



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**INGENIERÍA EN AGRONOMÍA PARA LA PRODUCCIÓN
SUSTENTABLE**

TESIS

**Evaluación de la fertilización química y biológica en la productividad del cultivo de
maíz y la salud del suelo en dos sistemas de producción: agricultura de
Conservación VS agricultura tradicional en Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo**

Para Obtener El Título De:

Ingeniera Agrónoma para la Producción Sustentable

PRESENTA

JOVANHA SAYURI VÁZQUEZ JUÁREZ

Directora

Dra. Iridiam Hernández Soto

Codirector

Ing. Jaime Ortega Bernal

Asesores:

Dr. Benito Flores Chávez

Dr. Asael Islas Moreno

Lic. José Alberto Ortega González

Mixquiahuala de Juárez Hidalgo., México., junio del 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Agropecuarias
Institute of Agricultural Sciences
Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales
Academic Area of Agricultural and Forestry Sciences

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 29 de junio de 2026

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado a la pasante de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía Para La Producción Sustentable, **Jovanna Sayuri Vázquez Juárez**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **"Evaluación de la fertilización química y biológica en la productividad del cultivo de maíz y la salud del suelo en dos sistemas de producción: agricultura de Conservación VS agricultura tradicional en Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo"**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

PRESIDENTE	Dr. Benito Flores Chávez
SECRETARIO	Lic. José Alberto Ortega González
VOCAL 1	Dra. Iridiam Hernández Soto
VOCAL 2	Ing. Jaime Ortega Bernal
VOCAL 3	Dr. Asael Islas Moreno

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos
Coordinador de la Licenciatura en
Ingeniería en Agronomía Para La Producción Sustentable



"Amor, Orden y Progreso"



Av. Universidad No. 133, Col. San Miguel Huatengo, Santiago
Tulantepec. C.P. 43775. Hidalgo, Mexico.
Teléfono: 7717172000 Ext. 42073
profa_5566@uah.edu.mx

uah.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida, salud y fortaleza para concluir esta etapa académica.

A mis padres Vania Itzel Juárez Cruz y Jose Alfredo Vázquez Hipolito por su amor incondicional, sacrificio y ejemplo de trabajo. Cada logro mío es reflejo de su esfuerzo. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudé.

A mi directora de tesis, Dra. Iridiam Hernández Soto, por su guía, paciencia y compromiso. Sus conocimientos y exigencia fueron fundamentales para culminar esta investigación.

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en el Instituto de Ciencias Agropecuarias, por brindarme las herramientas y el espacio para formarme como profesionista.

Al Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico del Valle del Mezquital, por abrirme sus puertas y permitirme realizar el trabajo de campo. Al Ing. Jaime Ortega Bernal y a la Ing. Yazmin Azucena Mayorga gracias por su confianza y enseñanzas en el cultivo.

A mis amigos Naydelin Fernández, Quetzaly Vazquez y Emanuel Barrón, por su apoyo y por hacer más ligero este camino.

Finalmente, a todos los productores agrícolas, cuya labor incansable inspira esta investigación. Este trabajo es también para ustedes.

ÍNDICE GENERAL

Resumen	1
PALABRAS CLAVE: Maíz, agricultura de conservación, biofertilizantes, microorganismos, rentabilidad, fertilización.....	1
1. Introducción	2
2. Antecedentes.....	3
3. Marco Teórico	5
3.1 Cultivo de maíz	5
3.2 Producción de maíz en México y en el mundo	5
3.2.1 Producción Mensual Nacional (%)	6
3.2.2 Ranking mundial.....	7
3.3 Manejo agronómico tradicional	7
3.4 Manejo agronómico de conservación	9
3.5 Microorganismos y sus beneficios en el suelo	12
3.6 Principales plagas y enfermedades del maíz	13
3.6.1 Plagas.....	13
3.6.2 Enfermedades.....	15
3.6.2 Arvenses	17
3.6.3 Deficiencias nutricionales en el cultivo	20
4. Justificación	23
5. Hipótesis	24
6. Objetivo General	24
6.1 Objetivos específicos.....	24
7. Material y Métodos.....	25
7.1 Ubicación del área de estudio y establecimiento del cultivo	25
7.2 Tratamientos y aplicación de fertilizantes y microorganismos.....	27
7.3 Parámetros agronómicos.....	29
7.4 Análisis estadístico	30
8. RESULTADOS y DISCUSIONES	30

8.1 Variables agronómicas	30
8.2 Estudio económico	41
9. Conclusión.....	59
10. Referencias	61

Índice de figuras

Figura 1. Cultivo de Maíz.....	5
Figura 2. Volumen de la producción Nacional 2014 - 2023 (Miles de toneladas). El promedio nacional es de 26,741.	6
Figura 3. Producción Mensual Nacional (%).....	6
Figura 4. Ranking mundial	7
Figura 5. Paso de subsuelo para romper el piso de arado sin voltearlo.	8
Figura 6. Proceso de siembra de maíz.....	8
Figura 7. Cultivo de maíz en un sistema de conservación	10
Figura 8. Agricultura de conservación.....	10
Figura 9. Siembra y fertilización	11
Figura 10. Beneficios de los cultivos de cobertura.	12
Figura 11. Plataforma experimental ubicada en Mixquiahuala de Juárez; Hidalgo.	25
Figura 12. Croquis de distribución del ensayo.....	28

Índice de tablas

Tabla 1. Plagas Del Cultivo De Maíz.....	13
Tabla 2. Enfermedades Del Cultivo De Maíz	15
Tabla 3. Malezas Del Cultivo De Maíz	18
Tabla 4. Datos sobre las propiedades del suelo donde se llevó a cabo el experimento.....	25
Tabla 5. Datos sobre el material vegetal usado en el experimento	26
Tabla 6. Tratamientos utilizados dentro del experimento	28
Tabla 7. Inversión del tratamiento CSFSM dentro del experimento.....	41
Tabla 8. Rentabilidad neta sobre costos de producción (%) CSFSM.....	43
Tabla 9. Inversión del tratamiento CCFSM dentro del experimento	44
Tabla 10. Rentabilidad neta sobre costos de producción (%)CCFSM.....	46
Tabla 11. Inversión del tratamiento CONSFSM dentro del experimento	47

Tabla 12. <i>Rentabilidad neta sobre costos de producción (%)</i> CONSFSM.....	49
Tabla 13. Inversión del tratamiento CONCFM dentro del experimento	49
Tabla 14. <i>Rentabilidad neta sobre costos de producción (%)</i> CONCFM.....	52
Tabla 15. Inversión del tratamiento CONSFCM dentro del experimento	52
Tabla 16. . <i>Rentabilidad neta sobre costos de producción (%)</i> CONSFCM.....	55
Tabla 17. Inversión del tratamiento CONCFM dentro del experimento	55
Tabla 18. Relación costo - beneficio tratamiento CONCFM	58

Índice de graficas

Gráfica 1. % de roya (*Puccinia sorghi*) en el cultivo de maíz bajo diferentes tratamientos. Las diferentes letras en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha = 0,05$); $n = 64$ error estándar. CSFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional sin fertilizante y sin microorganismos; CCFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional con fertilizante y sin microorganismos; CONSFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y sin microorganismos; CONSFCM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y con microorganismos33

Gráfica 2. % de Plantas con *Fusarium verticillioides*. Las diferentes letras en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha = 0,05$); $n = 64$ error estándar. CSFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional sin fertilizante y sin microorganismos; CCFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional con fertilizante y sin microorganismos; CONSFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y sin microorganismos; CONSFCM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y con microorganismos35

Gráfica 3. % de carbón de la espiga (*Sporisorium reilianum*). Las diferentes letras en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha = 0,05$); $n = 64$ error estándar. CSFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional sin fertilizante y sin microorganismos; CCFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional con fertilizante y sin microorganismos; CONSFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y sin microorganismos; CONSFCM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y con microorganismos37

Gráfica 4. No. de carreras por mazorca. Las diferentes letras en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha = 0,05$); $n = 64$ error estándar. CSFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional sin fertilizante y sin microorganismos; CCFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional con fertilizante y sin microorganismos; CONSFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y sin microorganismos; CONSFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y con microorganismos39

Gráfica 5. Número de grano por mazorca. Las diferentes letras en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha = 0,05$); $n = 64$ error estándar. CSFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional sin fertilizante y sin microorganismos; CCFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional con fertilizante y sin microorganismos; CONSFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y sin microorganismos; CONSFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y con microorganismos41

Gráfica 6. Porcentaje de humedad en grano. Las diferentes letras en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha = 0,05$); $n = 64$ error estándar. CSFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional sin fertilizante y sin microorganismos; CCFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional con fertilizante y sin microorganismos; CONSFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y sin microorganismos; CONSFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y con microorganismos42

Gráfica 7. Rendimiento TON / HA. Las diferentes letras en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha = 0,05$); $n = 64$ error estándar. CSFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional sin fertilizante y sin microorganismos; CCFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional con fertilizante y sin microorganismos; CONSFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y sin microorganismos; CONSFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y con microorganismos43

Resumen

El maíz es el cultivo agrícola más importante en México, pero su producción enfrenta retos por degradación del suelo, cambio climático y dependencia de insumos sintéticos. La agricultura de conservación y el uso de microorganismos benéficos surgen como alternativas sustentables. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la fertilización química, biológica y su combinación sobre el crecimiento, rendimiento y rentabilidad del maíz bajo dos sistemas: agricultura convencional y de conservación, en Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo. Se estableció un experimento con diseño completamente al azar con seis tratamientos y tres repeticiones, combinando sistemas de labranza, fertilización química y aplicación de microorganismos. Se evaluaron variables de sanidad, componentes de rendimiento y análisis económico. Los resultados indican que no se presentaron diferencias estadísticas significativas en rendimiento, roya ni *Fusarium*. Sin embargo, la incidencia de carbón de la espiga fue nula en los tratamientos con fertilizante o microorganismos, mientras que el testigo presentó la mayor incidencia. Numéricamente, el tratamiento de agricultura de conservación con fertilización química y microorganismos obtuvo el mayor rendimiento con 17.38 t/ha, 14.98% superior al testigo convencional sin fertilizante ni microorganismos. Económicamente, este mismo tratamiento generó la mayor utilidad neta con \$39,451/ha, \$6,900 más que el testigo. La mejor relación beneficio-costo fue para el sistema convencional con fertilizante sin microorganismos con 0.64. Los sistemas de conservación redujeron costos de producción hasta \$8,500/ha por menor labranza. Se concluye que la integración de agricultura de conservación, fertilización química y biológica sostiene la productividad y mejora la rentabilidad, constituyendo una estrategia viable para la producción sustentable de maíz.

PALABRAS CLAVE: Maíz, agricultura de conservación, biofertilizantes, microorganismos, rentabilidad, fertilización.

1. Introducción

En México, el maíz (*Zea mays*) forma parte de nuestra alimentación diaria, es el cultivo de mayor presencia en el país, constituye un insumo para la ganadería y para la obtención de numerosos productos industriales, por lo que, desde el punto de vista alimentario, industrial, económico, político y social, es el cultivo agrícola más importante (Rural, 2020). Sin embargo, enfrenta una serie de problemáticas, entre las que destacan el cambio climático, la falta de tecnificación y la competencia con el maíz subsidiado de otros países (UNAM, 2020). El modelo de agricultura convencional se fundamenta en un sistema de producción dependiente de un alto uso de insumos sintéticos, donde predomina el monocultivo, que se justifica como herramienta fundamental para lograr mayor eficiencia en el proceso productivo; sin embargo, este sistema de producción ha mostrado serios problemas de sostenibilidad y ha ocasionado el deterioro de los suelos y el agua (González, 2017). Frente a este escenario, surge la necesidad de explorar alternativas sustentables como los microorganismos del suelo, al ser utilizados como biofertilizantes, actúan como una fuente de nutrición vegetal y de enriquecimiento para reponer o reconstruir el ciclo de nutrientes en el suelo; además de brindar protección a la planta por el ataque de fitopatógenos y tolerancia al estrés. Los efectos benéficos de estas sobre el crecimiento y desarrollo vegetal han sido observados, destacando mecanismos como la fijación biológica de nitrógeno (N), reducción del nivel de etileno, producción de sideróforos, producción de fitohormonas, inducción de resistencia a patógenos, solubilización de diversos nutrientes (fósforo y potasio), disminución de la toxicidad de los contaminantes, entre otros (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, 2023). Antiguamente, la agricultura tradicional no tenía en cuenta los efectos que su actividad podía producir sobre el medio ambiente. Sin embargo, en la actualidad cada vez son más los agricultores que apuestan por la sostenibilidad, y esto ha dado paso a la agricultura de conservación y uso de microorganismos benéficos, un enfoque innovador que busca transformar la forma en que se cultiva la tierra. Se caracteriza por minimizar la alteración mecánica del suelo, al mismo tiempo, promueve la cobertura del suelo con residuos de cultivos o plantas específicas, lo que ayuda a protegerlo de la erosión, retener la humedad y regular la temperatura (CIMMYT, s.f.). En México, (Itzá Kantún, Castillo Caamal, Escalante Eúan, & Santos Flores, 2024) evaluaron el efecto de microorganismos en el suelo y el rendimiento de maíz en respuesta a la necesidad de incrementar el rendimiento agrícola; “La biofertilización con microorganismos es una estrategia compatible con las actividades tradicionales de la milpa, ya que integra principios agroecológicos relacionados al mejoramiento de las condiciones del suelo a través del manejo de materia orgánica y el estímulo de la diversidad de microorganismos del suelo” Este escenario es ideal para potenciar la fertilidad de los suelos agrícolas y, en consecuencia, el rendimiento del maíz en el sistema milpa. El bajo costo y facilidad de elaboración, almacenamiento, transporte y

aplicación posicionan esta tecnología de microorganismos en una alternativa de fácil adopción por los productores.

Ante el reto de la seguridad alimentaria, el cambio climático y la conservación del recurso suelo, conseguir una agricultura más productiva y resiliente requerirá una mejor gestión de los recursos naturales, como el agua, el suelo y los recursos genéticos a través de prácticas como la agricultura de conservación, la nutrición integrada y la conservación de materia orgánica, el manejo integrado de plagas y enfermedades y la agroforestería (Roman, Martínez & Pantoja). Por lo anterior mencionado en esta investigación se consideró relevante comparar el crecimiento y rentabilidad del maíz evaluando el efecto de fertilización y microorganismos aplicados.

2. Antecedentes

El planeta avanza hacia una producción agrícola acorde con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, con uno de los retos trazados con miras al 2050, el de lograr que la producción de alimentos sea más inocua, saludable, de alta calidad y rendimientos. Sin embargo, diversas problemáticas ambientales pueden generar el deterioro de la calidad de los suelos agrícolas, debido al deterioro de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, pérdida de nutrientes, reducción de la productividad agrícola y elevados costos de producción que, a su vez, limitan la sustentabilidad, seguridad y soberanía alimentaria (producción de alimentos), además de la integridad ecológica (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, 2023).

Los métodos de producción agrícola convencionales no están produciendo suficiente alimento para cubrir las necesidades alimenticias de la población nacional creciente; están teniendo efectos relacionados con el cambio climático, esto debido al uso de combustibles fósiles, de maquinaria agrícola, fertilizantes y abonos químicos, los cuales generan gases de efecto invernadero, agravando el problema ya que no sólo se pone en riesgo la seguridad alimentaria, sino también se incrementa el daño ambiental (Cruz Cárdenas, y otros, 2021). Desde hace pocos años, los microorganismos destinados al uso en agricultura están ganando importancia, dado que se han comprobado los resultados positivos de su aplicación como alternativa al uso de otro tipo de fertilizantes, son de gran utilidad para el desarrollo de cultivos sanos y vigorosos. Son imprescindibles para mantener la fertilidad del suelo, de hecho, los que carecen de flora microbiana, son suelos pobres y desequilibrados, a los que es necesario mantener un aporte constante y desmesurado de fertilizantes de síntesis (AEFA, 2017).

En la búsqueda de prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medioambiente, un equipo de científicos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en colaboración con investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad de Aarhus (Dinamarca) desarrollaron un estudio sobre los efectos no

intencionados de pesticidas y tratamientos con microorganismos benéficos en la microbiota del suelo, es decir, el conjunto de microorganismos que lo habitan. El estudio se centró en cultivos de maíz y cebada bajo prácticas de agricultura de conservación, un sistema de producción que destaca por su enfoque en la sostenibilidad y la preservación de la salud del suelo. Evaluó cómo los tratamientos aplicados a las semillas de maíz y cebada afectaron a las comunidades microbianas del suelo y las raíces durante el ciclo de crecimiento. Los tratamientos incluyeron una mezcla de pesticidas y productos comerciales que contienen microorganismos benéficos, conocidos como PBM (productos basados en microorganismos), los cuales han sido utilizados para controlar plagas y promover el crecimiento de las plantas (Morales Garcilazo, 2024).

Este estudio se originó a partir de un ensayo que se estableció para determinar los mejores tratamientos de semillas en el Batán. Investigadores de la UNAM utilizaron este ensayo para evaluar los efectos de los tratamientos de semillas en maíz y cebada sobre la salud del suelo. La principal conclusión es que “tanto los tratamientos biológicos como los químicos de las semillas tuvieron un efecto mínimo sobre la vida del suelo, por lo que podrían usarse para proteger las plántulas sin mucho impacto ambiental” comenta Simon Fonteyne, Líder de Agronomía para América Latina de CIMMYT (Morales Garcilazo, 2024). De acuerdo con el estudio, solo se observó una reducción en la infección por *Polymyxa* (una especie de bacteria) en las raíces de la cebada, mientras que la microbiota general y la salud de las raíces se mantuvieron estables en ambos cultivos. Esto destaca la complejidad de la interacción entre los insumos agrícolas y los sistemas biológicos del suelo, particularmente en entornos de agricultura de conservación, donde la labranza mínima y la retención de residuos favorecen la biodiversidad del suelo y el equilibrio ecológico.

En el año 2021 en el Valle del Mezquital se realizó un experimento donde se evaluó el efecto de la rotación de los cultivos, la práctica de labranza y el manejo del rastrojo. el tratamiento con menor rendimiento (14 t/ha) fue el de maíz en primavera-verano y un cultivo de cobertura en otoño-invierno, con labranza convencional y removiendo todos los rastrojos, comparando con el tratamiento que reportó el mayor rendimiento de maíz —16.6 toneladas por hectárea (t/ha) fue el de la rotación de maíz en primavera-verano y avena en otoño-invierno, con cero labranza y dejando la totalidad de rastrojos sobre la superficie como cobertura (Rodríguez & Nieto, 2023).

3. Marco Teórico

3.1 Cultivo de maíz

Es una planta de aspecto robusto con un solo tallo de gran longitud sin ramificaciones que puede alcanzar hasta 4 metros de altura (Figura 1). Al hacerle un corte presenta una médula esponjosa. La inflorescencia masculina es un espigón o penacho amarillo que puede almacenar de 20 a 25 millones de granos de polen, contrario de la femenina, que contiene mil como máximo, y se forman en unas estructuras vegetativas llamadas espádices. Las hojas son largas y extensas con terminación en forma de lanza, de extremos cortantes y con vellosidades en la parte superior (Pesquera, 2024).



Figura 1. Cultivo de Maíz

Fuente. Elaboración propia (2025)

3.2 Producción de maíz en México y en el mundo

Este cultivo presentan una amplia gama de colores, siendo el blanco y el amarillo los más comunes en México, destinados al consumo humano y la industria, respectivamente. En 2023, se registró una producción de 27 millones 550 mil toneladas (Figura 2), 3.8% más en relación con 2022, con una tasa media anual de crecimiento de 1.9% en el más reciente decenio. El consumo anual per cápita es de 359.9 kg y con un 87.8 % en la producción nacional de granos (Pesquera, 2024).

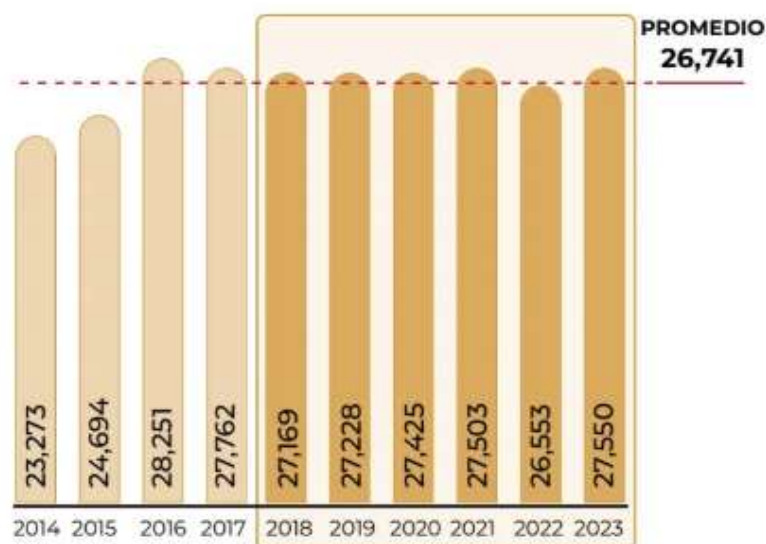


Figura 2. Volumen de la producción Nacional 2014 - 2023 (Miles de toneladas). El promedio nacional es de 26,741.

Fuente. Panorama Agroalimentario (Pesquera, 2024).

3.2.1 Producción Mensual Nacional (%)

Alrededor de la mitad de la producción de maíz grano se obtiene con sistemas de riego, mientras que la otra mitad aprovecha las temporadas de lluvia, con lo que se consiguen las mayores cosechas (83%) durante enero, mayo, junio, noviembre y diciembre (Figura 3).

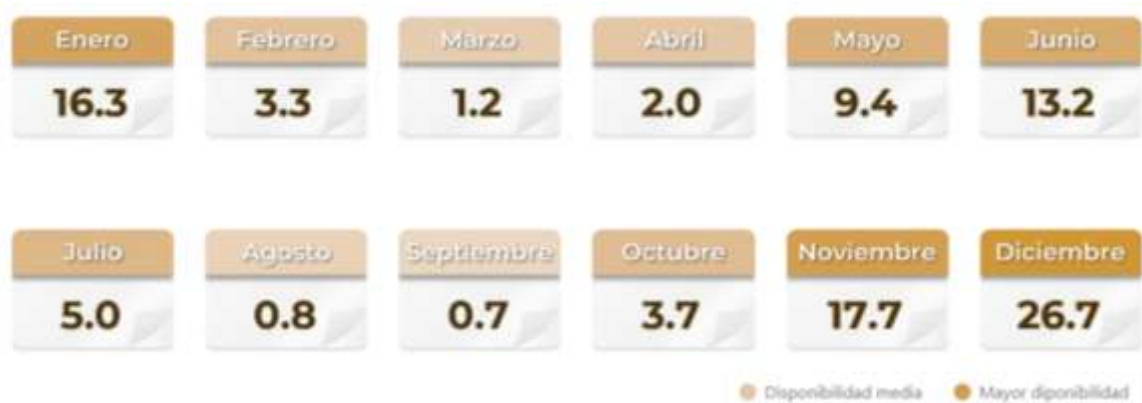


Figura 3. Producción Mensual Nacional (%)

Fuente. Panorama Agroalimentario (Pesquera, 2024).

3.2.2 Ranking mundial



La producción nacional del grano ha fluctuado entre 26 y 27 millones de toneladas anuales (Figura 4), lo que representa aproximadamente 2.3% de la producción mundial.

Figura 4. Ranking mundial

Fuente. Panorama Agroalimentario (Pesquera, 2024).

De las más de 203 millones de hectáreas que se siembran en el mundo, la agricultura estadounidense posee 15.8%, en donde produce 348.8 millones de toneladas (Pesquera, 2024).

3.3 Manejo agronómico tradicional

El manejo agronómico del maíz en México abarca preparación del suelo, selección de híbridos, siembra óptima, fertilización y riego eficientes, control de malezas, y cosecha, con prácticas como la milpa tradicional coexistiendo con tecnología moderna. Ningún otro cultivo aprovecha la luz solar en una manera tan efectiva como el maíz (es una planta C4), y su rendimiento por hectárea es el más alto de los cereales (Turiján, Dámian, Rámires, Juárez).

Elección del híbrido: En el mercado mexicano existen al menos 67 empresas semilleras y más de 380 híbridos de maíz (Rodríguez, 2017).

En cuanto a la preparación del terreno, los productores realizan de febrero a marzo, una labranza primaria que los productores realizan en suelos secos y compactados para romper el piso de arado formado por el paso de maquinaria (Figura 5).

Barbecho, lo practican de forma anual para incorporar residuos del ciclo anterior al suelo.

Rastreo, es una labor que tiene la finalidad de desmenuzar los terrones del suelo. Se efectúa de uno a tres pasos para dejar en condiciones la cama de siembra y permita la operación correcta de las sembradoras (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, 2024).



Figura 5. Paso de subsuelo para romper el piso de arado sin voltearlo.

Fuente. Elaboración propia (2022)

Siembra. Los suelos deben de estar bastante calientes para poder asegurar germinación y crecimiento buenos y constantes. La temperatura mínima para germinación es de 10°C y con una temperatura del suelo de 16 a 18°C (Yara, s.f.). Sembrar maíz en el suelo puede hacerse a mano o con la ayuda de una sembradora mecánica (Figura 6). La densidad óptima de plantación del maíz depende de una amplia gama de variables, como el tipo de suelo, el riego, los híbridos utilizados y las prácticas de gestión del campo. Una regla empírica estándar es que la distancia entre planta y planta de maíz es de 30 cm (1 pie) dentro de una hilera y 90 cm (3 pies) entre hileras.



Figura 6. Proceso de siembra de maíz

Fuente. Elaboración propia (2025)

La mejor forma de sembrarlo es poner dos semillas en cada hoyo (Figura 9) y cubrirlas con una fina capa de tierra. La profundidad del orificio debe estar entre 3 y 7 cm. Si las semillas se plantan a poca profundidad, pueden tener menos posibilidades de desarrollar raíces nodales fuertes. En suelos secos, plantar a una profundidad de hasta 6 cm ayudará a garantizar un rendimiento uniforme del cultivo al permitir que las raíces crezcan a mayor profundidad y accedan a la humedad que hay debajo. Esparcir fertilizante rico en fósforo en el momento

de plantar o, como muy tarde, dos semanas después de la plantación proporciona la nutrición necesaria para el tiempo de crecimiento del maíz.

Transcurren 8-10 días desde que se plantan las semillas en el campo hasta que aparecen los primeros brotes, lo que refleja el rápido crecimiento de este cultivo (ANALYTICS, 2025).

- Fertilización química. La fertilización del cultivo se realiza con 410-81-35 unidades de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente divididas en tres aplicaciones para cada uno de los tratamientos. La primera ocurre en la siembra con 300 kilogramos por hectárea de la mezcla.
- Riegos. Se emplean los siguientes sistemas de riego; rodado (gravedad) por compuertas, aspersión y cintilla. El riego rodado es el más utilizado en la zona del Valle del Mezquital. La aplicación de riegos varía de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo; siendo los más pesados en la pre-siembra y en las etapas de floración y llenado de grano (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, 2024).

3.4 Manejo agronómico de conservación

La agricultura de conservación es un sistema de cultivo que fomenta la alteración mecánica mínima del suelo, el mantenimiento de una cobertura permanente de los suelos (Figura 7) y la diversificación de los cultivos. Realza la biodiversidad y los procesos biológicos naturales por encima y por debajo de la superficie del suelo, lo que contribuye a un mayor aprovechamiento del agua y una mayor eficiencia en el uso de nutrientes, así como a la mejora y sostenibilidad de la producción de cultivos.



Figura 7. Cultivo de maíz en un sistema de conservación

Fuente: Elaboración propia (2025)

Existen 3 principios en la agricultura de conservación:

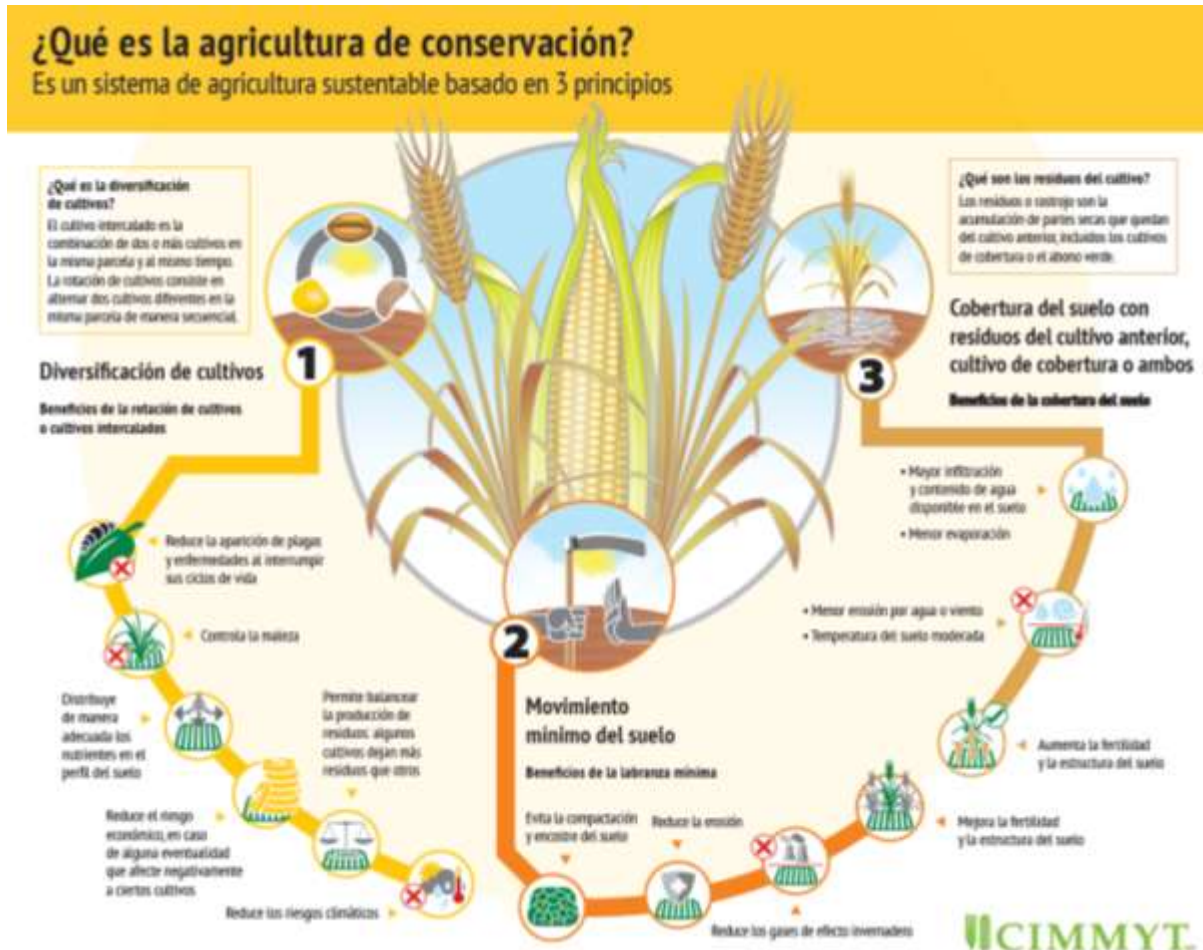


Figura 8. Agricultura de conservación

Fuente: (Donovan, 2020).

1. Diversificación de cultivos: mediante asociaciones y secuencias variadas que comprendan al menos tres cultivos diferentes.

La rotación de cultivos no solo es necesaria para proporcionar una “dieta” variada a los microorganismos del suelo, sino también porque, al arraigar en diferentes profundidades edáficas, los cultivos pueden explorar diferentes capas del suelo en busca de nutrientes. Los

nutrientes que se han lixiviado a capas más profundas y ya no están disponibles para el cultivo comercial pueden ser “reciclados” por los cultivos en rotación. De este modo los cultivos de rotación funcionan como bombas biológicas. Además, la diversidad de cultivos en rotación genera una flora y fauna edáfica diversa, ya que las raíces segregan diferentes sustancias orgánicas que atraen diferentes tipos de bacterias y hongos, que a su vez desempeñan una importante función en la transformación de estas sustancias en nutrientes disponibles para las plantas. La rotación de cultivos tiene también una importante función fitosanitaria, puesto que previene la transmisión de enfermedades y plagas específicas de un cultivo al cultivo siguiente por vía de los residuos de la cosecha (Turiján Altamirano, Damián Huato, Ramírez Valverde, Juárez Sánchez & Estrella Chulín, 2012).

2. Alteración mecánica mínima del suelo: (es decir, cultivo sin laboreo) mediante el depósito directo de las semillas y los fertilizantes.

Siembra directa o plantación

La preparación del suelo para la siembra o la plantación sin labranza consiste en cortar o aplanar la maleza, los residuos de cultivos anteriores o los cultivos de cobertura; el control de la maleza y sembrar directamente a través del recubrimiento orgánico. Los residuos de cultivo se mantienen en su totalidad o bien en una cantidad adecuada para garantizar la cobertura completa del suelo, y los fertilizantes y enmiendas se esparcen a voleo sobre la superficie del terreno o se aplican durante la siembra (Figura 9) (Donovan, 2020).



Figura 9. Siembra y fertilización

Fuente: Elaboración propia (2025)

3. Cobertura orgánica permanente del suelo: (un 30% como mínimo) con residuos de cultivos o cultivos de cobertura.

La presencia de una capa de recubrimiento orgánico (de vegetación muerta) en la agricultura de conservación inhibe la evaporación de la humedad del suelo y al mismo tiempo proporciona una mayor infiltración de agua en el perfil edáfico. El porcentaje de agua de lluvia que se infiltra en el suelo depende de la cantidad de cobertura proporcionada.



Figura 10. Beneficios de los cultivos de cobertura.

Fuente: (Spray, 2020).

La cubierta vegetal es importante en la agricultura de conservación para proteger el suelo del impacto de las gotas de lluvia, así como para mantener el suelo bajo sombra y con el más alto porcentaje de humedad posible. Se ha visto su importancia para el reciclaje de nutrientes, pero también tienen un efecto físico y, probablemente, alelopático sobre las malezas, rebajando su incidencia y conduciendo a la reducción del uso de agroquímicos y, con ello, de los costos de producción.

Los residuos de rastrojo actúan como una capa protectora que amortigua la presión ejercida sobre el suelo por las ruedas de la maquinaria y las pisadas de los animales, además, el desarrollo de un vasto sistema radical contribuye a una mejora en la agregación y densidad del suelo que contribuye a disminuir la compactación del suelo (con un incremento en la porosidad), entre otras propiedades físicas del suelo (Spray, 2020).

3.5 Microorganismos y sus beneficios en el suelo

En el suelo habitan una gran cantidad de microorganismos que tienen propiedades que benefician a los cultivos, a la estructura del suelo y a la calidad ambiental. La importancia de estos organismos en la agricultura radica en su efecto sobre la disponibilidad de nutrientes, por su capacidad para fijar, solubilizar, movilizar y reciclar compuestos necesarios para el crecimiento vegetal; asimismo, estos microorganismos tienen un efecto sobre la salud y productividad de los vegetales, aparte de su acción como remediadores de suelo contaminado. Por lo anterior, el uso de microorganismos benéficos es una alternativa para

sustituir de manera parcial o completar y reducir un poco el uso de los agroquímicos. Estos microorganismos funcionan como bioestimulantes (estimulan el crecimiento de las plantas por la producción de hormonas), biofertilizantes (aumentan la disponibilidad de nutrientes para las plantas), o biocontroladores (por su acción para minimizar plagas y enfermedades)(Martínez Cano & Soto Zarazúa, 2022).

3.6 Principales plagas y enfermedades del maíz

Hasta un 40 por ciento de la producción agrícola mundial se pierde por causa de las plagas que llegan a afectar a los diferentes cultivos, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Las plagas no sólo reducen la producción agrícola, sino que también desmejoran la calidad de los cultivos, lo cual supone grandes repercusiones sobre el sector rural. Los riesgos representados por las plagas han estimulado la contratación de seguros agrícolas (Agroasemex, 2019).

3.6.1 Plagas

Tabla 1. Plagas Del Cultivo De Maíz

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Trips (<i>Frankliniella williamsi</i>)	El ciclo de vida completo desde la oviposición hasta la emergencia del adulto varía desde los 12-44 días.	
Gusano Cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	Su ciclo es de 30 días en primavera y se alarga en invierno hasta 90 días.	

Gusano Soldado (<i>Spodoptera exigua</i>)	La etapa larval pasa por cinco instares de desarrollo. Su primera generación se presenta en mayo y la hembra pone hasta 2,000 huevecillos durante su vida.	
Gusano trozador (<i>Agrotis sp.</i>)	Presentan hasta siete instares de fase larval y su ciclo lo desarrolla en 30 días. Pupa en el suelo y dura de 12 - 15 días.	
Gusano elotero (<i>Helicoverpa zea</i>)	Las palomillas ponen sus huevecillos en las hojas tiernas del elote. Cada hembra pone hasta 3,000 huevecillos. Las larvas presentan seis instares.	
Barrenador del tallo (<i>Diatraea sp.</i>)	La larva en sus dos primeros instares se alimentan del follaje y en el tercero si la planta es chica penetra el cogollo y causa su muerte.	
Frailecillo (<i>Macrodactylus mexicanus</i>)	Los adultos se alimentan de estructuras reproductivas de maíz, alfalfa, frijol y manzano; viven de 3 a 6 semanas	
Picudos (<i>Geraeus senilis</i> , <i>Nicetrites testaceipes</i>)	Los adultos se presentan desde julio a octubre, con poblaciones más altas en agosto.	

Gallina ciega (<i>Phyllophaga sp.</i>)	Emergen del suelo tres días después de que se establece el temporal y a los 25 días aparece la larva, durando hasta 6 meses en esta fase de desarrollo, para después pupar y formar una galería en el suelo como adulto	
Araña roja (<i>Olygonychus mexicanus</i> y <i>Tetranychus sp.</i>)	Esta plaga presenta siete generaciones. Cada hembra produce hasta 19 huevos por día.	
Chapulín (<i>Sphenarium sp.</i>, <i>Melanoplus sp.</i>)	Presentan cinco estados ninfales.	
Gusano alfilerillo - Diabrotica (<i>Diabrotica virgifera zeae</i>)	El primer estado larval aparece a los 25 días después del riego de nacencia o del establecimiento del temporal. El adulto es una catarina de color verde opaco con amarillo, aparece a los 50 días de haber comenzado el ciclo biológico del insecto.	

3.6.2 Enfermedades

Tabla 2. Enfermedades Del Cultivo De Maíz

NOMBRE COMÚN	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
--------------	-------------	--------

Carbón de la espiga (<i>Sphacelotheca reiliana</i>)	El patógeno se presenta en la etapa de floración de la espiga y formación de mazorca, la infección es sistémica.	
Pudrición de la raíz (<i>Pythium aphanidermatum</i>, <i>Diploide maydis</i>, <i>Fusarium spp</i>)	La pudrición post emergente se caracteriza por contener el inóculo en la raíz de la plántula, presentando un color amarillento, falta de vigor y estrangulamiento a nivel de la base del tallo, ocasionando la muerte prematura de la misma.	 Raíz afectada por pudrición a causa <u><i>Pythium aphanidermatum</i></u> y síntoma de pudrición en mazorca
Pudriciones del tallo (<i>Fusarium spp</i>, <i>Diploide maydis</i>, <i>Phytium aphanidermatum</i>)	Después de la polinización y al aproximarse la madurez de las plantas, el micelio del hongo se activa e invade sus nudos bajos. Condiciones secas al inicio de la estación y temperaturas de 28 - 30°C, seguidas de tiempo húmedo, 2-3 semanas después del llenado de grano, favorece la pudrición.	 Pudrición del tallo a causa de <u><i>Macrophomina phaseolina</i></u>.

Manchas foliares o tizón <i>(Helminthosporium maydis)</i>	El daño es causado por la pérdida del área foliar disminuyendo la captación solar (fotosíntesis), pérdida de peso de grano. Cuando apenas comienza a formarse, las lesiones son pequeñas y romboides y a medida que maduran se van alargando, estas al fusionarse produce una quemadura extensa.	 Tizón en hoja de maíz
Roya del maíz <i>(Puccinia polyspora)</i>	Se presenta en la parte superior de las hojas más viejas; se forman pústulas pequeñas de color rojo – anaranjado, polvorosas y densamente agrupadas. Más tarde comienzan a aparecer en las hojas mas jóvenes y en otras partes de la planta. Las temperaturas de 16 a 23 °C y humedades al 100% favorecen el desarrollo.	 Hoja con bajo índice de roya

La evaluación de enfermedades en maíz es indispensable por que representan una fuente de variación que afecta directamente el rendimiento, la calidad del grano y la validez de los resultados experimentales. Su monitoreo permite diferenciar el efecto real de los tratamientos de las pérdidas causadas por patógenos, asegurar la inocuidad del grano al detectar micotoxinas, y determinar si las tecnologías evaluadas confieren tolerancia o inducen susceptibilidad bajo condiciones de campo.

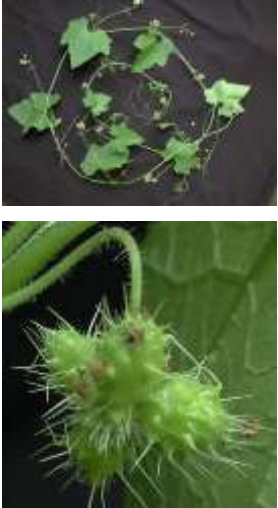
3.6.2 Arvenses

Las arvenses son plantas que crecen fuera de lugar interfiriendo en la actividad de los cultivos, afectando su capacidad de producción y desarrollo normal por la competencia de agua, luz, nutrientes y espacio físico, o por la producción de sustancias nocivas para el cultivo, representando uno de los problemas severos de la agricultura mundial, ya que su

acción invasora facilita su competencia con los cultivos a la vez que pueden comportarse como hospederas de plagas y enfermedades. Por tal razón, se deben implementar modelos de manejo que disminuyan su interferencia con el cultivo y, de esta forma, evitar el incremento considerable en los costos de producción (Yaisys & Leyva, 2007).

Tabla 3. Arvenses Del Cultivo De Maíz

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
--------	-------------	--------

Chayotillo <i>(Sicyos deppei)</i>	Reino: Plantae Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares) Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas) División: Magnoliophyta (plantas con flor) Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas) Subclase: Dilleniidae Orden: Violales.	
Correhuela <i>(Convolvulus arvensis)</i>	Reino: Plantae Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares) Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas) División: Magnoliophyta (plantas con flor) Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas) Subclase: Asteridae Orden: Solanales.	

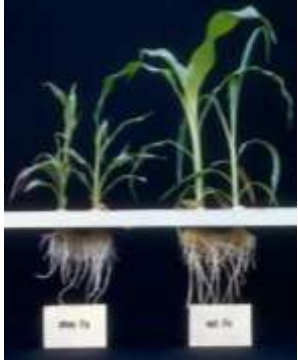
Coquillo (<i>Cyperus sp.</i> CYPERACEAE)	Reino: Plantae Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares) Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas) División: Magnoliophyta (plantas con flor) Clase: Liliopsida (monocotiledóneas) Subclase: Commelinidae Orden: Cyperales	
Zacate Jhonson (<i>Sorghum halepense L.</i> POACEAE)	Reino: Plantae Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares) Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas) División: Magnoliophyta (plantas con flor) Clase: Liliopsida (monocotiledóneas) Subclase: Commelinidae Orden: Cyperales.	

3.6.3 Deficiencias nutricionales en el cultivo

Tabla 4. Deficiencias de los nutrientes del cultivo de Maíz

Nitrógeno N	Nutriente móvil en la planta Síntomas: decoloración de las hojas que va de verde hacia amarillo; se manifiestan primero en las hojas basales (más viejas), la cual en situaciones severas compromete también a las hojas más jóvenes. Retraso del crecimiento, tallos delgados, menor cantidad y tamaño de hojas, Tamaño reducido de la mazorca y llenado incompleto.	 
Fósforo P	Nutriente móvil Síntomas: Coloración violácea a rojizo en las hojas inferiores y tallos. Este síntoma está asociado con la acumulación de azúcares en plantas deficientes de P, especialmente durante épocas de bajas temperaturas. Retraso general del crecimiento de las plantas, tamaño de la mazorca reducido.	
Potasio K	Nutriente móvil Quemado de los bordes de las hojas más viejas, lento crecimiento de las plantas y pobre desarrollo de raíces, tallos delgados y con gran susceptibilidad al acame. En la cosecha se observan mazorcas estrechas y terminan en punta con granos más pequeños o ausencia de estos.	 

Magnesio Mg	<i>Nutriente móvil</i> Clorosis internerval y lesiones veteadas, también muestran un enrojecimiento o amarronamiento de los puntos de las hojas y márgenes.	 
Calcio Ca	<i>Nutriente inmóvil</i> Las puntas muestran manchas en bandas verdes a blanquecinas y a menudo se curvan.	
Azufre S	<i>Nutriente móvil</i> Crecimiento reducido con clorosis internerval en las hojas. En los márgenes y base de las hojas puede observarse una línea parda.	
Boro B	Manchas amarillas o blancas en las hojas con líneas en relieve pardas cerosas a medida que se desarrolla la deficiencia. El crecimiento se detiene con entrenudos acortados.	
Cu Cobre	Clorosis internerval amarillenta, principalmente en la base.	

Fe Hierro	Los síntomas de deficiencia de hierro comienzan en las hojas más jóvenes, donde aparecen manchas cloróticas en bandas internervales y retraso en el crecimiento. Ante una deficiencia severa, se desarrollan zonas necróticas en los márgenes y puntas de las hojas.	
Mn Manganeso	Un suministro ligeramente inferior al necesario de Manganeso difícilmente produce síntomas visuales observables. Las plantas gravemente afectadas, muestran hojas cloróticas con lesiones internervales blancas y crecimiento débil.	
Zinc Zn	La hoja tiene apariencia listada con clorosis (amarillo blanquecinas) que van en paralelo a la nervadura empezando por la base de la hoja.	

4. Justificación

Numerosas especies vegetales de interés agrícola establecen simbiosis con microorganismos edáficos, tal es el caso de microorganismos promotores del crecimiento vegetal; los cuales proporcionan grandes beneficios debido a que ayudan a disminuir el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas utilizados en la producción agrícola (Cruz Cárdenas y otros, 2021). Actualmente, la agricultura en Hidalgo busca alternativas de fertilización amigables con el medio ambiente. Es por ello que las prácticas de agricultura sostenible solamente pueden ser exitosas cuando los productores tienen todos los medios para

implementarlas adecuadamente. El rendimiento de la agricultura de conservación en condiciones difíciles es extraordinario. Las experiencias en condiciones de sequía han demostrado que los rendimientos de la Agricultura de Conservación pueden ser el doble que los de la agricultura convencional (CIMMYT, 2021). Es importante rescatar que la labranza de conservación representa una opción para incrementar la materia orgánica del suelo y es una poderosa estrategia para aumentar la captura de carbono de la atmósfera y reducir las emisiones de CO₂ y los costos de labranza. Un beneficio para el medio ambiente, para los agricultores y para todos nosotros. La presente investigación aborda temas sobre las consideraciones y retos para el desarrollo de una agricultura sostenible en el estado de Hidalgo, mediante el uso de microorganismos benéficos, comparados contra fertilizantes inorgánicos de origen sintético sobre el rendimiento y rentabilidad del maíz en 2 sistemas de agricultura, la convencional y de conservación tomando en cuenta el beneficio para el productor.

5. Hipótesis

La integración de fertilización química y fertilización biológica, bajo sistemas de agricultura de conservación, incrementa significativamente el rendimiento del cultivo de maíz y aumenta la rentabilidad económica en comparación con esquemas de fertilización exclusivamente química en agricultura convencional.

6. Objetivo General

Evaluar el efecto de la fertilización química, biológica y su combinación sobre el crecimiento, rendimiento y rentabilidad del cultivo de maíz, bajo dos sistemas de manejo agrícola (convencional y de conservación), con el fin de identificar estrategias productivas más eficientes y sustentables.

6.1 Objetivos específicos

1. Determinar el efecto de la fertilización química, biológica y su combinación sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz, mediante la medición de variables agronómicas (plantas con fusarium, carbón de la espiga, % de roya, numero de carreras por mazorca, numero de granos por carrera y % de humedad), para identificar el esquema de fertilización más eficiente en cada sistema agrícola.
2. Evaluar la rentabilidad de los tratamientos mediante análisis económico (costos de producción, rendimiento, rentabilidad neta %), para identificar la alternativa más viable desde el punto de vista económico.

7. Material y Métodos

7.1 Ubicación del área de estudio y establecimiento del cultivo

El experimento se llevó a cabo en una plataforma experimental de 4.2 hectáreas en total ubicada en el municipio de Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo (20.19025° N, 99.24205° O), con una altitud entre 1.800 y 2.600 metros sobre el nivel del mar (Tabla 4).

Tabla 4. Datos sobre las propiedades del suelo donde se llevó a cabo el experimento

Dato	Descripción	Fuente
Tipo de Suelo	Franco Arcilloso Arenoso	(Rojas Ruíz & Rojas Loria, 2025)
Conductividad Eléctrica (C.E)	Muy ligeramente salino (<2): 0.20	
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Alta (25-40): 40.69	
Materia orgánica	Rico (3-5): 6.8 muy rico	

La plataforma de investigación (Figura 11), además de validar tecnologías sensibles a las necesidades de los productores de la región, constituye un punto de encuentro de la red de actores para el intercambio de experiencias y alianzas estratégicas entre productores, técnicos, funcionarios, investigadores, estudiantes, empresas de transformación y proveedores de insumos (Mayorga, 2024).



Figura 11. Plataforma experimental ubicada en Mixquiahuala de Juárez; Hidalgo.

La región presenta un clima semiseco templado con una temperatura anual de 15° - 17° C precipitación de 550 a 600 mm (INEGI, 2010).

En el sistema de agricultura de conservación (A.C) se realizó una preparación de terreno con un paso del equipo Strip till, con el 100% de rastrojo sobre la superficie. Para el sistema de Agricultura Convencional se retiró el 100% del rastrojo, se implantó un paso de subsuelo y rastra, la siembra se realizó mecánicamente.

El material vegetal consistió en semillas de maíz (*Zea mays*) variedad DK-4021 (Tabla 5), que fueron sembradas el día 09 - abril - 2025, con una densidad de 90,000 plantas / ha.

Tabla 5. Datos sobre el material vegetal usado en el experimento

	Descripción		Fuente
Variedad	DK-4021		(DEKALB)
Fortalezas	Fortaleza y sanidad en todos los campos. Híbrido de gran estabilidad y altos rendimientos en ambientes de media y alta producción. Su sanidad de tallo, raíz y excelente vigor de emergencia en campo, lo hacen el híbrido ideal para las condiciones de la región. Tolerancia a fusarium en tallo.		
Vigor de emergencia	Excelente		
Días a floración	72 - 76		
Días a cosecha	175 - 180		
Altura de la planta	245 - 260		
Altura de inserción de mazorca	145 - 155		

Cobertura de mazorca	Excelente	
Tipo de grano	Dentado	
Hileras por mazorca	18- 20	
Tolerancia a enfermedades	Acame: Tolerante Pudrición de tallo: Tolerante	
Densidad de siembra (Semillas / Hectárea)	100,000 - 105,000	
Ciclo	Intermedio	

El sistema de riego fue rodado; en total se realizaron 7 riegos a lo largo del ciclo P-V en el cultivo de maíz, comprendiendo desde riego de nacencia hasta etapas fisiológicas de R4 (grano masoso) y R5 (grano dentado).

Para los tratamientos se realizó un primer abono al suelo en el momento de la siembra, un reabono al suelo en etapa de V3 a V4. La primera aplicación de herbicida fue preemergente (enseguida del primer riego, antes de que emergiera el cultivo), la segunda aplicación de herbicida se dio en las etapas V4 a V5.

La primer aplicación foliar fue en las etapas V2 a V4, la segunda aplicación foliar fue en las etapas de V5 a V8 y la tercera aplicación que se llevó a cabo fue en las etapas de V12 a V14 (antes del VT; antes de que salga la espiga). Todos aplicándose manualmente con bomba de motor.

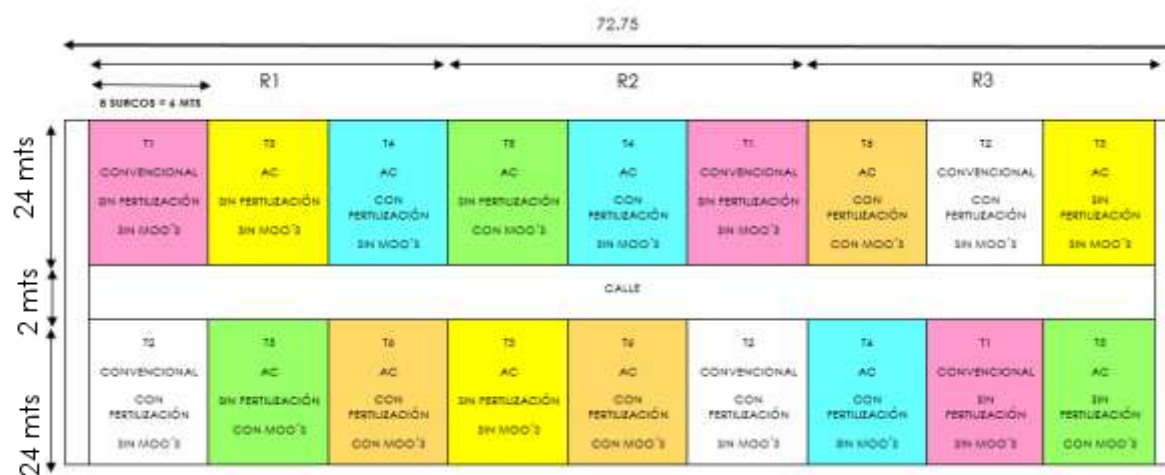
7.2 Tratamientos y aplicación de fertilizantes y microorganismos

El experimento se diseñó con seis tratamientos y tres repeticiones, distribuidos en un diseño completamente al azar como se muestra en la Figura 12, cada tratamiento está formado de 8 surcos con 6 metros de distancia entre cada uno.

Para la nutrición química del cultivo, de inicio; se realizó una aplicación de 200 kg/Ha. de Yaramila Star y 200 Kg/Ha. De Nitromag. De reabono a los 45 días después de la siembra y para la fertilización orgánica se aplicó un Lixiviado 40 Lts/Ha. y Super Magro 60 Lts/Ha.

En la primera aplicación foliar se aplicó 1 kg de potencializador, 1 lt de amino, 200 ml de Engeo y 250 ml de coadyuvante (A.F. Optimus), en la segunda aplicación foliar se aplicaron 1 lt de amino, 1 kg de potencializador, 350 ml de clavis para el gusano cogollero, 250 ml de

sivanto para insectos chupadores como pulgón y mosquita blanca, 250 ml de muralla max de igual manera para insectos chupadores, 250 ml de A.F. Optimus, y en la tercera aplicación se aplicaron 250 ml de muralla max, 150 ml de Bulldock para prevenir y combatir picudos, pulgones, trips, 300 ml de Consist Max el cual es un fungicida para prevenir y combatir royas, manchas foliares, cenicillas, y carbones, 250 ml de A.F. Optimus y 5lt de Yaramila Boost. Como herbicidas se aplicaron 3 Lts. de Harness + 2 kg De Atrazina y 250 mL. De A.F. Optimus. Como control biológico: para el control de Gusano Cogollero y Diabrotica se utilizó 2 Dosis de *Beauveria bassiana*, *Bacillus Thuringiensis* y para picudo 2 Dosis de *Metarhizium* en etapa de desarrollo de V2 a V6 y se repite durante la floración.



144 mts cuadrados cada tratamiento

Figura 12. Croquis de distribución del ensayo

Fuente. Elaboración propia

Tabla 6. Tratamientos utilizados dentro del experimento

Tratamiento CSFSM	Siembra del maíz en agricultura convencional sin fertilizante y sin microorganismos.
Tratamiento CCFSM	Siembra del maíz en agricultura convencional con fertilizante y sin microorganismos.

Tratamiento CONSFM	Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos.
Tratamiento CONCFM	Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y sin microorganismos.
Tratamiento CONSFCM	Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos.
Tratamiento CONCFM	Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y con microorganismos.

7.3 Parámetros agronómicos

Para evaluar el efecto de los tratamientos en el cultivo de maíz (*Zea mays*), se registraron variables de crecimiento, desarrollo vegetativo y reproductivo. Se determinó la fecha de emergencia el 16 de abril de 2025 y la fecha de floración masculina el 08 de julio de 2025. La altura de planta se midió con estadal desde la base del tallo hasta el pedúnculo de la mazorca superior, sin incluir la espiga. Para las variables fitosanitarias, el porcentaje de roya (*Puccinia sorghi*) se evaluó mediante la escala de Peterson, monitoreando las hojas de los dos surcos centrales de cada unidad experimental. La incidencia de carbón de la espiga (*Sporisorium reilianum*) y de *Fusarium* spp. en tallo se determinó mediante monitoreo visual en los mismos surcos (Vázquez Juárez, 2025).

Para la cosecha se tomaron los dos surcos centrales y se midieron 5 metros en cada uno y esas mazorcas fueron las que se usaron para contar: número de carreras; que se realizó contando 1 por una, seguido del conteo de granos por cada carrera y por último se obtuvo el porcentaje (%) de pudrición de grano de tal manera que se acomodaron los maíces cosechados en base a su altura, se contó el número general que se cosechó y se tomaron las 3 muestras de enmedio; se desgranó el maíz y se separó en granos en buenas condiciones y granos con síntomas o ya podridos, para la ayuda de este dato se utilizó un medidor de humedad de la marca John Deere, anotamos las lecturas tomándose un promedio de 3 pruebas.

7.4 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de medias de Fisher ($\alpha \leq 0,05$) para analizar las variables agronómicas.

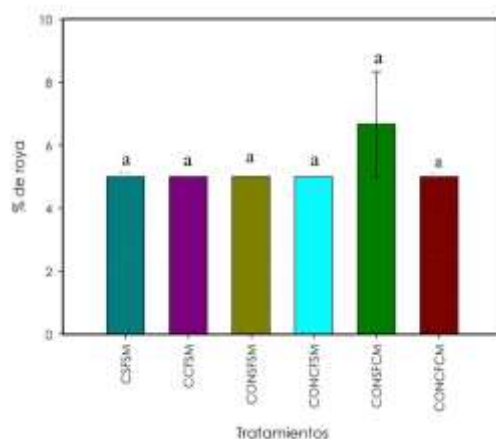
Se eligió la prueba LSD por encima de otras técnicas como Tukey o Duncan debido a la alta variabilidad inherente a los experimentos en campo con organismos vivos. En condiciones de campo, factores no controlables como heterogeneidad del suelo, microclima y respuesta fisiológica diferencial entre plantas incrementan el error experimental. La prueba LSD presenta mayor potencia estadística para detectar diferencias reales entre tratamientos bajo estas condiciones, evitando descartar efectos agronómicamente relevantes por el exceso de conservadurismo de pruebas más estrictas. El uso de LSD protegido, aplicado únicamente tras un ANOVA significativo, permitió controlar adecuadamente la tasa de error Tipo I. Todos los análisis se realizaron con el software estadístico InfoStat 2020.

8. RESULTADOS y DISCUSIONES

8.1 Variables agronómicas

El análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher ($\alpha \leq 0,05$) mostraron que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en relación con el porcentaje de roya (*Puccinia sorghi*) (Figura 13). Sin embargo, se observó numéricamente que el tratamiento CONSFCM (Conservación sin fertilizante con microorganismos) experimentó un aumento del 33.4 % en la incidencia de roya en comparación con el tratamiento testigo CSFSM (Convencional sin fertilizante sin microorganismos), lo que sugiere que la aplicación de microorganismos no tuvo un efecto supresor sobre la enfermedad en las condiciones del presente estudio. Varios estudios como Maldonado Mendoza y Morales Ruíz (2021); han señalado que los microorganismos benéficos del suelo, en particular las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y los hongos benéficos, pueden reducir la incidencia y severidad de enfermedades foliares a través de mecanismos directos e indirectos. Entre los mecanismos directos se encuentran la competencia por espacio y nutrientes, la producción de metabolitos antimicrobianos, sideróforos y enzimas líticas; mientras que los mecanismos indirectos abarcan la activación de la resistencia sistémica inducida (ISR), que activa respuestas fisiológicas y bioquímicas en la planta, potenciando su capacidad defensiva contra patógenos. Estas respuestas incluyen el incremento en la actividad de enzimas antioxidantes como peroxidasas, polifenol oxidasas y fenilalanina amonio liasa, así como la acumulación de compuestos fenólicos, fitoalexinas y proteínas relacionadas con la patogénesis, que limitan el establecimiento y desarrollo de hongos fitopatógenos. En maíz, la colonización de la rizósfera por microorganismos benéficos

también promueve el desarrollo radical, incrementa la absorción de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, y mejora la eficiencia fotosintética. Estas condiciones fisiológicas generalmente resultan en plantas más robustas y con mejor capacidad para tolerar o frenar la progresión de enfermedades. Maldonado Mendoza y Morales Ruíz (2021) informaron que el uso de consorcios microbianos puede disminuir la severidad de enfermedades fúngicas a través de la estimulación de los mecanismos de defensa vegetal. Asimismo, Grossi Vanacore et al. (2023) indicaron que los microorganismos son herramientas clave dentro de programas de manejo integrado de enfermedades por su capacidad de modular las interacciones entre planta y patógeno. Sin embargo, los resultados obtenidos en esta investigación contrastan con esos antecedentes, ya que la presencia de microorganismos no redujo la incidencia de roya y, en ciertos casos, se notó una tendencia numérica al aumento de la enfermedad. Esta respuesta puede ser atribuible a múltiples factores. La eficacia de los microorganismos benéficos está relacionada con su capacidad de establecimiento y supervivencia en la rizósfera, la compatibilidad con el genotipo del cultivo, las condiciones ambientales predominantes y la presión de inóculo del patógeno. Aspectos como la temperatura, humedad relativa y precipitación pueden favorecer el desarrollo de *Puccinia sorghi* y mermar la efectividad de los microorganismos aplicados. Además, la falta de fertilización en el tratamiento CONSFCM podría haber provocado condiciones de estrés nutricional en las plantas, limitando la disponibilidad de recursos metabólicos necesarios para mantener simultáneamente el crecimiento y activar mecanismos de defensa. Por otro lado, algunos estudios han señalado que los efectos de los bioinsumos no siempre son consistentes en diferentes ambientes de producción, debido a la complejidad de las interacciones entre microorganismos, suelo, planta y patógeno. En este sentido, los resultados indican que, en las condiciones específicas del experimento, los microorganismos aplicados no pudieron inducir respuestas fisiológicas suficientes para controlar el avance de la roya. Esto resalta la necesidad de seguir evaluando las dosis, los momentos de aplicación, la composición de los consorcios microbianos y su interacción con prácticas de fertilización, con el objetivo de optimizar su efectividad como herramientas de manejo fitosanitario en el cultivo de maíz.

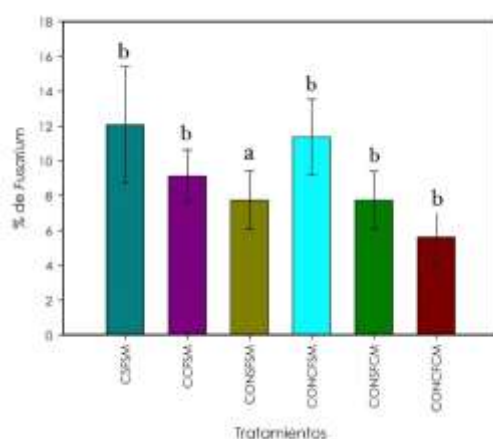


Gráfica 1. % de roya (*Puccinia sorghi*) en el cultivo de maíz bajo diferentes tratamientos. Las diferentes letras en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha = 0,05$); $n = 64$ error estándar. CSFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional sin fertilizante y sin microorganismos; CCFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional con fertilizante y sin microorganismos; CONFSM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFMS: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y sin microorganismos; CONSFMS: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFMS: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y con microorganismos.

Un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de medias de Fisher ($\alpha \leq 0,05$) no indican diferencias estadísticamente significativas entre los 6 tratamientos con respecto al tratamiento testigo CONFSM para la variable de incidencia de *Fusarium* (Figura 14). No obstante, las tendencias numéricas indican efectos contrastantes según el manejo. Los tratamientos CONFSM y CONSFMS redujeron la incidencia en 35.96%, CONCFMS en 5.89% y CCFSM en 24.36% respecto a CSFSM. El tratamiento CONCFMS fue el más eficaz, con una disminución de 53.53%. Los microorganismos benéficos ejercen control sobre *Fusarium* spp. mediante múltiples mecanismos. En la rizósfera actúan como bioprotectores ya que colonizan raíces y desplazan al patógeno al consumir exudados radiculares, principalmente Fe mediante sideróforos que limitan su disponibilidad para *Fusarium* [Maldonado Mendoza & Morales Ruíz, 2021]. Los resultados de CONCFMS coinciden con lo reportado por Maldonado Mendoza & Morales Ruíz (2021), quienes observaron reducciones de 40-60% en incidencia de pudrición de tallo por *Fusarium verticillioides* al aplicar *Bacillus subtilis* + *Trichoderma harzianum* en maíz de temporal. El efecto sinérgico fertilizante + microorganismos también lo documenta Grossi Vanacore et al. (2023), indicando

que la integración de consorcios microbianos con fertilización racional potencia la ISR y reduce 48% la severidad de enfermedades foliares y de tallo.

Sin embargo, la disminución moderada de CONSFCM y CONSFMS (35.96%) y la baja de CONCFMS (5.89%) sugieren que la efectividad es contexto-dependiente. Vegetal (2015) señala que factores como genotipo de maíz, humedad edáfica >70% y dosis del bioinsumo definen el éxito. En condiciones de alta presión de inóculo, consorcios sin fertilización pueden no establecer poblaciones suficientes para ejercer antibiosis, como pudo ocurrir en CONSFSM. Por otro lado, González et al. (2020) reportaron que aplicaciones tardías de *Trichoderma* después de V6 no redujeron Fusarium en tallo, lo que resalta la importancia del momento de inoculación. La superioridad de CONCFMS se atribuye a que el fertilizante mejora la exudación radicular, alimentando al consorcio microbiano, mientras los microorganismos mejoran la eficiencia de uso del N y P. Esto genera un efecto aditivo: planta nutrida + ISR activada + antagonismo directo. En contraste, CSFSM carece tanto de nutrición como de biocontrol, explicando la mayor incidencia.



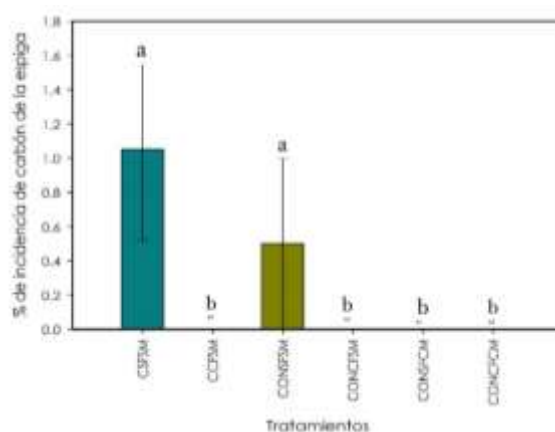
Gráfica 2. % de Plantas con *Fusarium verticillioides*. Las diferentes letras en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha = 0,05$); $n = 64$ error estándar. CSFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional sin fertilizante y sin microorganismos; CCFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional con fertilizante y sin microorganismos; CONSFSM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFMS: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y sin microorganismos; CONSFMS: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFMS: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y con microorganismos.

El análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) mostraron diferencias estadísticas significativas para la incidencia de carbón de la espiga (*Sporisorium reilianum*) (Figura 15). Los tratamientos CCFSM, CONCFM, CONSFCM y CONCFM no presentaron incidencia de la enfermedad, mientras que el tratamiento CONSFSM redujo la incidencia en 52.39 % respecto al tratamiento testigo CSFSM (Convencional sin fertilizante sin microorganismos). Estos resultados evidencian que las estrategias de manejo implementadas fueron efectivas para limitar el establecimiento y desarrollo del patógeno durante las etapas iniciales del cultivo.

El carbón de la espiga es una enfermedad sistémica causada por *Sporisorium reilianum*, cuyo proceso de infección ocurre durante la germinación y las primeras fases de desarrollo de la planta. El patógeno sobrevive en el suelo en forma de teliosporas y penetra a través de las raíces o tejidos jóvenes de la plántula, colonizando posteriormente el sistema vascular y el meristemo apical hasta manifestarse en las estructuras reproductivas. Debido a este comportamiento biológico, el tratamiento de semillas constituye una de las medidas más eficientes para su control, ya que reduce el contacto inicial entre el patógeno y los tejidos susceptibles. En este estudio, la aplicación de Fungex sugiere un papel determinante en la reducción de la incidencia observada, coincidiendo con las recomendaciones para el manejo preventivo de esta enfermedad y con informes que indican que los fungicidas aplicados a la semilla son más efectivos cuando la infección ocurre en etapas tempranas del cultivo.

Además, la respuesta observada puede estar relacionada con la acción conjunta de las micorrizas arbusculares y *Azospirillum brasilense*. Las micorrizas establecieron una simbiosis con las raíces del maíz, incrementando la exploración del suelo mediante una extensa red de hifas que mejora la absorción de fósforo, zinc, agua y otros nutrientes poco móviles. Como consecuencia, las plantas presentan un mayor desarrollo radical, mejor estado nutricional y mayor vigor fisiológico. Por su parte, *A. brasilense* actúa como bacteria promotora del crecimiento vegetal mediante la fijación biológica de nitrógeno, la producción de fitohormonas como auxinas, giberelinas y citocininas, así como por la estimulación del crecimiento radical y la absorción de nutrientes. Los resultados obtenidos coinciden con investigaciones que señalan que los microorganismos promotores del crecimiento vegetal pueden actuar como agentes complementarios en el manejo integrado de enfermedades. Fukami et al. reportaron que *Azospirillum brasilense* induce respuestas fisiológicas y genes asociados con mecanismos de defensa vegetal, aumentando la tolerancia frente a diversos agentes bióticos. Asimismo, destacan que la resistencia sistémica inducida por microorganismos benéficos constituye una herramienta prometedora para disminuir la incidencia de enfermedades en cultivos de importancia agrícola.

Sin embargo, es importante señalar que la ausencia total de la enfermedad en varios tratamientos probablemente no puede atribuirse exclusivamente a la acción de los microorganismos, sino a la interacción entre el tratamiento fungicida de la semilla, la actividad biológica de las micorrizas y *Azospirillum brasilense*, las condiciones ambientales prevalecientes y la posible presión de inóculo presente en el sitio experimental. Esta interacción de factores pudo generar un ambiente menos favorable para la germinación de las teliosporas y la posterior infección de las plántulas. Por lo tanto, los resultados sugieren que la combinación de estrategias químicas y biológicas puede constituir una alternativa eficiente para reducir la incidencia de carbón de la espiga en maíz, contribuyendo al establecimiento de sistemas de producción más sostenibles y con menor dependencia de insumos químicos.



Gráfica 3. % de carbón de la espiga (*Sporisorium reilianum*). Las diferentes letras en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha = 0,05$); $n = 64$ error estándar. CSFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional sin fertilizante y sin microorganismos; CCFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional con fertilizante y sin microorganismos; CONFSM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCSM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y sin microorganismos; CONSCM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCCM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y con microorganismos.

El análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) indicaron que no existieron diferencias estadísticas significativas entre los

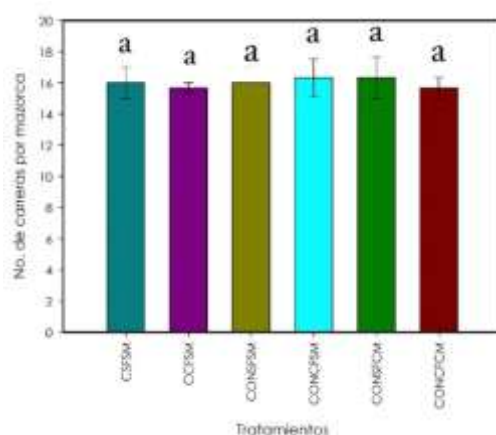
tratamientos para la variable número de carreras por mazorca (Figura 16). Sin embargo, en comparación con el tratamiento testigo (CSFSM), los tratamientos CCFSM y CONCFM presentaron una disminución numérica de 2.07 %, mientras que los tratamientos CONCFM y CONSFCM mostraron un incremento de 2.06 %. Aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas, evidencian una ligera tendencia favorable en algunos tratamientos bajo las condiciones evaluadas.

El número de carreras por mazorca es uno de los componentes del rendimiento con mayor influencia genética y su determinación ocurre durante las etapas tempranas del desarrollo de la inflorescencia femenina. La expresión de esta característica depende de la adecuada diferenciación de los meristemas reproductivos, proceso que puede verse influenciado por la disponibilidad de nutrientes, el estado fisiológico de la planta y las condiciones ambientales predominantes durante los estadios vegetativos y reproductivos iniciales. Debido a su fuerte control genético, esta variable suele presentar menor respuesta a las prácticas de manejo agronómico en comparación con otros componentes del rendimiento.

Como explican (Ruíz Sánchez , y otros, 2012) la inoculación con micorrizas arbusculares y *Azospirillum brasilense* puede favorecer indirectamente el desarrollo de estructuras reproductivas mediante la mejora de la nutrición y el crecimiento vegetal. Las micorrizas incrementan la absorción de fósforo, zinc y agua gracias a la expansión de la red de hifas en el suelo, aumentando la disponibilidad de nutrientes esenciales para los procesos de división y diferenciación celular. Además, contribuyen a mejorar la estructura del suelo, favorecen la agregación de partículas y estimulan la actividad biológica de la rizósfera, lo que genera condiciones más favorables para el desarrollo del sistema radical. Por su parte, *Azospirillum brasilense* promueve el crecimiento vegetal a través de la fijación biológica asociativa de nitrógeno y la producción de fitohormonas como auxinas, citocininas y giberelinas. Estas sustancias estimulan la formación de raíces laterales y pelos absorbentes, incrementando la eficiencia en la absorción de nutrientes y agua. Sin embargo, la respuesta sobre el número de carreras por mazorca suele ser limitada debido al elevado control genético de esta característica.

La ausencia de diferencias estadísticas significativas observada en este estudio sugiere que las condiciones ambientales y de manejo permitieron una adecuada formación de las estructuras reproductivas en todos los tratamientos, reduciendo la posibilidad de detectar respuestas diferenciales. No obstante, las tendencias numéricas observadas en los tratamientos CONCFM y CONSFCM indican que la combinación de prácticas de conservación del suelo y la actividad de los microorganismos benéficos pudo contribuir a mejorar el estado nutricional y fisiológico de las plantas, favoreciendo la expresión de este

componente del rendimiento. Estos resultados coinciden con lo reportado por el (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, 2023) que señalan que los efectos de los microorganismos promotores del crecimiento son más evidentes en variables asociadas con la productividad total del cultivo que en caracteres altamente heredables como el número de carreras por mazorca.



Gráfica 4. No. de carreras por mazorca. Las diferentes letras en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha = 0,05$); $n = 64$ error estándar. CSFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional sin fertilizante y sin microorganismos; CCFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional con fertilizante y sin microorganismos; CONFSM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y sin microorganismos; CONSCM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y con microorganismos.

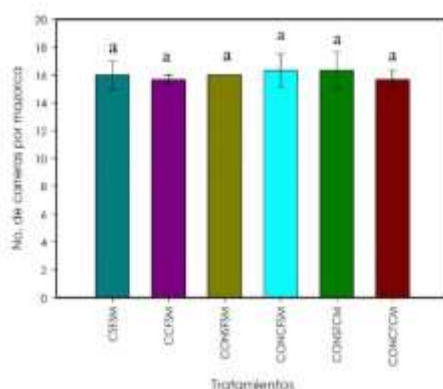
El análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) indicaron que no existieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para la variable número de granos por mazorca (Figura 17). Sin embargo, al comparar los tratamientos con el testigo (CSFSM), se observaron diferencias numéricas. Los tratamientos CONFSM, CONCFM, CONSCM y CONCFM presentaron disminuciones de 4.92 %, 0.98 %, 1.97 % y 0.97 %, respectivamente, mientras que el tratamiento CCFSM mostró un incremento de 5.88 %. Aunque estas variaciones no fueron estadísticamente significativas, reflejan tendencias que podrían estar asociadas a diferencias en la disponibilidad de nutrientes y en las condiciones fisiológicas de las plantas durante las etapas reproductivas. El número de granos por mazorca es uno de los componentes del rendimiento más sensibles a las condiciones ambientales y nutricionales durante la floración y fecundación. La

formación exitosa de los granos depende de una adecuada sincronía entre la emisión de polen y la aparición de estigmas, así como de una suficiente disponibilidad de fotoasimilados y nutrientes para sostener el desarrollo de los óvulos fecundados. Factores que limiten la absorción de nutrientes o reduzcan la actividad fotosintética durante estas etapas pueden ocasionar aborto de flores o de granos en desarrollo, disminuyendo el número final de granos por mazorca (MANVERT, 2024).

La nutrición mineral desempeña un papel fundamental en este proceso. El nitrógeno participa en la síntesis de proteínas, clorofila y enzimas relacionadas con la fotosíntesis, mientras que el fósforo interviene en la transferencia de energía y el desarrollo reproductivo. Por su parte, el potasio regula el transporte de carbohidratos hacia los órganos de almacenamiento y contribuye al equilibrio hídrico de la planta. Asimismo, micronutrientes como zinc y boro son esenciales para la formación del polen, el crecimiento del tubo polínico y la fecundación, por lo que una disponibilidad adecuada de estos elementos favorece la formación y retención de granos (MANVERT, 2024).

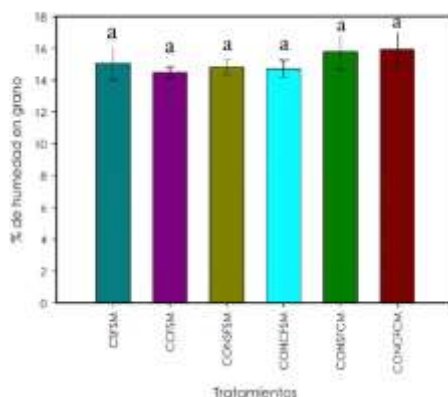
Los autores (Zankar, Abarza, Boccardo, & Altamirano, 2017) detallaron que la asociación con microorganismos benéficos puede favorecer una mayor eficiencia en el uso de nutrientes, incrementar la concentración de clorofila y mejorar la actividad fotosintética, permitiendo una mayor producción de carbohidratos destinados a la formación y llenado inicial de los granos. Además, estos microorganismos pueden inducir respuestas que incrementan la tolerancia al estrés hídrico y nutricional, reduciendo potencialmente el aborto de flores y granos durante las etapas críticas del cultivo. Sin embargo, la magnitud de la respuesta depende de factores como la fertilidad inicial del suelo, las condiciones climáticas, la capacidad de colonización de los microorganismos y la interacción con el genotipo del cultivo. En condiciones donde la disponibilidad de nutrientes es adecuada, los efectos de la inoculación pueden ser menos evidentes y no traducirse en diferencias estadísticas significativas.

Los resultados obtenidos sugieren que, bajo las condiciones del presente estudio, los tratamientos evaluados no modificaron significativamente el número de granos por mazorca. No obstante, el incremento numérico observado en el tratamiento CCFSM indica que la combinación de una adecuada fertilización y condiciones favorables del suelo pudo favorecer los procesos fisiológicos relacionados con la fecundación y retención de granos. En contraste, las reducciones observadas en otros tratamientos podrían estar asociadas a variaciones en la disponibilidad de nutrientes o en la eficiencia de absorción durante las etapas reproductivas. Por lo tanto, los resultados refuerzan la importancia de realizar una fertilización balanceada y un manejo adecuado de la fertilidad del suelo para maximizar la formación de granos y expresar el potencial productivo del cultivo de maíz.



Gráfica 5. Número de grano por mazorca. Las diferentes letras en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha = 0,05$); $n = 64$ error estándar. CSFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional sin fertilizante y sin microorganismos; CCFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional con fertilizante y sin microorganismos; CONFSM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFSM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y sin microorganismos; CONSFCM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y con microorganismos.

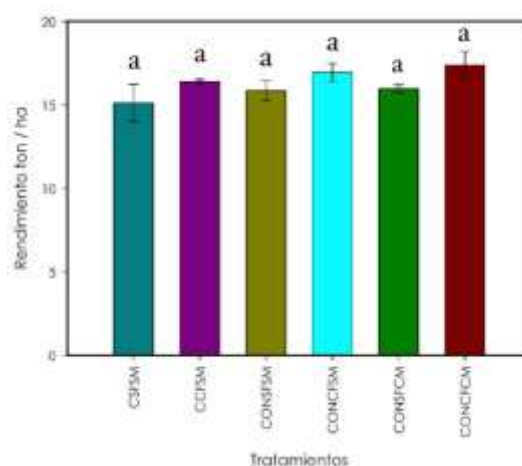
Un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de medias de Fisher ($\alpha \leq 0,05$) indican que para la variable respuesta Porcentaje de humedad en grano (Figura 18) no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos, sin embargo, numéricamente si existieron diferencias, 3 de los tratamientos tuvieron menor humedad los cuales fueron; tratamiento CCFSM con un 3.86%, el CONFSM con un 1.6%, el CONCFSM con un 2.33%, mientras que el CONSFCM obtuvo un 4.78% más en comparación con el tratamiento testigo (CSFSM), sin embargo cabe destacar que el tratamiento que obtuvo mayor contenido de humedad fue el de CONCFM con un 5.71%. La agricultura de conservación mejora la retención de humedad en el suelo al aumentar la materia orgánica y reducir la evaporación mediante la cobertura, favoreciendo al maíz frente a sequías. En contraste, la agricultura tradicional (labranza intensiva) degrada el suelo, reduce la materia orgánica y provoca una mayor evaporación, limitando la humedad disponible (INIFAP, 2017).



Gráfica 6. Porcentaje de humedad en grano. Las diferentes letras en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha = 0,05$); $n = 64$ error estándar. CSFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional sin fertilizante y sin microorganismos; CCFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional con fertilizante y sin microorganismos; CONFSM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFSM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y sin microorganismos; CONSCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y con microorganismos.

El análisis de varianza (ANOVA) y la prueba LSD de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) indicaron que no existieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para la variable rendimiento de grano (Figura 19). Sin embargo, todos los tratamientos superaron numéricamente al testigo (CSFSM), destacando el tratamiento CONCFM, que presentó el mayor incremento porcentual en rendimiento. Aunque las diferencias no fueron significativas, los resultados sugieren una tendencia positiva asociada al manejo de conservación, la fertilización y la inoculación con micorrizas arbusculares y *Azospirillum brasilense*. Estos microorganismos favorecen el desarrollo radical, incrementan la absorción de nutrientes como nitrógeno y fósforo y mejoran la eficiencia fisiológica de la planta, lo que puede traducirse en una mayor producción de biomasa y acumulación de fotoasimilados destinados al llenado de grano.

Resultados similares reportados por Ouorou Ganni et al. (2025), quienes encontraron que las prácticas de manejo sostenible pueden mejorar el rendimiento del maíz sin generar necesariamente diferencias estadísticas significativas. La falta de significancia observada en este estudio podría atribuirse a la variabilidad natural de las condiciones de campo; sin embargo, los incrementos obtenidos evidencian el potencial agronómico de integrar microorganismos benéficos y prácticas de conservación para mejorar la productividad del cultivo.



Gráfica 7. Rendimiento TON / HA. Las diferentes letras en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha = 0,05$); $n = 64$ error estándar. CSFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional sin fertilizante y sin microorganismos; CCFSM: Siembra del maíz en agricultura convencional con fertilizante y sin microorganismos; CONFSM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFSM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y sin microorganismos; CONSFOM: Siembra del maíz en agricultura de conservación sin fertilizante y sin microorganismos; CONCFOM: Siembra del maíz en agricultura de conservación con fertilizante y con microorganismos.

8.2 Estudio económico

En general el tratamiento que presentó el mayor rendimiento (ton / ha) fue el Tratamiento Conservación Con Fertilizante Con Microorganismos (Tabla 7) obteniendo un 14.98% más que el tratamiento testigo (Convencional Sin Fertilizante Sin Microorganismos). Y al analizar la relación beneficio-costos el tratamiento que obtuvo un mayor beneficio fue el tratamiento Convencional Con Fertilizante Sin Microorganismos obteniendo un 4.91% más que el tratamiento testigo.

Tabla 7. Inversión del tratamiento CSFSM dentro del experimento

TRATAMIENTO CSFSM		
CONVENCIONAL SIN FERTILIZANTE SIN MICROORGANISMOS		
DOSIS	PRODUCTO	COSTO

Manejo de Suelo			
1		Subsuelo	\$2400
1		Rastra	\$1200
1		Siembra	\$1200
Semilla			
1.5	Blt	Semilla Maiz Dekalb variedad DK-4021	\$6750
Aplicación de herbicida			
3	LT	Harness Xtra	\$1005
1	Kg	Atrazina	\$220
1		Aplicación	\$300
1era aplicación de herbicida			
1	Kg	Potencializador	\$280
1	Lt	Amino	\$280
200	mL	Engeo	\$325
250	mL	Coadyuvante A.F optimus	\$57.5
1		Aplicación	\$300
2da aplicación de herbicida			
1	Kg	Atrazina	\$220
1	Lt	Elumis	\$1030
250	mL	Coadyuvante A.F optimus	\$57.5
1	jornal	Aplicación	\$300
2da aplicación foliar			
1	Lt	Amino	\$280

1	Kg	Potencializador	\$280
350	mL	Clavis	\$343
250	mL	Sivanto	\$480
250	mL	Coadyuvante A.F optimus	\$57.50
250	mL	Muralla Max	\$415
1		Aplicación	\$300
3ra aplicación foliar			
250	mL	Muralla Max	\$415
150	mL	Bulldock	\$297
300	mL	Consist Max	\$750
250	mL	Coadyuvante A.F optimus	\$57.50
5	Lt	Yaramila Bosst	\$1100
1		Aplicación	\$300
Riegos			
6	Recibos	Agua	\$60
6	Jornal	Costo del riego	\$3000
Trilla			
1		Trilladora	\$3200
TOTAL			\$27,260

Tabla 8. Rentabilidad neta sobre costos de producción (%) CSFSM

Rentabilidad neta sobre costos de producción (%)	
Variables	Componente tecnológico
Costo Cultivo (\$ / Ha)	\$27,260

Rendimiento (Ton / Ha)	15.117
Precio de Venta (\$ / Ton)	\$5,500
Valor de la producción	\$83143.5
Arrendamiento de la tierra	\$23333
Utilidad neta	\$32550.5
Rentabilidad neta	61%

Por cada peso invertido en el tratamiento CSFSM, se obtiene 61 centavos de utilidad neta. (Tabla 8).

Se calculó como $(\text{Utilidad neta} / \text{Costo de cultivo}) * 100$, indicando el % de ganancia obtenida por cada peso invertido en el cultivo. A diferencia de la relación Beneficio/Costo, que divide ingresos totales entre costos totales, este indicador mide únicamente la ganancia neta respecto al costo.

Tabla 9. Inversión del tratamiento CCFSM dentro del experimento

TRATAMIENTO CCFSM			
CONVENCIONAL CON FERTILIZANTE SIN MICROORGANISMOS			
DOSIS	PRODUCTO		COSTO
Manejo de suelo			
1		Subsuelo	\$2400
1		Rastra	\$1200
1		Siembra	\$1200
Semilla			
1.5	Blt	Semilla Maiz Dekalb variedad DK-4021	\$6750
1ra Fertilización al suelo			
200	Kg	Yaramila Star	\$3720

2da Fertilización al suelo			
200	Kg	Nitromag	\$2720
1		Aplicación	\$600
Aplicación de Herbicida			
3	Lt	Harness Xtra	\$1005
1	Kg	Atrazina	\$220
1		Aplicación	\$300
1ra aplicación foliar			
1	Kg	Potencializador	\$280
1	Lt	Amino	\$280
200	mL	Engeo	\$325
250	mL	Coadyuvante A.F optimus	\$57.5
1		Aplicación	\$300
2da aplicación de herbicida			
1	Kg	Atrazina	\$220
1	Lt	Elumis	\$1030
250	mL	Coadyuvante A.F optimus	\$57.50
1		Aplicación	\$300
1		Aplicación	\$300
2da aplicación foliar			
1	Lt	Amino	\$280
1	Kg	Potencializador	\$280
350	mL	Clavis	\$343

250	mL	Sivanto	\$480
250	mL	Coadyuvante A.F optimus	\$57.5
250	mL	Muralla Max	\$415
1		Aplicación	\$300
3ra Aplicación foliar			
250	mL	Muralla Max	\$415
150	mL	Bulldock	\$297
300	mL	Consist Max	\$750
250	mL	Coadyuvante A.F Optimus	\$57.5
5	Kg	Yaramila Bosst	\$1100
1		Aplicación	\$300
Riegos			
6	Recibos	Agua	\$60
6	Jornal	Costo del riego	\$3000
Trilla			
1		Trilladora	\$3200
TOTAL			\$34300

Tabla 10. Rentabilidad neta sobre costos de producción (%)CCFSM

Rentabilidad neta sobre costos de producción (%)	
Variables	Componente tecnológico
Costo Cultivo (\$ / Ha)	\$34300
Rendimiento (Ton / Ha)	16.391

Precio de Venta (\$ / Ton)	\$5500
Valor de la producción	\$90150.5
Arrendamiento de la tierra	\$23333
Utilidad neta	\$32517.5
Rentabilidad neta	64%

Por cada peso invertido en el tratamiento CCFSM, se obtiene 64 centavos de utilidad neta. (Tabla 10).

Tabla 11. Inversión del tratamiento CONSFSM dentro del experimento

TRATAMIENTO CONSFSM			
AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN SIN FERTILIZANTE SIN MICROORGANISMOS			
DOSIS	PRODUCTO		COSTO
Manejo de suelo			
1		Strip till	\$2200
1		Siembra	\$1200
Semilla			
1.5	Blt	Semilla Maiz Dekalb variedad DK-4021	\$6750
Aplicación de Herbicida			
3	Lt	Harness Xtra	\$1005
1	Kg	Atrazina	\$220
1		Aplicación	\$300
1ra aplicación foliar			
1	Kg	Potencializador	\$280
1	Lt	Amino	\$280

200	mL	Engeo	\$325
250	mL	Coadyuvante A.F Optimus	\$57.5
1		Aplicación	\$300
2da Aplicación de herbicida			
1	Kg	Atrazina	\$220
1	Lt	Elumis	\$1030
250	mL	Coadyuvante A.F Optimus	\$57.5
1		Aplicación	\$300
2da Aplicación Foliar			
1	Lt	Amino	\$280
1	Kg	Potencializador	\$280
350	mL	Clavis	\$343
250	mL	Sivanto	\$480
250	mL	Coadyuvante A.F Optimus	\$57.5
250	mL	Muralla Max	\$415
1		Aplicación	\$300
3ra Aplicación Foliar			
250	mL	Muralla Max	\$415
150	mL	Bulldock	\$297
300	mL	Consist Max	\$750
250	mL	Coadyuvante A.F Optimus	\$57.5
5	Kg	Yaramila Bosst	\$1100
1		Aplicación	\$300

Riegos			
6	Recib os	Agua	\$60
6	Jornal	Costo del riego	\$3000
Trilla			
1		Trilladora	\$3200
Total			\$25860

Tabla 12. Rentabilidad neta sobre costos de producción (%) CONSFSM

Rentabilidad neta sobre costos de producción (%)	
Variables	Componente tecnológico
Costo Cultivo (\$ / Ha)	\$25860
Rendimiento (Ton / Ha)	15.836
Precio de Venta (\$ / Ton)	\$5500
Valor de la producción	\$87098.0
Arrendamiento de la tierra	\$23333
Utilidad neta	\$37905
Rentabilidad neta	56%

Por cada peso invertido en el tratamiento CONSFSM, se obtienen 56 centavos de utilidad neta. (Tabla 12).

Tabla 13. Inversión del tratamiento CONCFSM dentro del experimento

TRATAMIENTO CONCFSM		
AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN CON FERTILIZANTE SIN MICROORGANISMOS		
DOSIS	PRODUCTO	COSTO

Manejo de suelo			
1		Strip till	\$2200
1		Siembra	\$1200
Semilla			
1.5	Blt	Semilla Maiz Dekalb variedad DK-4021	\$6750
1ra Fertilización al suelo			
200	Kg	Yaramila Star	\$3720
2da Fertilización al suelo			
200	Kg	Nitromag	\$2720
1		Aplicación	\$600
Aplicación de Herbicida			
3	Lt	Harness Xtra	\$1005
1	Kg	Atrazina	\$220
1		Aplicación	\$300
1ra Aplicación Foliar			
1	Kg	Potencializador	\$280
1	Lt	Amino	\$280
200	mL	Engeo	\$325
250	mL	Coadyuvante A.F Optimus	\$57.5
1		Aplicación	\$300
2da Aplicación de Herbicida			
1	Kg	Atrazina	\$220

1	Lt	Elumis	\$1030
250	mL	Coadyuvante A.F Optimus	\$57.5
1		Aplicación	\$300
2da Aplicación Foliar			
1	Lt	Amino	\$280
1	Kg	Potencializador	\$280
350	mL	Clavis	\$343
250	mL	Sivanto	\$480
250	mL	Coadyuvante A.F Optimus	\$57.5
250	mL	Muralla Max	\$415
1		Aplicación	\$300
3ra Aplicación Foliar			
250	mL	Muralla Max	\$415
150	mL	Bulldock	\$297
300	mL	Consist Max	\$750
250	mL	Coadyuvante A.F Optimus	\$57.5
5	Kg	Yaramila Bosst	\$1100
1		Aplicación	\$300
Riegos			
6	Recibos	Agua	\$60
6	Jornal	Costo del Riego	\$3000
Trilla			

1		Trilladora	\$3200
Total			\$32900

Tabla 14. Rentabilidad neta sobre costos de producción (%) CONCFSM

Rentabilidad neta sobre costos de producción (%)	
Variables	Componente tecnológico
Costo Cultivo (\$ / Ha)	\$32900
Rendimiento (Ton / Ha)	16.941
Precio de Venta (\$ / Ton)	\$5500
Valor de la producción	\$93175.5
Arrendamiento de la tierra	\$23333
Utilidad neta	\$36942.5
Rentabilidad neta	60%

Por cada peso invertido en el tratamiento CONCFSM, se obtienen 60 centavos de utilidad neta. (Tabla 14).

Tabla 15. Inversión del tratamiento CONSFCM dentro del experimento

TRATAMIENTO CONSFCM			
AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN SIN FERTILIZANTE CON MICROORGANISMOS			
DOSIS		PRODUCTO	COSTO
Manejo de suelo			
1		Strip till	\$2200
1		Siembra	\$1200
Semilla			
1.5	Blt	Semilla Maiz Dekalb variedad DK-4021	\$6750

Tratamiento a semilla			
750	Grs	Nutriraiz	\$550
1	Lt	Maxifer	\$850
250	mL	Biogea Fungex	\$700
Aplicación de Herbicida			
3	Lt	Harness Xtra	\$1005
1	Kg	Atrazina	\$220
1		Aplicación	\$300
Aplicación en Drench			
20	Lt	Super Magro	\$100
2	Lt	Melaza	\$20
1	Ds	Micorrizas	\$250
1ra Aplicación Foliar			
1	Lt	TGS – DUO	\$800
1	Lt	Citobooster 3000	
1	Lt	Agroqueltrans Multi	
1	Lt	Agrofol Plus 16-10-15	
1	Lt	Agromin Redicular	
1		Aplicación	
2da Aplicación de Herbicida			
1	Kg	Atrazina	\$220
1	Lt	Elumis	\$1030

250	mL	Coadyuvante A.F Optimus	\$57.5
250	mL	Muralla Max	\$415
1		Aplicación	\$300
2da Aplicación en Drench			
20	Lt	Super Magro	\$100
2	Lt	Melaza	\$20
1	Ds	Trichoderma	\$50
1		Aplicación	\$300
2da Aplicación foliar			
1	Lt	Shito	\$600
1		Aplicación	\$300
3ra Aplicación Foliar			
1	Lt	Citobooster 3000	\$800
1	Lt	Agrofol 0 - 54 – 0	
1	Lt	Agrofol 16 - 10 – 15	
1	Lt	Agroqueltrans Multi	
1	Lt	TGS – DUO	
1	Lt	Agrofol No.4	
1		Aplicación	
4ta Aplicación Foliar			
1	Lt	Agrofol K-45	\$800
1	Lt	Citobooster 3000	

1	Lt	Agroqueltrans Multi	
500	mL	Agrofol No.4	
Riegos			
6	Recibos	Agua	\$60
6	Jornal	Costo del Riego	\$3000
Trilla			
1		Trilladora	\$3200
Total			\$25782.50

Tabla 16. Rentabilidad neta sobre costos de producción (%) CONSFCM

Rentabilidad neta sobre costos de producción (%)	
Variables	Componente tecnológico
Costo Cultivo (\$ / Ha)	\$ 25782.50
Rendimiento (Ton / Ha)	15.960
Precio de Venta (\$ / Ton)	\$5500
Valor de la producción	\$87780
Arrendamiento de la tierra	\$23333
Utilidad neta	\$38664.5
Rentabilidad neta	56%

Por cada peso invertido en el tratamiento CONSFCM, se obtienen 56 centavos de utilidad neta. (Tabla 16).

Tabla 17. Inversión del tratamiento CONCFM dentro del experimento

TRATAMIENTO CONCFM

AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN CON FERTILIZANTE CON MICROORGANISMOS			
DOSIS		PRODUCTO	COSTO
Manejo de suelo			
1		Strip till	\$2200
1		Siembra	\$1200
Semilla			
1.5	Blt	Semilla Maiz Dekalb variedad DK-4021	\$6750
Tratamiento a semilla			
750	grs	Nutriraiz	\$550
1	Lt	Maxifer	\$850
250	mL	Biogea Fungex	\$700
1ra Fertilización al Suelo			
200	kg	Yaramila Star	\$3720
2da Fertilización al suelo			
3	Lt	Harness Xtra	\$1005
1	kg	Atrazina	\$220
1		Aplicación	\$300
Aplicación en Drench			
20	Lt	Super Magro	\$100
2	Lt	Melaza	\$20
1	ds	Trichoderma	\$250
1ra Aplicación Foliar			

1	Lt	TGS – DUO	\$800
1	Lt	Citobooster 3000	
1	Lt	Agroqueltrans Multi	
1	Lt	Agrofol Plus 16-10-15	
1	Lt	Agromin Redicular	
1		Aplicación	
2da Aplicación de Herbicida			
1	kg	Atrazina	\$200
1	Lt	Elumis	\$1030
250	mL	Coadyuvante A.F Optimus	\$57.5
1		Aplicación	\$300
2da aplicación en Drench			
20	Lt	Super Magro	\$100
2	Lt	Melaza	\$20
1	ds	Trichoderma	\$50
1		Aplicación	\$300
2da Aplicación Foliar			
1	Lt	Shito	\$600
1		Aplicación	\$300
3ra Aplicación Foliar			
1	Lt	Citobooster 3000	\$800
1	Lt	Agrofol 0-54-0	

1	Lt	Agrofol 16-10-15	
1	Lt	Agroqueltrans Multi	
1	Lt	TGS – DUO	
1	Lt	Agrofol No.4	
1		Aplicación	
4ta Aplicación Foliar			
1	lt	Agrofol K – 45	\$800
1	lt	Citobooster 3000	
1	lt	Agroqueltrans Multi	
500	mL	Agrofol No.4	
Riegos			
6	Recibos	Agua	\$60
6	Jornal	Costo del riego	\$3000
Trilla			
1		Trilladora	\$3200
Total			\$32822.50

Tabla 18. Rentabilidad neta sobre costos de producción (%)CONCFCM

Rentabilidad neta sobre costos de producción (%)	
Variables	Componente tecnológico
Costo Cultivo (\$ / Ha)	\$32822.50

Rendimiento (Ton / Ha)	17.383
Precio de Venta (\$ / Ton)	\$5500
Valor de la producción	\$95606.5
Arrendamiento de la tierra	\$23333
Utilidad neta	\$39451
Rentabilidad neta	59%

Por cada peso invertido en el tratamiento CONCFM, se obtienen 59 centavos de utilidad neta. (Tabla 18).

Si evaluamos que tratamiento nos brinda mayor rendimiento sería el CONCFM - Conservación con Fertilizante Con microorganismos ya que nos dio el 14.98% más que El CSFSM siendo 2.26 Ton/ha más. Ahora si buscamos mayor utilidad neta posicionamos al tratamiento 6 como el numero 1 con \$6,900 más que el (CSFSM), hablando de mejor Rentabilidad neta sobre costos de producción (%) el Tratamiento (CCFSM) es 4.91% más alto que el testigo de 61 %. Significando que, por cada peso invertido, el tratamiento 2 regresa \$64 centavos de ganancia en comparación de \$61 centavos del tratamiento CSFSM. Por ultimo los tratamientos que tuvieron menor costo de producción son el (CONSFMS) ahorrando \$1,400 y el (CONSFMS) ahorrando \$8,500 en comparación con el convencional al evitar el uso del subsuelo.

9. Conclusión

No existieron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la mayoría de las variables de productividad, mostrando comportamiento agronómico comparable entre fertilización química y biológica en ambos sistemas de labranza. Sí hubo diferencias significativas en carbón de la espiga, con incidencia nula en CCFSM, CONCFM y CONSFMS, y reducción de 52.39% en CONSFMS respecto al testigo. CONCFM obtuvo el mayor rendimiento con +14.94% frente al testigo, aunque la rentabilidad neta % fue 4.91% menor, indicando que mayor rendimiento no asegura mayor rentabilidad. La elección debe considerar costos, insumos y sostenibilidad. Se recomienda evaluar ciclos sucesivos para efectos acumulativos y ampliar el nivel de significancia mayor a 0.05 pero menor a 0.1 para

facilitar que las inferencias alcancen la “significancia estadística”, ya que es útil en estudios con muestras pequeñas donde es mas difícil probar una hipótesis de forma contundente.

10. Referencias

Agbar. (s. f.). *Agricultura vs agricultura ecológica: pros y contras*.
<https://agbaragriculture.com/agricultura-vs-agricultura-ecologica-pros-y-contras/>

Castellanos, J. Z., Etchevers Barra, J. D., Peña Datoli, M., García Huerta, S., Ortiz Monasterio, I., Arango González, A., et al. (2020). *¿Cómo crece y se nutre una planta de maíz?* (2.ª ed.). Celaya, Guanajuato, México.

CIMMYT. (22 de enero de 2024). *La agricultura de conservación en la Sierra Norte de Puebla*.
<https://www.cimmyt.org/es/noticias/la-agricultura-de-conservacion-en-la-sierra-norte-de-puebla/>

CIMMYT. (6 de mayo de 2024). *La agricultura de conservación en Sonora*.
<https://www.cimmyt.org/es/noticias/la-agricultura-de-conservacion-en-sonora/>

CIMMYT. (24 de septiembre de 2024). *Una apuesta por la agricultura de conservación: ejemplo de éxito en la producción de maíz en Campeche*.
<https://www.cimmyt.org/es/noticias/una-apuesta-por-la-agricultura-de-conservacion-ejemplo-de-exito-en-la-produccion-de-maiz-en-campeche/>

CIMMYT. (22 de junio de 2021). *La agricultura de conservación: una oportunidad para afrontar los retos presentes y futuros de la agricultura*. <https://agroinformacion.com/la-agricultura-de-conservacion-una-oportunidad-para-afrontar-los-retos-presentes-y-futuros-de-la-agricultura/>

Galani, Y. J. H., Ligowe, I. S., Kieffer, M., Kamalongo, D., Kambwiri, A. M., Kuwali, P., & Orfila, C. (2022). Conservation agriculture affects grain and nutrient yields of maize (*Zea mays* L.) and can impact food and nutrition security in Sub-Saharan Africa. *Frontiers in Nutrition*, 8, 804663.
<https://doi.org/10.3389/fnut.2021.804663>

Grossi Vanacore, M. F., Sartori, M., Giordanino, F., Barros, G., Nesci, A., & García, D. (2023). *Efectos fisiológicos de los agentes de biocontrol microbiano en la filosfera del maíz*.

Hobbs, P. R., Sayre, K., & Gupta, R. (2008). The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363(1491), 543–555.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2169>

INEGI. (2010). *Datos geográficos del municipio 13067*.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13067.pdf

INIFAP. (2017). *Impacto de la agricultura de conservación en propiedades físicas del suelo y rendimiento de la rotación maíz-avena trigo forrajero de riego*. https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_folletotecnico/1057_4740_Impacto_de_la_agricultura_de_conservacion_en_propiedades_fisicas_del_suelo_y_rendimiento_de_la_rotacion_maiz-avena_trigo_forrajero_de_riego.pdf

INTAGRI. (2017). *El manejo integrado de coquillo en cultivos intensivos*. <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/el-manejo-integrado-de-coquillo-en-cultivos-intensivos>

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, A. y. (2023). *Microorganismos benéficos que favorecen la fertilidad del suelo*.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2024). *Tecnologías de riego y fertilización en producción de maíz*. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/tecnologias-de-riego-y-fertilizacion-en-produccion-de-maiz>

Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>

MANVERT. (2024). *Rendimiento de maíz*. <https://manvert.com/medios/rendimiento-maiz>

Martínez-Gamiño, M. Á., Osuna Ceja, E. S., & Espinosa Ramírez, M. (2019). Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 765–778. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1640>

Martínez Reyes, L., Aguilar Jiménez, C. E., Carcaño Montiel, M. G., Galdámez Galdámez, J., Gutiérrez Martínez, A., Morales Cabrera, J. A., et al. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1425>

Maldonado Mendoza, I. E., & Morales Ruíz, E. (2021). Bacterias del maíz como aliadas en la producción agroecológica de alimentos. *Revista Digital Universitaria*. https://www.revista.unam.mx/2021v22n4/bacterias_del_maiz_como_aliadas_en_la_produccion_agroecologica_de_alimentos/

Ouorou Ganni, M. G., Villa-Alcántara, J., Núñez Peñaloza, O., Verhulst, N., & Fonteyne, S. (2025). *Mejor rendimiento y rentabilidad de maíz en el trópico húmedo mediante camas permanentes, residuos de cultivos y rotación con frijoles*.

Pesquera, S. de la. (2024). *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural*. https://drive.google.com/file/d/1NXcDhaB63Z94wjRUVF6f_FK0Urv6cgvJ/view

Pichardo, J. M., & Vibrans, H. (s. f.). *Sicyos deppei*. CONABIO. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/cucurbitaceae/sicyos-deppei/fichas/ficha.htm>

Rodríguez, N., & Nieto, J. C. (2023). *Alternativas para una agricultura sustentable en el Valle del Mezquital*. CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/alternativas-para-una-agricultura-sustentable-en-el-valle-del-mezquital/>

Rural, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020, 30 de junio). *Maíz blanco o amarillo: cultivo de tradición y desarrollo*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-blanco-o-amarillo-es-el-cultivo-de-tradicion-y-desarrollo>

Ruíz Sánchez, M., Armada Rodríguez, E., Muñoz, Y., García de Salome, I., Aroca, R., Ruiz Lozano, J., & Azcón González de Aguilar, R. (2012). *Respuesta bioquímica a la coinoculación con hongos micorrízicos arbusculares y Azospirillum en plantas de arroz (Oryza sativa L.) bajo condiciones de déficit hídrico*.

UNAM. (2020, 22 de abril). *Cambio climático y producción de maíz en México*. <https://www.atmosfera.unam.mx/cambio-climatico-y-produccion-de-maiz-en-mexico-un-posible-riesgo-a-la-autosuficiencia-alimentaria/>

Vegetal, D. d. (2015). *Estrategia de manejo integrado de la roya común del maíz provocada por Puccinia sorghi Schw. Revista Africana de Investigación en Microbiología*.

Vázquez Juárez. (2025). *[Evaluación de la fertilización química y biológica en la productividad del cultivo de maíz y la salud del suelo en dos sistemas de producción: agricultura de Conservación VS agricultura tradicional en Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo]* tesis.

Yaisys, B., & Leyva. (2007). *LAS ARVENSES EN EL AGROECOSISTEMA Y SUS BENEFICIOS*.

Zankar, G., Abarza, S., Boccardo, R., & Altamirano, F. (2017). *Microorganismos promotores del crecimiento vegetal*.