de todos los nutrientes, el nitrógeno se observa en mayor cantidad, es el principal constituyente de la proteína, forma aminoácidos que se combinan para formar proteínas, es importante y esencial para los órganos de la planta porque es lo que favorece al desarrollo (Añasco & Picado, 2004).

Fósforo P: es un componente primordial de los ácidos nucleicos, las nucleoproteínas, la fitina, los fosfolípidos, el ATP y varios tipos de compuestos fosforilados, incluidos algunos azúcares (Gliessman & Engles, 2015). Ayuda a aumentar el rendimiento y mejorar la calidad del producto (estimulando el desarrollo de raíces, semillas y frutos); fortalece las plantas contra los efectos de la sequía y el frío, manteniendo la energía en ellas (Añasco & Picado, 2004).

Potasio K: necesario para la absorción de otros nutrientes, su principal función es proveer un entorno iónico apropiado para los procesos metabólicos que ocurren en el contenido líquido de las células vegetales (Gliessman & Engles, 2015). Ayuda a formar azúcares y proteínas, controla la absorción de la planta y la pérdida de agua, ya que regula el cierre y la apertura de los poros de las hojas de las plantas (estomas), cuando el aire está caliente y seco, los poros se cierran, evitando la pérdida de humedad (Añasco & Picado, 2004).

Calcio Ca: se requiere para todas las plantas, participa en el proceso de formación celular, promueve la absorción de agua, aumenta la elasticidad y permeabilidad de las paredes celulares, resistiendo así la descomposición de plantas y frutos, el calcio en el suelo permite que las plantas absorban otros minerales porque regula la acidez o el pH del suelo (Añasco & Picado, 2004).

Magnesio Mg: es importante para la fotosíntesis, gracias a ello las plantas utilizan la luz solar para generar energía, también ayuda a otros elementos a trabajar dentro de la planta (Añasco & Picado, 2004).

Azufre S: contribuye en la formación de proteínas formadoras de granos, las raíces de muchas leguminosas (frijol común, soja, frijol terciopelo, etc.) se asocian con ciertas bacterias (esta relación se denomina simbiosis), lo que ayuda a la planta a absorber el nitrógeno del aire (Añasco & Picado, 2004).

Hierro Fe: participa decisivamente en la formación de la clorofila, realizando la fotosíntesis, también aumenta el uso de otros nutrientes por parte de la planta (Añasco & Picado, 2004). Por otro lado, la alta relación de Fe para formar complejos con varios ligandos (p. ej., ácidos orgánicos y fosfatos) y el fácil cambio de estado de valencia son dos de las propiedades más importantes que subyacen a los muchos efectos fisiológicos de este nutriente (Kyrkby & Römheld, 2007).

Manganeso Mn: juega un papel importante en los procesos redox como el transporte de electrones en la fotosíntesis y en la desintoxicación de los radicales libres de oxígeno (Kyrkby & Römheld, 2007). Acelera la germinación, mejora el crecimiento de las raíces y la utilización de otros nutrientes, actúa como activador de la formación de vitaminas en la planta, por ende, aumenta la resistencia de los cultivos a las plagas y las fluctuaciones climáticas (Añasco & Picado, 2004).

Boro B: es importante para la formación de polen y el desarrollo embrionario, aumenta la resistencia física de la planta al endurecer las hojas y ramas, una ausencia de boro, atacan con más fuerza los insectos (Añasco & Picado, 2004).

Molibdeno Mo: su deficiencia en el suelo es bastante común, aunque es aprovechada en pequeñas cantidades por las plantas (Añasco & Picado, 2004). Los síntomas de la deficiencia de molibdeno varían según la especie de planta, pero los síntomas comunes incluyen punteado entre las nervaduras de las hojas,

clorosis en los bordes de las hojas más viejas y enrollamiento (Kyrkby & Römheld, 2007). El molibdeno mejora el crecimiento de las raíces y también es importante para la fijación de nitrógeno bacteriano, junto con el fósforo, magnesio y/o potasio, ayudan a formar proteínas (Añasco & Picado, 2004).

Cobre Cu: el cobre, al igual que el hierro y el magnesio, ayuda a formar clorofila y también participa en la formación de proteínas (Añasco & Picado, 2004). Varias proteínas que contienen Cu desempeñan funciones fundamentales en procesos como la fotosíntesis, la respiración, la desintoxicación de radicales superóxido y la lignificación, en la deficiencia de Cu, el crecimiento reproductivo (formación de semillas y frutos) se ve más afectado que el crecimiento vegetativo (Kyrkby & Römheld, 2007).

Zinc Zn: está involucrado en el desarrollo de partes jóvenes de plantas y en la fabricación de hormonas de crecimiento (Añasco & Picado, 2004). Cada vez hay más pruebas de que el Zn, al tiempo que mantiene la estructura y la integridad de la membrana, también controla la permeabilidad; protege a las plantas de varios patógenos, por lo tanto una deficiencia de este micronutriente, conlleva a la liberación de los carbohidratos y los aminoácidos, por las pérdidas de sus características de permeabilidad las membranas, atrayendo agentes patógenos e insectos tanto hacia las raíces y nuevos brotes (Kyrkby & Römheld, 2007).

Cloro Cl: es necesario para el uso adecuado de los macronutrientes (Añasco & Picado, 2004). Por ende, una deficiencia de este nutriente conlleva a la caída de las hojas, el enrollamiento de las hojas, el oscurecimiento y la clorosis similares a la deficiencia de manganeso y el crecimiento atrofiado de las raíces (Kyrkby & Römheld, 2007).

Silicio Si: aumentan el rendimiento y la resistencia de los cereales a la caída, así como la resistencia de los diferentes cultivos a las enfermedades criptogámicas y ciertos ataques de insectos, por otro lado, favorece la asimilación de la mayoría

de los elementos minerales (fósforo y oligoelementos) por parte de las plantas (González & Pomares, 2008).

Cobalto Co: ayuda con la fotosíntesis y la fijación de nitrógeno en las leguminosas (Añasco & Picado, 2004).

2.7. Fertilización

La fertilidad puede ser de dos formas, natural y adquirida, el primero se refiere a las condiciones del suelo sin perturbaciones y donde existe un equilibrio entre el suelo y la vegetación que sustenta, mientras que el segundo sugiere lo contrario, ya que se trata de tierra cultivable o suelo que ha sido perturbado por el uso de fertilizantes, enmiendas y otras prácticas agrícolas (Sadeghian, 2008). Se denomina fertilizante a cualquier material sólido o líquido, natural o artificial, que se agrega al suelo para proporcionar uno o más nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas, es decir, son productos que mejoran los niveles de nutrientes y/o las propiedades químicas y físicas del suelo, que mejoran el crecimiento, el rendimiento y la calidad de las plantas (Navarro, 2021).

2.7.1. Fertilización sintética

Los fertilizantes sintéticos, inorgánicos o también conocidos como fertilizantes minerales, son fertilizantes donde sus nutrientes son obtenidos de procesos mineros o industriales de carácter físico o químico (Navarro, 2021). El uso de fertilizantes sintéticos en la agricultura aumenta mucho el rendimiento de varios cultivos, por lo que su uso se ha incrementado, a pesar de estos beneficios muchos autores informan que el uso excesivo y el abuso causan serios problemas ambientales, su uso en los cultivos varía según factores como el tipo

y la forma de exhibición, el momento y el método de fertilización del cultivo, así como la tecnología de producción industrial (Chávez-Díaz *et al.*, 2020). Desafortunadamente, del 30 al 40% del fertilizante sintéticos agregado al cultivo es utilizado por el cultivo y el resto se pierde por lixiviación (Pazos-Rojas *et al.*, 2016). Así, el uso inapropiado de fertilizantes sintéticos afecta directamente las actividades agrícolas, generando altos costos económicos, degradación ambiental y segregación social (Chávez-Díaz *et al.*, 2020).

2.7.1.1. Impacto económico

Desde finales de 2021 hasta 2022, el mundo sufre una escasez de fertilizantes debido a un aumento de precios de alrededor del 78%, los fertilizantes ya no aparecen en el mercado porque muchas fábricas con márgenes negativos han dejado de producir, debido al aumento de los precios de la energía (FAO, 2022). El aumento de los precios de los fertilizantes incrementa el costo de producción agrícola, lo que en muchos casos no aumenta el costo de compra de los agricultores, y de ser así, el riesgo se trasladará luego a la canasta familiar (Pérez, 2014).

2.7.1.2. Impacto ambiental

Los fertilizantes sintéticos dañan tanto el suelo como el agua cuando sus componentes se filtran a las aguas subterráneas, contaminando el entorno natural de la zona, provocando graves daños ambientales, afectando a las formas de vida y sus hábitats, su alto contenido en nitratos es tóxico para la salud humana (de Luna *et al.*, 2014).

Los fertilizantes nitrogenados se caracterizan por un bajo rendimiento en su uso de los cultivos, posiblemente inferior al 50%, lo que genera impactos ambientales

adversos, como la contaminación por NO_3^- de los acuíferos, la eutrofización, la lluvia ácida y el calentamiento global. Los nitratos son compuestos altamente solubles que se transfieren fácilmente de las plantas a los cuerpos de agua, incluidas las aguas subterráneas, los ríos, los lagos, las aguas costeras (Lassaletta *et al.*, 2019) y emisiones de gas nitrógeno (NO y N_2O) a la atmósfera por el uso inapropiado de fertilizantes nitrogenados (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010).

La materia prima para la producción de fertilizantes fosfatados es la roca fosfórica, contiene cantidades importantes de cadmio, dependiendo del tipo de roca, y el uso continuado de este fertilizante provoca la acumulación de cadmio en el suelo, elemento indeseable por el riesgo de contaminación en plantas y animales (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010).

2.7.1.3. Impacto social

Los fertilizantes sintéticos crean una polarización económica y social, acompañada de segregación y discriminación en las zonas rurales, los grandes productores y las corporaciones multinacionales invierten en agricultura tecnificada, que tiene altos costos económicos y ambientales, mientras que los pequeños productores, incapaces de competir en estas condiciones, deben arrendar tierras o convertirse en jornaleros agrícolas, recibiendo salarios bajos que apenas alcanza para cubrir sus necesidades alimentarias (Chávez-Díaz *et al.*, 2020).

2.8. Biofertilizantes

Los biofertilizantes, llamados también inoculantes microbianos, son productos orgánicos que contienen microorganismos específicos y provienen de las asociaciones que establecen con las raíces y áreas radiculares de las plantas. Se ha comprobado que optimizan el crecimiento y rendimiento de los vegetales en un 10-40%, a través de la colonización de la rizosfera y el interior de la planta cuando se aplica a la semilla, la superficie de la planta o al suelo (Nosheen *et al.*, 2021). También se ha demostrado que a través de varios procesos, como la mineralización, la descomposición y la deposición de nutrientes, las comunidades microbianas en el suelo pueden regular la fertilidad (Karri & Nalluri, 2021), y la productividad de los cultivos. De igual manera protegen de plagas y enfermedades a los cultivos (Nosheen *et al.*, 2021). Por otra parte, funcionan como agentes de biorremediación eliminando productos xenobióticos como pesticidas, herbicidas y fungicidas, la relación de los microorganismos con el hombre y la naturaleza es cada vez más evidente dado a su gran importancia, ya que se contemplan a los biofertilizantes como una alternativa para el reemplazo parcial o total de los fertilizantes sintéticos (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012). Son muchos los beneficios que nos proporcionan los biofertilizantes a nuestro agroecosistema, a continuación, se muestran los principales beneficios.

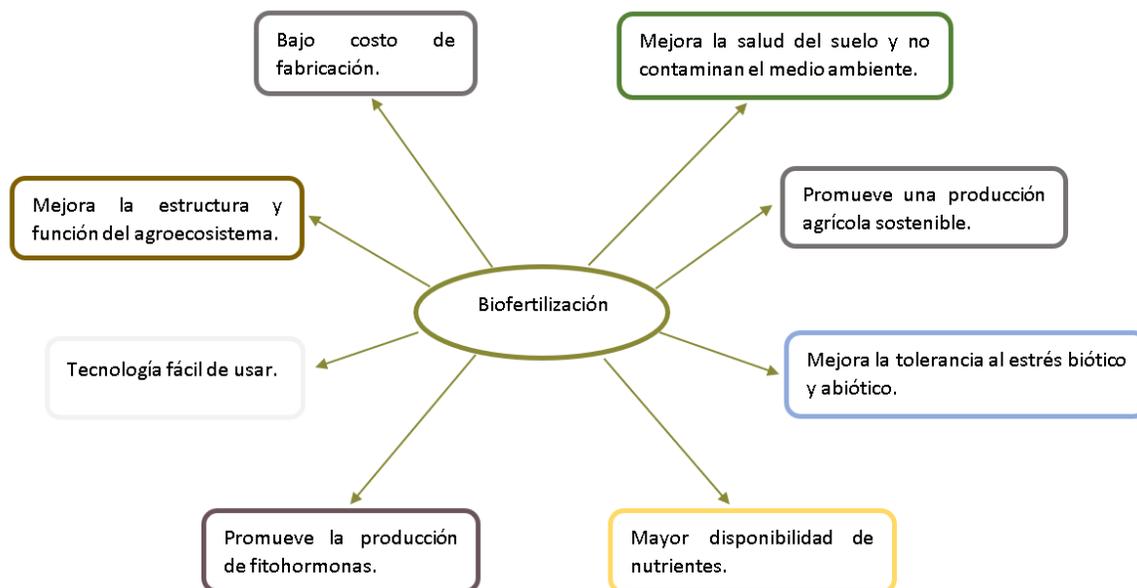


Figura 4. Principales beneficios del uso de biofertilizantes en la agricultura con base en Anuradha & Singh, (2021); Pradhan *et al.*, (2021).

2.8.1. Tipos de biofertilizantes

Los biofertilizantes se agrupan en diferentes tipos dependiendo de sus funciones y modo de acción. Los más utilizados son los fijadores de nitrógeno (fijadores de N), los solubilizadores de potasio (solubilizadores de K), los solubilizadores de fósforo (solubilizadores de P) y las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR). Por otro lado también los microbios facilitan diversos ciclos de nutrientes en el ecosistema, como la solubilización de zinc (solubilizadores de Zn) y oxidación de azufre (oxidantes de S), (Nosheen *et al.*, 2021).

2.8.1.1. Fijación de nitrógeno

El nitrógeno es un macronutriente esencial requerido para el crecimiento de las plantas de igual manera, es necesario para la formación de ácidos nucleicos, clorofila y proteínas, se encuentra en la atmósfera en forma de gas en un 78%, por lo que no está accesible para las plantas (Akram *et al.*, 2020). Por esta razón, entre los procesos biológicos más importantes se encuentra la fijación de

nitrógeno y en la superficie del suelo se considera una actividad microbiana interesante, ya que juega un papel indispensable en la homeostasis del nitrógeno y que proporciona una forma de reciclar el nitrógeno. Así mismo, mejora la productividad de los cultivos al sostener la fertilidad del suelo (Sumbul *et al.*, 2020). Estos microorganismos fijan en los nódulos de las plantas primordialmente el gas N₂ (Sharma *et al.*, 2021), con la ayuda de la enzima nitrogenasa que a su vez la transforman en amoníaco el cual es una forma asimilable para las plantas. Se han identificado muchas bacterias fijadoras de N₂ (Akram *et al.*, 2020), las cuales se pueden clasificar en: simbióticos, asociativos y de vida libre.

Simbiótico: La mayoría del nitrógeno fijado, requerido por las plantas, se realiza por los fijadores simbióticos de N₂ en comparación con la fijación no simbiótica (Lui & Poobathy, 2021). Por ejemplo, *Rhizobium* fija principalmente el gas N₂ ambiental en los nódulos radiculares mediante la reducción del N₂ molecular a derivados del NH₃. También se utiliza para producir una pluralidad de compuestos que contienen nitrógeno, proteínas y vitaminas (Sharma *et al.*, 2021), esta se asocia con plantas leguminosas mientras que *Frankia* ssp. se asocia con plantas actinorricas en donde los nódulos producidos tienen un crecimiento indeterminado y son capaces de fijar una cantidad de N₂ similar a la producida por las leguminosas (Lui & Poobathy, 2021).

Asociativo: Bacterias como *Azospirillum*, *Azoarcus*, *Gluconacetobacter*, *Herbaspirillum*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Pseudomonas* y *Klebsiella* forman una relación asociativa con una serie de cultivos pero sin embargo, la relación que tienen estos microorganismos con las plantas no es tan íntima (Singh *et al.*, 2021).

De vida libre (no simbiótico): Para estos microorganismos no es necesario un hospedero preciso en plantas no leguminosas, fijan el nitrógeno ambiental

desprovistos de toda asociación simbiótica, esto ocurre principalmente en las hortalizas y cereales (Sharma *et al.*, 2021). Estas bacterias son conocidas por aprovechar el nitrógeno atmosférico para la síntesis de proteínas celulares que se mineralizan en el suelo y por ende, proporcionan a las plantas una parte considerable del nitrógeno disponible de la fuente del suelo (Sumbul *et al.*, 2020). A través de la descomposición o la ayuda de otros organismos pueden normalmente oxidar moléculas orgánicas liberadas mediante estos procesos, mientras que algunos para obtener sus fuentes de energía tienen capacidades quimiolitotróficas al utilizar en su lugar compuestos inorgánicos (Lui & Poobathy, 2021). A modo de ejemplo, *Azotobacter* es un importante fijador de N₂ de vida libre y que generalmente se encuentra en suelos neutros y alcalinos, es capaz de mejorar la cosecha y desarrollo del grano de los cultivos (Sharma *et al.*, 2021).

2.8.1.2. Solubilización de fósforo y potasio

2.8.1.2.1. Fósforo (P)

De toda la población microbiana del suelo se estima que entre el 1% y el 50% son bacterias solubilizadoras de fosfatos (Novinscak *et al.*, 2021). En la mayoría de los suelos el fósforo puede encontrarse abundantemente en formas orgánicas e inorgánicas, pero la cantidad de P disponible es baja, ya que más del 90% del P en el suelo es insoluble y precipitado, por lo que las plantas no tienen acceso a ello. Por lo tanto, como componente principal de la fuente de energía (ATP) el fósforo es vital para las plantas ya que realiza diversos procesos metabólicos. En dos grandes grupos pueden dividirse estos microorganismos solubilizadores de fosfato (PSMs): PSMs (bacterias) y PSMs (hongos) (Lui & Poobathy, 2021).

Microorganismos solubilizadores de potasio (PSMs bacterias)

Al disolver el fósforo del suelo estos microorganismos desempeñan un papel primordial en el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Por ello, en la agricultura es importante para la sostenibilidad ambiental el uso de bacterias solubilizadoras de fosfato en lugar de fertilizantes químicos (Gurbanov *et al.*, 2021). Se ha demostrado que la accesibilidad del P disponible para las plantas aumenta eficazmente por los microorganismos solubilizadores de fosfato (PSMs) a través de la solubilización y mineralización de compuestos complejos. Para solubilizar formas insolubles de P los PSMs emplean unas estrategias, donde una de las principales formas de solubilización del P es la secreción de ácidos orgánicos (OA) con bajo peso molecular, como los ácidos acéticos, cítrico y glucónico. A modo de ejemplo, de géneros de bacterias solubilizadoras de P se incluyen *Azotobacter*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Mezorhizobium*, *Rhizobium*, *Microbacterium*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas* entre otras (Lui & Poobathy, 2021).

Microorganismos solubilizadores de fosfato (PSMs hongos)

Los hongos pueden aumentar la extensión de sus micelios desde la superficie de las raíces hacia el interior del suelo para un mejor acceso a la obtención de nutrientes, en particular fuentes insolubles de fósforo. De igual manera, la calidad y la aireación del suelo pueden mejorar gracias a la capacidad de los hongos micorrícicos, también, pueden promover la tolerancia de las plantas huésped a las tensiones ambientales y reducir la susceptibilidad de las plantas a los fitopatógenos. Por ejemplo, los géneros que incluyen los PSMs fúngicos son *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Rhizoctonia*, *Rhizopus*, *Sclerotium*, *Trichoderma* entre otros más (Lui & Poobathy, 2021).

2.8.1.2.2. Potasio (K)

El potasio es esencial para la síntesis de proteínas, en la activación de enzimas, en el transporte de azúcares y almidón. También favorece a la fotosíntesis, contribuye a la absorción de nitrógeno y mantiene la presión de turgencia de la célula (Amenaghawon *et al.*, 2021). Por otra parte el crecimiento de las plantas también se da gracias a la ayuda de muchas especies fúngicas y bacterianas mediante la solubilización K, estas especies son conocidas comúnmente como KSMs “microorganismos solubilizadores de potasio” (Kumar *et al.*, 2020), que a partir de diversas fuentes minerales se hidroliza potasio para que pase de una forma insoluble a una soluble, para así enriquecer la nutrición de las plantas (Karri & Nalluri, 2021; Kumar *et al.*, 2020). Se han reportado que diversos KSMs liberan potasio en forma disponible de los minerales portadores de K en los suelos, como, por ejemplo, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Bacillus circulans*, *Paenibacillus* spp., *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Bacillus edaphicus*, y *Bacillus mucilaginosus*. De este modo, los KSMs que pueden ser especies fúngicas y bacterianas, ayudan al crecimiento de las plantas a través de la solubilización del K insoluble (Kumar *et al.*, 2020).

2.8.1.3. Movilización de fósforo y potasio

2.8.1.3.1. Fósforo (P)

El uso de microbios solubilizadores de fósforo también moviliza el fósforo insoluble de las capas del suelo, a la corteza radicular de las plantas (Chang y Yang, 2009: Citado por: Nosheen *et al.*, 2021). Se han descrito diferentes géneros de hongos que movilizan P orgánico mediante la liberación de las enzimas fosfatasa y fitasa, también movilizan el P inorgánico mediante la liberación de ácidos orgánicos que lo solubilizan desde el suelo para posteriormente ponerlo a disposición de las plantas (Tarafdar, 2019). Así, los hongos micorrícicos *Glomus* spp., *Gigaspora* spp., *Acaulospora* spp., *Scutellospora* spp., y *Sclerocystis* spp. (Nosheen *et al.*, 2021), que forman simbiosis con más del 80% de todas las

plantas terrestres, constituyen asociaciones simbióticas mutualistas, funcionales ya sea obligadas o facultativas, donde el hongo depende del huésped para obtener fotosintatos y energía, y a cambio proporciona una sobreabundancia de beneficios a su huésped, como el aumento de la superficie de acceso y adquisición de nutrientes, aumentando la eficiencia de la planta, especialmente de las fuentes insolubles de fósforo y otras que proveen de calcio, cobre, zinc, etc., esto es gracias a que el micelio del hongo se extiende desde la superficie de la raíz de la planta huésped hasta el suelo (Thomas & Singh, 2019).

2.8.1.3.2. Potasio (K)

Muchas especies de hongos y bacterias que comúnmente se les conoce como KSMs, no solo ayudan al crecimiento de las plantas mediante la solubilización de K, si no también mediante su movilización (Kumar *et al.*, 2020). El K se moviliza gracias a la producción de ácidos orgánicos que estos producen (Shamim *et al.*, 2020). Estos microorganismos son significativamente más abundantes en los suelos rizosféricos que en los no rizosféricos. La movilización de K es llevada a cabo por un gran número de bacterias que de igual forma solubilizan el k como, por ejemplo, *B. edaphicus*, *B. mucilaginosus*, *B. circulans*, *Burkholderia*, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Pseudomonas*, *Paenibacillus* spp. (Karri & Nalluri, 2021) y *Arthrobacter* sp. (Shamim *et al.*, 2020).

2.8.1.4. Solubilización y disponibilidad de otros micronutrientes

2.8.1.4.1. Zinc (Zn)

Para muchas plantas el Zn también es un micronutriente esencial y necesario, forma parte de diversos cofactores enzimáticos, así como de activadores metálicos. También los microorganismos solubilizadores de Zn contribuyen a la transformación del Zn insoluble a una forma soluble para que se encuentre

disponible, lo que se obtiene primordialmente mediante la producción de ácidos orgánicos, por ejemplo, el ácido acético, cítrico, láctico, propiónico, glicólico, oxálico, glucónico, etc., (Singh *et al.*, 2021). Algunos de estos compuestos presentes dan aviso para el proceso de colonización en la zona rizosférico de la raíz de las plantas. Posteriormente, ya colonizada la zona radicular de las plantas, los microorganismos comienzan a mostrar sus efectos benéficos. (Pradhan *et al.*, 2021).

Pero los microorganismos solubilizadores de zinc no solo contribuyen a la solubilización, sino también a la movilización, biofortificación y mineralización de los reservorios de Zn y así aumentar la disponibilidad de Zn para las plantas (Kumawat *et al.*, 2019). Pueden utilizarse como solubilizadores de Zn muchas bacterias; *Bacillus*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Enterococcus*, *Aspergillus* y *Penicillium* (Singh *et al.*, 2021).

2.8.1.4.2. Oxidación de Azufre (S)

El azufre es el siguiente nutriente esencial en el sistema de producción de cultivos agrícolas después del nitrógeno, fósforo y potasio. Forma parte importante de los aminoácidos cisteína y metionina, por otro lado, también ejerce una función importante en la fabricación de proteínas, vitaminas y enzimas. Las bacterias que oxidan el azufre comprenden de un grupo heterogéneo de organismos que poseen la cualidad de oxidar compuestos inorgánicos de azufre. Una importante bacteria oxidante de azufre en el suelo es *Thiobacilli*, que recupera la fertilidad del suelo a través de la fabricación de sulfato que puede ser utilizado por las plantas. A sí mismo, ayuda a solubilizar los nutrientes de las plantas y a mejorar los suelos alcalinos, a través de la acidez producida por la oxidación (Singh *et al.*, 2021).

2.8.1.4.3. Captación de Hierro (Fe)

Para el crecimiento de las plantas el Fe es un oligoelemento importante, este actúa como componente primordial de las enzimas redox que a su vez estas contribuyen al transporte de oxígeno, la proliferación celular, la síntesis de clorofila y la síntesis de ácidos nucleicos. A pesar de que en la tierra el Fe es el cuarto elemento más abundante, este no puede ser de fácil asimilación por las plantas y los microorganismos ya que se encuentra sobresalientemente como hierro férrico (Fe^{3+}) en la naturaleza y es altamente insoluble en condiciones aeróbicas ya que tiene la tendencia a formar óxidos e hidróxidos altamente insolubles. Por esta razón, los microorganismos pueden adquirir Fe a través de la secreción de sideróforos cuando este se encuentra en condiciones limitantes (Lui & Poobathy, 2021). Los sideróforos microbianos o portadores de hierro son producidos por diferentes bacterias y hongos para atrapar el hierro con gran afinidad ya que estos microorganismos son agentes quelantes férricos. Por lo tanto, la nutrición de hierro en la planta se ve mejorada por los microorganismos productores de sideróforos. Las tres familias principales de sideróforos se dividen en catecolatos (p. ej., enterobactina), los carboxilatos (p. ej., rizobactina) y los hidroxamatos (p. ej., ferrioxamina) esto de acuerdo en función sus grupos funcionales (Singh *et al.*, 2021). Por ejemplo, los actinomicetos son bacterias que sintetizan moléculas de pequeño peso molecular y quelantes del hierro descritas como sideróforos. El género *Streptomyces* son importantes representantes de actinomicetos productores de sideróforos, en concreto se sabe que *Streptomyces tendae* produce un sideróforo llamado enterobactina (Shanthi, 2021).

2.8.1.4.4. Silicio (Si)

En la descomposición, conversión y modulación del silicio y sus derivados, solo algunos tipos de asociaciones microbianas desempeñan un papel importante (Kaur & Purewal, 2019), ya que a pesar de que existen muchos microorganismos en el suelo, no todos tienen la capacidad de solubilizar silicio. Estos microorganismos son capaces de descomponer silicatos, principalmente cianita

(Al_2SiO_5). Mediante la secreción de muchas sustancias orgánicas durante su periodo de crecimiento, estos microorganismos pueden ayudar en la meteorización y también liberando K de los minerales. Por ello se considera como una buena fuente de Si para las plantas la solubilización de los minerales de silicio por los microorganismos, donde los más adecuados para solubilizar el Si de los silicatos naturales son *Proteus mirabilis*, *Bacillus caldolyticus*, *Pseudomonas* y *Bacillus mucilaginosus var. siliceous*. (Kumawat *et al.*, 2019).

2.8.1.5. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) promueven el crecimiento de los cultivos mediante diversos mecanismos a través de la colonización de la rizosfera de las raíces. Para la población microbiana la rizosfera alrededor de la superficie de las raíces actúa como hábitat. Por ende, estos tienen la capacidad de mejorar la absorción de micronutrientes a causa de sus cualidades promotoras de crecimiento, esto es, la producción de sideróforos, fitohormonas, ácidos orgánicos, la solubilización de nutrientes y la mejora de la tolerancia de las plantas al estrés por salinidad, toxicidad, sequía, metales y contaminación por plaguicidas (Singh *et al.*, 2021). Las PGPR integran participantes de varios géneros, como *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Alcaligenes*, *Azotobacter*, *Acinetobacter*, *Actinoplanes*, *Bacillus*, *Frankia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Micrococcus*, *Streptomyces*, *Xanthomonas*, *Enterobacter*, *Cellulomonas*, *Serratia*, *Flavobacterium*, *Thiobacillus*, etc., (Nosheen *et al.*, 2021).

2.8.1.6. Fitoprotección

Las enzimas líticas, como la β -glucanasa, la quitinasa, la deshidrogenasa, la fosfatasa y las proteasas producidas por los microorganismos promotores de crecimiento vegetal PGPM, podrían ejercer su capacidad de biocontrol, ya que la

β -glucanasa y la quitinasa tienen la capacidad de degradar las paredes celulares fúngicas que generalmente están compuestas de β -1,4-N-acetil-glucosamina y quitina. También por competencia los PGPM podrían impedir el crecimiento de fitopatógenos ya que estos no tendrían accesibilidad de nutrientes por la rápida colonización de PGPM en las superficies de las plantas y utilizar muchos nutrientes accesibles (Lui & Poobathy, 2021). De igual manera, competencia por espacio y oxígeno, la inducción de resistencia en las plantas y por antibiosis (Erayya *et al.*, 2020).

Nosheen *et al.*, (2021) clasifica a los biofertilizantes en función del tipo de microbio utilizado y el modo de acción, con ejemplos de géneros adecuado (Cuadro 3).

Cuadro 3. Ejemplo de géneros de microbios utilizados como biofertilizantes en función del modo de acción.

Biofertilizantes	Mecanismo	Grupos	Ejemplos
Fijación de nitrógeno	Aumentar la cantidad de N ₂ en el suelo fijando nitrógeno atmosférico y poniéndolo a disposición de las plantas.	De vida libre	<i>Azotobacter</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Aulosira</i> , <i>Bejerinkia</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Stigonema</i> , <i>Desulfovibrio</i> , <i>Rhodospirillum</i> , y <i>Rhodopseudomonas</i>
		simbiótico	<i>Rhizobium</i> , <i>Frankia</i> , <i>Anabaena azollae</i> y <i>Trichodesmium</i>
		asociativo simbiótico	<i>Azospirillum spp.</i> , <i>Herbaspirillum spp.</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Azoarcus spp.</i> , <i>Acetobacter diazotrophicus</i>
Solubilización de fósforo	Para disolver los fosfatos ligados, segregan ácidos orgánicos y reducen el pH del suelo convirtiendo las formas insolubles de P del suelo en formas solubles.	Bacteria,	<i>Bacillus circulans</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Pseudomonas striata</i> , <i>Penicilium spp.</i> , <i>B. polymyxa</i> , <i>Micrococcus Agrobacterium</i> , <i>Aereobacter</i> y <i>Flavobacterium</i> .

		Hongo	<i>Penicillium spp.</i> , <i>Aspergillus awamori</i> , y <i>Trichoderma spp.</i>
Mobilización de fósforo	El fósforo se transfiere del suelo a la corteza radicular. Se trata de biofertilizantes con una amplia gama de aplicaciones	Micorriza	<i>Mycorrhiza arbuscular</i> , <i>Glomus spp.</i> , <i>Gigaspora spp.</i> , <i>Acaulospora spp.</i> , <i>Scutellospora spp.</i> , y <i>Sclerocystis spp.</i>
Solubilización de potasio	Producen ácidos orgánicos que degradan los silicatos y ayudan en la eliminación de metales para solubilizar potasio (silicatos) iones y ponerlo disponible para las plantas.	Bacteria	<i>Bacillus mucilaginosus</i> , <i>B. circulanscan</i> , <i>B. edaphicus</i> y <i>Arthrobacter spp.</i>
		Hongo	<i>Aspergillus niger</i> .
Movilizador de potasio	Transfieren el potasio de las formas inaccesibles del suelo	Bacteria	<i>Bacillus spp.</i>
		Hongo	<i>Aspergillus niger</i> .
Micronutrientes	El azufre se oxida a sulfato, que es la forma utilizable por las plantas.	Oxidante de azufre	<i>Thiobacillus spp.</i>
	Protones, quelatos ligandos, acidificación y oxidorreductores pueden utilizarse para disolver el zinc.	Solubilización de zinc	<i>Mycorrhiza</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , y <i>Bacillus spp.</i>
Promotores del crecimiento	Producen hormonas que estimulan el crecimiento de las raíces, aumentan la disponibilidad de nutrientes e incrementan el rendimiento de los cultivos.	Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal	<i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Agrobacterium</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Erwinia</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Rhizobium</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Streptomyces</i> , y <i>Xanthomonas</i>

2.9. Microorganismos cómo biofertilizantes en maíz de México.

La utilización de biofertilizantes en el campo mexicano cada vez está siendo más relevante por sus diversas ventajas mencionadas por diversos investigadores, la

cual es una alternativa ecológica para la productividad del campo, como se puede ver a continuación.

La inoculación con Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) como, *Glomus sp.* favorece el aumento en el rendimiento de maíz (Álvarez-Solís *et al.*, 2016: Pérez-Luna & Álvarez, 2021) y contribuye a mejorar la utilización de nutrientes del suelo por la planta (Jiménez *et al.*, 2019). Los HMA nativos como, *Paraglomus occultum*, *Funneliformis mosse*, *Gigaspora albida* y *Acaulospora splendida* pueden favorecer la productividad en los agroecosistemas de maíz, con suelos con moderada y baja fertilidad, aumentando su eficiencia al colonizar a las raíces de maíz (Alvarado, 2015). Por otro lado, la germinación de semillas se ve favorecida por la inoculación con *Glomus fasciculatum*, *G. constrictum*, *G. tortuosum*, *G. geosporum*, *Acaulospora scrobiculata* y *Gigaspora margarita* (Arteaga, 2020). También, la combinación de *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense* mejoran los niveles de rendimiento de grano del maíz por promover la producción de biomasa y grano (Aguilar-Carpio *et al.*, 2015: Aguilar-Carpio *et al.*, 2017: Aguilar, 2018: Ayvar-Serna *et al.*, 2020: Díaz *et al.*, 2005: Gonzales-Mateos *et al.*, 2018: Juárez, 2016: Pérez-Luna *et al.*, 2012: Ramírez-Silva *et al.*, 2018: Santillano-Cázares *et al.*, 2022: Uribe & Dzib, 2006: Xiu, 2014). Igualmente, la combinación de estos microorganismos en maíz forrajero aumenta su rendimiento (Loredo-Osti *et al.*, 2007).

Un consorcio micorrízico con especies como: *Glomus glomerulatum*, *Acaulospora excavata*, *Acaulospora delicata*, *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus desertícola* y *Claroideoglomus claroideum* pueden promover el crecimiento vegetal de las plantas de maíz (Reyes-Tena *et al.*, 2015). Por otro lado, Zulueta-Rodríguez *et al.* (2020) determinaron que la inoculación de un consorcio de HMA como *Acaulospora morrowiae*, *A. scrobiculata*, *A. spinosa*, *Funneliformis geosporum*, *F. mosseae*, *Gigaspora decipiens*, *G. rosea*, *Glomus aggregatum*, *Gl. macrocarpum*, *Cetraspora pellucida* y *Claroideoglomus etunicatum* en combinación con la rizobacteria *Azospirillum brasilense* pueden reducir la aplicación de fertilizantes químicos hasta en un 50%. De igual forma si solamente

se asociación con *Rhizophagus irregularis*, la fertilización química se reduce a un 50%, aumentando el rendimiento del grano y reduciendo el costo de producción (Aguilar-Carpio *et al.*, 2022).

En un estudio sobre el uso de mejoradores biológicos en cultivos de razas nativas de maíz en la mixteca oaxaqueña, Hernández-Aguilar *et al.* (2022) determinaron que la inoculación con *Azospirillum brasilense* y micorrizas a base de siete especies: *A. brasilense*, *Glomus intraradices*, *G. fasciculatum*, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus mucilaginosus*, en las variables productivas de manera general se tuvo mejores resultados en rendimiento de grano en la raza de maíz blanco, seguido por el maíz azul y amarillo.

La inoculación de maíz con *Azospirillum brasilense* genera incrementos en la producción (García-Olivares *et al.*, 2007; Huerta *et al.*, 2007) y el rendimiento del grano (Aguilar-Carpio *et al.*, 2022; García-Olivares *et al.*, 2012; Gonzalez *et al.*, 2010), esto se logra a través de la promoción del crecimiento de la planta (Hernández-Mendoza *et al.*, 2010; Villa-Castro *et al.*, 2014). También, la germinación de las semillas de maíz y la mejora del suelo se ve favorecida (Arteaga, 2020). Del mismo modo, si se combina con *Chromobacterium violaceum* (R. L. Martínez *et al.*, 2018) o *Rhizophagus intraradices* (Montejo-Martínez *et al.*, 2018) se tienen beneficios similares.

Pseudomonas geniculata y *Agrobacterium tumefaciens* pueden favorecer las características agronómicas y fisiológicas de las plantas de maíz en condiciones de sequía, ya que, pueden lograr mantener un equilibrio en los procesos biológicos, promoviendo una respuesta mediante diversos mecanismos que contribuyen en su crecimiento (Sanchez *et al.*, 2015). También, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas hibiscola*, *Bacillus megaterium* y *Sinorhizobium meliloti* puede ser una alternativa viable contra estrés biótico y abióticos (Sánchez-Bautista *et al.*, 2018). La inoculación de *Bacillus subtilis* y *Bacillus amyloquefaciens* pueden mejorar el rendimiento de las plantas de maíz aumentando la masa radicular (García-de la Paz *et al.*, 2022; Rodríguez-Hernández *et al.*, 2020). *Bacillus cereus*

y *Trichoderma virens* también, tiene capacidades de promotor del crecimiento vegetal, tanto en condiciones de invernadero como de campo y la dosis de fertilización nitrogenada puede reducirse en un 50% en el cultivo de maíz (López-Valenzuela *et al.*, 2019). El hongo del género *Trichoderma* con especies como, *Trichoderma sp.*, *Trichoderma reesei* y *Trichoderma asperellum*, presenta potencial como biofertilizante, particularmente en maíz nativo (Vázquez-Martínez *et al.*, 2019).

La altura de la planta, el peso seco de brotes y raíz, así como la nutrición de P en maíz puede mejorarse con la inoculación de un consorcio o en separado de cepas como, *Sinorhizobium meliloti*, *Bacillus flexus* y *Bacillus megaterium* (Ibarra-Galeana *et al.*, 2017). También, *Bacillus licheniformis* puede mejorar la nutrición de la planta, así como el rendimiento del cultivo (Mota-Pacheco *et al.*, 2019). Por otro lado, el rendimiento del cultivo puede mejorarse con el uso de *Azotobacter chroococcum* (Huerta *et al.*, 2007). Similarmente, el rendimiento del grano, del rastrojo de maíz y la eficiencia de absorción de nitrógeno se logra con uso de *Paenibacillus polymyxa* (Benítez, 2013).

En un estudio de caracterización de especies de *Paraburkholderia* como promotoras del crecimiento vegetal, Almazán *et al.* (2023) determinaron que *Paraburkholderia tropica*, *Paraburkholderia unamae*, *Paraburkholderia silvatlantica* y *Paraburkholderia caballeronis*, cuentan en su genoma con diferentes genes relacionados a las actividades PGP, como, la actividad de producción de AIA, fijación de N₂, producción de sideróforos y solubilización de fosfatos. De la misma manera, la inoculación con *Burkholderia sp.*, *Klebsiella variicola* y *Pseudomonas protegens* también mejoran el crecimiento en las plantas de maíz (Rios-Galicia *et al.*, 2021).

Las bacterias *Pseudomonas variovensis*, *Luteibacter sp.* y *Acinetobacter inoffii*, muestran un efecto de promoción del crecimiento en el maíz bajo condiciones de estrés hídrico (Colli *et al.*, 2017). De igual manera, en la promoción del crecimiento vegetal *Pseudomonas poae* y *Pseudomonas fluorescens* tienen efectos positivos y promueven significativamente la germinación y la longitud de

la raíz. Por otro lado, el peso total fresco y seco de las plantas de maíz, puede verse mejorado por la inoculación con *Rahnella* sp. y *Serratia* sp. que producen compuestos indólicos relacionados con la síntesis de auxina (Hernández-León *et al.*, 2022).

Resendiz-Venado *et al.* (2022) determinaron que las evaluaciones de cepas *Stenotrophomonas* sp., *Priestia* sp., *Enterobacter* sp., *Pseudomonas* sp., *Pseudoxanthomonas* sp., y *Rhizobium* sp. como las mejores promotoras de crecimiento vegetal para maíz, al incrementar las variables asociadas a la raíz o parte aérea de las plántulas beneficiando el crecimiento y rendimiento de los cultivos de maíz.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Búsqueda y rastreo de documentos con relación a la biofertilidad en agroecosistemas de maíz

Se utilizó el motor de búsqueda Google académico, así como bases de datos: Redalyc, Scielo y Springer Link, para el rastreo y obtención de documentos relacionados con biofertilizantes como alternativa nutricional en agroecosistemas de maíz en México. Se seleccionaron las palabras claves en español e inglés “biofertilizantes en maíz en México” y “biofertilizers in maize in Mexico”. Se realizó una recopilación de documentos, donde se seleccionaron documentos relacionados con la biofertilidad del maíz en México.

3.2. Análisis y filtración de datos

El texto de los documentos fue analizado cuidadosamente, posteriormente se procedió a realizar una filtración donde se seleccionaron los documentos más sobresalientes, considerando la aproximación al tema de la biofertilidad en maíz, su nivel de impacto o su actualidad, y “se excluyeron los artículos que trataban aspectos como, control biológico, empleo de plaguicidas, etc. Así mismo, no se consideraron los documentos sobre biofertilizantes elaborados a base de macroorganismos como macroalgas, macrohongos o restos de otros organismos” (Coutiño-Puchuli *et al.*, 2023).

3.3. Análisis y filtración de datos sobre de la biodiversidad de microorganismos usados como biofertilizantes en agroecosistemas de maíz

A partir de los documentos recuperados, “se elaboró una base de datos en Microsoft Excel conformada por los siguientes campos”: tipo de microorganismo (bacterias y hongos), número de géneros, número de especies y documentos publicados (Coutiño-Puchuli *et al.*, 2023). A partir de esta información se

realizaron tablas y gráficas representativas sobre la biodiversidad de microorganismos hasta ahora reportados para la biofertilidad en maíz en México.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Recuperación de documentos con relación a la biofertilidad

La obtención de información relacionado con la biofertilidad de maíz en México se logró a través del motor de búsqueda de Google Académico y bases de datos como Redalyc, Scielo y Springer Link, donde posteriormente se logró una recuperación de los mismos con relación a la biofertilidad de un total de 327 documentos.

Cuadro 4. Documentos con relación a la biofertilidad.

		No. Documentos	
		General	Recuperados
Motor de búsqueda	Google Académico	16300	216
Bases de datos	Redalyc	6865	48
	Springer Link	88	57
	Scielo	24	6
Total			327

3.2. Documentos específicos sobre biofertilidad de maíz en México

A partir de los documentos recuperados se procedió a realizar una filtración, ya que de los 327 documentos recuperados no todo eran sobre investigaciones sobre biofertilidad en maíz, si no que eran de una diversidad de cultivos, es por ello que se tuvo que realizar una nueva filtración (Cuadro 5).

Cuadro 5. Documentos específicos recuperados

Documentos con relación de biofertilidad para maíz en México.	Número	Total
Artículos	39	44
Tesis	5	

Con relación al análisis bibliométrico realizado en este trabajo, se logró recopilar 44 documentos relacionados con el uso de biofertilizantes en maíz de México del periodo 2004-2022. Por otro lado, en un estudio con un periodo más corto que va del 2015-2020 realizado por Coutiño-Puchuli *et al.* (2023) obtuvieron 19 artículos relacionados al tema de biofertilidad en maíz. Los que indican, que el aumento por el interés en investigaciones sobre biofertilizantes empezó a darse a partir del 2015 (Figura 5). Sin embargo el interés por la investigación no solo tuvo un alza en cultivos de maíz en México, sino también en diversos cultivos y países, ya que la investigación guarda similitud con un estudio realizado por Koovalamkadu *et al.* (2021) donde exploran las tendencias globales de investigación en biofertilizantes en diversos cultivos a través de una perspectiva bibliométrica, los biofertilizantes y la capacidad para fijar nitrógeno es el tema que ha atraído la mayor atención de la investigación.

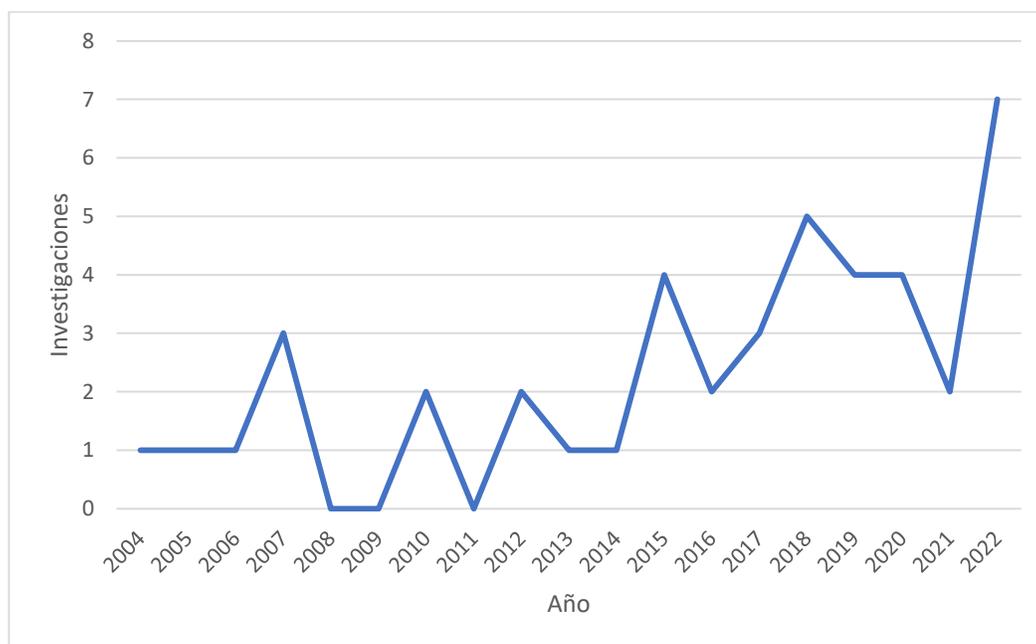


Figura 5. Número de documentos por año relacionados con la biofertilidad en maíz en México del periodo 2004-2022.

3.3. Diversidad de microorganismos identificados como objeto de investigación en México

A partir de los documentos recuperados se logró identificar una diversidad de microorganismos como objeto de investigación con relación a la biofertilidad del maíz en México.

Cuadro 6. Biodiversidad de microorganismos usados como objeto de investigación en maíz en México.

Tipo de microorganismo	Número de géneros	Número de especies	Documentos relacionados con biofertilidad en maíz
Bacterias	20	36	44
Hongos	8	31	
Total	28	67	44

Existe evidencia de una diversidad de 28 géneros con 67 especies de microorganismos que se comportan de manera favorable en el desarrollo de maíz en México, en el siguiente cuadro se presenta una relación de estos como objeto de estudio en México.

Cuadro 7. Ejemplo de diversidad de microorganismos utilizados como biofertilizantes en cultivos de maíz en México.

Cultivo	Tipo/ microorganismo	Género	Investigaciones realizadas sobre especies usadas como biofertilizantes
Maíz	Bacteria	<i>Acinetobacter</i>	<i>Acinetobacter inoffii</i> (Colli et al., 2017)
		<i>Agrobacterium</i>	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> (Sanchez et al., 2015)
		<i>Azospirillum</i>	<i>Azospirillum</i> sp. (Arteaga, 2020; Villa-Castro et al., 2014)

		<i>Azospirillum brasilense</i> (Aguilar, 2018; Aguilar-Carpio et al., 2017; Aguilar-Carpio et al., 2022; Aguilar-Carpio et al., 2015; Ayvar-Serna et al., 2020; Díaz et al., 2005; García-Olivares et al., 2012; García-Olivares et al., 2007; Gonzalez et al., 2010; Gonzales-Mateos et al., 2018; Hernández-Aguilar et al., 2022; Hernández-Mendoza et al., 2010; Huerta et al., 2007; Juárez, 2016; Loredó-Osti et al., 2007; Martínez et al., 2018; Pérez-Luna et al., 2012; Montejo-Martínez et al., 2018; Santillano-Cázares et al., 2022; Uribe & Dzib, 2006; Xiu, 2014; Zulueta-Rodríguez et al., 2020)
	<i>Azotobacter</i>	<i>Azotobacter chroococcum</i> (Huerta et al., 2007)
	<i>Bacillus</i>	<i>Bacillus subtilis</i> (García-de la Paz et al., 2022; Hernández-Aguilar et al., 2022; Rodríguez-Hernández et al., 2020; Sánchez-Bautista et al., 2018) <i>Bacillus amyloquefaciens</i> (García-de la Paz et al., 2022; Rodríguez-Hernández et al., 2020) <i>Bacillus mucilaginosus</i> (Hernández-Aguilar et al., 2022) <i>Bacillus megaterium</i> (Huerta et al., 2007; Ibarra-Galeana et al., 2017; Sánchez-Bautista et al., 2018) <i>Bacillus flexus</i> (Ibarra-Galeana et al., 2017) <i>Bacillus cereus</i> (López-Valenzuela et al., 2019) <i>Bacillus licheniformis</i> (Mota-Pacheco et al., 2019)
	<i>Burkholderia</i>	<i>Burkholderia</i> sp. (Rios-Galicia et al., 2021)
	<i>Chromobacterium</i>	<i>Chromobacterium violaceum</i> (Martínez et al., 2018)
	<i>Enterobacter</i>	<i>Enterobacter</i> sp. (Resendiz-Venado et al., 2022)
	<i>Klebsiella</i>	<i>Klebsiella variicola</i> (Rios-Galicia et al., 2021)
	<i>Luteibacter</i>	<i>Luteibacter</i> sp. (Colli et al., 2017)
	<i>Paenibacillus</i>	<i>Paenibacillus polymyxa</i> (Benítez, 2013)
	<i>Priestia</i>	<i>Priestia</i> sp. (Resendiz-Venado et al., 2022)
	<i>Paraburkholderia</i>	<i>Paraburkholderia tropica</i> , <i>Paraburkholderia unamae</i> , <i>Paraburkholderia silvatlantica</i> y <i>Paraburkholderia caballeronis</i> (Almazán et al., 2023)
	<i>Pseudomonas</i>	<i>Pseudomonas</i> sp. (Resendiz-Venado et al., 2022) <i>Pseudomonas florescens</i> (Hernández-Aguilar et al., 2022; Hernández-León et al., 2022) <i>Pseudomonas geniculata</i> (Sanchez et al., 2015) <i>Pseudomonas hibiscola</i> (Sánchez-Bautista et al., 2018) <i>Pseudomonas protegens</i> (Rios-Galicia et al., 2021) <i>Pseudomonas variovensis</i> (Colli et al., 2017) <i>Pseudomonas poae</i> (Hernández-León et al., 2022)
	<i>Pseudoxanthomonas</i>	<i>Pseudoxanthomonas</i> sp. (Resendiz-Venado et al., 2022)

		<i>Rahnella</i>	<i>Rahnella</i> sp. (Hernández-León et al., 2022)
		<i>Rhizobium</i>	<i>Rhizobium</i> sp. (Resendiz-Venado et al., 2022)
		<i>Serratia</i>	<i>Serratia</i> sp. (Hernández-León et al., 2022)
		<i>Sinorhizobium</i>	<i>Sinorhizobium meliloti</i> (Ibarra-Galeana et al., 2017; Sánchez-Bautista et al., 2018)
		<i>Stentrophomonas</i>	<i>Stentrophomonas</i> sp. (Resendiz-Venado et al., 2022)
		<i>Trichoderma</i>	<i>Trichoderma harzianum</i> (Hernández-Aguilar et al., 2022; Vázquez-Martínez et al., 2019) <i>Trichoderma virens</i> (López-Valenzuela et al., 2019; Vázquez-Martínez et al., 2019) <i>Trichoderma</i> sp., <i>Trichoderma reesei</i> y <i>Trichoderma asperellum</i> (Vázquez-Martínez et al., 2019)
	Hongo	<i>Acaulospora</i>	<i>Acaulospora splendida</i> (Alvarado, 2015) <i>Acaulospora scrobiculata</i> (Arteaga, 2020; Reyes-Tena et al., 2015; Zulueta-Rodríguez et al., 2020) <i>Acaulospora morrowiae</i> , <i>A. spinosa</i> (Zulueta-Rodríguez et al., 2020) <i>Acaulospora excavata</i> , <i>Acaulospora delicata</i> (Reyes-Tena et al., 2015)
		<i>Cetraspora</i>	<i>Cetraspora pellucida</i> (Zulueta-Rodríguez et al., 2020)
		<i>Claroideoglopus</i>	<i>Claroideoglopus etunicatum</i> (Zulueta-Rodríguez et al., 2020) <i>Claroideoglopus claroideum</i> (Reyes-Tena et al., 2015)
		<i>Funneliformis</i>	<i>Funneliformis mosse</i> (Alvarado, 2015; Zulueta-Rodríguez et al., 2020) <i>Funneliformis geosporum</i> (Zulueta-Rodríguez et al., 2020)
		<i>Gigaspora</i>	<i>Gigaspora albida</i> (Alvarado, 2015) <i>Gigaspora margarita</i> (Arteaga, 2020) <i>Gigaspora decipiens</i> , <i>G. rosea</i> (Zulueta-Rodríguez et al., 2020)
		<i>Glomus</i>	<i>Glomus</i> sp. (Álvarez-Solís et al., 2016; Pérez-Luna & Álvarez, 2021) <i>Glomus fasciculatum</i> (Arteaga, 2020; Hernández-Aguilar et al., 2022) <i>G. constrictum</i> , <i>G. tortuosum</i> , <i>G. geosporum</i> (Arteaga, 2020) <i>Glomus aggregatum</i> , <i>G. macrocarpum</i> (Zulueta-Rodríguez et al., 2020) <i>Glomus glomerulatum</i> , <i>Glomus desertícola</i> (Reyes-Tena et al., 2015) <i>Glomus intraradices</i> (Aguilar, 2018; Aguilar-Carpio et al. 2022a; Arriaga, et al., 2022; Aguilar-Carpio et al., 2017; Aguilar-Carpio et al., 2022b; Aguilar-Carpio et al., 2015; Ayvar-Serna et al., 2020; Díaz et al., 2005; González-Mateos et al., 2018; Hernández-Aguilar et al., 2022; Jiménez et al., 2019; Juárez, 2016; Loredó-Osti et al., 2007; Montejó-Martínez et al., 2018; Pérez-Luna

		<i>et al.</i> , 2012; Santillano-Cázares <i>et al.</i> , 2022; Uribe & Dzib, 2006; Xiu, 2014)
	<i>Paraglomus</i>	<i>Paraglomus ocellatum</i> (Alvarado, 2015)

Los 28 géneros (Figura 6) de microorganismos investigados como biofertilizantes en cultivos de maíz conforman aproximadamente un 32% de los géneros investigados en México sobre diversos cultivos. Ya que Coutiño-Puchuli *et al.* (2023) determinaron como objeto de investigación 85 géneros de microorganismos en una diversidad de cultivos. Sin embargo, el porcentaje puede variar por el corto periodo de investigación que se tomó en cuenta por parte de los autores, delimitando solo 5 años. De los géneros que conforman parte de las investigaciones en maíz, resultaron 20 géneros de bacterias como objeto de investigación y 8 géneros de hongos.

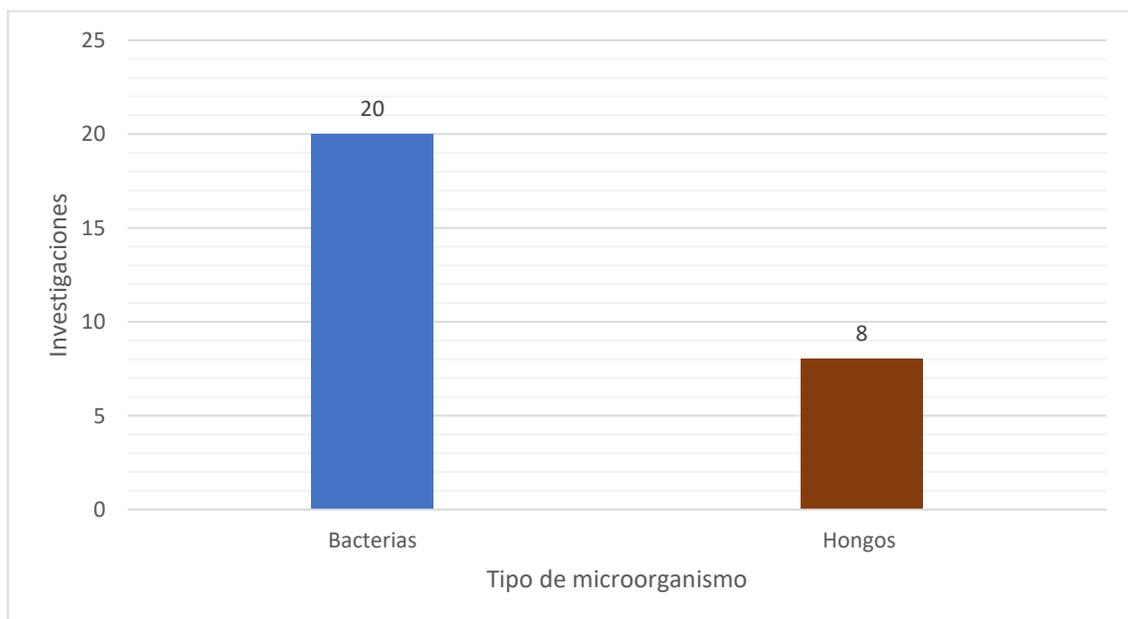


Figura 6. Cantidad de géneros de microorganismos estudiados como biofertilizantes en cultivos de maíz en México.

En México el uso de microorganismos como biofertilizantes se ha enfocado principalmente en los géneros bacterianos *Azospirillum*, *Azotobacter*,

Pseudomonas y *Bacillus*, y hongos micorrízico arbusculares (Camacho-Millán et al., 2016). Pero, en este estudio bibliométrico realizado en base a la biofertilidad en maíz, destacaron con mayor investigación; *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Glomus* y *Acaulospora* (Figura 7 y 8). Estos mismos géneros destacados en maíz, son los mismos que se destacan como objeto de investigación en diversos cultivos de México (Coutiño-Puchuli et al., 2023). Por otro lado, el INIFAP ha desarrollado biofertilizantes para maíz con el uso de géneros bacterianos como *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Pseudomonas* y *Bacillus*, y hongos micorrízicos arbusculares (Zambrano-Mendoza et al., 2021).

En un estudio sobre la investigación científica de los biofertilizantes en Cuba, Peña-Borrego et al. (2015), establecieron como objetivo la caracterización de los estudios sobre la biofertilidad, que se han publicado del 2008 al 2012. En los resultados destaca la presencia de los microorganismos más comunes que se usan como biofertilizantes. De los cuales en el manejo del maíz destacan los géneros como: *Glomus*, *Sinorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azotobacter* y *Burkholderia*. Del mismo modo, Zambrano-Mendoza et al. (2021) en un estudio de biofertilizantes en la producción agrícola de Ecuador, determinaron que los microorganismos más importantes que se han utilizado como biofertilizantes son *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Bacillus* y micorrizas vesículo-arbusculares.

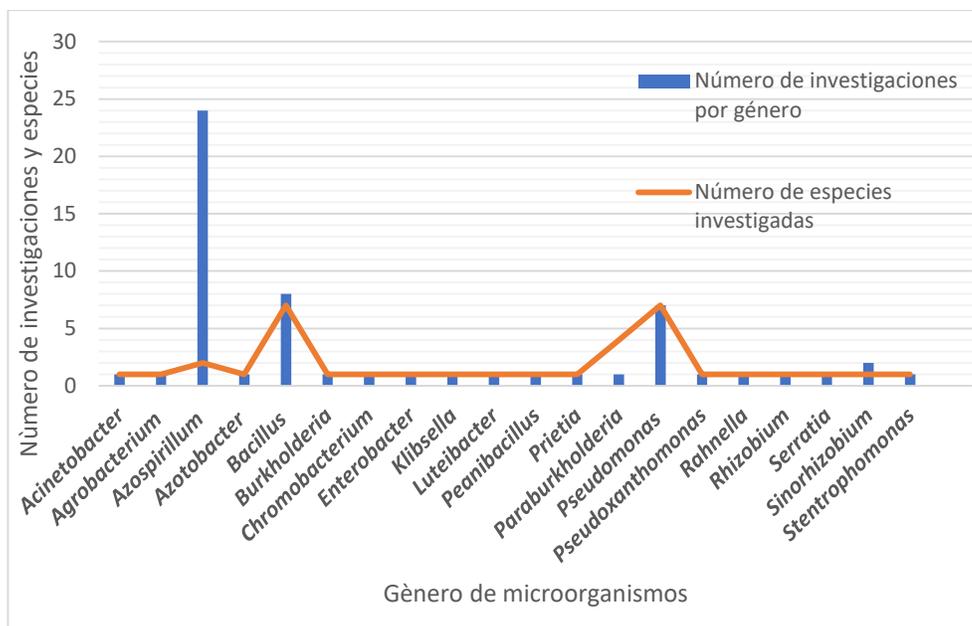


Figura 7. Gráfica representativa de las investigaciones según el género de microorganismo (bacterias) estudiado como biofertilizante en cultivos de maíz en México.

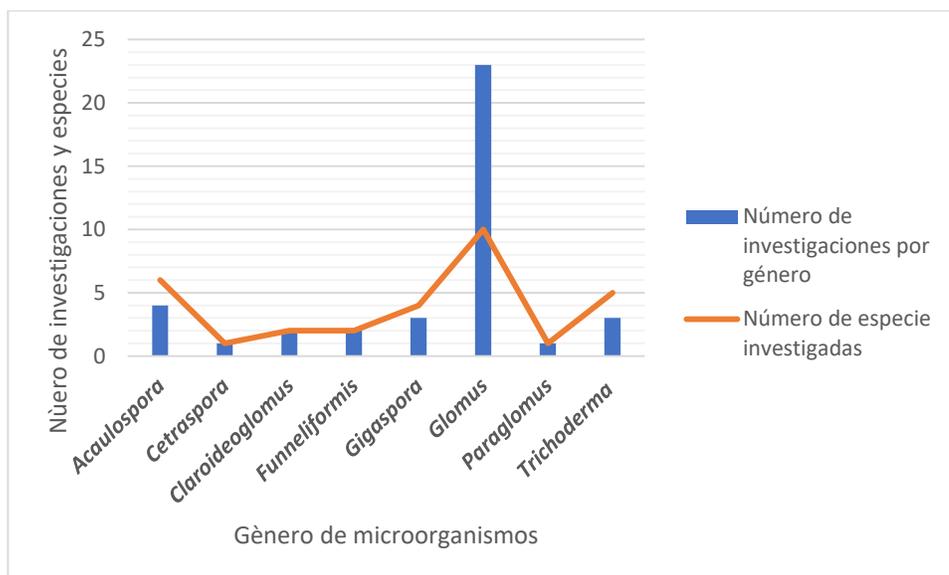


Figura 8. Gráfica representativa de las investigaciones según el género de microorganismos (hongos) estudiado como biofertilizante en cultivos de maíz en México.

De acuerdo con nuestros resultados bibliográficos, *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* son las especies que destacan, teniendo coincidencias en el

número de investigaciones en que aparecen, e inclusive compartiéndose en muchas de ellas. De tal manera que estas dos especies de microorganismos son investigadas en conjunto y usadas como consorcio para su mayor eficiencia. Estos datos coinciden con lo mencionado por Coutiño-Puchuli *et al.* (2023) quienes en un estudio bibliométrico sobre biofertilizantes en México, establecen que son los principales microorganismos más evaluados como biofertilizantes en maíz. Sin embargo, en países como Ecuador, el consorcio que más se usa como biofertilizante para maíz es *Azospirillum* spp. y *Pseudomonas fluorescens*, donde aumentaron el rendimiento del maíz, reduciendo el costo de producción por el bajo uso de fertilizantes sintéticos de alrededor del 50% (Zambrano-Mendoza *et al.*, 2021).

México muestra un mayor interés en la temática de biofertilizantes a partir de las investigaciones sobre la diversidad de microorganismos identificados como bacterias y hongos (Coutiño-Puchuli *et al.*, 2023) usados en el campo agrícola, esto se debe a la búsqueda de la sostenibilidad a través de la creación de cambios en las formas de implementar las prácticas agrícolas y producción de alimentos, por medio de alternativas como el desarrollo de biofertilizantes, ya que tienen un papel fundamental, promoviendo a través de sus procesos la estabilidad y productividad de los agroecosistemas contribuyendo a la sostenibilidad (Beltrán-Pineda & Bernal-Figueroa, 2022).

Para que un microorganismo sea un buen inoculante bajo un amplio rango de condiciones en campo debe ser de fácil producción, seguro, estable funcionalmente, efectivo y en la rizósfera debe de ser competitivo (Coutiño-Puchuli *et al.*, 2023).

Según Infante-Jiménez *et al.* (2020) los biofertilizantes generados en las biofábricas son una alternativa, en donde se preocupan por la salud de las personas y la sostenibilidad del medio ambiente a través de la conservación y regeneración de los suelos, además que fomentan la sostenibilidad e incremento en la productividad de los cultivos. Sin embargo, no todos los biofertilizantes producidos en la biofábricas tienen la misma efectividad en las diferentes

condiciones de agroecosistemas, debido a que su efectividad se verá afectado por las condiciones ambientales que existan, ya que, Irizar *et al.* (2003) mencionan que es difícil que en todas las regiones una sola cepa sea efectiva y recomiendan que los microorganismos nativos del mismo agroecosistema son los que mayor efectividad tienen sobre los cultivos. Por esta razón, debe de tomarse en cuenta que los productores, deben de ser quienes tengan mayor acceso a la información para producir sus propios biofertilizantes, y ser los propios dueños de esta biotecnología, y no depender de empresas externas, de igual forma debe de capacitarse lo mejor posible para el uso correcto de aplicación de los biofertilizantes, para evitar problemas ambientales por malas prácticas en los agroecosistemas.

CONCLUSIÓN

Los géneros bacterianos que mayor destacaron fueron: *Azospirillum*, *Bacillus* y *Pseudomonas*, mientras que, en los hongos fueron, *Glomus* y *Acaulospora*, esto debido a su importancia de proporcionar N, P y K, los cuales son relevantes en los agroecosistemas de maíz dada a la alta demanda de dichos cultivos.

El empleo de biofertilizantes en cultivos de maíz en México es una alternativa en la agricultura agroecológica, debido a que tiene impactos positivos en la dinámica funcional del agroecosistema. Sin embargo, es importante recalcar que el uso y manejo de microorganismos nativos, en comparación de microorganismos introducidos, tendrán mayores efectos que se reflejen en la productividad del agroecosistema.

La presente investigación amplía la teoría sobre el desarrollo tecnológico de los biofertilizantes, un campo de investigación que a partir del 2015 está en constante ascenso y del cual se recomienda seguir realizando investigaciones.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Carpio, C., Arriaga, R. L. M., Cervantes, A. Y. F., Arenas-Julio, Y. R., & Escalante, E. J. A. S. (2022). Rentabilidad y producción del maíz VS-535 en respuesta a la fertilización química y biológica. *Acta Universitaria*, 32, 1-12. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3285>
- Aguilar, T. R. R. (2018). Implementación de micorrizas y *Azospirillum brasilense* en la agricultura sustentable del estado de Morelos. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México. pp: 25,107.
- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I., Mejía-Contreras, J. A., Conde-Martínez, V. F., & Trinidad-Santos, A. (2015). Rendimiento y rentabilidad de maíz en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno, en clima cálido. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18(2), 152-160.

- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I., & Perez-Ramirez, A. (2017). Crecimiento, rendimiento y rentabilidad del maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 476-481.
- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I., & Rojas-Victoria, N. J. (2022). Rentabilidad y rendimiento de tres genotipos de maíz en respuesta al biofertilizante y nitrógeno, en clima templado. *Biotecnia*, 24(2), 77-83. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1603>
- Akram, M. S., Cheema, M. A., Waqas, M., Bilal, M., & Saeed, M. (2020). Role of bio-fertilizers in sustainable agriculture. *Preprints.org*, 4. <https://doi.org/10.20944/preprints202003.0262.v1>
- Albarracín-Zaidiza, J. A., Fonseca-Carreño, N. E., & López-Vargas, L. H. (2019). Las prácticas agroecológicas como contribución a la sustentabilidad de los agroecosistemas. Caso provincia del Sumapaz. *Ciencia y Agricultura*, 16(2), 39-55. <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n2.2019.9139>
- Almazán, B. M., Estrada, de los S. P., & Chávez, R. B. (2023). Caracterización de especies de *Paraburkholderia* como promotoras del crecimiento vegetal. *Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México*, 25-27. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7749803>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2010). Agroecología: Potenciando la agricultura campesina para revertir el hambre y la inseguridad alimentaria en el mundo. *Revista de Economía Crítica*, 2(10), 65-67.

- Altieri, M. A., & Toledo, V. M. (2011). La revolución agroecológica en América Latina: Rescatando la naturaleza, asegurando la soberanía alimentaria y empoderando a los campesinos. *ILSA*, 38(3), 165-196.
- Alvarado, H. M. (2015). Caracterización de comunidades de hongos micorrízicos arbusculares en diferentes agroecosistemas de maíz (*Zea mays L.*). Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. pp: 31-43.
- Álvarez-Solís, J. D., Muñoz-Arroyo, R., Huerta-Lwanga, E., & Nahed-Toral, J. (2016). Balance parcial de nitrógeno en el sistema de cultivo de maíz (*Zea mays L.*) con cobertura de leguminosas en Chiapas, México. *Agronomía Costarricense*, 40(1), 29-39. <https://doi.org/10.15517/rac.v40i1.25322>
- Amenaghawon, A. N., Anyalewechi, C. L., & Kusuma, H. S. (2021). Chapter 16: Fabrication approaches for biofertilizers. In Inamuddin, M. I. Ahamed, R. Boddula, & M. Rezakazemi (Eds.), *Biofertilizers: Study and Impact* (pp. 491-510). Scrivener Publishing LLC.
- Anuradha, & Singh, J. (2021). Chapter 4: Organic farming by biofertilizers. In Inamuddin, M. I. Ahamed, R. Boddula, & M. Rezakazemi (Eds.), *Biofertilizers: Study and Impact* (pp. 121-144). Scrivener Publishing LLC.
- Añasco, A., & Picado, J. (2004). La salud en la finca orgánica y su relación con la nutrición de las plantas: Conseptos introductorios. Agricultura Orgánica. CEDECO. San José, Costa Rica. pp: 9-13.
- Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. Á., Gerardo-Montoya, L., & Nava Pérez, E. (2010).

- Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56. <https://doi.org/10.35197/rx.06.01.2010.07.aa>
- Arteaga, R. A. M. (2020). Evaluación del rendimiento de un cultivo de maíz criollo forrajero con la aplicación de composta y biofertilizantes. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. Centro Universitario de Querétaro, Qro. pp: 19-67.
- Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejeda-Reyes, M. A., & Cuevas-Apresa, Z. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 11-15. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.507>
- Beltrán-Pineda, M. E., & Bernal-Figueroa, A. A. (2022). Biofertilizantes: Alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Mutis*, 12(1), 13. <https://doi.org/10.21789/22561498.1771>
- Benítez, N. M. (2013). Inoculación con *Paenibacillus polymyxa* y fertilización nitrogenada en maíz bajo condiciones de temporal. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. México. pp: 65.
- Bover-Felices, K., Suárez-Hernández, J., Bover-Felices, K., & Suárez-Hernández, J. (2020). Contribución del enfoque de la agroecología en el funcionamiento y estructura de los agroecosistemas integrados. *Pastos y Forrajes*, 43(2), 102-111.
- Brechelt, A. (2004). Manual: El manejo ecológico de plagas y enfermedades (1.^a ed.). RAP-AL. Santiago de Chile, Chile. pp: 4.

https://webzoom.freewebs.com/rentawebscr/alonso2013/descargas/Manejo_Ecologico_de_Plagas_A.Bretchel.pdf

- Cabrera, V. E. R., Hidalgo, E. C., Trejo, S. L., León, M. I. P., & Martínez, G. M. S. (2019). Sustentabilidad de agroecosistemas de maíz de la planicie costera del Istmo, Oaxaca, México. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 118(2), 3.
- Camacho-Millán, R., Aguilar-Medina, M., Ramos-Payan, R., & Manuel, C.-C. (2016). Desarrollo de biofertilizantes a base de microorganismos fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fosfatos, y promotores de crecimiento para caña de azúcar en México. Memorias del 2do Seminario Internacional de "Manejo Sustentable de Caña de Azúcar". Universidad Tecnológica de Culiacán Culiacán, Sinaloa, México. pp: 100-111.
- Camilo, B. J., Domínguez, A., Pía, R. M., Ortiz, C., & Escudero, H. J. (2022). Capítulo 1: Una morada agroecológica desde la investigación, la práctica y la enseñanza; La biología del suelo en sistemas agroecológicos. En C. Sarmiento (Ed.), *Agroecología a la carta* (1.ª ed., pp. 9-25). UniRío Editora.
- Casimiro, R. L. (2016). Bases metodológicas para la resiliencia socioecológica de fincas familiares en Cuba. Tesis de doctorado en Agroecología. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. pp: 14.
- Chávez-Díaz, I. F., Zelaya, M. L. X., Cruz, C. C. I., Rojas, A. E., Ruíz, R. S., & Santos, V. S. de los. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1423-1436. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>

- Colli, M. J. G., Riva, de la R. G. A., Vargas-Sámano, C. D., Pérez-Machado, G., & Agüero-Chapin, G. (2017). Plant growth promoting bacteria isolated from a Mexican natural ecosystem induce water stress resistance in maize and sorghum plants. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, 9(5), 209-219.
- Coutiño-Puchuli, A. E., Peña-Borrego, M. D., & Infante-Jiménez, Z. T. (2023). Estudio bibliométrico sobre biofertilizantes en México durante el período 2015-2020. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-14.
- Cruz-Cárdenas, C. I., Zelaya, M. L. X., Sandoval, C. G., Santos, V. S. de los, Rojas, A. E., Chávez, D. I. F., & Ruíz, R. S. (2021). Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: Consideraciones y retos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(5), 901-902. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2905>
- Cuevas-Coeto, A., Vera-Castillo, Y. B., Cuevas-Sánchez, J. A., Cuevas-Coeto, A., Vera-Castillo, Y. B., & Cuevas-Sánchez, J. A. (2019). Resiliencia y sostenibilidad de agroecosistemas tradicionales de México: Totonacapan. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(1), 165-175. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1789>
- de Luna, A., García, M., Rodríguez, E., Vázquez, J., & Rodríguez, E. (2014). Impacto económico de la agricultura orgánica en comparativo con la agricultura tradicional en el cultivo del maíz. Universidad de Guadalajara, pp: 170.
- De Marchi, M., Pappalardo, S. E., Diantini, A. & (2022). Agroecology and Sustainable Food Systems: Inquiring Technological Approaches. In De

- Marchi, M., Diantini, A. & Pappalardo, S. E. (Eds.), *Drones and geographical information technologies in agroecology and organic farming contributions to technological sovereignty* (1.^a ed.). (pp: 2-15). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429052842>
- Díaz, F. A., Alvarado, C. M., Cantú, A. M. Á., & Garza, C. I. (2005). Fertilización biológica y producción de maíz en la región semiárida del norte de Tamaulipas, México. *Agricultura Técnica en México*, 31(2), 153-163.
- Erayya, S. K., Kumar, S., Kumar, S., & Arzoo, K. (2020). Chapter 17: Fungal biopesticides: A novel tool for management of plant parasitic nematodes. In B. D. Kaushik, D. Kumar, & M. Shamim (Eds.), *Biofertilizers and biopesticides in sustainable agricultura* (pp. 354). Apple Academic Press.
- FAO. (2022). Alternativas para el manejo sostenible de la fertilización de suelos y nutrición vegetal. FAO. Santiago, Chile. pp: 1-8. <https://www.fao.org/publications/card/es/c/CC0964ES/>
- FAO. (2022). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022. Aprovechar la automatización de la agricultura para transformar los sistemas agroalimentarios. Roma, FAO. pp: 1-63. <https://doi.org/10.4060/cb9479es>
- Farfán, H., & Perales, A. (2021). Efecto de la fertilización orgánica mineral sobre la producción de maíz morado (*Zea mays* L.). *Revista Científica Siglo XXI*, 1(1), 98-99. <https://doi.org/10.54943/rcsxxi.v1i1.14>
- García-de la Paz, N. C., Gallegos-Robles, M. Á., González-Salas, U., Rodríguez-Sifuentes, L. R., Mendoza-Retana, S. S., & Sánchez-Lucio, R. S. (2022). Potencial de *Bacillus* nativos de la Comarca Lagunera como biofertilizante

en la producción de maíz forrajero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 28, 253-261.

García-Olivares, J., Mendoza-Herrera, A., & Mayek-Pérez, N. (2012). Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento del maíz en el norte de Tamaulipas, México. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 28(1), 83.

García-Olivares, J., Moreno-Medina, V. R., Rodríguez-Luna, I. C., Mendoza-Herrera, A., & Mayek-Pérez, N. (2007). Efecto de cepas de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(3), 305-310.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2007.3.305>

Gliessman, S. R., & Engles, E. W. (2015). Section II: Plants and abiotic factors of the environment. Chapter 3: The plant. In *Agroecology: The ecology of sustainable food systems* (3.^a ed., pp. 35-40). Taylor & Francis Group, LLC.

González, H. A., Perez, L. D. D. J., Franco, M. O., Balbuena, M. A., Gutierrez, R. F., & Romero, S. H. (2010). Respuesta de tres cultivares de maíz a la inoculación con *Azospirillum brasilense* bajo cuatro diferentes dosis de nitrógeno. *Ciencia Ergo Sum*, 18(1), 67.

González-Mateos, R., Noriega-Cantú, D. H., Volke-Heller, V. H., Pereyda-Hernández, J., Domínguez-Márquez, V. M., & Garrido-Ramírez, E. R. (2018). Rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) y respuesta a fuentes y dosis de fertilizantes, y biofertilizantes, en Guerrero, México. *Agroproductividad*, 11(1), 25-30.

- González, V., & Pomares, F. (2008). Manual técnico: La fertilización y el balance de nutrientes en sistemas agroecológicos. Catarroja (Valencia). *SEAE*, pp: 12.
- Gourcy, F. R. (s. f.). Nutrición vegetal. Presentación, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México.
- Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J., & Vera-Nuñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1264.
- Guerrero-Meléndez, T. Y., Ríos-Alvarado, A. B., Roque-Hernández, R. V., Saldívar-Alonso, V. P., Guerrero-Meléndez, T. Y., Ríos Alvarado, A. B., Roque Hernández, R. V., & Saldívar Alonso, V. P. (2021). La gestión y transferencia de conocimiento sobre el maíz en México a través del desarrollo de ontologías de dominio: Un desafío actual. *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores*, 8(2), 7. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i2.2543>
- Gurbanov, R., Kalkanci, B., Karadag, H., & Samgane, G. (2021). Chapter 5: Phosphorus solubilizing microorganisms. In Inamuddin, M. I. Ahamed, R. Boddula, & M. Rezakazemi (Eds.), *Biofertilizers: Study and Impact* (pp. 151-166). Scrivener Publishing LLC.
- Hernández, Á. R., & Reséndiz, G. M. (2022). Indicadores de calidad del suelo y salud del agroecosistema milpa, en Vicente Guerrero, Española Tlaxcala. *Factores de la Producción Agrícola*, 34.
- Hernández, D. H., & Moreno, M. del C. H. (2022). Resistencia a la transición agroecológica en México. *Región y sociedad*, 34, 2-5.

- Hernández-Aguilar, J. A., Bautista-García, H., Merecias-Aparicio, V., Vásquez-Ortiz, F., & Gómez-Arango, L. F. (2022). Uso de mejoradores biológicos en cultivos de razas nativas de maíz en la mixteca oaxaqueña. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 9(1), 69-78.
- Hernández-Bernal, A. F., Gregorio-Jorge, J., & León, P. (2022). El papel de los azúcares como moléculas de señalización en las plantas. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 25, 2. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.519>
- Hernández-León, R., González-Rodríguez, A., & Tapia-Torres, Y. (2022). Phosphorus Recycling, Biocontrol, and Growth Promotion Capabilities of Soil Bacterial Isolates from Mexican Oak Forests: An Alternative to Reduce the Use of Agrochemicals in Maize Cultivation. *Applied Microbiology*, 2(4), 965-980. <https://doi.org/10.3390/applmicrobiol2040074>
- Hernández-Mendoza, J. L., Moreno-Medina, V. R., Quiroz-Velásquez, J. D., García-Olivares, J. G., & Mayek-Pérez, N. (2010). Efecto de diferentes concentraciones de ácido antranílico en el crecimiento del maíz. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 12(1), 57-63.
- Huerta, E., Hernandez-Ramirez, S., Patron, M., Izquierdo, F., & Gomez, R. (2007). Effect of Biofertilizer Bacteria (*Azospirillum brasiliensis*, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium*) and earthworms (*Pontoscolex corethrurus*) on *Zea mays* and *Phaseolus vulgaris* growth and yield production. *International Journal of Biotechnology and Biochemistry*, 3(2-3), 151-160.

- Ibarra-Galeana, J. A., Castro-Martínez, C., Fierro-Coronado, R. A., Armenta-Bojórquez, A. D., & Maldonado-Mendoza, I. E. (2017). Characterization of phosphate-solubilizing bacteria exhibiting the potential for growth promotion and phosphorus nutrition improvement in maize (*Zea mays* L.) in calcareous soils of Sinaloa, Mexico. *Annals of Microbiology*, 67(12), Article 12. <https://doi.org/10.1007/s13213-017-1308-9>
- Infante-Jiménez, Z., Ortega-Gómez, P., & Coutiño-Puchuli, A. E. (2020). Las Biofábricas y su relación con el Desarrollo Sostenible en Michoacán, México. En *Factores críticos y estratégicos en la interacción territorial, desafíos actuales y escenarios futuros: Vol. II* (p. 415). Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores. <http://ru.iiec.unam.mx/5122/>
- Irizar, G. M. B., Vargas, V. P., Garza, G. D., Tut y Couoh, C., Rojas, M. I., Trujillo, C. A., García, S. R., Aguirre, M. D., Martínez, G. J. C., Alvarado, M. S., Grageda, C. O., Valero, G. J., & Aguirre, M. J. F. (2003). Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agricultura Técnica en México*, 29(2), 213-225.
- Jiménez, O. M. M., Gómez, Á. R., Oliva, H. J., Granados, Z. L., Pat, F. J. M., & Aranda, I. E. M. (2019). Influencia del estiércol composteado y micorriza arbuscular sobre la composición química del suelo y el rendimiento productivo de maíz forrajero (*Zea mays* L.). *Nova scientia*, 11(23), 2. <https://doi.org/10.21640/ns.v11i23.1957>
- Juárez, C. J. A. (2016). Inoculación maíz con *Glomus intraradice* *Azospirillum brasilense* en San Pablo Tepetzingo, Tehuacán, Puebla. Tesis de

Maestría. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Tehuacán, Puebla, México. pp: 25-43.
<https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/1766>

- Karri, V. R., & Nalluri, N. (2021). Chapter 8: Scoping the Use of transgenic microorganisms as potential biofertilizers for sustainable agriculture and environmental safety. In Inamuddin, M. I. Ahamed, R. Boddula, & M. Rezakazemi (Eds.), *Biofertilizers: Study and Impact* (pp. 257-280). Scrivener Publishing LLC.
- Kaur, P., & Purewal, S. S. (2019). Chapter 12: Biofertilizers and their role in sustainable agriculture. In G. Bhoopander, P. Ram, W. Qiang-Sheng, & V. Ajit (Eds.), *Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment* (Vol. 55, p. 292). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4>
- Koovalamkadu, V. P., Singh, A., & Korekallu Srinivasa, A. (2021). Exploring the global research trends in biofertilizers: A bibliometric approach. *3 Biotech*, 11(6), 304. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02794-9>
- Kumar, Kumari, R., & Kumar, A. (2020). Chapter 13: Availability of potash, iron, zinc, and sulfur to crop through microbial resources. In B. D. Kaushik, D. Kumar, & M. Shamim (Eds.), *Biofertilizers and biopesticides in sustainable agricultura* (pp. 255-270). Apple Academic Press.
- Kumawat, N., Kumar, R., Khandkar, U. R., Yadav, R. K., Saurabh, K., Mishra, J. S., Dotaniya, M. L., & Hans, H. (2019). Chapter 6: Silicon (Si)- and Zinc (Zn)-solubilizing microorganisms: Role in sustainable agriculture. In G. Bhoopander, P. Ram, W. Qiang-Sheng, & V. Ajit (Eds.), *Biofertilizers for*

- Sustainable Agriculture and Environment* (Vol. 55, pp. 117-127). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4>
- Kyrkby, E., & Römheld, V. (2007). Micronutrientes en la fisiología de las plantas: Funciones, absorción y movilidad. *Proceedings*, 543, 4-20.
- Landini, F., & Beramendi, M. (2020). ¿Agroecología o agricultura convencional moderna? Posicionamientos de extensionistas rurales argentinos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 46(3), 352-361.
- Lassaletta, C. L., Aguilera, F. E. M., Blas, M. A., & Sanz-Cobeña, A. (2019). Los impactos ambientales de los sistemas de producción de alimentos. *Dossiers Economistas sin Fronteras: El futuro de la alimentación en el mundo*, 33, 24-29.
- López, S. A. (2000). Ecosistemas y agroecosistemas, algunos puntos para su estudio (1.^a ed.). Universidad Autónoma Chapingo Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Dgo. pp: 12-13.
- López-Valenzuela, B. E., Armenta-Bojporquez, A. D., Hernández-Verdugo, S., Apodaca-Sánchez, M. A., Samaniego-Gaxiola, J. A., & Valdez-Ortiz, A. (2019). *Trichoderma* spp. And *Bacillus* spp. As growth promoters in maize (*Zea mays* L.). *Phyton*, 88(1), 37-46. <https://doi.org/10.32604/phyton.2019.04621>
- Loredo-Osti, C., Beltrán, L. S., & Peña, del R. Ma. de los A. (2007). Uso de biofertilizantes para la producción de maíz forrajero en condiciones de temporal. *Folleto Científico No. 2. Campo Experimental San Luis-CIRNE-INIFAP*. San Luis Potosí, S.L.P. México. pp: 47.

- Lui, Y. Y. W., & Poobathy, R. (2021). Chapter 1: Biofertilizer utilization in forestry. In Inamuddin, M. I. Ahamed, R. Boddula, & M. Rezakazemi (Eds.), *Biofertilizers: Study and Impact* (pp. 2-13). Scrivener Publishing LLC.
- Mandal, A., Sarkar, B., Mandal, S., Vithanage, M., Patra, A. K., & Manna, M. C. (2020). Chapter 7: Impact of agrochemicals on soil health. In *Agrochemicals detection, treatment and remediation* (pp. 161-187). Elsevier.
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081030172000076>
- Martínez, A. F. B. (2020). La sustentabilidad del agroecosistema maíz (*Zea mays* L.) en la región Frailesca, Chiapas, México. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Chiapas. Villaflores, Chiapas, México. pp: 1,9-10.
- Martínez, R. L., Aguilar, J. C. E., Carcaño, M. M. G., Galdámez, G. J., Gutiérrez, M. G. M., Morales, C. J. A., Martínez, A. F. B., Llaven, M. J. & Gómez, P. E. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra*, 5(1), 026-037.
<https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1425>
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2000). capítulo 1: La nutrición vegetal. En *Principios de nutrición vegetal* (4.^a ed., pp. 11-14). Instituto Internacional de la Potasa.
- Montejo-Martínez, D., Casanova-Lugo, F., García-Gómez, M., Oros-Ortega, I., Díaz-Echeverría, V., & Morales-Maldonado, E. R. (2018). Respuesta foliar y radical del maíz a la fertilización biológica-química en un suelo Luvisol. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 338.
<https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.29511>

- Mota-Pacheco, L. E., Guadarrama-Mendoza, P. C., Salas-Coronado, R., Escalante, A., Montville, T. J., & Valadez-Blanco, R. (2019). Adaptación de *Bacillus licheniformis* a melazas para la producción mejorada de una cepa biofertilizante. *Agrociencia*, 53(8), 1183-1201.
- Navarro, A. M. (2021). Desarrollo, estabilidad y eficacia de biofertilizantes para la mejora del cultivo de plantas de tomate y maíz. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. Barcelona. pp: 5-27.
http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/184791/1/MNA_TESIS.pdf
- Nicholls, E. C., & Altieri, S. M. (2021). Capítulo 2: La agroecología y su contribución a los objetivos del desarrollo sostenible. En *Agroecología. Fundamentos y técnicas de producción, y experiencia en la Región de los Ríos* (pp. 53-69). INIA.
- Nosheen, S., Ajmal, I., & Song, Y. (2021). Microbes as biofertilizers, a potential approach for sustainable crop production. *Sustainability*, 13(4), 1-3, 8.
<https://doi.org/10.3390/su13041868>
- Novinscak, A., Zboralski, A., Roquigny, R., & Fillion, M. (2021). Chapter 4: Genomics and functional traits required for the successful use of biofertilizers. In A. Rakshit, M. V. Singh, M. Parihar, H. B. Singh, & A. K. Singh (Eds.), *Biofertilizers: Advances in Bio-inoculants* (Vol. 1, p. 47). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821667-5.09990-5>
- ONU. (2021a). ¿Podemos alimentar a millones y millones de personas?. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales.
<https://www.un.org/development/desa/es/news/population/can-we-feed-billions.html>

- ONU. (2021b). Una población en crecimiento. United Nations; United Nations.
<https://www.un.org/es/global-issues/population>
- Orduz, T. S. A., Machado, C. L., & Rodríguez, L. (2021). Importancia de la biota edáfica para la productividad en agroecosistemas. *Revista Nova*, 6, 29.
<https://doi.org/10.23850/25004476.3681>
- Ortiz, J., Faggioli, V. S., Ghio, H., Boccolini, M. F., Ioele, J. P., Tamburrini, P., Garcia, F. O., & Gudelj, V. (2020). Impacto a largo plazo de la fertilización sobre la estructura y funcionalidad de la comunidad microbiana del suelo. *Ciencia del suelo*, 38(1), 46.
- Paleologos, M. F., Iermanó, M. J., Blandi, M. L., & Sarandón, S. J. (2017). Las relaciones ecológicas: Un aspecto central en el rediseño de agroecosistemas sustentables, a partir de la Agroecología. *Redes - Santa Cruz do Sul: Universidad de Santa Cruz do Sul*, 22(2), 95.
<https://doi.org/10.17058/redes.v22i2.9346>
- Pazos-Rojas, L. A., Marin-Cevada, V., Morales-García, Y., Baez, A., Villalobos, M. A., Pérez-Santos, M., & Muñoz-Rojas, J. (2016). Uso de microorganismos benéficos para reducir los daños causados por la revolución verde. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3, 72-72.
- Peña-Borrego, M. D., de Zayas-Pérez, M. R., & Rodríguez-Fernández, R. M. (2015). La producción científica sobre biofertilizantes en Cuba en el período 2008-2012: Un análisis bibliométrico de las revistas cubanas. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 52.

- Pérez, V. J. P. (2014). Uso de los fertilizantes y su impacto en la producción agrícola. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia. pp: 2.
- Pérez-Luna, Y. del C., & Álvarez, S. J. D. (2021). Efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre el rendimiento de maíz en parcelas con y sin cobertura vegetal. *Idesia (Chile)*, 39(4), 29-38. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000400029>
- Pérez-Luna, Y. del C., Álvarez-Solís, J. D., Mendoza-Vega, J., Pat-Fernández, M., & Gómez-Álvarez, R. (2012). Influencia del humus de lombriz y biofertilizantes en el crecimiento y rendimiento de maíz. *Gayana Bot.*, 69(Número Especial), 18-21.
- Pradhan, S., Meena, P. R., Ram, H., Rana, K., Pariha, M., & Singh, K. A. (2021). Chapter 6: Zn-solubilizing microorganism: A novel perspective for sustainable agriculture. In A. Rakshit, M. V. Singh, M. Parihar, H. B. Singh, & A. K. Singh (Eds.), *Biofertilizers: Advances in Bio-inoculants* (Vol. 1, pp. 69-77). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821667-5.09990-5>
- Ramírez-Silva, J. H., Lozano-Contreras, M. G., Ramírez-Jaramillo, G., & Moguel-Ordoñez, Y. B. (2018). Evaluación agronómica y económica del maíz SAC BEH con fertilización química y biofertilizantes en dos Luvisoles ródicos de Yucatán, México. *Revista del Centro de Graduados e Investigación*, 33(75), 92-96.
- Resendiz-Venado, Z., Zelaya-Molina, L., Chavez-Diaz, I. F., Aguilar, G., Reynoso-Santos, R., Cruz, C., & Bautista-Ramírez, E. (2022). Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal aisladas de suelos

- rizosféricos de la región de La Frailesca, Chiapas. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México*, 10(1), 45-52.
- Reyes-Tena, A., López-Pérez, L., Quiñones Aguilar, E. E., & Rincón-Enríquez, L. (2015). Evaluación de consorcios micorrícicos arbusculares en el crecimiento vegetal de plantas de maíz, chile y frijol. *Revista Biológicas*, 17(2), 36-40.
- Rios-Galicia, B., Villagómez-Garfias, C., De la Vega-Camarillo, E., Guerra-Camacho, J. E., Medina-Jaritz, N., Arteaga-Garibay, R. I., Villa-Tanaca, L., & Hernández-Rodríguez, C. (2021). The Mexican giant maize of Jala landrace harbour plant-growth-promoting rhizospheric and endophytic bacteria. *3 Biotech*, 11(10), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02983-6>
- Rodríguez-Hernández, M. G., Gallegos-Robles, M. A., Rodríguez-Sifuentes, L., Fortis-Hernández, M., Luna-Ortega, J. G., & González-Salas, U. (2020). Cepas nativas de *Bacillus* spp. Como una alternativa sostenible en el rendimiento de forraje de maíz. *Terra Latinoamericana*, 38, 313-319.
- Sadeghian, S. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica. Investigador Científico II. Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia. pp: 6.
- Sanchez, B. A., De León García, de A. C., Goodwin, P., Aranda, O. S., & Zavaleta, M. E. (2015). Reducción de estrés hídrico en maíz mediada por bacterias endofitas de la raíz. *Colegio de Posgraduados*, 95-99.
- Sánchez-Bautista, A., León-García de Alba, C. D., Aranda-Ocampo, S., Zavaleta-Mejía, E., Nava-Díaz, C., Goodwin, P. H., & Leyva-Mir, S. G. (2018).

Bacterias endófitas de la raíz en líneas de maíces tolerantes y susceptibles a sequía. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(1), 35-55.
<https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1710-3>

Santillano-Cázares, J., Marie-Soleil, T., Cárdenas-Castañeda, M. E., Limón-Ortega, A., Paredes-Melesio, R., Guerra-Zitlalapa, L., & Ortiz-Monasterio, I. (2022). Sección 1: Agricultura orgánica: 1.6¿ Pueden los biofertilizantes reducir las dosis de fertilizantes sintéticos en cereales en México? En C. E. Ail Catzim, B. M. Montiel Batalla, & M. Galicia Juárez (Eds.), *Investigación en Ciencias Agrícolas. Desarrollo científico y tecnológico en la producción agrícola sustentable* (1.^a ed., pp. 70-72). astra editorial.

Sarandón, J. S. J. (Ed.). (2014). Capítulo 4. El agroecosistema: Un agroecosistema modificado. En *Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables* (1.^a ed., pp. 100-127). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
<https://doi.org/10.35537/10915/37280>

Shamim, M., Kumar, M., Kumar Pal, A., Ranjan Kumar, R., & Jha, V. B. (2020). Chapter 21: Genetically modified microorganisms for sustainable soil health management: An biotechnological approach. In B. D. Kaushik, D. Kumar, & M. Shamim (Eds.), *Biofertilizers and biopesticides in sustainable agriculture* (pp. 412-438). Apple Academic Press.

Shanthi, V. (2021). Chapter 11: Actinomycetes: Implications and prospects in sustainable agriculture. In Inamuddin, M. I. Ahamed, R. Boddula, & M. Rezakazemi (Eds.), *Biofertilizers: Study and Impact* (pp. 335-356). Scrivener Publishing LLC.

- Sharma, R., Nehra, S., & Kumar, D. (2021). Chapter 3: N₂ Fixation in biofertilizers. In Inamuddin, M. I. Ahamed, R. Boddula, & M. Rezakazemi (Eds.), *Biofertilizers: Study and Impact* (pp. 112-115). Scrivener Publishing LLC.
- Shiva, V. (2020). *¿Quién alimenta realmente al mundo?: El fracaso de la agricultura industrial y la promesa de la agroecología*.
- Singh, D., Thapa, S., Geat, N., Lal Mehriya, M., & Singh Rajawat, M. V. (2021). Chapter 12: Biofertilizers: Mechanisms and application. En A. Rakshit, M. V. Singh, M. Parihar, H. B. Singh, & A. K. Singh (Eds.), *Biofertilizers: Advances in Bio-inoculants* (Vol. 1, pp. 151-162). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821667-5.09990-5>
- Stupino, S. A., Iermanó, M. J., Gargoloff, N. A., & Bonicatto, M. M. (2014). Capítulo 5: La biodiversidad en los agroecosistemas. En *Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables* (1.^a ed., pp. 131-154). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/37280>
- Sumbul, A., Ansari, R. A., Rizvi, R., & Mahmood, I. (2020). *Azotobacter*: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(12), 3635-3636. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.004>
- Tarafdar, J. C. (2019). Chapter 2: Fungal inoculants for native phosphorus mobilization. In G. Bhoopander, P. Ram, W. Qiang-Sheng, & V. Ajit (Eds.), *Biofertilizers for sustainable agriculture and environment* (Vol. 55, p. 24). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4>

- Thomas, L., & Singh, I. (2019). Chapter 1: Microbial biofertilizers: Types and applications. In G. Bhoopander, P. Ram, W. Qiang-Sheng, & V. Ajit (Eds.), *Biofertilizers for sustainable agriculture and environment* (Vol. 55, pp. 1-14). Springer.
- Turrent, F. A., Cortés, F. J. I., Espinosa, C. A., Mejía, A. H., & Serratos, H. J. A. (2010). ¿Es ventajosa para México la tecnología actual de maíz transgénico?. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(4), 631-646.
- Uribe, V. G., & Dzib, E. R. (2006). Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* y Brassinoesteroide en la producción de maíz en suelo luvisol. *Agricultura Técnica en México*, 32(1), 69-74.
- Vázquez-Martínez, J. A., González-Cárdenas, J. C., Chiquito-Contreras, R., Sangabriel-Conde, W., & Alvarado-Castillo, G. (2019). Evaluación del potencial biofertilizante de cinco especies de *Trichoderma* en la producción de maíz elotero nativo e híbrido bajo condiciones de campo. *Información Técnica Económica Agraria*, 115(3), 213-218. <https://doi.org/10.12706/itea.2019.006>
- Villa-Castro, L., Mayek-Pérez, N., & García-Olivares, J. L. (2014). Efecto de la inoculación en maíz con cepas nativas de *Azospirillum* sp. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(1), 33-38.
- Xiu, K. A. (2014). Evaluación del Crecimiento del maíz VS-536 Inoculado con Microorganismos (Micorrizas y *Azospirillum*), y con la Adición de Fertilizantes Químicos en un Suelo Luvisol. *Informe Técnico de Residencia Profesional, SEP/ITZM. Quintana Roo, México*. pp: 23-32.

- Zambrano-Mendoza, J. L., Sangoquiza-Caiza, C. A., Campaña-Cruz, D. F., & Yáñez-Guzmán, C. F. (2021). Use of Biofertilizers in Agricultural Production. In A. Fiaz & S. Muhammad (Eds.), *Technology in Agriculture*. 1-13. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98264>
- Zulueta-Rodríguez, R., Gómez-Merino, F. C., Alemán-Chávez, I., Núñez-Camargo, M. del C., & Lara-Capistrán, L. (2020). Respuesta del cultivo de maíz a la bio-inoculación y fertilización química reducida en campo. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 597-612. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.656>

ANEXOS

- Aguilar, T. R. R. (2018). Implementación de micorrizas y *Azospirillum brasilense* en la agricultura sustentable del estado de Morelos. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. pp: 25,107. <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/772>
- Aguilar-Carpio, C., Arriaga, R. L. M., Cervantes, A. Y. F., Arenas-Julio, Y. R., & Escalante-Estrada, J. A. S. (2022). Rentabilidad y producción del maíz VS-535 en respuesta a la fertilización química y biológica. *Acta Universitaria*, 32, 1-12. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662022000100136&script=sci_arttext
- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I., Mejía-Contreras, J. A., Conde-Martínez, V. F., & Trinidad-Santos, A. (2015). Rendimiento y rentabilidad de maíz en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno, en clima cálido. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18(2), 152-160. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93941388004.pdf>
- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I., & Perez-Ramirez, A. (2017). Crecimiento, rendimiento y rentabilidad del maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno. *Ecosistemas y Recursos*

Agropecuarios, 4(12), 476-481.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-90282017000300475&script=sci_arttext

Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I., & Rojas-Victoria, N. J. (2022). Rentabilidad y rendimiento de tres genotipos de maíz en respuesta al biofertilizante y nitrógeno, en clima templado. *Biotecnia*, 24(2), 77-83. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1603>

Almazán, B. M., Estrada, de los S. P., & Chávez, R. B. (2023). Caracterización de especies de *Paraburkholderia* como promotoras del crecimiento vegetal. *Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional*, Ciudad de México, México, 25-27. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7749803>

Alvarado, H. M. (2015). Caracterización de comunidades de hongos micorrízicos arbusculares en diferentes agroecosistemas de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. pp: 31-43. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/1743

Álvarez-Solís, J. D., Muñoz-Arroyo, R., Huerta-Lwanga, E., & Nahed-Toral, J. (2016). Balance parcial de nitrógeno en el sistema de cultivo de maíz (*Zea mays* L.) con cobertura de leguminosas en Chiapas, México. *Agronomía Costarricense*, 40(1), 29-39. <https://doi.org/10.15517/rac.v40i1.25322>

Arteaga, R. A. M. (2020). Evaluación del rendimiento de un cultivo de maíz criollo forrajero con la aplicación de composta y biofertilizantes. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. Centro Universitario de Querétaro, Qro. pp: 19-67. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/2173>

Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejeda-Reyes, M. A., & Cuevas-Apresa, Z. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con

fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 11-15. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.507>

Benítez, N. M. (2013). Inoculación con *Paenibacillus polymyxa* y fertilización nitrogenada en maíz bajo condiciones de temporal. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. México. pp: 6. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/1865>

Colli, M. J. G., Riva, de la R. G. A., Vargas-Sámano, C. D., Pérez-Machado, G., & Agüero-Chapin, G. (2017). Plant growth promoting bacteria isolated from a Mexican natural ecosystem induce water stress resistance in maize and sorghum plants. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, 9(5), 209-219. <https://www.walshmedicalmedia.com/open-access/plant-growth-promoting-bacteria-isolated-from-a-mexican-naturalecosystem-induce-water-stress-resistance-in-maize-and-sorghum-plant-1948-5948-1000367.pdf>

Díaz, F. A., Alvarado, C. M., Cantú, A. M. Á., & Garza, C. I. (2005). Biological fertilization and corn production in the northern semiarid region of Tamaulipas, Mexico. *Agricultura Técnica en México*, 31(2), 153-163. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20073026824>

García-de la Paz, N. C., Gallegos-Robles, M. Á., González-Salas, U., Rodríguez-Sifuentes, L. R., Mendoza-Retana, S. S., & Sánchez-Lucio, R. S. (2022). Potencial de *Bacillus* nativos de la Comarca Lagunera como biofertilizante en la producción de maíz forrajero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 28, 253-261. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342022001000253&script=sci_arttext

García-Olivares, J., Mendoza-Herrera, A., & Mayek-Pérez, N. (2012). Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento del maíz en el norte de Tamaulipas, México. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 28(1), 83. <https://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v28n1/v28n1a8.pdf>

- García-Olivares, J., Moreno-Medina, V. R., Rodríguez-Luna, I. C., Mendoza-Herrera, A., & Mayek-Pérez, N. (2007). Efecto de cepas de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(3), 305-310. <https://doi.org/10.35196/rfm.2007.3.305>
- González, H. A., Pérez, L. D. D. J., Franco, M. O., Balbuena, M. A., Gutiérrez, R. F., & Romero, S. H. (2010). Respuesta de tres cultivares de maíz a la inoculación con *Azospirillum brasilense* bajo cuatro diferentes dosis de nitrógeno. *Ciencia Ergo Sum*, 18(1), 67. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/38197>
- González-Mateos, R., Noriega-Cantú, D. H., Volke-Heller, V. H., Pereyda-Hernández, J., Domínguez-Márquez, V. M., & Garrido-Ramírez, E. R. (2018). Rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) y respuesta a fuentes y dosis de fertilizantes, y biofertilizantes, en Guerrero, México. *Agroproductividad*, 11(1), 25-30. <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/146>
- Hernández-Aguilar, J. A., Bautista-García, H., Merecias-Aparicio, V., Vásquez-Ortiz, F., & Gómez-Arango, L. F. (2022). Uso de mejoradores biológicos en cultivos de razas nativas de maíz en la mixteca oaxaqueña. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 9(1), 69-78. <https://www.researchgate.net/publication/363888110>
- Hernández-León, R., González-Rodríguez, A., & Tapia-Torres, Y. (2022). Phosphorus Recycling, Biocontrol, and Growth Promotion Capabilities of Soil Bacterial Isolates from Mexican Oak Forests: An Alternative to Reduce the Use of Agrochemicals in Maize Cultivation. *Applied Microbiology*, 2(4), 965-980. <https://doi.org/10.3390/applmicrobiol2040074>
- Hernández-Mendoza, J. L., Moreno-Medina, V. R., Quiroz-Velásquez, J. D., García-Olivares, J. G., & Mayek-Pérez, N. (2010). Efecto de diferentes concentraciones de ácido antranílico en el crecimiento del maíz. *Revista*

Colombiana de Biotecnología, 12(1), 57-63.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-34752010000100007&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Huerta, E., Hernandez-Ramirez, S., Patron, M., Izquierdo, F., & Gomez, R. (2007). Effect of Biofertilizer Bacteria (*Azospirillum brasiliensis*, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium*) and earthworms (*Pontoscolex corethrurus*) on *Zea mays* and *Phaseolus vulgaris* growth and yield production. *International Journal of Biotechnology and Biochemistry*, 3(2-3), 151-160.

<https://www.researchgate.net/publication/269928451>

Ibarra-Galeana, J. A., Castro-Martínez, C., Fierro-Coronado, R. A., Armenta-Bojórquez, A. D., & Maldonado-Mendoza, I. E. (2017). Characterization of phosphate-solubilizing bacteria exhibiting the potential for growth promotion and phosphorus nutrition improvement in maize (*Zea mays* L.) in calcareous soils of Sinaloa, Mexico. *Annals of Microbiology*, 67(12), 801-811. <https://doi.org/10.1007/s13213-017-1308-9>

Jiménez, O. M. M., Gómez, Á. R., Oliva, H. J., Granados, Z. L., Pat, F. J. M., & Aranda, I. E. M. (2019). Influencia del estiércol composteado y micorriza arbuscular sobre la composición química del suelo y el rendimiento productivo de maíz forrajero (*Zea mays* L.). *Nova scientia*, 11(23), 2. <https://doi.org/10.21640/ns.v11i23.1957>

Juárez, C. J. A. (2016). Inoculación maíz con *Glomus intraradice* y *Azospirillum brasilense* en San Pablo Tepetzingo, Tehuacán, Puebla. Tesis de Maestría. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Tehuacán, Puebla, México.

<https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/1766>

López-Valenzuela, B. E., Armenta-Bojporquez, A. D., Hernández-Verdugo, S., Apodaca-Sánchez, M. A., Samaniego-Gaxiola, J. A., & Valdez-Ortiz, A. (2019). *Trichoderma* spp. And *Bacillus* spp. As growth promoters in maize

(*Zea mays* L.). *Phyton*, 88(1), 37-46.
<https://doi.org/10.32604/phyton.2019.04621>

Loredo-Osti, C., Beltrán, L. S., & Peña, del R. Ma. de los A. (2007). Uso de biofertilizantes para la producción de maíz forrajero en condiciones de temporal. *Folleto Científico No. 2. Campo Experimental San Luis-CIRNE-INIFAP*. San Luis Potosí, S.L.P. México. pp: 47.
<http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/164.pdf>

Martínez, R. L., Aguilar, J. C. E., Carcaño, M. M. G., Galdámez, G. J., Gutiérrez, M. G. M., Antonio, Morales, C. J. A., Martínez, A. F. B., Llaven, M. J., & Gómez, P. E. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra*, 5(1), 026-037.
<https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1425>

Montejo-Martínez, D., Casanova-Lugo, F., García-Gómez, M., Oros-Ortega, I., Díaz-Echeverría, V., & Morales-Maldonado, E. R. (2018). Respuesta foliar y radical del maíz a la fertilización biológica-química en un suelo Luvisol. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 338.
<https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.29511>

Mota-Pacheco, L. E., Guadarrama-Mendoza, P. C., Salas-Coronado, R., Escalante, A., Montville, T. J., & Valadez-Blanco, R. (2019). Adaptación de *Bacillus licheniformis* a melazas para la producción mejorada de una cepa biofertilizante. *Agrociencia*, 53(8), 1183-1201. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1869/1866>

Pérez-Luna, Y. del C., & Álvarez, S. J. D. (2021). Efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre el rendimiento de maíz en parcelas con y sin cobertura vegetal. *Idesia (Chile)*, 39(4), 29-38.
<https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000400029>

Pérez-Luna, Y. del C., Álvarez-Solís, J. D., Mendoza-Vega, J., Pat-Fernández, M., & Gómez-Álvarez, R. (2012). Influencia del humus de lombriz y biofertilizantes en el crecimiento y rendimiento de maíz. *Gayana Bot.*,

69(Número Especial), 18-21.
http://www2.udec.cl/~gvalencia/pdf/GB2012_69_ne_Perez-Luna_etal.pdf

Resendiz-Venado, Z., Zelaya-Molina, L., Chavez-Diaz, I. F., Aguilar, G., Reynoso-Santos, R., Cruz, C., & Bautista-Ramírez, E. (2022). Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal aisladas de suelos rizosféricos de la región de La Frailesca, Chiapas. *Ciencia y Technol. Agrop. México*. 10(1), 45-52.

<https://www.researchgate.net/publication/368305504>

Reyes-Tena, A., López-Pérez, L., Quiñones Aguilar, E. E., & Rincón-Enríquez, L. (2015). Evaluación de consorcios micorrícicos arbusculares en el crecimiento vegetal de plantas de maíz, chile y frijol. *Revista Biológicas*, 17(2), 36-40. <https://www.researchgate.net/publication/297758503>

Rios-Galicia, B., Villagómez-Garfias, C., De la Vega-Camarillo, E., Guerra-Camacho, J. E., Medina-Jaritz, N., Arteaga-Garibay, R. I., Villa-Tanaca, L., & Hernández-Rodríguez, C. (2021). The Mexican giant maize of Jala landrace harbour plant-growth-promoting rhizospheric and endophytic bacteria. *3 Biotech*, 11(10), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02983-6>

Rodríguez-Hernández, M. G., Gallegos-Robles, M. A., Rodríguez-Sifuentes, L., Fortis-Hernández, M., Luna-Ortega, J. G., & González-Salas, U. (2020). Cepas nativas de *Bacillus* spp. Como una alternativa sostenible en el rendimiento de forraje de maíz. *Terra Latinoamericana*, 38, 313-319. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792020000300313

Sanchez, B. A., De León G. de A. C., Goodwin, P., Aranda, O. S., & Zavaleta, M. E. (2015). Reducción de estrés hídrico en maíz mediada por bacterias endofitas de la raíz. *Colegio de Posgraduados*. pp: 95-99. http://www.colpos.mx/wb_pdf/Montecillo/fitopatologia/noticias/MEMORIA_AVANCES%20DE%20INVESTIGACION%202015.pdf

- Sánchez-Bautista, A., León-García de Alba, C. D., Aranda-Ocampo, S., Zavaleta-Mejía, E., Nava-Díaz, C., Goodwin, P. H., & Leyva-Mir, S. G. (2018). Bacterias endófitas de la raíz en líneas de maíces tolerantes y susceptibles a sequía. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(1), 35-55. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1710-3>
- Santillano-Cázares, J., Marie-Soleil, T., Cárdenas-Castañeda, M. E., Limón-Ortega, A., Paredes-Melesio, R., Guerra-Zitlalapa, L., & Ortiz-Monasterio, I. (2022). Sección 1: Agricultura orgánica: 1.6 ¿Pueden los biofertilizantes reducir las dosis de fertilizantes sintéticos en cereales en México? En C. E. Ail Catzim, B. M. Montiel Batalla, & M. Galicia Juárez (Eds.), *Investigación en Ciencias Agrícolas. Desarrollo científico y tecnológico en la producción agrícola sustentable* (1.a ed., pp. 70-72). astra editorial. <https://www.researchgate.net/publication/368755831>
- Uribe, V. G., & Dzib, E. R. (2006). Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* y Brassinoesteroide en la producción de maíz en suelo luvisol. *Agricultura Técnica en México*, 32(1), 69-74. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v32n1/v32n1a7.pdf>
- Vázquez-Martínez, J. A., González-Cárdenas, J. C., Chiquito-Contreras, R., Sangabriel-Conde, W., & Alvarado-Castillo, G. (2019). Evaluación del potencial biofertilizante de cinco especies de *Trichoderma* en la producción de maíz elotero nativo e híbrido bajo condiciones de campo. *Información Técnica Económica Agraria*, 115(3), 213-218. <https://doi.org/10.12706/itea.2019.006>
- Villa-Castro, L., Mayek-Pérez, N., & García-Olivares, J. L. (2014). Efecto de la inoculación en maíz con cepas nativas de *Azospirillum* sp. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(1), 33-38. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83729789004>
- Xiu, K. A. (2014). Evaluación del Crecimiento del maíz VS-536 Inoculado con Microorganismos (Micorrizas y *Azospirillum*), y con la Adición de

Fertilizantes Químicos en un Suelo Luvisol. *Informe Técnico de Residencia Profesional, SEP/ITZM*. Quintana Roo, México. pp: 23-32. http://www.zonamaya.tecnm.mx/web_biblio/archivos/res_prof/agro/agro-2014-5.pdf

Zulueta-Rodríguez, R., Gómez-Merino, F. C., Alemán-Chávez, I., Núñez-Camargo, M. del C., & Lara-Capistrán, L. (2020). Respuesta del cultivo de maíz a la bio-inoculación y fertilización química reducida en campo. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 597-612. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.656>