



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V**



Evaluación de la respuesta del agroecosistema maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación de microorganismos benéficos en Villaflores, Chiapas, México

TESIS

Que para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
TROPICAL**

Presenta

MAGNOLIA MAZA GONZÁLEZ L120068

Director de tesis

DR. FRANCISCO GUEVARA HERNÁNDEZ

Codirector

DR. VÍCTOR MANUEL RUIZ VALDIVIEZO

Villaflores, Chiapas; febrero de 2023



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS, CAMPUS V.
DIRECCIÓN**



Villaflores, Chiapas
01 de febrero de 2023
Oficio N° D/123/23

C. MAGNOLIA MAZA GONZÁLEZ
MAESTRANTE EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS CAMPUS V
P R E S E N T E.

En atención a que usted ha presentado los votos aprobatorios del Honorable Jurado designado para su evaluación de posgrado, de la tesis titulada: **“Evaluación de la respuesta del agroecosistema maíz (*Zea Mays* L.) a la aplicación de microorganismos benéficos en Villaflores, Chiapas, México”**, por este conducto le comunico que se le autoriza la impresión del documento, de acuerdo a los lineamientos vigentes de la Universidad.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”


M. C. CARLOS ALBERTO VELÁZQUEZ SANABRIA
DIRECTOR



C. c. p. Archivo

CAVS*marh.



Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Magnolia Maza González,
Autor (a) de la tesis bajo el título de "Evaluación de la respuesta del agroecosistema maíz (Zea mays L.) a la aplicación de microorganismos benéficos en Villaflores, Chiapas, México,"
presentada y aprobada en el año 20 23 como requisito para obtener el título o grado de Maestra en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical, autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 16 días del mes de Febrero del año 20 23.

Magnolia Maza González

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Chiapas, a la Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical y a la Facultad de Ciencias Agronómicas por permitirme realizar mis estudios en sus instalaciones, obtener conocimiento y experiencia para mi formación profesional.

Al CONACYT por otorgar la beca para realizar mis estudios de posgrado y al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas (ICTIECH) que aportó el financiamiento complementario recibido a través de los proyectos “Fortalecimiento de capacidades locales para la producción y uso de biofertilizantes con microorganismos nativos de la Frailesca Chiapas” y “Sustentabilidad de las unidades de producción familiar y su fortalecimiento mediante ferias de agrobiodiversidad en la Frailesca, Chiapas”.

A la Red de Estudios para el Desarrollo Rural A.C. por el apoyo en la realización del “Curso-taller sobre producción y uso de biofertilizantes con microorganismos nativos” y la “Feria de agrobiodiversidad”.

Al Dr. Francisco Guevara Hernández por su apoyo, paciencia, su guía y todos los consejos que me serán útiles en mi futuro profesional.

Al Dr. Víctor Manuel Ruíz Valdiviezo por su codirección y facilitar el acceso al Laboratorio de Biología Molecular para realizar el análisis de secuenciación.

A mis asesores la Dra. Mariela Reyes Sosa, el Dr. Manuel Alejandro La O Arias y el Dr. José Roberto Aguilar Jiménez por sus comentarios, revisión y apoyo en el análisis estadístico.

A la Mtra. Lissy Rosabal Ayan y al Mtro. Manuel Antonio Hernández Ramos por su apoyo en el trabajo de campo, su amistad y consejos.

A los productores por las facilidades prestadas para realizar este trabajo de investigación en sus parcelas de maíz.

A mis compañeros de la 14 Promoción de la MCPAT, en especial al Ing. Juan Carlos López Hernández, a Dulce Noelia Peña Cano y Zoila del Carmen Anzueto Herón por sus consejos y amistad.

A mi familia por su apoyo incondicional que me han brindado siempre.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 El cultivo de maíz: áreas cultivadas, producción y rendimiento del grano	4
2.2 El suelo y los microorganismos	5
2.3 Microorganismos benéficos	6
2.4 Consorcios microbianos	7
2.4.1 Surgimiento y uso de los biofertilizantes.....	8
2.5 La fertilización química. Beneficios y daños en los agroecosistemas.....	9
2.6 Efectos de la combinación biofertilizantes + fertilización química.....	10
2.6.1 Efecto económico-productivo de la combinación biofertilizantes + fertilización química	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 Diseño general de la investigación	13
3.2 Fase exploratoria	13
3.2.1 Ubicación de áreas para colecta de microorganismos	13
3.2.2 Caracterización de sitios de colecta	13
3.2.3. Colecta de suelo y hojarasca.....	17
3.2.4 Reproducción y activación de microorganismos.....	17
3.2.5 Análisis físico-químico de los consorcios microbianos	17
3.3. Fase experimental	18
3.3.1 Diseño experimental	18
3.3.2 Aplicación de consorcios microbianos	18
3.3.3 Evaluación de variables agronómicas en el cultivo de maíz.....	19
3.4 Muestro de suelo	20
3.4.1 Muestro de suelos antes de establecer el experimento	20

3.4.2 Muestreo de suelos después del experimento	20
3.5 Análisis económico	21
3.6 Análisis estadístico	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1. Caracterización físico-química de los consorcios microbianos.....	22
4.2 Caracterización físico-química del suelo	24
4.2.1 pH del suelo.....	26
4.2.2 Materia orgánica.....	26
4.2.3 Nitrógeno	28
4.2.4 Fósforo	29
4.2.5 Potasio.....	30
4.2.6 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	31
4.4 Variables agronómicas	33
4.4.1 Altura de planta.....	33
4.4.2 Peso fresco de hojas, tallo y mazorca	34
4.4.3 Peso seco de hojas, tallo y mazorca	36
4.5 Rendimiento	37
4.5. Análisis económico	39
V. CONCLUSIONES	42
VI. LITERATURA CITADA	43
VII. ANEXO	55

ÍNDICE DE CUADROS

AGRADECIMIENTOS	iii
Cuadro 1. Caracterización de parcelas de acuerdo al manejo realizado por cada productor.	16
Cuadro 2. Tratamientos evaluados en el área experimental en ambas parcelas.	19
Cuadro 3. Caracterización química de los consorcios microbianos en estado líquido.	23
Cuadro 4. Caracterización física y química del suelo antes y después de establecer el experimento en Parcela 1.	24
Cuadro 5. Caracterización física y química del suelo antes y después de establecer el experimento en Parcela 2.	25
Cuadro 6. Altura de planta (cm) por tratamientos en ambas parcelas.	34
Cuadro 7. Peso fresco de mazorca, hojas y tallo en ambas parcelas.....	35
Cuadro 8. Peso seco de mazorca, hojas y tallo en ambas parcelas.	36
Cuadro 9. Rendimiento de grano de maíz en ambas parcelas.	39
Cuadro 10. Respuesta productiva y económica para ambas parcelas.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las áreas de colecta de inóculos. Círculos amarillos: Sitios de colecta de suelo en parcela y parcelas experimentales. Círculos verdes: Sitios de colecta de hojarasca en montaña (MM). Fuente: M. Antonio H. Ramos.	15
Figura 2. Diseño experimental y distribución de los tratamientos en las parcelas.	18

RESUMEN

En el agroecosistema maíz de la región Frailesca el uso intensivo del suelo ha provocado la degradación de sus propiedades fisicoquímicas y biológicas; en consecuencia tiende a bajar su productividad al incrementarse el uso de agroquímicos, principalmente fertilizantes químicos que a su vez, elevan los costos y ocasionan daños al ambiente. Por lo tanto, una alternativa más sustentable es usar los consorcios microbianos como biofertilizantes en los sistemas de producción agrícola. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de consorcios microbianos procedentes de diferentes ambientes agrícolas y de montaña sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz en dos sistemas en Villaflores. El experimento se realizó en dos parcelas con manejo diferenciado de fertilización: Parcela 1 (600 kg de urea + 240 kg de pollinaza por hectárea) y Parcela 2 (900 kg de urea por hectárea). Mediante la técnica de activación y reproducción se obtuvieron seis consorcios microbianos: MM1 (Reserva de Recursos Naturales “La Frailesca”), MM2 (Reserva de la Biosfera “La Sepultura”, MM3 (Cerro Nambiyugua), MP1 (Consorcio de Parcela 1), MP2 (Consorcio de Parcela 2), MP3 (Parcela de municipio Villa Corzo). Se analizó el efecto de los consorcios microbianos sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo, se realizó dos muestreos, antes y después del experimento. Se estableció un diseño experimental de bloques al azar para evaluar el efecto de los seis consorcios y un control sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz. Finalmente se realizó un análisis económico para determinar esta respuesta. Con los resultados obtenidos se observó mejoras en las propiedades fisicoquímicas del suelo, como el aumento de nitrógeno, potasio y materia orgánica en la Parcela 1 y de nitrógeno, potasio y fósforo en la Parcela 2. Hubo diferencias significativas en altura de planta en ambas parcelas destacando en la Parcela 1 el consorcio MM3 y en la Parcela 2 el consorcio MM1. Para peso seco de mazorca, en la Parcela 1 se observó diferencia significativa con los consorcios de montaña MM2 con 80.1 g y MM3 con 80.2; en la Parcela 2 sobresalió con mayor peso de mazorca el consorcio MM3 con 115 g. En rendimiento de grano se encontraron diferencias significativas solo en la Parcela 1 con los consorcios MP1 (11.6 t ha⁻¹) y MP3 (11.4 t ha⁻¹). En el análisis económico la Parcela 1 la mayor utilidad económica por hectárea se obtuvo con MP1 con \$47,698.7 con respuesta económica del 33% más alta respecto al testigo. En la Parcela 2 se observó una tendencia donde el tratamiento MP3 fue mayor, la respuesta económica indica que se obtuvo una ganancia de 3% comparado con el testigo.

Palabras clave: consorcios microbianos, biofertilizantes, maíz, rendimiento, utilidad económica.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz, es uno de los tres cereales más importantes del mundo, a su cultivo se dedican más de 193 millones de hectáreas en 169 países (FAO, 2020). En México, el maíz es de gran importancia por su historia, tradición, impacto social y económico (González *et al.*, 2013). El estado de Chiapas, ocupa el séptimo lugar productivo a nivel nacional, con un rendimiento de 1.72 t ha⁻¹ según, SIAP (2021a), destaca la región Frailesca que posee la mayor superficie sembrada de maíz con rendimiento promedio de 3.2 t ha⁻¹. Sin embargo, la producción promedio por unidad de superficie se ubica por debajo de la media nacional que es de 4,07 t ha⁻¹ (SIAP, 2021a).

La situación actual del agroecosistema maíz en la Frailesca, enfrenta diversos problemas, entre ellos, el alto uso de insumos agrícolas (Robles, 2010). Los costos que afectan mayoritariamente la producción de maíz provienen del uso excesivo de los agroquímicos, incluidos los fertilizantes y el pago de mano de obra. Los fertilizantes representan del 40 al 50 % del costo total de producción en cada ciclo del cultivo (Guevara *et al.*, 2015). Para mantener los rendimientos a un nivel aceptable, los productores utilizan altas cantidades de insumos sintéticos (Galdámez, 2013; Martínez *et al.*, 2020).

Debido a la problemática antes señalada, para el caso de la Frailesca se ha generado la búsqueda de alternativas que permitan obtener mejores cosechas, que sean rentables y sostenibles, una de ellas es el uso de microorganismos benéficos que influyen en la mejora de las condiciones físico-químicas y biológicas del suelo y que por tanto, mejoran la calidad y cantidad de las cosechas (Martínez *et al.*, 2018; Polo-Franco, 2022; Coutiño-Puchuli, 2023).

Se ha demostrado que los microorganismos benéficos promueven el crecimiento vegetal, ayudan al uso más eficiente de la humedad disponible en el suelo y a la absorción de nutrientes poco móviles y solubles (Beltrán-Pineda y Bernal-Figueroa, 2022). Los microorganismos benéficos del suelo forman consorcios, de esta manera son capaces de resistir a variaciones del ambiente; además, esta asociación

establecen les permite realizar funciones que individualmente les serían más difíciles (Lucas-García *et al.*, 2004; Castro- Barquero *et al.*, 2015).

Diversas investigaciones han demostrado los beneficios que se obtienen con el uso de los consorcios microbianos en el cultivo de maíz. Se han alcanzado mayores rendimientos de grano aplicando fertilizantes químicos + microorganismos benéficos, comparado con la fertilización química (Castañeda-Hidalgo *et al.*, 2021; Flores *et al.*, 2021), experimentos realizados en la región Frailesca han encontrado resultados similares con la aplicación de biofertilizantes (Martínez *et al.*, 2018). También es posible aumentar la rentabilidad del cultivo cuando se disminuye la fertilización química, y a largo plazo mejorar la biota y la disponibilidad de nutrientes en el suelo (García, 2012; Alarcon-Camacho *et al.*, 2019).

A pesar que los biofertilizantes representan una alternativa prometedora en mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, aumentar el rendimiento y reducir costos por fertilización química, los microorganismos que se inoculan pueden no adaptarse a condiciones climáticas. En este sentido, surge la necesidad de estudiar el efecto potencial de las comunidades nativas de microorganismos benéficos en el agroecosistema maíz de la región Frailesca.

1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de consorcios microbianos procedentes de diferentes ambientes agrícolas y de montaña sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz en dos manejos de sistema diferentes en Villaflores, Chiapas.

1.2 Objetivos específicos

- a) Evaluar el efecto de los consorcios microbianos sobre el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de maíz bajo dos formas diferenciadas de fertilización.
- b) Analizar el efecto de la aplicación de consorcios microbianos en la fertilidad del suelo a través de un ciclo agrícola.
- c) Determinar el costo económico que implica el uso de consorcios microbianos en el cultivo de maíz.

1.3 Hipótesis

- a) La aplicación de consorcios microbianos en el cultivo de maíz, pueden mejorar el crecimiento, desarrollo y rendimiento en la Frailesca, Chiapas.
- b) Los consorcios microbianos mejoran las características físico-químicas del suelo cultivados con maíz.
- c) La fertilización complementaria de al menos un consorcio aplicado al cultivo de maíz se obtendrá mayor rendimiento económico.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El cultivo de maíz: áreas cultivadas, producción y rendimiento del grano

En el mundo, el maíz es uno de los cereales que más se consume, su principal uso es para la alimentación, también es útil en la producción de biocarburantes y para la extracción de almidón, aceites y otras sustancias para uso industrial. La importancia alimentaria que tiene este cereal sobre otros, como el trigo o el arroz, es porque es útil en cualquier etapa de desarrollo de la planta (SIAP, 2021b).

Es el cultivo con mayor distribución en México, de las 24.6 millones de hectáreas de superficie agrícolas el 24.5 % es sembrado con maíz (SIAP, 2021b); otro motivo por el cual es un cultivo especial para los mexicanos es porque está ligado a la cultura y la cosmovisión de los pueblos originarios.

A nivel mundial, México es el octavo mayor productor de este grano con 27, 228,242 toneladas, sin embargo, la producción no cubre las demandas de consumo y, por tanto, es el mayor importador de maíz, principalmente amarillo (SIAP, 2020).

Los estados que se destacan en la producción de este cultivo se ubican en las regiones del centro y norte del país, como Sinaloa, Jalisco y Michoacán; Chiapas ocupa el octavo lugar nacional en volumen de producción y es el principal productor de maíz en la región sur-sureste (SIAP, 2021b).

En Chiapas se sembraron 690 653 hectáreas de maíz durante el 2021, con volumen de producción de 1, 257,883 toneladas y rendimiento promedio 1.83 t ha⁻¹ (SIAP, 2021a). Para este mismo año, el maíz se ubicó en el primer lugar de los cultivos más importantes del estado, aportando al valor de la producción agrícola anual con 31.5%, lo que representó 5, 365,527 miles de pesos (CEIEG, 2020).

En este estado, la región Frailesca se ha destacado por una alta producción en maíz (Galdámez *et al.*, 2008), se siembra alrededor del 17 % de la superficie agrícola estatal y su cosecha aporta el 22 % de la producción.

De la región Frailesca los municipios con la producción más alta son Villa Corzo, La Concordia y Villaflores, en este último se cosecharon 68 209.75 toneladas en 2020,

ubicándose en el primer lugar en el estado, con rendimiento de 2.96 t ha⁻¹, por encima de la media estatal (1.83 t ha⁻¹) (SIAP, 2021a). Esto se debe al sistema de producción convencional que predomina en la región, caracterizado por el uso de semillas mejoradas y la aplicación de agroquímicos; sin embargo cuando se hace un uso indiscriminado de agroquímicos por parte de los productores, esto provoca la degradación del suelo (López *et al.*, 2019).

2.2 El suelo y los microorganismos

El suelo es un elemento importante para la productividad y funcionamiento de los ecosistemas, de su manejo apropiado depende la producción sostenible de cultivos; sin embargo, en los agroecosistemas la labranza intensiva y uso de productos químicos origina cambios en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, lo cual afecta el equilibrio natural. Esto a largo plazo repercute en la producción de los cultivos (; Stefan *et al.*, 2010; El Mujtar *et al.*, 2019).

El suelo es considerado como un sistema natural vivo, dinámico y complejo. En él habita una gran diversidad de micro, meso y macrofauna. Los microorganismos tienen un papel importante en la vida del suelo, realizan múltiples funciones para sustentar a los ecosistemas y cultivos agrícolas, como la regulación de los ciclos de nutrientes, por citar un ejemplo (Montaño-Arias *et al.*, 2018; Porta *et al.*, 2019), si las características del suelo están en equilibrio, se tendrá el crecimiento y desarrollo continuo de microorganismos, por lo que se puede interpretar como un indicador de un suelo fértil (Martínez, 2018).

Cuando se usan de manera indiscriminada productos químicos, tienden a disminuir las poblaciones microbianas, se altera la acidez del suelo, se pueden incrementar los niveles de sales y elementos tóxicos, metales pesados, el suelo entra en desequilibrio casi total. El incremento de las poblaciones de microorganismos tiene un efecto regulador y recuperador de la vida y el equilibrio en el suelo (Tanya y Leiva, 2019).

2.3 Microorganismos benéficos

Diversas investigaciones se han centrado en la búsqueda de inóculos microbianos como promotores del crecimiento vegetal, solubilizadores de nutrientes o supresores de agentes patógenos, que permiten aumentar el rendimiento de los cultivos, mejorar la fertilidad del suelo, mayor resistencia de las plantas al estrés abiótico y a patógenos (Nurbaity *et al.*, 2016; Guardiola-Márquez *et al.*, 2019). Estos estudios también han permitido conocer la interacción que hay entre los diferentes microorganismos, sobre todo aquellos que tienen efectos benéficos en las plantas y pueden mejorar la productividad agrícola, como son las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal y los hongos micorrízicos (Gouda *et al.* 2018; Jochum *et al.*, 2019).

El uso de los microorganismos en la agricultura está determinado por los beneficios que aportan, como la degradación de residuos orgánicos, solubilización de nutrientes, la fijación de nitrógeno atmosférico, la supresión de organismos patógenos y la producción de compuestos que favorecen el crecimiento de las plantas (Ojuederie *et al.*, 2019). Para obtener los beneficios que proporcionan los microorganismos es necesario tener las condiciones óptimas para su desarrollo, como son la disponibilidad de agua, oxígeno, pH, temperatura y la disponibilidad de fuentes energéticas (Tanya-Morocho y Leiva-Mora, 2019; Caycedo-Lozano *et al.*, 2021).

En los últimos cinco años, en México se ha mostrado un aumento en la investigación sobre el uso de microorganismos benéficos aplicados en sistemas agrícolas, se han estudiado 85 géneros microbianos, entre los cuales destacan *Glomus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Acaulospora* y *Rhizophagus* (Santos-Villalobos *et al.*, 2018; Coutiño-Puchuli *et al.*, 2023).

Se han realizado investigaciones en 51 cultivos, principalmente en maíz, tomate (*Solanum lycopersicum*), chile (*Capsicum annum* L.), trigo (*Triticum* spp.), sorgo (*Sorghum bicolor*), café (*Coffea* spp.), calabacita (*Cucurbita pepo* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). (Santos-Villalobos *et al.*, 2018; Coutiño-Puchuli *et al.*, 2023).

Sin embargo, otros autores tienen la idea que es mejor realizar una bioaumentación de los microorganismos autóctonos, siendo estos ya adaptados a las condiciones establecidas para mayor efectividad en campo (Armenta-Borjes *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2018; Nuzzo *et al.*, 2020). En tomate se ha obtenido mayor crecimiento de plantas con inoculación de cepas nativas de *Bacillus subtilis* más fertilización química (Rai y Nabti, 2017; Rojas-Badía *et al.*, 2020). En este mismo cultivo, Rojas-Badía *et al.*, (2020) aislaron cuatro cepas nativas de *Azotobacter* spp. y obtuvieron resultados positivos en el desarrollo vegetativo, las cepas más efectivas fueron las que se inocularon en consorcio al compararlo con la inoculación individual. En cultivos de gramíneas, la bacteria *Azobacter chroococcum* al asociarse con *Agrobacterium*, *Aerobacter* y *Clostridium* fija más nitrógeno que cuando se inocula sola (Baars *et al.*, 2018).

2.4 Consorcios microbianos

Actualmente hay un mayor interés en conocer y aplicar consorcios microbianos, que son una asociación de hongos, bacterias y levaduras benéficas que se desarrollan de forma natural en los suelos de los diferentes ecosistemas (Umaña *et al.*, 2017). Esta agrupación natural sinérgica de diferentes grupos taxonómicos, donde la principal característica de estos consorcios es la diversidad funcional (Ochoa-Carreño y Montoya-Restrepo, 2010; Álvarez *et al.*, 2018). Un consorcio microbiano lleva a cabo funciones complejas que para una población individual sería imposible; además la coexistencia les permite resistir a condiciones adversas del ambiente o limitación de alimento (Castro-Barquero *et al.*, 2015).

En la actualidad, existe una marcada tendencia a realizar estudios y aplicaciones de microorganismos para mitigar la degradación en el ambiente, y su potencial biotecnológico para reducir el impacto negativo de los productos químicos en los sistemas agrícolas (Rosabal Ayan, 2021). El uso de los microorganismos en la agricultura tuvo sus inicios en la década de 1970, a partir de entonces el estudio y uso de los biofertilizantes, tuvo mayor difusión en los países de Europa y Asia, no sucedió así en los países latinoamericanos (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012). En las últimas décadas el desarrollo en la investigación de los microorganismos benéficos

representa una alternativa de la biotecnología para su aplicación viable en la producción agrícola (Guardiola-Márquez *et al.* 2021).

Los consorcios microbianos son la combinación de microorganismos benéficos, que cumplen funciones como promotores del crecimiento, biofertilizantes o agentes de control de plagas y enfermedades (De los Santos-Villalobos *et al.*, 2018). En los consorcios, hay microorganismos que realizan una o más funciones benéficas, por lo tanto, su importancia está en aprovechar la acción colaborativa de cada uno de estos, con la finalidad de obtener un aumento en el rendimiento y calidad de los cultivos (Lara y Negrete, 2015; Martínez y Soto, 2018). El empleo de microorganismos, es una opción para mejorar la calidad del suelo y evitar el deterioro de los ecosistemas agrícolas.

2.4.1 Surgimiento y uso de los biofertilizantes

Para comprender mejor la relación entre los microorganismos del suelo y las plantas se ha definido el término biofertilizante, que deriva de fertilizante biológico, es decir, que implica el uso de un organismo vivo que se aplica al suelo o a la planta (Castro y González, 2015).

Para Vessey (2003), un biofertilizante es una sustancia que contiene microorganismos vivos que colonizan la rizósfera o el interior de la planta cuando se aplican a semillas, superficies vegetales o suelo, y promueven el crecimiento al aumentar el suministro o la disponibilidad de nutrientes primarios a la planta huésped.

Armenta-Bojórquez *et al.* (2010) lo definen como preparados de microorganismos que se aplican al suelo o planta con el objetivo de sustituir parcial o totalmente la fertilización sintética y en consecuencia disminuir la contaminación por agroquímicos.

Malusá y Vassilev (2014) mencionaron que el término biofertilizante no es sinónimo de fertilizantes orgánicos o bioestimulantes derivados de microorganismos de productos que contienen células microbianas muertas, extractos de cultivos microbianos o extractos de células microbianas.

El uso de microorganismos como biofertilizantes es una biotecnología prometedora para incrementar la producción agrícola con menos cantidad de fertilizantes, además es considerado como una tecnología sostenible (Infante-Jiménez et al., 2020).

En el ámbito mundial, la aplicación de biofertilizantes comenzó hace más de sesenta años, práctica que ha sido objeto de investigaciones durante las últimas décadas. Existe un incremento en la evidencia de que las poblaciones microbianas benéficas pueden aumentar la resistencia de las plantas a condiciones medioambientales adversas como la deficiencia de nutrientes

Los biofertilizantes se producen a partir de microorganismos que viven normalmente en el suelo y abarcan diversos grupos, pueden consistir en especies seleccionadas o comprender poblaciones mixtas de microorganismos (Beltrán-Pineda y Bernal-Figueroa, 2022). Su fabricación puede ser de forma artesanal o en biofábricas industriales (Coutiño-Puchuli *et al.*, 2023). Por lo tanto, los consorcios microbianos definidos anteriormente, se consideran también como biofertilizantes (Verzeaux et al., 2017).

2.5 La fertilización química. Beneficios y daños en los agroecosistemas

La población mundial es tres veces mayor que hace 50 años, se estima que para el 2030 la población mundial será alrededor de 8,500 millones (ONU, 2022). Este aumento de la población dará lugar a una mayor demanda de alimentos para garantizar la seguridad alimentaria. El uso de agroquímicos es el medio más eficaz para mejorar el rendimiento de los cultivo y protegerlos de plagas y enfermedades (Bhattacharyya *et al.*, 2020).

Sin embargo, la aplicación constante de altas cantidades de agroquímicos ha afectado la productividad del suelo, cuyo resultado observable por los productores es un menor rendimiento de sus cultivos (Pulleman *et al.*, 2008; Infante-Jiménez *et al.*, 2020); lo que genera a su vez una dependencia del uso de fertilizantes en cada ciclo de cosecha, y en consecuencia provoca que, en el caso del cultivo de maíz, no sea rentable, afectando principalmente a los pequeños productores debido a los

altos costos de producción (Guevara *et al.*, 2015). Además, se afectan las propiedades químicas del suelo, principalmente en la dinámica y estructura de las poblaciones microbianas (Sivila de Cary y Ángulo; 2006).

El uso inadecuado y prolongado de grandes dosis de fertilizantes contribuye a que los suelos se vuelvan más ácidos, lo que implica a largo plazo problemas de productividad económica (Mandal *et al.*, 2020).

Las poblaciones de microorganismos también son afectadas por las labores de cultivo. Se ha observado que el tiempo de descanso de los suelos tiene efecto en las poblaciones de microorganismos, siendo los organismos proteolíticos y las micorrizas arbusculares los más abundantes a mayor tiempo de descanso de las parcelas (Sibila y Angulo, 2006).

En la región Frailesca, Martínez-Aguilar (2020) analizó las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en el agroecosistema maíz bajo tres sistemas de manejo, convencional, agroecológico y mixto. En dicho estudio no se reportaron diferencias entre las propiedades físico-químicas en los tres sistemas; sin embargo, se comprobó que el suelo con manejo agroecológico presentó mayor abundancia y diversidad de macro y microorganismos, siendo el manejo convencional el que presentó el menor índice de biodiversidad.

La aplicación de dosis óptimas de agroquímicos se puede mantener el equilibrio ecológico y salud del suelo (Mandal *et al.*, 2020). También se ha evidenciado el uso eficiente de la fertilización química a bajas dosis combinado con la biofertilización, este proceso ocurre debido a que los consorcios microbianos ayudan a un mejor aprovechamiento de los fertilizantes (Robles-Montoya *et al.*, 2019).

2.6 Efectos de la combinación biofertilizantes + fertilización química

El uso de inoculantes simbióticos benéficos del suelo (hongos y bacterias), puede ser una estrategia ecológica y económica viable para mejorar la microbiota en el suelo y reducir el uso de fertilizantes químicos en los sistemas de producción

agrícola en el trópico (Aguilar-Carpio *et al.*, 2015). Además, puede contribuir a restablecer en parte, el balance biológico de la rizósfera.

Aguilar *et al.*, (2022) compararon el rendimiento de tres genotipos de maíz con y sin aplicación de biofertilizantes y nitrógeno (0, 80 y 160 kg ha⁻¹) y concluyeron que la aplicación de biofertilizante y nitrógeno incrementó el rendimiento, independientemente del genotipo. A su vez, Martínez *et al.*, (2018) reporta un incremento en el rendimiento del grano de maíz de 27.98 % con respecto al testigo absoluto cuando se combina *Azospirillum brasilense* con fertilización química.

La inoculación de trigo con un consorcio de *A. brasilense* y *Rhizobium leguminosarum* demostró que la inoculación dual fue superior a la individual, más aún cuando se agregó 50 Kg de N ha⁻¹. Esta mezcla bacteriana produjo un aumento en la materia seca de la parte aérea y del grano del 33 % y 22 %, respectivamente, comparado con plantas sin inocular (Galal *et al.*, 2001). La efectividad de esta coinoculación, es probablemente, debido a la producción de auxinas por parte de *Azospirillum* que altera la morfología radical y a la capacidad de *R. leguminosarum* de ingresar a través de los sitios donde emergen las raíces laterales; previamente esto se ha demostrado en trigo arroz y maíz (Sood *et al.* 2018).

La inoculación de trigo con una mezcla de *Azospirillum lipoferum* y *Bacillus megaterium* (cepas solubilizadoras de fosfato) aumentó el peso seco aéreo y la producción de nitrógeno total (Robles-Montoya *et al.*, 2019). La respuesta de la planta a la inoculación con *Azospirillum* probablemente se deba a varios mecanismos, incluidos la fijación de nitrógeno, la producción de hormonas, la actividad nitrato reductasa (Gouda *et al.*, 2018; Velasco-Jiménez *et al.*, 2020).

Los experimentos en campo avalan la efectividad de las coinoculaciones. La inoculación de semillas de maíz con *P. fluorescens* (bacteria solubilizadoras de fósforo) y *A. brasilense*, produjo un aumento en el contenido de fósforo de las plantas, lo cual pudo deberse a un aumento en la biomasa radical inducido por *Azospirillum* y por lo tanto, mayor exploración de suelo, y a la solubilización de fósforo del suelo que promueve *Pseudomonas*. El rendimiento del maíz fue 7 % mayor al testigo con el inoculante de las dos cepas, mientras que hubo solo un 4 %

de incremento en el rendimiento de plantas inoculadas solo con *Pseudomonas* (Gholami *et al.*, 2009).

Flores *et al.* (2021); quienes presentan diferencias numéricas en el rendimiento de una variedad de maíz híbrida donde el tratamiento: fertilizantes químicos + biofertilizantes supera los tratamientos fertilizantes químicos y biofertilizantes.

2.6.1 Efecto económico-productivo de la combinación biofertilizantes + fertilización química

El uso de biofertilizantes tiene muchos beneficios en los sistemas agrícolas, y no tiene un impacto negativo en el ambiente. Una de sus ventajas es que permite reducir la dosis de fertilizantes sin disminuir el rendimiento del cultivo (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012). Sin embargo, esta tecnología no es aplicada por la mayoría de los productores en México.

Se ha reportado que el mejor rendimiento económico es con la aplicación de biofertilizantes y el 75 % de la dosis recomendada de fertilizantes químicos (Sood *et al.*, 2018; El-Sirafy *et al.*, 2006; Bashan, 2008). Un trabajo que se realizó durante ocho años de inoculación extensiva de *Azospirillum* en el cultivo de maíz, en varias comunidades de Tlaxcala, Puebla, Morelos y Guerrero, se demostró el incremento en rendimientos de 5.8, 5.5, 4.0 y 4.0 toneladas por hectárea, respectivamente, con un ahorro del 50 % de fertilizante químico nitrogenado (Mascarúa *et al.*, 1994).

Con la disminución de la fertilización química se reducen costos, y con ello es posible incrementar la rentabilidad de los cultivos (García-Olivares *et al.*, 2012). Se recomienda que los consorcios microbianos sean empleados como complemento a la fertilización, con la finalidad de sustituir los insumos químicos a mediano o largo plazos (Alarcón-Camacho *et al.*, 2019; González-Márquez *et al.*, 2021).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Diseño general de la investigación

Esta investigación se desarrolló en dos fases. La primera fase, fue de tipo exploratorio y consistió en la ubicación de áreas para colecta de consorcios microbianos. En la segunda fase de tipo experimental, se evaluó el efecto de la aplicación de los consorcios microbianos en las variables agronómicas y productivas del cultivo de maíz y el suelo, en dos parcelas con manejo diferente de fertilización.

3.2 Fase exploratoria

3.2.1 Ubicación de áreas para colecta de microorganismos

Se ubicaron seis áreas en la región Frailesca para la colecta de consorcios microbianos: tres áreas de conservación con baja perturbación por actividad humana, y tres sitios de parcelas de cultivo de maíz.

Las áreas de conservación seleccionadas fueron: Área de Protección de Recursos Naturales (APRN) “La Frailescana”, el Cerro “Nambiyugua” y la Reserva de la Biósfera “La Sepultura”. Para los sitios de parcela se seleccionaron dos del municipio de Villaflores, el tercero en Villa Corzo, Chiapas.

3.2.2 Caracterización de sitios de colecta

3.2.2.1 Áreas de montaña

La colecta de inóculo en el APRN La Frailescana se realizó en el ejido Juan Sabinés del municipio de Villa Corzo, a 1845 m.s.n.m. Esta área se caracteriza por el ecosistema de bosque mesófilo de montaña que se desarrolla en suelos con abundante materia orgánica, generalmente ácidos y húmedos durante todo el año, el tipo de vegetación predominante son árboles de hoja perenne y caducifolios de clima templado, entre los que se encuentran liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*), roble (*Quercus* spp.), pino (*Pinus* spp.), tila (*Ternstroemia tepezapote*), palo de víbora, helecho arborescente (*Cyathea fulva*). El sotobosque está conformado por

arbustos de las familias *Acanthaceae*, *Rubiaceae* y *Myrsinaceae* como: camote santo (*Smilax sp.*); *Vitis sp.*; cícada (*Ceratozamia mirandae*) (CONANP, 2019).

El área de colecta en la Reserva de Biosfera La Sepultura se ubica en el ejido Villahermosa del municipio de Villaflores, entre 16°14'30.2" latitud Norte y 93°36'56.2" latitud Oeste. En los puntos de muestreo se registró una altura promedio de 1608 m.s.n.m. El tipo de vegetación de este sitio es característico de zonas altas con estrato arbóreo alto y bajo, las especies de árboles encontradas en el estrato alto son *Cojoba arborea*, *Genipa vulcanicola*, *Phoebe chiapensis* y *Quercus sp.*; algunos árboles del estrato bajo son *Iresines arbuscula*, *Psychotria graciliflora*, y *Rapanea myricoides*; algunos arbustos característicos son *Monnina sylvatica*, *Cavendishia crassifolia* y *Phytolacca purpurascens*; abundan las epífitas, los bejucos y los arbustos.

Los puntos de muestreo correspondientes al cerro Nambiyugua se ubicaron a 630 m.s.n.m. a 16° 16' 34" N y 93° 17' 07" latitud oeste. En el sitio donde se realizó la colecta predomina el clima cálido subhúmedo con temporales en veranos, lo que favorece el desarrollo de la selva baja caducifolia que se caracteriza por estar sometida a una temporada muy marcada de secas, lo que hace que los árboles pierdan la mayor parte de sus hojas. Se pueden encontrar especies como, roble (*Quercus rugosa*), caoba (*Swietenia macrophylla*), canelo (*Calycophyllum candidissium*), cedro (*Cedrela odorata*), guanacastle (*Enterolobium cyclocarpum*), cercito (*Casearia sylvestris*), nanchi o nance (*Byrsonima crassifolia*), bejuco tres costillas (*Serjania triquetra*), guaco (*Aristolochia anguicida*), uña de gato (*Uncaria tomentosa*), palo mulato (*Bursera simaruba*).

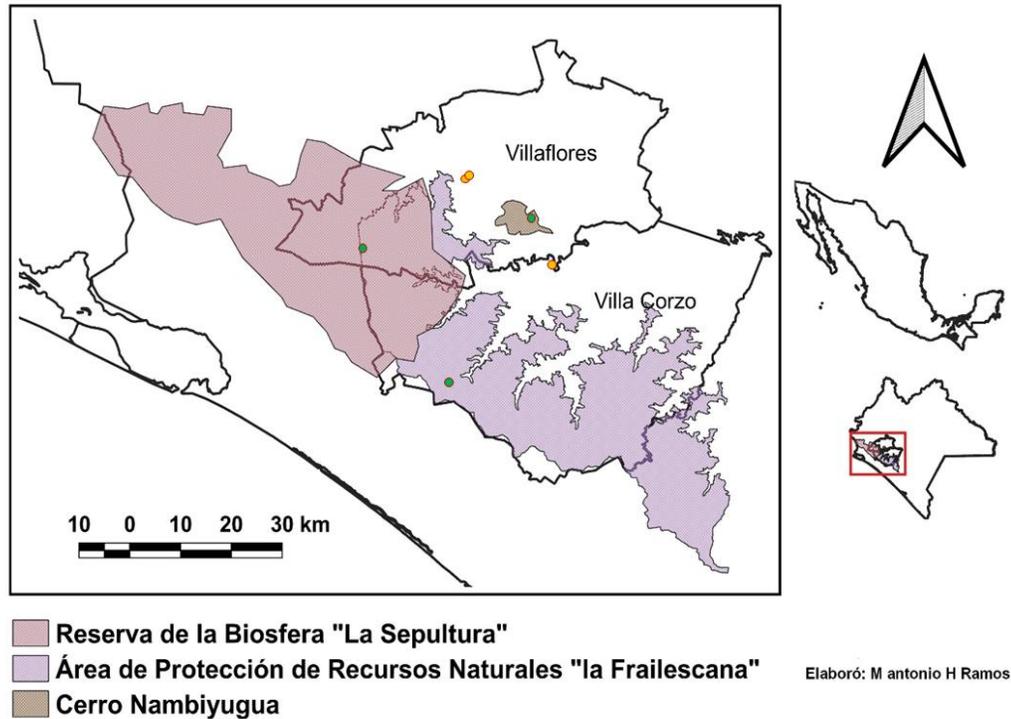


Figura 1. Ubicación de las áreas de colecta de inóculos. Círculos amarillos: Sitios de colecta de suelo en parcela y parcelas experimentales. Círculos verdes: Sitios de colecta de hojarasca en montaña (MM). Fuente: M. Antonio H. Ramos.

3.2.2.2 Parcelas de productores

Los sitios de colecta de las parcelas 1 y 2 se ubicaron en la localidad de Dr. Domingo Chanona, municipio de Villaflores, Chiapas. El predio se localiza en los 16°20'18.4" latitud norte y 93°26'48.4" latitud Oeste y una altitud de 724 m.s.n.m. La parcela 3 se ubica en el kilómetro 7,7 de la carretera Villa Corzo-Villaflores, entre las coordenadas 16°21'43.12" Latitud Norte y -93°15'51.36" Longitud Oeste a una altitud de 567 m.s.n.m.

Para la caracterización de las parcelas 1 y 2 se determinaron diferentes variables como: uso de mano de obra, dosis de fertilización, herbicida, insecticida y uso de maquinaria (Cuadro 1). Se realizaron entrevistas semiestructuradas a los propietarios de las parcelas, se consideró variables agronómicas y socioeconómicas de los productores (Anexos).

En la parcela 1 la preparación del terreno se inició el 30 de mayo, se realizó un paso de rastra. Previamente a la siembra se trató la semilla con Thiodicard. Se sembró de forma manual el híbrido Pioneer 4082W con separación de 0.8 m entre surcos y 0.2 m entre plantas. El control de malezas se realizó aplicando herbicidas en pre y post emergencia, los ingredientes activos que se utilizaron son glifosato, 2,4-D amina y paraquat. Para el control de gusano cogollero se aplicó Spinetoram. La fertilización consistió en dos aplicaciones de una mezcla de urea y pollinaza (600 kg de urea + 240 kg de pollinaza por hectárea).

Cuadro 1. Caracterización de parcelas de acuerdo al manejo realizado por cada productor.

Actividad	Parcela 1	Parcela 2
Preparación de suelo	Uso de maquinaria agrícola y herbicidas	Uso de herbicidas previo a la siembra
Tipo de semilla	Híbrida	Híbrida
Insumos	Uso de herbicidas e insecticidas sintéticos Aplicación de fertilizantes químicos y pollinaza Asociación de cultivos	Uso de herbicidas e insecticidas sintéticos Fertilización química Monocultivo
Prácticas culturales	Uso de las fases lunares para la siembra Uso de rastrojo para alimentar animales	Uso de las fases lunares para la siembra Uso de rastrojo para alimentar animales
Tipo de mano de obra	Pagada y familiar	Pagada y familiar
Destino de la producción	Consumo familiar y animales	Consumo familiar y animales
Tenencia de la tierra	Ejidal	Ejidal y propiedad privada
Superficie de maíz	2 ha	7 ha

En la parcela 2 no se utilizó maquinaria para la preparación del suelo, se utilizaron agroquímicos para la eliminación de maleza, se sembró de forma manual el híbrido Pioneer 4082W, con separación entre surcos de 0.8 m y entre plantas 0.2 m, para

el control de plagas se realizó la aplicación de agroquímicos. Se fertilizó a los 20 y 40 días después de siembra con urea (900 kg de urea por hectárea).

3.2.3. Colecta de suelo y hojarasca

Se realizó un muestreo de hojarasca y suelo para cada área seleccionada, se colectó a profundidad de 0 a 10 cm, las submuestras por lote se homogenizaron en un saco para obtener una muestra compuesta (INTA, 2015).

3.2.4 Reproducción y activación de microorganismos

De acuerdo a la técnica de Suchini-Ramírez (2012), se obtuvieron los consorcios microbianos de cada sitio, se colectaron muestras de suelo y hojarasca. Se realizó la reproducción con la técnica de Suchini-Ramírez 2012 modificada, utilizando materiales disponibles localmente, para asegurar mayor cantidad de microorganismos benéficos que se activaron posteriormente.

La técnica de activación de los microorganismos, se realizó después de la fermentación anaeróbica mínima de 30 días de la base sólida. Los microorganismos activados a partir de los 30 días ya estuvieron listos para aplicar a los cultivos. Se obtuvo un total de siete tratamientos: 6 tratamientos de consorcios microbianos de las diferentes áreas de colecta y un control que consistió en la no aplicación de consorcios. El manejo de la parcela experimental fue el mismo que el productor realiza en toda la parcela (Suchini-Ramirez, 2012).

3.2.5 Análisis físico-químico de los consorcios microbianos

Se tomó un litro de muestra por cada consorcio microbiano activado. Las muestras se enviaron al laboratorio de Fertilab en Celaya, Guanajuato para el análisis físico-químico. Se determinó pH, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, azufre, hierro, cobre, manganeso, zinc, boro, materia orgánica, cenizas, carbono orgánico y relación C/N.

3.3. Fase experimental

3.3.1 Diseño experimental

El experimento se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano 2021 en condiciones de temporal en dos parcelas ubicadas en Dr. Domingo Chanona, con manejo agronómico convencional, pero con diferentes manejos en fertilización. En la Parcela 1 se aplicó 600 kg de urea + 240 kg de pollinaza por hectárea, para la Parcela 2, 900 kg de urea por hectárea.

El diseño experimental fue en bloques al azar, con siete tratamientos y cuatro réplicas, conformando un total de 28 unidades experimentales. Cada unidad experimental tuvo una dimensión de 3.2 m por 5 m (16 m²), con una separación entre tratamientos de 0.8 m y entre repeticiones de 1.2 m. El área experimental utilizada es de 20 m de largo por 24.5 m de ancho (Figura 2).

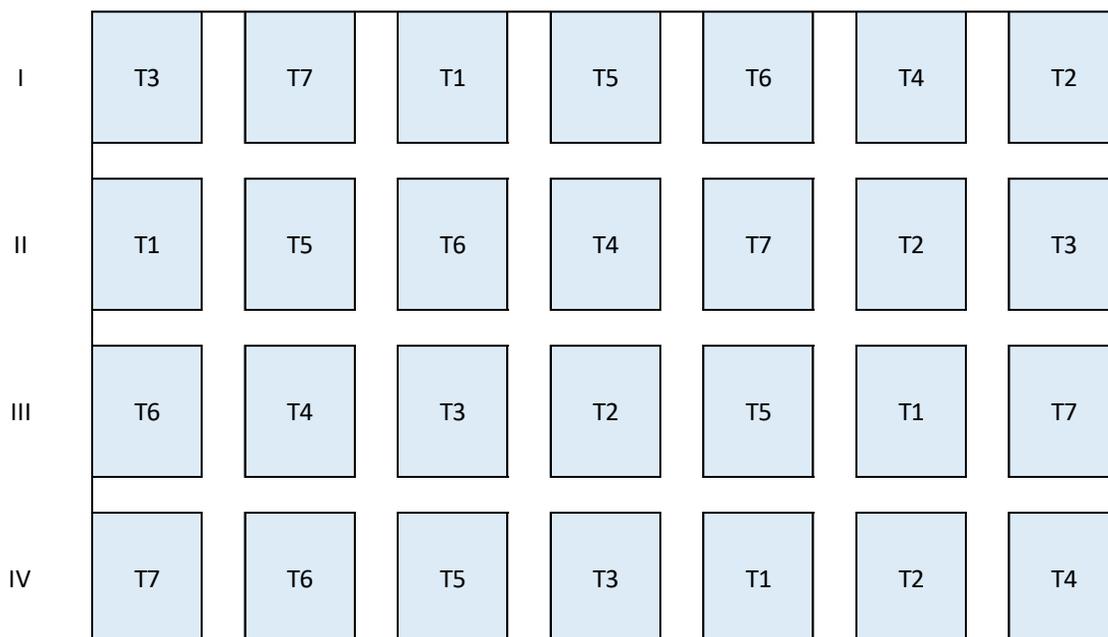


Figura 2. Diseño experimental y distribución de los tratamientos en las parcelas.

3.3.2 Aplicación de consorcios microbianos

Los tratamientos evaluados se presentan en el Cuadro 2, el control consistió en el manejo convencional que realiza el productor, mientras que los tratamientos con consorcios microbianos (MM1, MM2, MM3, MP1, MP2, MP3) correspondieron al

manejo del productor más la aplicación de los microorganismos que se obtuvieron de los diferentes sitios de colecta, para comparar la respuesta del cultivo de maíz con la aplicación de consorcios microbianos en las condiciones de manejo convencional.

La aplicación de los consorcios microbianos se realizó en estado líquido sin diluir, dirigido al suelo en la base de la planta, a los 20, 40 y 60 días después de siembra. Las primeras dos aplicaciones coincidieron con la fertilización química que los productores realizaron de acuerdo al manejo agronómico de su sistema.

Cuadro 2. Tratamientos evaluados en el área experimental en ambas parcelas.

Tratamientos		
T1	MM La Frailescana	MM1
T2	MM La Sepultura	MM2
T3	MM Cerro Nambiyugua	MM3
T4	Parcela con fertilización química + pollinaza	MP1
T5	Parcela fertilización química	MP2
T6	Parcela Villa Corzo	MP3
T7	Control	

3.3.3 Evaluación de variables agronómicas en el cultivo de maíz

Se evaluó biomasa fresca y seca, variables de crecimiento y rendimiento. El registro de la información se realizó de acuerdo a los descriptores para maíz del *International Board for Plant Genetic Resources* (1991).

Para la evaluación de biomasa se realizó un muestreo destructivo a los 90 DDS, se eligieron cinco plantas al azar por parcela útil de cada tratamiento. Se midió cada variable en masa fresca, después las muestras se secaron en estufas de aire forzado (temperatura de 60 °C por siete días) en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Agronómicas, *Campus V*, UNACH en Villaflores, para evaluar el peso seco.

Para estimar el rendimiento de grano por hectárea se tomó una muestra de 12 mazorcas por parcela útil de cada tratamiento. Se consideró el peso total de granos por mazorca, la densidad de siembra, y el porcentaje de humedad se ajustó al 12 %.

3.4 Muestro de suelo

Para determinar el efecto de los consorcios microbianos en la fertilidad del suelo se realizaron dos muestreos de suelo en cada sitio experimental, el primero antes de establecer el experimento y el segundo al finalizar.

3.4.1 Muestro de suelos antes de establecer el experimento

Se observaron las variaciones físicas de cada parcela, se determinaron las áreas homogéneas y se tomaron muestras por el método de cinco de oros con profundidad de 0-30 cm, las submuestras se mezclaron y se obtuvo una muestra compuesta de 1 kg, para su posterior análisis físico-químico en el laboratorio Fertilab en Celaya, Guanajuato.

El muestreo se realizó de acuerdo a lo descrito en el manual técnico de Fertilab para el muestreo de suelos (FERTILAB, s.f.).

3.4.2 Muestreo de suelos después del experimento

Al finalizar el experimento, se realizó el segundo muestreo de suelo por unidad experimental. Se obtuvieron submuestras de cada tratamiento por repetición, después se hizo una mezcla homogénea y se extrajo un kilogramo de muestra compuesta para cada tratamiento. Por cada parcela se analizaron siete muestras de suelo: tres de MM, tres de consorcios de parcelas y el control. Se enviaron al laboratorio de Fertilab para su posterior análisis.

3.4.3 Análisis físico-químico de suelo

Con el análisis físico-químico de suelo se determinó textura, pH, densidad aparente, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc, manganeso, cobre, boro, aluminio. La interpretación

de resultados se hizo de acuerdo a lo que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002).

3.5 Análisis económico

Para el análisis económico, se tomó en cuenta la metodología propuesta por el CIMMYT (1998). Se estimó rendimiento de grano por hectárea de cada tratamiento, se consideró el costo de producción del cultivo y el costo de elaboración de los biofertilizantes.

Se realizó un análisis de costos para la elaboración de los consorcios microbianos y generaron dos funciones de costos, para microorganismos de montaña:

$$C = 7M + 13Mlz + 150J + 2.63 km \quad (1)$$

Y para consorcios de parcelas:

$$C = 7M + 13Mlz + 150J \quad (2)$$

Dónde: M= kilogramos de maíz, Mlz= kilogramos de melaza. J= Jornales y km= distancia en kilómetros para la recolección de inóculo.

Se determinó el costo de producción por hectárea considerando el manejo que realizó cada productor y la aplicación de los consorcios, la utilidad económica por tratamiento se fijó por diferencia de venta de grano menos el costo total. Para la repuesta productiva se comparó el rendimiento de cada tratamiento con el control y para la respuesta económica se comparó la utilidad económica de cada tratamiento con consorcio microbiano respecto al testigo, ambas respuestas se expresaron en porcentajes.

3.6 Análisis estadístico

Para determinar los efectos entre tratamientos se realizó un análisis de varianza para un diseño de boques al azar, para la comparación múltiple de medias se utilizó la prueba de y la prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$) con el programa SPSS *Statistics* versión 21.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización físico-química de los consorcios microbianos

El resultado del análisis químico de los consorcios microbianos activados indica bajo contenido de nutrientes (Cuadro 3), los cuales coinciden con lo reportado por Castro y González (2015). La composición físico-química de los biofertilizantes está determinada por el origen de los materiales utilizados para su elaboración, por lo que es difícil la estandarización de los biofertilizantes elaborados artesanalmente (González-Márquez *et al.*, 2021). En México no se cuenta con una norma técnica que defina la calidad de los biofertilizantes con referencia a los requisitos que deben cumplir y las pruebas que deben realizarse a los productos (Cancino-Méndez *et al.*, 2018).

A diferencia de los fertilizantes químicos y orgánicos que se aplican como fuente de nutrimentos para los cultivos, los biofertilizantes tienen bajo contenido de macronutrientes porque estos productos están elaborados a base de microorganismos que no suministran los nutrientes directamente a las plantas, es a partir de la capacidad que tienen los microorganismos benéficos de fijar nitrógeno atmosférico, la solubilización de P y Fe inorgánicos y la producción de sustancias promotoras del crecimiento.

Con el indicador de pH se observa que el tratamiento MP2 fue más alcalino (8.18), los otros tratamientos están en el rango de 4.1 a 5, esta variación probablemente se debió al producto metabólico de los microorganismos presentes en los medios de fermentación (Najafpour, 2015). Macias-Coutiño (2022), analizó microorganismos de montaña de la región Frailesca, donde el tratamiento con mayor pH favoreció el crecimiento de bacterias ácido lácticas, y encontró que a menor pH la diversidad de poblaciones microbianas disminuyó.

Las plantas tienen un rango de pH en el cual pueden realizar la absorción adecuada de nutrientes. En una solución de nutrientes este rango es de 5 a 6, mayor a 6 dificulta la absorción de cobre y fosfatos en las plantas, menor a 5 las plantas presentan problemas para asimilar nitrógeno (González-Márquez *et al.*, 2021). El

único consorcio microbiano que está entre el rango ideal es MM1 procedente de la APRN La Frailecana.

Cuadro 3. Caracterización química de los consorcios microbianos en estado líquido.

Variable	Unidad	Consortios microbianos					
		MM1	MM2	MM3	MP1	MP2	MP3
pH		5.09	4.18	4.3	4.18	8.18	4.4
Conductividad eléctrica	dS ⁻¹ m	2.80	3.50	3.00	2.70	3.00	2.8
Nitrógeno	%	0.06	0.12	0.09	0.07	0.07	0.08
Fosforo	%	0.0011	0.0033	0.0016	0.0015	0.0017	0.0015
Potasio	%	0.04	0.07	0.04	0.04	0.04	0.05
Calcio	%	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02
Magnesio	%	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Sodio	%	0.0045	0.0042	0.0041	0.0042	0.005	0.005
Azufre	%	0.0063	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02
Hierro	ppm	13.6	11.6	110	74.9	116	87.8
Cobre	ppm	0.003	0.002	0.0025	0.004	0.001	0.002
Manganeso	ppm	11.1	5.42	6.94	6.02	7.15	5.97
Zinc	ppm	2.74	3.17	3.00	2.86	3.20	2.99
Boro	ppm	0.19	0.22	0.20	0.15	0.17	0.32
Humedad	%	99.5	99.4	99.1	99.3	99.4	99.5
Materia orgánica	%	0.38	0.40	0.75	0.60	0.40	0.31
Cenizas	%	0.16	0.24	0.15	0.15	0.23	0.17
Carbono orgánico	%	0.22	0.23	0.44	0.35	0.23	0.18
Relación C/N		3.82	1.94	4.69	4.69	3.21	2.23

MM1=La Frailecana. MM2=La Sepultura. MM3=Nambiyugua. MP1=Fertilización química. MP2=Fertilización química + pollinaza. MP3=Villa Corzo. C/N=carbono/nitrógeno.

4.2 Caracterización físico-química del suelo

Se determinaron las características físicas y químicas en un análisis de laboratorio a una muestra compuesta para cada sitio experimental, los resultados se muestran en los Cuadros 4 y 5. La interpretación de los resultados se realizó de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002).

Cuadro 4. Caracterización física y química del suelo antes y después de establecer el experimento en Parcela 1.

Variable	Unidad	Antes	Después						
			MM1	MM2	MM3	MP1	MP2	MP3	Control
pH		5.8	5.3	5.4	5.1	5.4	5.7	5.7	5.0
MO	%	1.2	1.6	1.8	1.7	1.8	1.8	1.6	1.8
P-Bray	ppm	71.80	36.70	51.00	84.80	72.80	48.50	39.30	93.40
K	ppm	58.50	99.70	126.00	134.00	107.00	140.00	97.20	118.00
Ca	ppm	432.00	<500	590.00	<500	587.00	720.00	658.00	<500
Mg	ppm	64.30	<50	<50	<50	<50	51.70	<50	<50
Na	ppm	33.40	<25	<25	<25	<25	<25	<25	<25
Fe	ppm	60.20	98.60	101.00	105.00	106.00	98.80	90.50	111.00
Zn	ppm	0.39	0.30	0.30	0.30	0.59	0.30	0.30	0.30
Mn	ppm	25.30	26.40	37.00	33.60	25.30	26.30	19.50	45.20
Cu	ppm	0.29	0.58	0.54	0.52	0.61	0.58	0.61	0.46
B	ppm	0.10	0.18	0.19	0.24	0.22	0.19	0.23	0.20
Al	ppm	103.00	33.70	22.40	52.20	21.50	15.40	15.40	79.50
S	ppm	2.93	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	6.75
N	ppm	9.05	18.40	10.90	17.40	12.00	9.48	11.60	16.00
DA	g/cm ³	1.26	1.41	1.43	1.43	1.54	1.38	1.47	1.46
Textura			Areno franco						

Parcela 1=fertilización química + pollinaza. MM1=La Frailecana. MM2=La Sepultura. MM3=Nambiyugua. MP1=Fertilización química. MP2=Fertilización química + pollinaza. MP3=Villa Corzo. MO=materia orgánica. DA=densidad aparente.

Los resultados obtenidos en el análisis del suelo del sitio experimental, señalan una textura franco arenoso. La textura del suelo es una característica importante, a partir de esta se derivan otras que determinan la calidad de un suelo para cultivo, como densidad aparente, espacio poroso, capacidad de retención y disponibilidad del agua en el suelo. Los suelos con texturas más finas son los que presentan las

mejores condiciones tanto físicas como químicas para un buen crecimiento, desarrollo y producción de las plantas (Ortiz y Ortiz 1990).

La densidad aparente del suelo es un buen indicador de las propiedades importantes como la compactación, porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración, lo que condiciona la circulación de agua y aire en el suelo, los procesos de establecimiento de las plantas (emergencia, enraizamiento) y el manejo del suelo (Doran y Parkin, 1994).

Cuadro 5. Caracterización física y química del suelo antes y después de establecer el experimento en Parcela 2.

Variable	Unidad	Antes	Después						
			MM1	MM2	MM3	MP1	MP2	MP3	Control
pH		5.5	4.9	4.9	4.9	4.98	5.7	5.2	5.1
MO	%	2.7	1.5	2.1	2.3	1.7	2.1	2.1	1.9
P-Bray	ppm	52.70	95.70	64.90	99.60	103.00	73.70	77.20	85.40
K	ppm	86.70	124.00	174.00	216.00	114.00	93.90	193.00	101.00
Ca	ppm	527.00	<500	766.00	523.00	<500	689.00	508.00	522.00
Mg	ppm	75.10	<50	104.00	65.20	<50	<50	61.40	<50
Na	ppm	16.90	<25	<25	<25	<25	<25	<25	<25
Fe	ppm	48.70	103.00	95.70	104.00	103.00	110.00	97.00	109.00
Zn	ppm	0.23	0.39	0.38	1.25	0.38	1.40	0.66	0.93
Mn	ppm	21.10	44.10	83.10	65.40	46.60	30.10	65.90	37.70
Cu	ppm	0.29	0.49	0.69	0.61	0.50	0.81	0.57	0.67
B	ppm	0.10	0.18	0.16	0.28	0.22	0.19	0.17	0.19
Al	ppm	36.90	138.00	20.40	35.20	110.00	15.40	46.70	54.20
S	ppm	1.46	0.10	40.50	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
N	ppm	14.70	17.30	51.70	34.20	19.20	13.30	31.50	14.10
Da	g/cm ³	1.44	1.58	1.42	1.53	1.54	1.48	1.43	1.52
Textura			Areno franco						

Parcela 2=fertilización química. MM1=La Frailecana. MM2=La Sepultura. MM3=Nambiyugua. MP1=Fertilización química. MP2=Fertilización química + pollinaza. MP3=Villa Corzo. MO=materia orgánica. DA=densidad aparente.

4.2.1 pH del suelo

En la Parcela 1 el primer muestreo de suelo indicó un pH de 5.8, de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 se determinó como suelo moderadamente ácido. Con la aplicación de consorcios microbianos y el tratamiento control el pH disminuyó, pero se mantuvieron en el nivel moderadamente ácido (Cuadro 4). Mientras que en la Parcela 2 el pH al inicio fue moderadamente ácido con valor de 5.5, pero con la aplicación de los consorcios microbianos procedentes de montañas y el MP1 el pH bajó a 4.9 considerado como fuertemente ácido. Con los consorcios MP2, MP3 y el tratamiento control el suelo se mantuvo como moderadamente ácido (Cuadro 5). Los resultados encontrados demuestran lo dicho por López *et al.* (2019) que esta es una característica generalizada para los suelos de cultivos de maíz de la región Frailesca. No obstante, esta propiedad puede aumentar o disminuir según el cultivo y el tipo de manejo.

El cultivo de maíz tiene un buen crecimiento con pH entre 5.5 y 7.8. Un pH en esos límites suele aumentar o disminuir la disponibilidad de nutrientes, produciendo toxicidad o carencia (Landon, 1983 y Letelier, 1967). Con un pH inferior a 5.5, a menudo hay problemas de toxicidad por aluminio y magnesio y carencias de fósforo y manganeso (Landon, 1983).

En las dos parcelas el pH bajó, por lo que se tiene la necesidad de implementar prácticas para reducir la acidez del suelo. En la región Frailesca esta condición de los suelos es como consecuencia del constante manejo bajo agricultura convencional. Los biofertilizantes elaborados a partir de microorganismos benéficos, han mostrado beneficios en el mejoramiento de la acidez de los suelos agrícolas (Castellanos *et al.*, 2001). No obstante, la aplicación de consorcios microbianos se puede disminuir la acidez del suelo, pero para esto se requiere del uso constante por largo tiempo (González-Márquez *et al.*, 2021).

4.2.2 Materia orgánica

Antes de establecer el experimento en la Parcela 1 se encontró un nivel bajo de materia orgánica (1.2 %), con la aplicación de consorcios microbianos aumentó a

nivel medio, así también para el control (Cuadro 4). En la parcela 2 la materia orgánica al inicio fue de 2.7 % y se mantuvo en nivel medio al final del experimento para todos los tratamientos, sin embargo en todos el porcentaje disminuyó (Cuadro 5).

En la parcela 1, cuando se realizó la fertilización química también se incorporó pollinaza, las ventajas que tiene este producto es que aporta cantidades importantes de nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica, promueve la liberación lenta de los nutrientes al suelo y la materia orgánica, mejora la estructura del suelo, así como la capacidad de retención nutrientes (Sadhvani, 2015). Además, al promover la liberación lenta de los nutrientes permite aprovechar aún más la materia orgánica disponible, la fijación de carbono en el suelo y mejora la capacidad de absorber agua (Pulamarin, 2022).

La disminución del contenido de materia orgánica es producto del manejo que se realiza en los sistemas de producción, que se basa en el monocultivo de maíz bajo tecnología convencional, lo cual concuerda con lo reportado para los suelos agrícolas de la región Frailesca, debido a su degradación generalizada (Aguilar, 2011). Esto repercute en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos agrícolas, determinando así su fertilidad. La materia orgánica del suelo proviene de un continuo reciclaje de compuestos heterogéneos de origen animal y vegetal parcial o completamente descompuestos, de sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente, además del conjunto de microorganismos vivos y muertos lo que le permite que ocurra un proceso de descomposición de la materia y que aumente la disponibilidad de micro y macronutrientes para las plantas (Meléndez y Soto, 2003). El reciclaje de los residuos orgánicos en los suelos de la región, es un proceso que no sucede, toda vez que su manejo posterior a la cosecha de maíz incluye el rastrojeo o cosecha de la pastura para la alimentación animal (Arellano *et al.*, 2016).

En este sentido Ortiz y Ortiz (1984) señalan que la deficiencia de materia orgánica, tiene consecuencias en la estructura, aireación, capacidad de retención de agua, y la temperatura del suelo se incrementa pudiendo llegar por encima de los 35 °C,

mientras que cuando el porcentaje de materia orgánica es alto, favorece las condiciones de la humedad, reduce erosión hídrica, disminuye la temperatura en verano, existe menor evaporación, su descomposición favorece el desarrollo de las plantas y ayuda la capacidad amortiguadora de los suelos. Además de favorecer las propiedades físicas y químicas, la materia orgánica contribuye con la actividad biológica, componente directamente relacionado con el uso de los biofertilizantes o inoculación con consorcios microbianos, los cuales encuentran en ella un hábitad adecuado para su desarrollo.

4.2.3 Nitrógeno

En ambas parcelas después de la aplicación de consorcios microbianos el contenido de N-NO₃ aumentó comparado con la muestra de suelo analizada antes del experimento. En la Parcela 1 se presentó un nivel muy bajo (9.05 ppm), en el segundo análisis de suelo para todos los tratamientos evaluados el contenido de nitrógeno aumento a nivel bajo (Cuadro 4).

En la parcela 2, antes del experimento se determinó un nivel bajo de nitrógeno con 14.7 ppm, después del experimento el contenido de N-NO₃ fue bajo con los tratamientos MM1 (17.3ppm), MP1 (19.2 ppm) y MP2 (13.3ppm), medio con los consorcios MM3 (34.2) y MP3 (31.5 ppm) y se alcanzó un nivel alto con la aplicación del consorcio MM2 (51.7 ppm).

El nitrógeno es uno de los elementos principales para el crecimiento del cultivo de maíz, su adecuado suministro es necesario para mantener la capacidad fotosintética del cultivo y la acumulación de biomasa durante el ciclo (Echeverría y Sains, 2001; Álvarez *et al.*, 2016). Antes de estar disponible para las plantas, el nitrógeno de los residuos vegetales y animales depositados en el suelo, pasan por un proceso de descomposición, y su presencia depende de las condiciones ambientales y topográficas, prácticas de manejo y por el tipo de vegetación que define la calidad de la materia orgánica (Suárez *et al.*, 2015; Cantú y Yáñez, 2018; Madrigal *et al.*, 2019).

El porcentaje de este elemento en el suelo no siempre es un indicador de la disponibilidad de nitrógeno para las plantas, pero está relacionado con la materia orgánica del suelo. El carbono y el nitrógeno son indicadores de la calidad de la materia orgánica del suelo, que es importante para mejorar la estructura, la disponibilidad de nutrientes, la retención de agua y la actividad microbiana (Di Gerónimo *et al.*, 2018).

Por lo tanto, la relación C/N es un indicador de la velocidad de mineralización del nitrógeno, relaciones altas indican que la materia orgánica de suelo se descompone lentamente, y la reserva de nitrógeno es inmovilizada por los microorganismos, y no puede ser utilizado por las plantas; en cambio, relaciones entre 10 y 14 corresponden a una mineralización rápida que genera suficiente nitrógeno para los microorganismos y las plantas (Gamarra *et al.*, 2018).

4.2.4 Fósforo

Antes y después de la aplicación de microorganismos, el contenido de fósforo se mantuvo en nivel alto para ambas parcelas de acuerdo a los criterios de la NOM-021-SEMARNAT-2000. Con los tratamientos de MM3 y MP1 se obtuvo los mayores contenidos de fósforo en las muestras de suelo para las dos parcelas.

En la Parcela 1 el fósforo extraíble antes del experimento fue de 71.8 ppm. El valor más alto, después del experimento, se observó con los tratamientos MM3 y MP1 con 84.8 y 72.8 ppm respectivamente. En resto de tratamientos con inoculación microbiana se observó disminución de fosforo con valores entre 36.7 y 51 ppm (Cuadro 4).

En la Parcela 2, con la aplicación de consorcios microbianos se observa una tendencia de aumento del fosforo con valores entre 64.9 y 103 ppm, destacando los tratamientos MP1 con 103 ppm y MM3 con 99.6 ppm. Antes del experimento se obtuvo un valor de 52.7 ppm (Cuadro 5).

El fósforo es una parte importante de los ácidos nucleicos, diferentes enzimas y proteínas, es vital para el correcto funcionamiento del metabolismo de las plantas; sin embargo, este elemento debe estar disponible en una forma que sea fácil de

absorber por la raíz de la planta (Nannipieri et al., 2011). Por lo tanto, su disponibilidad en forma soluble es muy importante. La presencia de microorganismos en el suelo mejora la capacidad de las células de la raíz para absorber fósforo y acumularlo en las plantas (Seema et al., 2019).

Richardson (2001) informó aumento en el contenido de fósforo del suelo a través de la inoculación con microorganismos. Por otro lado, Seema et al. (2019) reportaron que los tratamientos con inoculación de microorganismos + estrés por sequía mostraron más contenido de fosforo en el suelo que los tratamientos con microorganismos sin exposición al estrés.

No obstante, el aumento de microorganismos en el suelo puede reducir la disponibilidad de nutrientes a corto plazo para las plantas debido a la competencia microbiana (Geisseler et al., 2010; Ning et al., 2017). Probablemente es por esto que en la Parcela 1 hubo una disminución en el contenido de fosforo en la mayoría de tratamientos con inoculación microbiana.

Su disponibilidad para el cultivo varía de acuerdo a la dinámica nutrimental del suelo y está relacionada con los procesos de acumulación y desacumulación, producto de la relación entre la fertilización y absorción del cultivo. Sin embargo, un adecuado nivel de este macronutriente es necesario para obtener rendimientos rentables en el cultivo maíz (Berardo, 2003). Los niveles altos de fósforo ayudan a mantener la absorción del mismo por las plantas de maíz aun con altas tenciones de humedad. La mayoría de los suelos cultivados presentan deficiencias en fósforo, esto se deriva del hecho que los minerales primarios que dieron formación al sustrato contienen una baja cantidad de este elemento.

4.2.5 Potasio

El contenido de potasio en el suelo aumentó con la aplicación de consorcios microbianos en ambas parcelas. De acuerdo a los criterios de la NOM-021-SEMARNAT-2000, antes del experimento la Parcela 1 con 58.5 ppm se ubicó en la clase muy bajo y la Parcela 2 se consideró como bajo con 86.7 ppm.

En la parcela 1 (Cuadro 4), con los tratamientos MM1, MP1 y MP3 con 99.7, 107 y 97.2 ppm, respectivamente, se obtuvo un bajo contenido de potasio. Nivel medio con los tratamientos MM2 (126 ppm), MM3 (134 ppm) y MP2 (140 ppm).

Para la Parcela 2, se obtuvieron niveles bajos con los tratamientos MP1 y MP2 con 114 y 93.9 ppm. Con los tratamientos MM1, MM2, MM3 y MP3 el contenido de potasio incremento a nivel medio (Cuadro 5).

La tendencia de aumento de nutrientes se puede atribuir a que los microorganismos hacen posible la liberación y disponibilidad de nutrientes para las plantas (Sarwar et al., 2008). Shaheen et al., (2017) observaron resultados de aumento de potasio de hasta el 90 % cuando aplicaron pollinaza + microorganismos eficientes comparado con tratamientos sin microorganismos. Namasivayam y Kirithiga (2010) también reportaron que la fertilidad se mejora después de la aplicación de microorganismos benéficos, por la rápida mineralización de los compuestos orgánicos que liberan nutrientes para las plantas.

El potasio es un elemento importante en la síntesis de proteína para la fotosíntesis, ayuda a hacer un uso más eficiente del agua y a reducir el acame de las plantas. Cuando un suelo se seca y humedece alternativamente porque la distribución de la lluvia es errática, se fijan grandes cantidades de potasio y cualquier práctica de conservación de humedad en forma más uniforme tal como el uso de leguminosas como cultivo de cobertura, puede reducir la fijación de potasio (Castellanos *et al.*, 2001).

Este elemento estimula el crecimiento de la raíz y mejora la resistencia de las plantas a las enfermedades. Mejora el tamaño, calidad de los frutos y aumenta la resistencia de las plantas al invierno (IMPOFOS, 1993).

4.2.6 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Se identificó baja CIC, esto indica el bajo potencial del suelo para retener e intercambiar nutrientes, haciéndolos poco disponibles para las plantas, en consecuencia afecta el desarrollo de los cultivos (López, 2019).

En el experimento se observó una disminución de la CIC en la Parcela 1 con respecto a la muestra inicial que fue de 4.62, al finalizar el experimento se obtuvo valores entre 3.62 y 4.67 (Cuadro 4), esto probablemente se debió a que las plantas absorbieron los cationes de cambio (Ca, Mg, K) que se encontraban retenidos en la materia orgánica del suelo (Díaz-Barragán *et al.*, 2019).

Mientras que en la Parcela 2 al inicio fue de 4.09, después del experimento se determinaron valores entre 4.14 y 5.49 (Cuadro 5). Esto contradice lo que afirma Higa (1994) acerca de que el EM no funciona en presencia de fertilizantes químicos.

En el experimento de Díaz-Barragán *et al.* (2019) se incrementó la CIC cuando aplicaron microorganismos eficientes + pollinaza + fertilización química; sin embargo la fertilización química, además de nitrógeno, fósforo y potasio, estaba compuesta por manganeso, cobre, zinc y boro.

Antes y después del experimento en las dos parcelas se consideran con contenido alto en hierro y manganeso, mientras que en boro muy bajo. El contenido de cobre al inicio del experimento se consideró como adecuado, sin embargo después del experimento los resultados mostraron deficiencia en todos los tratamientos.

El contenido de zinc en la Parcela 2 aumentó a nivel adecuado después de la aplicación de los consorcios MM3 y MP2. No sucedió así en la Parcela 1 donde el contenido de este nutriente continuó en nivel deficiente.

Torri *et al.*, (2014) mencionan que los micro elementos son de gran importancia para el crecimiento y desarrollo de las plantas, y los necesitan en pequeñas cantidades, la ausencia de cualquiera de estos en el suelo puede limitar el crecimiento aun cuando todos los demás nutrientes esenciales estén presentes en cantidades adecuadas. Son considerados de esta manera, ya que la planta lo adquiere en pequeñas cantidades (Viets y Lindsay, 1973), con base a los resultados obtenidos indica que estos elementos se encontraron en bajas proporciones.

4.4 Variables agronómicas

4.4.1 Altura de planta

En el Cuadro 6 se observan las medias de altura de planta. La diferencia significativa que hay entre tratamientos se puede explicar por lo dicho por Basaglia *et al.* (2003); hay efecto positivo de algunos microorganismos que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas. Sin embargo, en las dos parcelas evaluadas el testigo iguala a los tratamientos con consorcios microbianos. En esta variable, en las dos parcelas destacan los microorganismos de montaña MM3 (235.3 cm en la Parcela 1) y MM1 (245.9 cm en Parcela 2), se ha reportado que con la aplicación de MM se observa mayor crecimiento de los cultivos (Acosta-Almánzar, 2012). Así también, Macías-Coutiño *et al.* (2021) no encontraron diferencias significativas, el mayor crecimiento y la mayor producción de biomasa en el cultivo de maíz en la región Frailesca se obtuvo con MM procedente del cerro Nambiyugua; el área más cercana a donde se realizó la evaluación, porque estos microorganismos se encuentran mejor adaptados a las condiciones ambientales y por tanto su efecto benéfico fue mayor.

Tencio (2014) menciona que las aplicaciones de microorganismos de montaña al follaje activan las bacterias fotosintéticas que sintetizan aminoácidos, ácidos nucleicos, azúcares de las secreciones provenientes de las raíces y materia orgánica. Estas bacterias promueven el desarrollo y crecimiento de las plantas.

Diversos autores mencionan que los microorganismos promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas por un efecto hormonal, similar al del ácido giberélico, contribuyen en la fijación de nitrógeno en el suelo y la solubilización de nutrientes disponibles para las plantas, además de suprimir patógenos; por lo tanto, el metabolismo de los microorganismos benéficos ayudan en la fenología de las plantas con mayor desarrollo radicular; incrementando la actividad enzimática (Acosta Almánzar, 2012; Cueva Camones, 2015; González y Fuentes, 2017; Guzñay, 2015).

No obstante, tener mayor altura de planta no implica que se obtendrán mayores

rendimientos (Forero *et al.*, 2010). En maíz tropical se reportó una correlación positiva entre la altura reducida y el rendimiento de grano, además se tiene menor índice de área foliar (Johnson *et al.*, 1986).

Cuadro 6. Altura de planta (cm) por tratamientos en ambas parcelas.

Tratamientos	Parcela 1		Parcela 2	
	Media cm	EE	Media cm	EE
MM1	223.1 abc		245.9 a	
MM2	215.3 c		226.9 b	
MM3	235.3 a		239.5 ab	
MP1	222.2 bc	4.13	231.8 ab	4.81
MP2	230.0 ab		244.5 a	
MP3	230.8 ab		244.9 a	
T	225.2 abc		244.2 a	
Significancia	0.000089		0.000179	

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). EE= Error estándar. NS= No significativo. MM1=La Frailescana. MM2=La Sepultura. MM3=Nambiyugua. MP1=Fertilización química. MP2=Fertilización química + pollinaza. MP3=Villa Corzo. T=Testigo.

4.4.2 Peso fresco de hojas, tallo y mazorca

En la Parcela 1 se obtuvo diferencia significativa, con el valor más alto en peso de mazorca fresca con el consorcio MP3. Con el consorcio MM3 se logró mayor peso de hoja fresca, el mayor peso fresco de raíz y tallo se consiguió con el testigo. En la Parcela 2 no se encontraron diferencias significativas, pero hay una tendencia que muestra que con el consorcio MP3 se logró mayor peso fresco de mazorca y hojas, y con el consorcio MP2 mayor peso fresco de tallo y raíz (Cuadro 7).

El aumento en biomasa se debe a que los microorganismos inoculados al suelo, al establecerse en la rizósfera o los tejidos internos de órganos en la planta, contribuyen a que se tenga mayor disponibilidad de nutrientes, además que hay microorganismos fitoestimuladores productores de auxinas que inducen el alargamiento de la raíz (Santoyo *et al.*, 2021).

Diversas bacterias promotoras del crecimiento vegetal tienen la capacidad de producir indol, que es la principal auxina responsable del crecimiento radicular y foliar en las plantas. En el cultivo de maíz identificaron metabólicamente microorganismos nativos del suelo. De 207 microorganismos aislados el 96 % sintetizó índoles, el 78 % presentó capacidad de producir sideróforos y el 31% solubilizó fosfatos. En este mismo cultivo Arruda *et al.* (2013) de 292 bacterias que aislaron el 98 % sintetizaron índoles.

Cuando las condiciones del rizoplano no son las adecuadas, con la elongación de raíces aumentan la exploración en busca de agua, oxígeno y nutrientes (Aguado, 2012), por lo cual se podría explicar porque con el testigo se tuvo mayor peso de raíz.

Cuadro 7. Peso fresco de mazorca, hojas y tallo en ambas parcelas.

Tratamiento	Mazorca		Tallo		Raíz		Hojas		
	Media (g)	EE							
MM1	338.8 ab		419.7 ab		161.8 b		146.8 ab		
MM2	291.2 b		324.0 c		107.9 c		111.3 c		
MM3	311.9 ab		388.8 bc		135.1 bc		172.4 a		
Parcela 1	MP1	335.7 ab	18.5	430.1 ab	24.1	142.5 bc	16.1	143.8 abc	11.8
	MP2	348.9 a		410.8 ab		158.3 b		142.3 abc	
	MP3	357.5 a		417.5 ab		132.9 bc		130.4 bc	
	T	339.8 ab		462.9 a		231.5 a		152.8 ab	
Significancia		0.008		0.000006		0.000001		0.000084	
	MM1	299.0		405.3		157.1		129.0	
	MM2	321.7		433.4		167.7		131.2	
	MM3	283.1		388.4		178.9		125.4	
Parcela 2	MP1	292.4	17.4	391.7	28.2	166.0	18.3	130.4	8.5
	MP2	294.7		457.4		182.7		142.2	
	MP3	320.0		389.0		172.6		144.2	
	T	305.7		430.5		167.3		143.4	
Significancia		NS		NS		NS		NS	

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). EE= Error estándar. MM1=La Frailescana. MM2=La Sepultura. MM3=Nambiyugua. MP1=Fertilización química. MP2=Fertilización química + pollinaza. MP3=Villa Corzo. Tr=tratamientos. T=Testigo.

4.4.3 Peso seco de hojas, tallo y mazorca

La parcela 1 presentó diferencia significativa en peso seco de mazorca, raíz y hojas (Cuadro 8). Se observa que los consorcios provenientes de parcelas, MP2 y MP3 destacan en peso seco de mazorca, y MP1 en peso seco de hojas. Mientras que en la Parcela 2 se tuvo diferencia significativa en peso seco de mazorca y tallo, donde los valores más altos fueron con el tratamiento MM2.

En peso seco de biomasa se observa en la Parcela 1 una tendencia positiva de los consorcios procedentes de parcelas. En la Parcela 2 la tendencia es de los microorganismos de montaña.

Cuadro 8. Peso seco de mazorca, hojas y tallo en ambas parcelas.

Tratamiento	Mazorca		Tallo		Raíz		Hojas		
	Media (g)	EE	Media (g)	EE	Media (g)	EE	Media (g)	EE	
Parcela 1	MM1	72.9 ab		80.2		52.1 ab		35.4 a	
	MM2	60.3 b		68.6		32.5 b		29.7 b	
	MM3	63.8 b		71.6		31.4 b		33.2 ab	
	MP1	69.2 ab	4.8	89.4	8.3	48.4 ab	7.5	35.9 a	1.7
	MP2	80.1 a		86.4		44.1 ab		37.6 a	
	MP3	80.2 a		84.6		36.7 b		36.0 a	
	T	67.1 ab		93.4		63.2 a		34.5 ab	
	Significancia	0.00009		NS		0.00021		0.0004	
Parcela 2	MM1	122.4 ab		85.5 ab		55.2		37.8	
	MM2	144.9 a		93.2 ab		47.9		35.2	
	MM3	115.0 b		76.0 b		66.8		31.3	
	MP1	122.8 ab	8.5	78.6 ab	5.9	49.8	7.9	29.9	2.7
	MP2	132.3 ab		90.9 ab		52.4		36.8	
	MP3	123.5 ab		79.5 ab		59.8		34.0	
	T	129.4 ab		94.2 a		48.7		35.7	
	Significancia	0.024		0.006		NS		NS	

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). EE=Error estándar. NS= No significativo. MM1= La Frailecana. MM2=La Sepultura. MM3=Nambiyugua. MP1=Fertilización química. MP2=Fertilización química+pollinaza. MP3=Villa Corzo. Trat.=tratamientos. T=Testigo.

Esta respuesta favorable del cultivo de maíz sobre las variables evaluadas también podría estar asociada a una interacción positiva entre los microorganismos y factores de clima y suelo. García *et al.* (2005), mencionan que los factores como clima, características físico-químicas del suelo, la presencia de microorganismos en la rizósfera, el genotipo del hospedante y la capacidad de los microorganismos para establecerse y para competir con la microflora nativa, son los responsables de causar un efecto en el crecimiento vegetal.

En general, se observa que la inoculación con los consorcios de microorganismos, tienen efectos positivos sobre el cultivo de maíz. Lo cual coincide con los resultados de Molina-Romero *et al.*, mostró que un consorcio formado por bacterias (*Pseudomonas putida*, *Acinetobacter* sp., *Sphingomonas* sp. y *Azospirillum brasilense*) fue capaz de colonizar la rizosfera de las plantas de maíz y aumentó la altura, el diámetro y el peso seco de las raíces de las plantas de maíz comparado con el control no inoculado. En este mismo cultivo, Battine *et al.* (2017), con la inoculación del consorcio de *Rhizophagus irregularis* con *Sinorhizobium meliloti*, *Bacillus* sp. y *Streptomyces* sp. aumentó la biomasa y la absorción de fosfato en las plantas de maíz.

4.5 Rendimiento

En rendimiento, en la parcela con fertilización química + pollinaza se observaron diferencias significativas entre tratamientos, el rendimiento estadísticamente superior fue con los tratamientos MP1 y MP3, con 11.6 t ha⁻¹ y 11.4 t ha⁻¹ respectivamente. Todos los tratamientos con inoculación microbiana superaron numéricamente al Testigo con 9.5 t ha⁻¹.

Castañeda-Hidalgo *et al.* (2021) en el cultivo de maíz reportaron diferencias significativas y mayores rendimientos con los tratamientos de biofertilización + fertilizantes químicos. La combinación de fertilización química con un biofertilizante puede mejorar las condiciones nutrimentales para el cultivo y tener mejores resultados (Zermeño-González *et al.*, 2015), lo que permitiría a largo plazo la sustitución de fertilizantes químicos. Terry *et al.* (2002), reportan que la aplicación de biofertilizantes en cultivos hortícolas y en maíz para grano muestran rendimientos

mayores en comparación a los tratamientos donde no se usaron. La aplicación de biofertilizantes mejoran las condiciones del cultivo de maíz si se aplican de forma continua en más de tres ciclos (Toro *et al.*, 2008).

Por otro lado en la parcela con fertilización química resaltan numéricamente los tratamientos MP3 con 10.1 t ha⁻¹ y MP1 con 9.8 t ha⁻¹ (Cuadro 9). Pero no hubo diferencia significativa entre la aplicación de consorcios microbianos y el testigo, estos resultados coinciden con lo reportado por García-Olivares *et al.*, (2007); Santillana Villanueva (2006); Flores *et al.* (2021) y Tadeo Robledo *et al.* (2017) quienes encontraron rendimientos similares estadísticamente entre el testigo de fertilización química con los tratamientos con biofertilización en el cultivo de maíz. Martínez *et al.* (2018), al aplicar microorganismos benéficos en el cultivo de maíz observó un aumento en el rendimiento de maíz, aunque no se encontraron diferencias significativas.

En las dos parcelas evaluadas en este trabajo, los promedios más altos en rendimiento se obtuvieron con la aplicación de consorcios microbianos procedentes de parcelas de maíz, esto se debe a que los microorganismos que se aplicaron ya están adaptados a las condiciones de manejo del cultivo, lo cual asegura mayor efectividad en campo (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010; Santos Villalobos *et al.*, 2018; Nuzzo *et al.*, 2020). Según Noh Medina *et al.*, (2014) la especificidad y concentración de microorganismos benéficos que contengan los biofertilizantes influye en el rendimiento al aplicarlos en el cultivo de maíz.

Aunque no se encuentren diferencias significativas en rendimiento, los beneficios que se tiene con la aplicación de microorganismos es incrementar la rentabilidad del cultivo de maíz reduciendo los costos de la fertilización química (García, 2012), y a largo plazo la sustentabilidad del sistema al mejorar la biota del suelo.

Es importante resaltar que en Parcela 1 el productor aplica fertilización química + pollinaza, todos los tratamientos con consorcios microbianos superan numéricamente al testigo. Es probable que la pollinaza tenga un efecto positivo sobre los microorganismos inoculados, y estos generen una mayor disponibilidad de nutrientes que la planta aprovecha para obtenerse un mayor rendimiento.

Cuadro 9. Rendimiento de grano de maíz en ambas parcelas.

Tratamiento	Parcela 1		Parcela 2	
	Media t ha ⁻¹	EE	Media t ha ⁻¹	EE
MM1	11.3 ab		9.5	
MM2	10.4 ab		9.0	
MM3	11.3 ab		9.3	
MP1	11.6 a	0.55	9.8	0.52
MP2	11.2 ab		9.5	
MP3	11.4 a		10.1	
T	9.5 b		9.7	
Significancia	0.013		NS	

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). EE= Error estándar. NS= No significativo. MM1=La Frailescana. MM2=La Sepultura. MM3=Nambiyugua. MP1=Fertilización química. MP2=Fertilización química+pollinaza. MP3=Villa Corzo. T=Testigo.

4.5. Análisis económico

Se realizó un análisis económico para conocer los costos de producción de los tratamientos evaluados. Se consideró el costo de los insumos y el precio de garantía del maíz al final del ciclo agrícola primavera-verano 2021, el valor fue de \$6.06 por kilogramo.

En las dos parcelas, los mayores costos de producción se obtuvieron con la aplicación de consorcios microbianos, principalmente con los microorganismos de montaña, ya que estos se colectaron fuera del agroecosistema; mientras que el menor costo fue con el tratamiento control (Cuadro 10).

En la Parcela 1 la mayor utilidad económica por hectárea se obtuvo con MP1 con \$47,698.7, superior estadísticamente al testigo con \$36,175. La respuesta económica para el tratamiento MP1 señala que se obtuvo una ganancia del 33 % más alta respecto al testigo.

En la Parcela 2 no se observaron diferencias significativas en la utilidad económica. Sin embargo, se observó una tendencia donde el tratamiento MP3 fue mayor. La

respuesta económica indica que se obtuvo una ganancia de 3% comparado con el testigo.

Cuadro 10. Respuesta productiva y económica para ambas parcelas.

Tratamiento	Rendimiento t ha ⁻¹	Costo total \$ ha ⁻¹	Utilidad \$ ha ⁻¹	Respuesta productiva	Respuesta económica	
Parcela 1	MM1	11.3	23,102.3	45,263.5 ab	20%	28%
	MM2	10.4	22,774.2	40,344.2 ab	10%	12%
	MM3	11.3	22,938.3	45,365.6 ab	19%	26%
	MP1	11.6	22,528.1	47,698.7 a	22%	33%
	MP2	11.2	22,528.1	45,634.7 ab	19%	28%
	MP3	11.4	22,528.1	46,463.9 ab	20%	30%
	Testigo	9.5	21,400.0	36,175.0 b	0%	0%
Significancia			0.029			
Parcela 2	MM1	9.5	26,227.3	31,492.8	-2%	-8%
	MM2	9.0	25,899.2	28,359.7	-7%	-16%
	MM3	9.3	26,063.3	30,430.2	-4%	-11%
	MP1	9.8	25,653.1	33,647.1	1%	-2%
	MP2	9.5	25,653.1	32,107.2	-2%	-6%
	MP3	10.1	25,653.1	35,343.9	4%	3%
	Testigo	9.7	24,525.0	34,339.8	0%	0%
Significancia			NS			

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). EE= Error estándar. NS= No significativo. MM1=La Frailescana. MM2=La Sepultura. MM3=Nambiyugua. MP1=Fertilización química. MP2=Fertilización química + pollinaza. MP3=Villa Corzo. T=Testigo.

Los resultados presentados anteriormente, señalan menores beneficios netos cuando se aplican consorcios microbianos. Sin embargo, investigaciones reportan que los preparados con microorganismos benéficos deben ser empleados como complementos a la fertilización química, con la finalidad de sustituirla a mediano o largo plazo según se obtenga un mejoramiento en las condiciones del suelo, la respuesta de desarrollo y rendimiento del cultivo, esto implicaría mayor beneficio

económico con los consorcios microbianos pero no de manera inmediata (Alarcón-Camacho *et al.*, 2019; González-Márquez *et al.*, 2021).

García-Olivares *et al.* (2012) evaluaron en maíz durante siete años, la aplicación de biofertilizantes, con una disminución (en cada ciclo) anual de la fertilización química. De esta manera se logró incrementar la rentabilidad del cultivo, al disminuir los costos por fertilización química.

Aunque en la Parcela 2 no se encontraron diferencias significativas, los beneficios con el uso de microorganismos son de otro tipo, al incrementar la rentabilidad del cultivo de maíz y reducir los costos de la fertilización química, lo que coincide con lo reportado por García (2012); y a largo plazo, se apreciaría en la sustentabilidad del sistema al mejorar la biota del suelo y la disponibilidad de nutrientes.

V. CONCLUSIONES

Con los consorcios microbianos se obtuvieron mayor efecto en el crecimiento y biomasa del cultivo, se encontraron diferencias significativas en la altura de planta para las dos parcelas.

En la parcela 1 se obtuvo diferencias estadísticas significativas en peso fresco y seco de biomasa, los tratamientos MP2 y MP3 destacaron en peso fresco y seco de mazorca.

En la parcela 2 en peso seco se observaron diferencias estadísticas significativas, destacó MM2 en peso de mazorca.

La aplicación de consorcios microbianos no mostró mejoras en las propiedades fisicoquímicas del suelo en un ciclo del cultivo. Se recomienda evaluar el efecto en un periodo de tiempo de por lo menos

En rendimiento, la Parcela 1 los tratamientos MP1 y MP3 fueron estadísticamente iguales y mayores al resto de los tratamientos. En la parcela 2, el rendimiento fue estadísticamente igual para todos los tratamientos. Sin embargo, el consorcio MP3 fue numéricamente mayor de todos los tratamientos.

Respecto al análisis económico, en la parcela 1 se observó diferencia estadísticamente significativa en la utilidad, destacando el tratamiento MP1. En la parcela 2, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en la utilidad.

VI. LITERATURA CITADA

- Acosta Almánzar, H. A. (2012). Microorganismos eficientes de montaña: Evaluación de su potencial bajo manejo agroecológico de tomate en Costa Rica. 100 pp.
- Aguilar, C., Escalante, J.A., Aguilar, I. y Rojas, 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.
- Aguilar-Carpio, C., J.A. Escalante, e I. Aguilar. (2015). Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoam.* 33:51-62.
- Aguilar-Jiménez, C. E., Tolón-Becerra, A. y Lastra-Bravo, X. (2011). Evaluación integrada de la sostenibilidad ambiental, económica y social del cultivo de maíz en Chiapas, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 43(1),155-174. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837648011>
- Alarcon Camacho, J., Recharte Pineda, D. C., Yanqui Díaz, F., Moreno LLacza, M., Montes Yarasca, I. M., y Buendía Molina, M. A. (2019). Elaboración de un biofertilizante a partir de microorganismos eficientes autóctonos en Perú. 80(2), 515–522.
- Álvarez, M., Tucta, F., Quispe, E., y Meza, V. (2018). Incidencia de la inoculación de microorganismos benéficos en el cultivo de fresa (*Fragaria* sp.). *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 33-42. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.04>
- Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. Á., Gerardo-Montoya, L., y Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56.
- Baars, O., X. Zhang, M.I. Gibson, A.T. Stone, F.M.M. Morel, y M.R. Seyedsayamdost. 2018. Crochelins: siderophores with an unprecedented iron-chelating moiety from the nitrogen-fixing bacterium *Azotobacter chroococcum*. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 57:536-541. <https://doi.org/10.1002/anie.201709720>
- Basaglia, M., Casella, S., Peruch, U., Poggiolini, S., Vamerali, T., Mosca, G., Vanderleyden, J., De Troch, P., y Nuti, M. (2003). Field release of genetically marked *Azospirillum brasilense* in association with *Sorghum bicolor* L. *Plant and soil*, 256(2), 281-290.
- Battini, F.; Grønlund, M.; Agnolucci, M.; Giovannetti, M.; Jakobsen, I. (2017). Facilitation of phosphorus uptake in maize plants by mycorrhizosphere

bacteria. *Scientific Reports*, 7, 4686. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04959-0>

Beltrán-Pineda, M. E., y Bernal-Figueroa, A. A. (2022). Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Revista Mutis*, 12(1).

Bhattacharyya, C., Roy, R., Tribedi, P., Ghosh, A., y Ghosh, A. (2020). Biofertilizers as substitute to commercial agrochemicals. En *Agrochemicals detection, treatment and remediation* (pp. 263-290). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-103017-2.00011-8>

Campo-Martínez, A. D. P., Acosta-Sánchez, R. L., Morales-Velasco, S. y Prado, F. A. (2014). Evaluation of microorganisms of mountain (mm) in the production of chard on the plateau of Popayán. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1), 79-87.

Cantú Silva, I., y Yañez Díaz, M. I. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 9(45). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.138>

Castañeda-Hidalgo, E., Vásquez-Cruz, M. A., Santiago, G. M., Robles-Pérez, C., y Lozano-Trejo, S. (2021). Valoración sustitutiva de biofertilizantes en el cultivo de maíz en cinco regiones del estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 8(11), 25-35.

Castro Barquero, L., Murillo Roos, M., Uribe Lorío, L. y Mata Chinchilla, R. (2015). Inoculación al suelo con *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum oryzae*, *Bacillus subtilis* y microorganismos de montaña (MM) y su efecto sobre un sistema de rotación soya-tomate bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense*, 39(3), 21-36 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=436/43642604002>

Castro Barquero, L., Murillo Roos, M., Uribe Lorío, L., y Mata Chinchilla, R. (2015). Inoculación al suelo con *pseudomonas fluorescens*, *azospirillum oryzae*, *bacillus subtilis* y microorganismos de montaña (mm) y su efecto sobre un sistema de rotación soya-tomate bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense*, 39, 21–36.

Caycedo Lozano, L., Ramírez, L. C. C., y Suárez, D. M. T. (2021). Las bacterias, su nutrición y crecimiento: una mirada desde la química. *Nova*, 19(36), 49-94.

- CEIEG, Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas. (12 de octubre de 2021). *Chiapas información agrícola 2020*. http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/productos/files/BECH/Cuaderno_Agricultura_2020.pdf
- CIMMYT. (1998). *La formación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Un Manual Metodológico de Evaluación Económico*. México D. F. 79 pp.
- Coutiño-Puchuli, A. E., Peña-Borrego, M. D., y Infante-Jiménez, Z. T. (2023). Estudio bibliométrico sobre biofertilizantes en México durante el período 2015-2020. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-14. e1449. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1449>
- Cueva Camones, L. N. (2015). Efecto de la aplicación de tres dosis de humus y microorganismos eficaces en el cultivo del brocoli (brassica oleracea var. Italica) en Marcara, Carhuaz. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Tesis de licenciatura. 70 pp.
- Di Gerónimo, P. F., Videla, C. C. y Laclau, P. (2018). Distribución de carbono y nitrógeno orgánico en fracciones granulométricas de suelos bajo pastizales, agricultura y forestaciones. *Ciencia del Suelo* 36(1):11-22.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos. Estados Unidos Mexicanos, 2002. Disponible en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>.
- Díaz-Barragán, O.A., Montero-Robayo, D.M., y Lagos-Caballero, J.A. (2009). Acción de microorganismos eficientes sobre la actividad de intercambio catiónico en plántulas de acacia (*Acacia melanoxydon* Burret) para la recuperación de un suelo del municipio de Mondoñedo, Cundinamarca. *Colombia Forestal*, 12, 141-160.
- El Mujtar, V., Muñoz, N., Mc. Cormick, B., Pulleman, M. y Tiftonell, P. (2019). Role and management of soil biodiversity for food security and nutrition; where do we stand? *Global Food Security*, 20, 132-144. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.01.007>
- Escobar, C., Horna, Y., Carreño, C., y Mendoza, G. (2011). Caracterización de cepas nativas de *Azotobacter* spp. y su efecto en el desarrollo de *Lycopersicon esculentum* Mill. "tomate" en Lambayeque. *Scientia Agropecuaria*, 2(1), 39-49.
- FAO. (2020). *Base de datos FAOSTAT*. Roma, Italia: FAO. Recuperado 19 de Julio de 2020. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

- FERTILAB. (s.f.). Manual de muestreo. (4ª edición). Celaya, Guanajuato: Fertilab. https://www.fertilab.com.mx/new/documentos/Manual_de_Muestreo.pdf
- Flores, Y. E., Romero, A. J., Torres, A. M., Briceño, F. A., y García, A. J. (2021). Efecto de abonos biológicos y fertilizantes químicos en el cultivo de maíz, FLASA Cojedes Venezuela. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 6(1), 21–27.
- Forero, F. E., Fernández, J. P., y Álvarez Herrera, J. G. (2010). Efecto de diferentes dosis de cachaza en el cultivo de maíz (*Zea mays*). *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 13(1), 77-86. <https://doi.org/10.31910/rudca.v13.n1.2010.711>
- Franco Correa, M. (2008). Evaluación de caracteres PGPR en actinomicetos e interacciones de estas rizobacterias con hongos formadores de micorrizas. <http://hdl.handle.net/10481/2110>
- Galdámez, G.J. (2013). Manejo del suelo en La Frailesca, Chiapas. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. *Revista Enlace*, 5(17), 47-49.
- Galdámez, J., Aguilar, C. E., Jiménez, A., Gutiérrez, S. y Martínez, F. B. (2008). Evolución y perspectivas de la producción de maíz en el estado de Chiapas, México. II Seminario de Cooperación y Desarrollo en Espacios Rurales Iberoamericanos. Sostenibilidad e Indicadores.
- Gamarra, C., Díaz Lezcano, M. I., Vera de Ortíz, M., Galeano, M. del P., y Cabrera Cardús, A. J. N. (2018). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 9(46). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>
- García-Olivares, J. G., Moreno-Medina, V. R., Rodríguez-Luna, I. C., Mendoza-Herrera, A., y Mayek-Pérez, N. (2007). Efecto de cepas de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(3), 305-305.
- García-Olivares, J., Mendoza-Herrera, A., y Mayek-Pérez, N. (2012). Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento del maíz en el norte de Tamaulipas, México. *Universidad y ciencia*, 28(1), 79–84.
- Geisseler D, Horwath W R, Joergensen R G, Ludwig B. 2010. Pathways of nitrogen utilization by soil microorganisms -a review. *Soil Biology y Biochemistry*, 42, 2058–2067. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.08.021>
- Gholami, A., S. Shahsavani, and S. Nezarat. 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. *Int. J. Biol. Sci.* 3: 35-40.

- González, C.M.E., Palacios, R.N., Espinoza, B.A. y Bedoya, S.C.A. (2013). Diversidad genética en maíces nativos mexicanos tropicales. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3-A), 329-338. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=610/61029263008>
- González, H., y Fuentes, N. (2017). Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 17-31.
- González-Márquez, L. C., Félix-Gastélum, R., Sandoval-Romero, J. A., Escobedo-Urías, D. C., y Longoria-Espinoza, R. M. (2021). Characterization of biofertilizers used in the agricultural valley of Guasave, Sinaloa, Mexico. *Terra Latinoamericana*, 39.
- Gouda, S., R. G. Kerry, G. Das, S. Paramithiotis, H. S. Shin, and J. K. Patra. 2018. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiol. Res.* 206: 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>.
- Gouda, S., R.G. Kerry, G. Das, S. Paramithiotis, H.S. Shin, J.K. Patra, 2018. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological Research* 206: 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>
- Grageda-Cabrera, O.A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J.J. y Vera-Nuñez, J.A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1261-1274. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2631/263123222015>
- Guardiola-Márquez, C. E., Figueroa-Montes, M. L., Pacheco Moscoa, A., y Senés-Guerrero, C. (2021). Native microbial consortia improve maize shoot and root systems at early developmental stages in a seedbed assay. *Scientia fungorum*, 51.
- Guardiola-Márquez, C.E., A. Pacheco, C. Senés-Guerrero, 2019. Evaluación de biofertilizantes a base de microorganismos y lixiviado de vermicomposta en cultivos de interés económico en México. *AGROProductividad* 12: 53-62. <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1348>
- Guevara-Hernández, F., Rodríguez-Larramendi, L. F., Hernández-Ramos, M. A., Fonseca-Flores, M., Pinto-Ruiz, R., y Reyes-Muro, L. (2015). Eficiencia energética y económica del cultivo de maíz en la zona de amortiguamiento

- de la Reserva de la Biosfera "La Sepultura", Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8), 1929-1941.
- Guzñay, C. (2015). Guía agroecológica para una agricultura resiliente en la parte baja de la subcuenca del río Daule. *Agrónomos y Veterinarios Sin Fronteras*. Ecuador. Pp 12-13.
- IBPGR. (1991). *Descriptors for Maize*. International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City/International Board for Plant Genetic Resources, Rome. 89 pp.
- Infante Jiménez, Zoe; Ortega Gómez, Priscila y Coutiño Puchuli, Andrés E. (2020): Las Biofábricas y su relación con el Desarrollo Sostenible en Michoacán, México. In: Factores críticos y estratégicos en la interacción territorial desafíos actuales y escenarios futuros. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores, Ciudad de México.
- Jochum, M., K.M. McWilliams, E. Borrego, M. Kolomiets, G. Niu, E. Pierson, Y.K. Jo, 2019. Bioprospecting plant growth-promoting rhizobacteria that mitigate drought stress in grasses. *Frontiers in Microbiology* 10: 2106. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02106>
- Johnson, E. C., Fischer, K. S., Edmeades, G. O., y Palmer, A. F. E. (1986). Recurrent Selection for Reduced Plant Height in Lowland Tropical Maize. *Crop Science*, 26(2), 253-260. <https://doi.org/10.2135/cropsci1986.0011183X002600020008x>
- Lara, M.C. y Negrete, P.J. (2015). Efecto de un bioinoculante a partir de consorcios microbianos nativos fosfato solubilizadores, en el desarrollo de pastos Angleton (*Dichantium aristatum*). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(1), 122-130. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=776/77639196015>
- Leoz, B. M. (2012). Impacto de fertilizantes y pesticidas en la calidad del suelo y el agua: Impact of fertilizers and pesticides on soil and water quality (Doctoral dissertation).
- López Báez, W., Reynoso Santos, R., López Martínez, J., Villar Sánchez, B., Camas Gómez, R. y García Santiago J.O. (2019). Caracterización físico-química De Suelos Cultivados Con maíz En Villaflores, Chiapas. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 10(4). <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>.
- López, B. W., Reynoso, S. R., López, M. J., Camas, G. R. y Tasistro, A. (2018). Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la región Frailesca, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1):65-79.

- Loredo-Osti, C., López-Reyes, L., y Espinosa-Victoria, D. (2004). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. *Terra Latinoamericana*, 22(2), 225-239. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57322211>
- Lucas García, J.A., Probanza, A., Ramos B., Palomino, M., Gutiérrez Mañero, F.J. (2004). Effect of inoculation of *Bacillus licheniformis* on tomato and pepper. *Agronomie, EDP Sciences*, 24 (4), 169-176.
- Macías Coutiño, P. (2022). Evaluación de microorganismos de montaña en el agroecosistema maíz (*Zea mays* L.) de la región Frailesca, Chiapas [Tesis de maestría en ciencias]. Universidad Autónoma de Chiapas.
- Macías Coutiño, P., Guevara Hernández, F., Ruiz Valdiviezo, V. M., Reyes-Sosa, M. B., Arias, M. A. L. O., y Pinto Ruiz, R. (2021). Efecto de tres consorcios microbianos en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas. *Revista Iberoamericana Bioeconomía y Cambio Climático*. 7(13), 1576-1584. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v7i13.11424>
- Madriral Reyes, S., Cristóbal Acevedo, D., Hernández Acosta, E., y Romo Lozano, J. L. (2019). Influencia de la cobertura, pendiente y profundidad, sobre el carbono y nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 10(51), 201–223. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.113>
- Malusá, E. y Vassilev, N. (2014). Una contribución para establecer un marco legal para los biofertilizantes. *Appl Microbiol Biotechnol* 98, 6599–6607. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-5828-y>
- Mandal, A., Sarkar, B., Mandal, S., Vithanage, M., Patra, A. K., y Manna, M. C. (2020). Impact of agrochemicals on soil health. En *Agrochemicals detection, treatment and remediation* (pp. 161-187). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-103017-2.00007-6>
- Martínez, C.B., y Soto, Z.G. M. (2018). Aplicación de consorcios microbianos en la agricultura. *Revista Perspectivas De La Ciencia y La Ingeniería*, 1(2), 54-61.
- Martínez, F. B., Guevara, F., Aguilar, C. E., Pinto, R., La O, M. A., Rodríguez, L. A., y Aryal, D. R. (2020). Energy and Economic Efficiency of Maize Agroecosystem under Three Management Strategies in the Frailesca, Chiapas (Mexico). *Agriculture*, 10(3), 81.

- Martínez, R.L., Aguilar, J.C.E., Carcaño, M.M.G., Galdámez, G.J., Morales, C.J.A., Martínez A.F.B., Llaven, M.J y 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>.
- Martínez-Aguilar, F. B., Guevara-Hernández, F., Aguilar-Jiménez, C. E., Rodríguez-Larramendi, L. A., Reyes-Sosa, M. B y La O-Arias, M. A. (2020). Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas. *Terra Latinoamericana* 38: 871-881. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.793>
- Martínez-Aguilar, F. B., Guevara-Hernández, F., La O-Arias, M. A., Aguilar-Jiménez, C. E., Rodríguez-Larramendi, L. A. y Pinto-Ruiz, R. (2021). Tipificación socio-agronómica y energética de productores de maíz en la región Frailesca, Chiapas, México. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 38: 176-198. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v38.n1.09](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n1.09)
- Mascarúa, M. A., J. Caballero y M. Carcaño. (1994). Biofertilización en gramíneas. pp. 41-45. In: E. Olguín, C. Peña, E. Hernández y R. Camacho (eds.). *Tecnologías Ambientales para el Desarrollo Sustentable*. Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, México.
- Molina-Romero, D.; Baez, A.; Quintero-Hernández, V.; Castañeda-Lucio, M.; Fuentes-Ramírez, L.E.; Bustillos-Cristales, M.D.; Rodríguez-Andrade, O.; Morales-García, Y.E.; Munive, A.; Muñoz-Rojas, J. (2017). Compatible bacterial mixture, tolerant to desiccation, improves maize plant growth. *PLoS ONE*, 12(11): e0187913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187913>
- Namasivayam, S.K.R. 2010. Effect of formulation of effective microorganism (EM) on post treatment persistence, microbial density and soil macronutrients. *Rec. Res. Sci. Technol.* 2(5): 102-106.
- Ning, C., Gao, P., Wang, B., Lin, W., Jiang, N., y Cai, K. (2017). Impacts of chemical fertilizer reduction and organic amendments supplementation on soil nutrient, enzyme activity and heavy metal content. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(8), 1819–1831. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61476-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61476-4)
- Noh Medina, J., Yam Chimal, C., Borges Gómez, L., Zúñiga Aguilar, J. J., y Godoy Hernández, G. (2014). Aislados bacterianos con potencial biofertilizante para plántulas de tomate. *Terra Latinoamericana*, 32(4), 273-281.
- Nurbaity, A., E.T. Sofyan, J.S. Hamdani, 2016. Application of *Glomus* sp. and *Pseudomonas diminuta* reduce the use of chemical fertilizers in production of potato grown on different soil types. In: *IOP Conference Series: Earth and*

Environmental Science 41: 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/41/1/012004>

Ojuederie, O.B., O.S. Olanrewaju, O.O. Babalola, 2019. Plant growth promoting rhizobacterial mitigation of drought stress in crop plants: implications for sustainable agriculture. *Agronomy* 9: 712. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110712>

Organización de las Naciones Unidas. (11 de julio de 2022). *La población mundial llegará a 8.000 millones el 15 de noviembre de 2022*. <https://mexico.un.org/es/189764-la-poblacion-mundial-llegara-8000-millones-el-15-de-noviembre-de-2022#:~:text=Las%20%C3%BAltimas%20proyecciones%20de%20las,en%20ese%20nivel%20hasta%202100>.

Oueriaghli, N. La biodiversidad microbiana como fuente de productos de interés biotecnológico. *ArsPharm* 2010; 51. Suplemento 3: 527-539. <http://hdl.handle.net/10481/26620>

Pedraza, R.O., Teixeira, K.R., Scavino, A. F., de Salamone, I.G., Baca, B.E., Azcón, R. y Bonilla, R. (2010). Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. Revisión. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 155-164.

Polo, R. F. (2022). "Biofertilizantes" una revisión sistemática de la literatura científica en los últimos 10 años. *High Tech-Engineering Journal*, 2(1), 90-97.

Pulamarin-Churuchumbi, A. D. (2022). Efecto de la aplicación de pollinaza semidescompuesta y compostada en una mezcla forrajera en el cantón Cayambe (Bachelor's thesis). Tesis de Licenciatura. 89 pp.

Pulleman, M., Hellin, J., Flores, D., y López, W. (2008). Calidad del suelo y rentabilidad de la finca: una situación en la que todos ganan. *LEISA*, 24(2), 13-16. <https://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-24-numero-2/1867-calidad-del-suelo-y-rentabilidad-de-la-finca-una-situacion-en-la-que-todos-ganan>

Rai, A.y Nabti, E. 2017. Plant Growth-Promoting Bacteria: Importance in Vegetable Production. En: Zaidi A, Khan MS, editors. *Microbial Strategies for Vegetable Production*. Chapter 2. Springer International Publishing AG. Switzerland, p. 23-48. ISBN 978-3-319-54400-7. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54401-4>

- Richardson, A.E. 2001. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Funct. Plant Biol.* 28: 897-906. <https://doi.org/10.1071/PP01093>
- Robles, B. H. (2010). A long-term view: Comparing the Result of Mexico's 1991 and 2007 Agricultural Censuses. *Subsidizing Inequality: Mexican*, in Woodrow Wilson International Center for Scholars
- Rodríguez-Cruz, M. S., Jones, J. E. y Bending, G. D. (2006). Field-scale study of the variability in pesticide biodegradation with soil depth and its relationship with soil characteristics. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(9), 2910-2918. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.04.051>
- Rojas-Badía, M. M., Bello-González, M. A., Ríos-Rocajull, Y., Lugo-Moya, D., y Rodríguez-Sánchez, J. (2020). Utilización de cepas de *Bacillus* como promotores de crecimiento en hortalizas comerciales. *Acta Agronómica*, 69(1), 54-60.
- Rosabal Ayan, L., Macías Coutiño, P., Maza González, M., López Vázquez, R., y Guevara Hernández, F. (2021). Microorganismos del suelo y sus usos potenciales en la agricultura frente al escenario del cambio climático. *Magna Scientia UCEVA*, 1(1), 104–117. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a14>
- Sadhvani, A. (2015). *Gestión y tratamiento de residuos*. Gran Canaria: Servicio de Publicaciones y Difusion Científica.
- Santillana Villanueva, N. (2006). Producción de biofertilizantes utilizando *Pseudomonas* sp. *Ecología aplicada*, 5(1-2), 87-91.
- Santos Villalobos, S. de los, Parra Cota, F. I., Herrera Sepúlveda, A., Valenzuela Aragón, B., y Estrada Mora, J.C. (2018). Colección de microorganismos edáficos y endófitos nativos para contribuir a la seguridad alimentaria nacional. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(1), 191-202. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.858>
- Santoyo, G., Guzmán-Guzmán, P., Parra-Cota, FI, Santos-Villalobos, S. de los, Orozco-Mosqueda, Ma. del C. y Glick, BR (2021). Estimulación del crecimiento vegetal por consorcios microbianos. *Agronomía*, 11(2), 219. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy11020219>
- Sarwar, G., H. Schmeisky, N. Hussain, N. Muhammad, M. Ibrahimand E. Safdar. 2008. Improvement of soil physical and chemical properties with compost application in rice-wheat cropping system. *Pak. J. Bot.* 40(1): 275-282.

- Seema, N., Hamayun, M., Ara, H., y Khan, R. S. (2019). Inoculation of Sunflower with Endophytic Fungi Alters Soil Physio-Chemical Properties to Nullify Drought Stress. *Sarhad Journal of Agriculture*, 35(1).
- Shaheen, S., Khan, M., Khan, M. J., Jilani, S., Bibi, Z., Munir, M., y Kiran, M. (2017). Effective Microorganisms (EM) co-applied with organic wastes and NPK stimulate the growth, yield and quality of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Sarhad J. Agric*, 33(1), 30-41.
- SIAP. (2020). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Panorama agroalimentario2020. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/paq/2020/Atlas-Agroalimentario-2020.
- SIAP. (2021a). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción ciclo agrícola Ol+PV 2019 (Riego + Temporal). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SIAP. (2021b). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. <http://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sivila de Cary, R. y Angulo, W. (2006). Efecto del descanso agrícola sobre la microbiota del suelo (Patarani - Altiplano Central boliviano). *Ecología en Bolivia*, 41(3), 103-115. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282006001200008&lng=es&tlng=es
- Sood G, Kaushal R, Chauhan A, Gupta S (2018)) Efecto de la aplicación conjunta de PGPR autóctonos y fertilizantes químicos sobre la productividad del maíz (*Zea mays* L.) en las colinas medias de Himachal Pradesh. *Revista de Nutrición Vegetal* 41 , 297–303.
- Sood, G., Kaushal, R., Chauhan, A., y Gupta, S. (2018). Indigenous plant-growth-promoting rhizobacteria and chemical fertilisers: impact on wheat (*Triticum aestivum*) productivity and soil properties in North Western Himalayan region. *Crop and Pasture Science*, 69(5), 460-468.
- Suárez M. G., Campos C. A. y Cruz H., L. (2015). Dinámica del carbono y nitrógeno del suelo en ecosistemas de la costa tropical seca, en la mancha (CICOLMA), Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 18(3):347-361. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93944043009.pdf>.
- Suchini Ramírez, J. G. (2012). Innovaciones agroecológicas para una producción agropecuaria sostenible en la región del Trifinio. Turrialba, C. R.: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

- Tadeo Robledo, M., García Zavala, J. J., Alcántar Lugo, H. J., Lobato Ortiz, R., Gómez Montiel, N. O., Sierra Macías, M., Irizar Garza, M. B. G., Valdivia Bernal, R., Zaragoza Esparza, J., y Martínez Yáñez, B. (2017). Biofertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles para los Valles Altos de México. *Terra Latinoamericana*, 35(1), 65-72.
- Tanya, M., y Leiva, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-103.
- Tencio, R. (2014). Uso de microorganismos benéficos en la agricultura orgánica en Costa Rica. *Ambientico*, 2014(243), 41-46.
- Terry, E., Terán, Z., Martínez-Viera R. y Pino, M.A. 2002. Biofertilizantes, una alternativa promisorio para la producción hortícola en organopónicos. *Cultivos Tropicales*, 23(3), 43-46. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1932/193218120005>
- Toro, M., Bazó, I., y López, M. (2008). Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento vegetal, biofertilizantes nativos de sistemas agrícolas bajo manejo conservacionista. *Agronomía Tropical*, 58(3), 215-221.
- Umaña, S., Rodríguez, K., y Rojas, C. (2017). ¿Funcionan realmente los microorganismos de montaña (MM) como estrategia de biofertilización? Un enfoque de ingeniería de biosistemas. *Revista De Ciencias Ambientales*, 51(2), 133-144. <https://doi.org/10.15359/rca.51-2.7>
- Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., y Rodríguez-Sahagún, A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 333-345.
- Verzeaux, J., Hirel, B., Dubois, F., Lea, P. y Tétu, T. (2017). Agricultural practices to improve nitrogen use efficiency through the use of arbuscular mycorrhizae: Basic and agronomic aspects. *Plant Science*, 264(48-56). <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.08.004>
- Vessey, J.K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil* 255:571–586.
- Zermeño-González, A., Mendez-López, G., Rodríguez-García, R., Cadena-Zapata, M., Cárdenas-Palomo, J. O., y Catalán-Valencia, E. A. (2015). Biofertilización de vid en relación con fotosíntesis, rendimiento y calidad de frutos. *Agrociencia*, 49(8), 875-887.

VII. ANEXO

7.1 Entrevista semiestructurada

Producción de maíz en Domingo Chanona, Villaflores, Chiapas

Datos del productor

Nombre: _____ Edad: _____

1. Nivel de escolaridad:

- a) Ninguno
- b) Primaria
- c) Secundaria
- d) Preparatoria
- e) Licenciatura
- f) Maestría

Caracterización del sistema de producción

2. Tipo de tenencia

- a) Ejidal
- b) Comunal
- c) Pequeña propiedad

3. Superficie total: _____ ha

- a) Ganadería: _____ ha
- b) Agricultura: _____ ha
 - Maíz: _____
 - Frijol: _____
 - Otros: _____

Cultivo de maíz

4. ¿En qué ciclo agrícola produce?

- a) P-V
- b) O-I
- c) Ambos

5. ¿Está asociado a otro cultivo? _____ ¿Cuál? _____
6. ¿Qué tipo de semilla de maíz usa?
- a) Criolla _____ ¿Cuál? _____
- b) Mejorada _____ ¿Cuál? _____
7. ¿Le da algún tratamiento a la semilla? _____
8. ¿Qué tipo de siembra realiza?
- a) Manual
- b) Mecanizada
9. ¿Qué sistema de labranza utiliza?
- a) Convencional
- b) Labranza mínima
- c) Labranza cero
10. Tipo de mano de obra utiliza en el cultivo de maíz
- a) Familiar
- b) Contratada
11. ¿Cuál es el precio del jornal? \$_____
12. Tipo de pendiente de la parcela de maíz
- a) Ladera
- b) Llana
- c) Mixta
13. Describa las labores que realiza para la preparación del suelo

Actividad	Número de veces	Equipo ¿Es propio?	Costo/ha	Número de jornales
Barbecho				
Rastra				
Surcado				

Observaciones:

Nutrición

14. ¿Realiza algún análisis para fertilizar? _____

15. Fertilización

Numero	Fertilizantes y/o abonos aplicados	Fechas de aplicación	Cantidad (kg/ha)	Costos de fertilizante	Número de jornales
1					
2					
3					

Control de maleza

16. Principales malas hierbas que se presentan y su control

Maleza*	Control (químico o manual)	herbicida	Cantidad	Jornales	Costo de herbicida

*Hoja ancha u hoja angosta

Control de plagas y enfermedades

17. Principales plagas y/o enfermedades que se presentan y su control

Plagas y/o enfermedades	Control	Insecticida o producto	Cantidad	Jornales	Costo del insecticida o producto

Cosecha

18. ¿Qué actividades realiza durante la cosecha?

- a) Doblado de planta: _____ Número de jornales _____
- b) Pizca _____ Número de jornales _____
- c) Corte de planta completa _____ Número de jornales _____
- d) Acarreo _____ Número de jornales _____

19. ¿Qué método de desgrane utiliza?

- a) Manual _____ Número de jornales _____
- b) Mecanizado \$ _____ (por servicio)

20. ¿Qué subproductos aprovecha?

- a) Rastrojo
- b) Hojas
- c) Olote

21. Superficie y volumen de producción

Año	Superficie	Vol. De producción
2016		
2017		
2018		
2019		
2020		

22. Usos de la producción

Producto	Uso de la producción					
	Rendimiento t/ha	Vol. De producción t/ha	Precio medio \$/ha	Vol. de venta t	Vol. Para autoconsumo t	Vol. Destinado a ganado t
Grano						

Rastrojo						
Olote						
Calabaza						

Observaciones:

23. ¿A quién vende su producción?

- a) Productor ganadero
- b) Intermediario
- c) Otro