

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



**EVALUACIÓN DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN
EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE TRIGO Y
MEJORA DE SUELOS EN EL VALLE DE MEXICALI**

TESIS

DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA

JUAN ANGEL ESPINOZA ALONSO

DIRECTORA

DRA. MARISOL GALICIA JUÁREZ

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

DICIEMBRE 2025

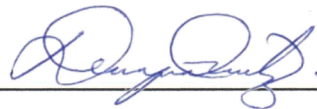
La presente tesis “EVALUACIÓN DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE TRIGO Y MEJORA DE SUELOS EN EL VALLE DE MEXICALI” fue realizada por el C. JUAN ANGEL ESPINOZA ALONSO y es dirigida por la Dra. Marisol Galicia Juárez y la Dra. Deyanira Quistián Martínez, ha sido evaluada y aprobada por el Comité Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

COMITÉ PARTICULAR



Dra. Marisol Galicia Juárez
Directora de Tesis



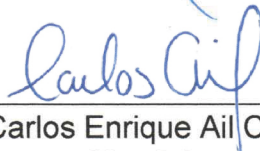
Dra. Deyanira Quistián Martínez
Codirectora de tesis



Dra. Blanca Margarita Montiel Batalla
Secretaria



Dr. Roberto Soto Ortiz
Sinodal



Dr. Carlos Enrique Ail Catzim
Sinodal

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) quien a través del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología (CONAHCYT) me otorgó el beneficio del estímulo económico para poder realizar y financiar mis estudios de posgrado.

A las personas que conocí en mi camino por el Instituto de Ciencias Agrícolas de la UABC por su confianza y acompañamiento en el paso de mi formación académica. Estoy agradecido por el desarrollo que esta universidad me ha permitido tener dentro de este programa de posgrado, gracias por el tiempo que hemos compartido.

A todas las personas que dentro de este periodo he conocido, en el ámbito escolar, laboral y personal, por su amabilidad, su aliento y el enriquecimiento cultural que hemos compartido durante todo este tiempo.

A mi esposo, Emilio por su compañía y valentía para hacer frente a las adversidades y acompañarme en este viaje de la investigación científica.

Especialmente a mi madre, quien me ha inspirado a continuar siempre con una sonrisa, disfrutando la vida para cumplir los objetivos que me planteo en mi vida y que me acompaña en cada uno de ellos, te amo mamá.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a la comunidad en general del Valle de Mexicali, para la cual planteé este proyecto de investigación con la convicción de que la ciencia debe tener como componente principal: el desarrollo social, económico y ambiental. Espero tener la oportunidad de seguir desarrollándome en este ámbito de la investigación y de manera multidisciplinaria resolver las problemáticas que se presentan en el ámbito agropecuario.

A todos mis compañeros, futuros investigadores que sueñan al igual que yo, con aportar al horizonte de la ciencia y ocupar un espacio en el mundo para lograrlo, a los que buscamos la amabilidad entre las personas y la realización plena del ser.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 HIPÓTESIS	12
1.2. OBJETIVO GENERAL.....	12
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
CAPÍTULO 1 REVISIÓN DE LITERATURA	14
1.1. Aspectos generales del cultivo de trigo	14
1.2. Análisis del mercado mundial.....	15
1.3. Impactos en la producción de la Agricultura Intensiva	16
1.4. Agricultura de Conservación	16
1.5. El efecto de fertilizantes en los suelos agrícolas	18
1.6. Impacto de los fertilizantes orgánicos	20
1.7. Efecto de prácticas de conservación en la biocenosis de los suelos agrícolas	20
1.8. Efecto de la labranza mínima de la comunidad bacteriana en el suelo	21
1.9 Efectos de la agricultura de conservación en trigo y en las características del suelo	24
2. Efecto de la agricultura de conservación en los costos de producción .	25
2.1. Cambios en la estructura de costos bajo agricultura de conservación	25

2.2. Evidencia internacional sobre costos y rentabilidad en agricultura de conservación.....	26
2.3 Agricultura de conservación y costos de producción en el Valle de Mexicali.....	28
2.4 Aprovechamiento forrajero parcial de cultivos de cobertura en trigo bajo agricultura de conservación.....	29
2.5. Referencias de Revisión de Literatura.....	30
CAPÍTULO 2: AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN: IMPACTO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO Y RENDIMIENTO DE TRIGO EN EL VALLE DE MEXICALI.....	42
CAPÍTULO 3: IMPACTO DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN LA MICROBIOTA DEL SUELO EN EL VALLE DE MEXICALI EVALUADA MEDIANTE RECuentOS CULTIVABLES Y SECUENCIACIÓN 16S/ITS.....	67
CAPÍTULO 4 FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA TRIGO – SESBANIA EN UN ESQUEMA DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL VALLE DE MEXICALI.....	106
3. CONCLUSIONES GENERALES.....	133
ANEXOS.....	135

Complemento objetivo específico 1 – Artículo publicado Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Velasco-López, J. L., Soto-Ortiz, R., & Quistián-Martínez, D. (2024a). Evaluación de las variedades de trigo Don Lupe Oro C2020 y Ciano M2018 durante el ciclo 2022-

2023 en el Valle de Mexicali, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*,
27(3). <https://doi.org/10.56369/5440> 135

Complemento objetivo específico 3 – Artículo científico publicado:

Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Soto-Ortiz, R., Aíl-Catzim, C. E.,
Montiel-Batalla, B. M., González-Mendoza, D., Michel-López. C. y Quistián-
Martínez, D. (2024). Endophytic Mycorrhiza-mediated Phytoen resistance in
plants. *Agro Productividad*. 146

Complemento Objetivo específico 4 Capítulo de libro publicado 156

Actividades de retribución social – Congresos 185

Talleres, pláticas, transferencias de tecnología, concursos..... 192

**Programa de radio UABC “Agricultura de conservación en la producción
del cultivo de trigo y mejora de suelos en el valle de Mexicali”** 196

RESUMEN

La presente investigación, se desarrolló bajo un enfoque multidisciplinario sustentado en el triángulo de la sustentabilidad para evaluar la agricultura de conservación (AC) y la agricultura tradicional (AT) en sistemas de producción de trigo en el Valle de Mexicali. Se analizaron de manera integrada el rendimiento, la calidad del grano las propiedades fisicoquímicas del suelo, la comunidad microbiana y la factibilidad económica del sistema trigo-sesbania bajo AC:

Los resultados mostraron que la AC mantiene rendimientos de trigo estadísticamente comparables a la AT y no afecta de forma negativa la calidad del grano, considerando componentes como espigas m², granos por espiga, peso de mil granos, porcentaje de proteína y peso hectolítrico. De manera paralela, la AC mejoró indicadores claves del estado del suelo, reflejados en incrementos de materia orgánica y estabilidad de agregados, mayor humedad disponible y provocando una disminución de la densidad aparente y de la salinidad en el estrato superficial, en contraste con la AT.

En el plano biológico, los sistemas en AC presentaron mayor densidad y diversidad microbiana del suelo, así como cambios en la estructura de la comunidad bacteriana asociada al uso de cultivos de cobertura usando leguminosas, evidenciados mediante recuentos cultivables y análisis basados en secuenciación 16S/ITS. Finalmente, el análisis económico del sistema trigo-sesbania bajo AC indicó relaciones de beneficio-costos superiores, valores actuales netos positivos y tasas internas de retorno competitivas respecto a la AT, apoyadas en la reducción de pasos de maquinaria en la producción adicional de biomasa con potencial forrajero.

Estos hallazgos confirman que la agricultura de conservación es una alternativa viable para mantener la productividad del trigo, mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo y aumentar la rentabilidad del sistema de producción en el Valle de Mexicali.

ABSTRACT

This research was conducted using a multidisciplinary framework grounded in the sustainability triangle to evaluate conservation agriculture and conventional/traditional agriculture in wheat production systems in the Mexicali Valley. An integrated Assessment was performed encompassing grain yield and quality, soil physicochemical properties, the soil microbial community, and the economic feasibility of the wheat-sesbania system under conservation agriculture. Results showed that this system-maintained wheat yields statistically comparable to traditional practices and did not adversely affect grain quality, based on key components including spikes m^2 , grains per spike, thousand-kernel weight, protein content and test weight. In parallel, conservation practices improved critical indicators of soil condition, reflected in increased soil organic matter and Surface-layer salinity compared with traditional practices. From a biological perspective, CA systems exhibited higher soil microbial density and diversity, as well as shifts in bacterial community structure associated with the use of legume cover crops, as evidenced by culturable counts and 16S/ITS sequencing-based Analyses. Finally, the economic analysis of wheat-sesbania system under conservation agriculture indicated higher benefit-cost ratios, supported by fewer machinery operations and additional biomass production with forage potential. Collectively, these findings confirm that conservation agriculture is a viable alternative to sustain wheat productivity, improve the physical, chemical, and biological condition of soils, and enhance the profitability of wheat-based production systems in the Mexicali Valley.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción agrícola tradicionales se enfrentan a mantener e incrementar los rendimientos de cultivos agrícolas sin comprometer la integridad de los agroecosistemas. En el Valle de Mexicali, la intensificación agrícola y el uso continuo de la maquinaria agrícola han provocado daños en los suelos agrícolas, presentándose la disminución de materia orgánica, salinización y pérdida de biodiversidad microbiana (FAO, 2024; Ogle et al., 2005). Esta situación dispone a la comunidad científica a evaluar los modelos de manejo de suelo actuales y migrarlos a sistemas más sostenibles y resilientes al cambio climático.

La agricultura de conservación (AC) surge como una alternativa viable para reducir los impactos negativos de la agricultura tradicional (AT). Su adopción se fundamenta en tres principios operativos: (1) mínima perturbación mecánica del suelo, (2) cobertura permanente y (3) diversificación de cultivos mediante rotación o uso de leguminosas de cobertura (FAO, 2024). Diversos estudios han demostrado que estas prácticas mejoran la infiltración, reducen la erosión, promueven el reciclaje de nutrientes y favorecen la actividad microbiana edáfica, además de optimizar el uso de energía y agua (Awale et al., 2022; Saldivia-Tejeda et al., 2024).

El trigo (*Triticum* spp.), es un cultivo estratégico en la región del Valle de Mexicali, ocupa una superficie significativa bajo riego y llega a demostrar rendimientos de hasta 7 t ha⁻¹, superiores a la media nacional (SIAP, 2024). Sin embargo, su sostenibilidad se ve comprometida por la degradación del suelo, el aumento de costos de producción y la dependencia de fertilizantes químicos. La transición hacia el sistema de AC representa, una oportunidad para mantener la productividad y mejorar la calidad del suelo a mediano y largo plazo.

No obstante, en el Valle de Mexicali se requiere evidencia empírica integral que permita comparar, bajo condiciones locales, los efectos de la AC frente a la AT sobre el desempeño productivo del trigo, la calidad del grano, las propiedades fisicoquímicas del suelo, la diversidad microbiana y la rentabilidad económica, particularmente cuando se incorporan cultivos de cobertura de la familia de las

leguminosas con posible potencial forrajero y se evalúa su impacto mediante técnicas tradicionales y moleculares.

La presente investigación doctoral se hizo con el objetivo de evaluar integralmente los efectos de la AC sobre el rendimiento, calidad del grano, propiedades fisicoquímicas del suelo, diversidad microbiana y rentabilidad económica en comparación con la AT en el Valle de Mexicali. Se estableció una plataforma experimental donde se incorporaron cultivos de cobertura-leguminosas (*Sesbania* spp., *Crotalaria juncea* y *Vigna radiata*), con posible potencial forrajero, analizando su producción de biomasa, adaptación climática y efecto sobre la comunidad microbiana del suelo mediante técnicas convencionales y moleculares. Asimismo, se integraron indicadores económicos-Relación Beneficio-Costo (B/C), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Valor Actual Neto (VAN). Para determinar la factibilidad de adopción de la AC frente a la AT. Este enfoque multidimensional permitió analizar simultáneamente las dimensiones productiva, ambiental y económica del sistema agrícola, enmarcando el estudio dentro del triángulo de la sustentabilidad propuesto por la FAO.

Los resultados obtenidos contribuyen al saber científico sobre los sistemas de conservación en ambientes áridos y semiáridos, proporcionando evidencia empírica sobre su impacto en la resiliencia del suelo, productividad del trigo y viabilidad económica del sistema trigo-sesbania, consolidando una base para futuras políticas de manejo sostenible en el Valle de Mexicali.

1.1 HIPÓTESIS

1. En la producción de trigo, la producción de trigo, la agricultura de conservación (AC) no disminuye significativamente el rendimiento ni la calidad del grano en comparación con la agricultura tradicional (AT).
2. La agricultura de conservación presenta mayor rentabilidad y mejores indicadores de comunidad microbiana y calidad del suelo que la agricultura tradicional.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Evaluar dos variedades de trigo bajo el sistema de AC frente a la AT, mediante la determinación del rendimiento, la calidad de grano, la rentabilidad, los indicadores de comunidad microbiana y las propiedades fisicoquímicas del suelo en las condiciones edafoclimáticas del Valle de Mexicali.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Cuantificar el rendimiento y la calidad del grano de trigo utilizando los componentes de rendimiento: espigas m², granos por espiga, peso de mil granos, porcentaje de proteína, peso hectolítrico en AC vs AT en el Valle de Mexicali.
2. Evaluar la calidad fisicoquímica del suelo bajos los sistemas de AC y AT mediante el estudio de las variables: materia orgánica, densidad aparente, estabilidad de los agregados del suelo, humedad disponible, capacidad de intercambio catiónico, pH y conductividad eléctrica.
3. Caracterizar la comunidad microbiana de la fracción cultivable del suelo en AC y AT utilizando la siembra en placa tradicional, amplificación de región 16S ribosomal para microorganismos procariotas y los índices de Shannon, Simpson y Bray – Curtis con base en OTU's cultivables complementado con conteo de UFC g⁻¹ de suelo.
4. Comparar la rentabilidad del sistema productivo en AC y AT por ciclo agrícola contabilizando costos directos e indirectos, ingreso neto, relación beneficio-costo, valor actual neto y la tasa interna de retorno.

CAPÍTULO 1 REVISIÓN DE LITERATURA

Agricultura de conservación y la producción del cultivo de trigo

1.1. Aspectos generales del cultivo de trigo

El trigo (*Triticum spp.*) presenta alto potencial productivo y fácil almacenamiento (Venske et al., 2019). Su domesticación ocurrió en el creciente fértil en un periodo de 10 a 12 mil años atrás. Desde entonces este cultivo se ha esparcido globalmente con amplia plasticidad agroclimática (Shewry, 2012). La diversidad genética del trigo sustenta esa adaptación. Existen miles de variedades cultivadas adaptadas a ambientes templados, mediterráneos y subtropicales. Según su capacidad de desarrollo según el clima se pueden clasificar como trigo de invierno y primavera. El trigo de invierno se siembra en otoño y requiere vernalización, esto se define como un requerimiento de las plántulas a exposición prolongada a bajas temperaturas (0-5 °C) en fase vegetativa. Predomina en Europa, Asia y Norteamérica por su alto rendimiento y estabilidad. El trigo de primavera se siembra en primavera y se cosecha a fin de verano u otoño. Es común en latitudes altas y regiones áridas cálidas de Asia meridional y norte de África. Ambos tipos coexisten según el clima y disponibilidad hídrica (Dubcovsky & Dvorak, 2007).

El trigo pertenece a la familia Poaceae, que incluye a la tribu Triticeae, una de las divisiones de cereales de mayor importancia económica. Las variedades con mayor peso económico son el trigo duro tetraploide *Triticum durum* L. y el trigo panificable hexaploide *Triticum aestivum* L (de Sousa et al., 2021). La domesticación subsecuente de estas formas condujo a la restructuración del raquis y de las glumas, transformando las pequeñas espigas de las especies silvestres en variedades cultivables con granos especializados capaces de ofrecer mayor calidad y producción. Estos cambios morfológicos de domesticación facilitaron la cosecha y la trilla. En conjunto, tales rasgos impulsaron exponencialmente la relevancia económica del cultivo (Peng et al., 2011).

Las semillas de trigo aportan proteína relevante a la dieta humana; dichas proteínas constituyen el componente principal del gluten presente en la harina de trigo. Las

propiedades básicas para panificación—elasticidad y extensibilidad de la masa— dependen de la composición relativa de glutenina y gliadina, respectivamente. Esta aptitud tecnológica de procesamiento (pan o pastas) confiere al cultivo características únicas (Dhaka & Khatkar, 2015).

1.2. Análisis del mercado mundial

Alrededor del 95 % del trigo cultivado mundialmente se destina a harina, ya sea integral o refinada, con la que se produce una amplia variedad de panes, con o sin fermentación. El 5 % restante corresponde al trigo duro, que se transforma en sémola (harina gruesa), insumo principal para diversos productos horneados (Dubcovsky & Dvorak, 2007; Peña et al., 2002). Los mayores productores, en orden descendente, son China, India, Rusia, Estados Unidos de América y Francia (FAO, 2025).

Alrededor de 120 países, distribuidos en los cinco continentes, cultivan trigo. Asia aporta 44 % de la producción, Europa 34 %, América 15 % y Oceanía 3.5 % (FAO, 2025). Los líderes históricos —por más de 60 años— son China, India, Rusia, Estados Unidos y Francia. El cultivo prospera en climas templados y tolera heladas. Aproximadamente 150 millones de hectáreas se siembran en zonas donde el desarrollo ocurre bajo temperaturas de congelación (Reynolds & Braun, 2022). En 2018, el cultivo de trigo alcanzó 217 millones de hectáreas sembradas, ubicándolo como el cultivo con mayor superficie a nivel mundial; en comparación, el cultivo de maíz y arroz registraron 200 y 165 millones de hectáreas, respectivamente (Reynolds & Braun, 2022). En términos de producción, el trigo sumó 752 millones de toneladas a escala global; fue ligeramente superado por el arroz, y ambos quedaron por debajo del maíz con 1 146 millones de toneladas. Destaca que, entre los tres cereales básicos, el trigo fue el único que presentó una disminución leve (1 %) en superficie cultivada. Históricamente, el área triguera ha oscilado durante 64 años entre 200-240 millones de hectáreas, con un máximo en la década de 1980 y un ajuste posterior hasta los 217 millones (Reynolds & Braun, 2022). El rendimiento promedio mundial aumentó sostenidamente: de 1 t ha⁻¹ en la década de 1960 a 3.5

t ha⁻¹. En regiones como el Valle de Mexicali, los promedios alcanzan hasta 7 t ha⁻¹ (Reynolds & Braun, 2022).

El consumo mundial de trigo asciende a 65.6 kg per cápita, equivalente a 37 % del consumo total de cereales (175 kg). Es el segundo cereal más consumido, después del arroz, y está presente en 173 países. En términos regionales, Asia concentra 53 % del consumo, Europa 26 %, y América y África 10 % cada una. Los principales productores China e India son autosuficientes. El trigo es el cereal más comercializado; aproximadamente 25 % de su producción se exporta. El mercado global muestra disparidad: los países con mayor consumo importan desde regiones donde el consumo es menor (Awika, 2011; Reynolds & Braun, 2022).

1.3. Impactos en la producción de la Agricultura Intensiva

El suelo es un recurso natural invaluable. El uso agrícola ha originado sistemas biológicos particulares denominados “Agroecosistemas”: comunidades cerradas, con diversidad reducida y dependientes de suplementos nutricionales externos. Las prácticas agrícolas difundidas globalmente amenazan la biodiversidad del suelo, los agroecosistemas y la productividad. Aunque la agricultura tradicional incrementa la productividad en el corto plazo, ya no puede considerarse una estrategia sostenible ni eficiente para el futuro de la agricultura (Bedano et al., 2021).

La labranza, práctica central de la AT, busca aflojar el suelo y suprimir malezas y fitopatógenos, además de elevar la fertilidad mediante incorporación de residuos. Sin embargo, la evidencia señala efectos negativos sobre la superficie arable y sus propiedades, al promover erosión y pérdida de biodiversidad. Asimismo, la labranza convencional favorece el contacto directo de los residuos con el suelo, acelerando la mineralización de la materia orgánica (Lei et al., 2019; Leite et al., 2021; M. Li et al., 2021; Tian et al., 2015).

1.4. Agricultura de Conservación

Diversos organismos e instituciones han invertido activamente en la mitigación y reversión de los procesos de degradación y erosión del suelo ocasionados por la agricultura intensiva. Entre ellos, destaca la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2024), la cual conceptualiza y fomenta

la agricultura de conservación como un sistema de producción agrícola orientado a prevenir la erosión y promover la regeneración de los suelos cultivables.

Esta estrategia, centrada en la conservación del agua y del suelo, adquirió relevancia décadas posteriores al fenómeno conocido como Dust Bowl (1930-1936), caracterizado por intensas tormentas de arena que ocasionaron severos daños a la producción agrícola y a la biodiversidad en la región central de los Estados Unidos de América (Hobbs et al., 2008). La combinación de factores climáticos adversos, junto con prácticas agrícolas intensivas tales como la conversión de pastizales en áreas de monocultivo, el diseño de surcos orientados en la dirección del viento y la eliminación de vegetación nativa, además de periodos de sequía y lluvias irregulares favoreció la erosión eólica generalizada. Estas condiciones dieron origen a la errónea creencia de que “la lluvia sigue al arado”, la cual posteriormente fue refutada (Pla, 2014; Schoijet, 2005).

A partir de este contexto histórico, múltiples investigadores y organismos nacionales e internacionales (Blanco-Canqui & Lal, 2010; Hobbs et al., 2008; Page et al., 2019; Pittelkow et al., 2015; Verhulst et al., 2015) han analizado de manera amplia los efectos de los principios de la agricultura de conservación. Dichos principios han evolucionado hacia un enfoque regenerativo, donde se evalúa la interacción de tres ejes fundamentales y sus beneficios:

1. Mínima perturbación mecánica del suelo. Se basa en la siembra directa sin laboreo, utilizando camas permanentes sobre los residuos de cultivo previo. Este método contribuye a evitar la compactación y el encostramiento, reducir la erosión y las emisiones de gases de efecto invernadero, además de mejorar la estructura y la fertilidad del suelo.

2. Diversificación o rotación de cultivos: Consiste en la alternancia de especies agrícolas con valor económico o biológico, integrando cultivo trampa y leguminosas para favorecer la fijación biológica del nitrógeno y disminuir el uso de agroquímicos. Los beneficios incluyen la reducción de plagas y enfermedades, el control de malezas, la redistribución de nutrientes en el horizonte arable y la mitigación de riesgos económicos y climáticos asociados al monocultivo.

3. Cobertura permanente del suelo: La utilización de residuos vegetales o cultivos de cobertura incrementa la infiltración y retención de agua, reduce la evaporación, estabiliza la temperatura del suelo, mejora la estructura porosa y aumenta el contenido de materia orgánica.

Las prácticas de labranza de conservación reducen costos y preservan insumos, como la energía, el suelo y el agua reduciendo la perturbación del suelo y favorecer la incorporación de residuos vegetales. Su adopción es elevada en regiones de alta intensidad agrícola, debido a su impacto rápido en el desempeño de los cultivos (Leite et al., 2021).

La diversidad de los microorganismos del suelo es esencial para la funcionalidad del ecosistema edáfico (Tian et al., 2015). La biocenosis del suelo cumple un papel clave en el ciclo de nutrientes de los sistemas agrícolas (M. Li et al., 2021). Participa en la acumulación de humus y en la descomposición de la materia orgánica. Interviene en la fijación biológica de nitrógeno y en la movilización/solubilización de fósforo. Además, estimula el crecimiento vegetal y brinda protección frente a microorganismos patógenos (Andronov et al., 2015). Los cambios estructurales y funcionales de esta biocenosis pueden emplearse como indicadores de los distintos tipos de agricultura y de su impacto en la calidad del suelo (Wang et al., 2021).

El número de microorganismos del suelo es enorme; aun así, su composición “ideal” permanece sin describirse (Fierer et al., 2021). Los aumentos de diversidad bacteriana en respuesta al manejo de la labranza no siempre se correlacionan de forma directa con mejoras en la calidad del suelo ni con incrementos de la producción. Para abordar esta limitación se desarrollan métodos que combinan inteligencia artificial. Dichos enfoques muestran buenos resultados al predecir la salud del suelo con base en la investigación del microbioma (Wilhelm et al., 2022).

1.5. El efecto de fertilizantes en los suelos agrícolas

Los agroecosistemas dependen en gran medida del ingreso externo de nutrientes que sostienen los rendimientos (Babin et al., 2019). La sobre aplicación puede causar degradación severa del suelo, además de modificar el pH y la materia orgánica. Aunque los fertilizantes inorgánicos aportan nutrientes a las plantas,

también pueden alterar la productividad edáfica al afectar la comunidad microbiana (Zhou et al., 2015). Diversos estudios reportan efectos negativos de la aplicación continua de fertilizantes nitrogenados en suelos extremadamente fértiles también llamados “chernozem” (Zhou et al., 2015). La introducción de fertilizantes NPK reduce significativamente la diversidad y el número total de bacterias, siendo un factor determinante para las comunidades procariotas de la rizosfera, incluso por encima de la especie vegetal (Kumar et al., 2018).

Se ha demostrado que la comunidad bacteriana varía según el nutriente limitante del fertilizante. El nitrógeno y el fósforo ejercen efectos marcados en ciertos grupos; el potasio suele tener efectos mínimos. Bajo fertilización repetida, la proporción NPK actúa como fuerza motriz que modifica la composición de la comunidad bacteriana, más que su diversidad (Khmelevtsova et al., 2022).

En múltiples casos se ha observado mayor diversidad microbiana con fertilizantes inorgánicos. En la rotación linaza–avena–trigo de invierno con N aplicado, los índices de Shannon y Simpson aumentaron de forma lineal. De manera concordante, estudios en China tras 19 años de fertilización nitrogenada reportaron incrementos en la diversidad bacteriana (Huang et al., 2019; Lupwayi et al., 2018).

En contraste, en tomate y frijol la aplicación de urea, sulfato de amonio y nitrato de potasio redujo la riqueza e indujo cambios en la composición de la rizosfera y del suelo. En general, la urea causó la mayor pérdida de diversidad bacteriana entre los tres fertilizantes evaluados (Castellano-Hinojosa et al., 2021).

La aplicación de fertilizantes nitrogenados basados en amonio y nitratos favorece a los microorganismos copiotróficos, mientras que los oligotróficos disminuyen bajo estas enmiendas. Se ha reportado que, con fertilización nitrogenada en fase gaseosa, la riqueza bacteriana del suelo no cambia, pero la diversidad y la uniformidad se reducen significativamente. Solo en algunos casos no se observan diferencias del microbioma del suelo frente a la fertilización inorgánica (Chen et al., 2020; Nelkner et al., 2019).

1.6. Impacto de los fertilizantes orgánicos

La aplicación de composta o estiércol constituye una alternativa sostenible a los fertilizantes inorgánicos, dado que la liberación de nutrientes por acción microbiana se prolonga por periodos mayores (Schmid et al., 2018). Un manejo continuo durante 18 años con estiércol de cerdo incrementó significativamente la diversidad bacteriana del suelo. No obstante, esta diversidad disminuyó cuando el cobre superó 30.70 mg kg^{-1} . El microbioma también varía según la vegetación (G. Li et al., 2021; P. Li et al., 2020). En cultivos de maíz, papa y mostaza, la exposición prolongada a estiércoles elevó de forma significativa el número de procariotas y la diversidad del suelo. Se atribuye el aumento de biomasa y diversidad a la activación de comunidades microbianas previamente reducidas en suelos sin fertilizar (Semenov et al., 2020). La mayoría de los microorganismos exógenos aportados por los estiércoles no sobreviven a las condiciones del suelo y dejan de detectarse meses después de su aplicación (Semenov et al., 2021).

La influencia del estiércol sobre la diversidad bacteriana no siempre es perceptible (Wang et al., 2021). En trigo y arroz, la aplicación intensiva de composta basada en estiércoles incrementó la actividad microbiana y el número de copias de genes de bacterias, arqueas y bacterias oxidantes de amonio; sin embargo, la variedad se redujo de manera significativa. Además, la incorporación de estiércoles puede conducir a la acumulación de metales en el suelo y suprimir el desarrollo microbiano, disminuyendo la diversidad edáfica (Tian et al., 2015).

Algunos fertilizantes orgánicos en pellets pueden incrementar taxones bacterianos asociados al ciclo del nitrógeno, como *Nitrosospira*, *Pseudomonas*, *Pseudoxanthomonas* y *Flavobacterium* (Milkereit et al., 2021).

1.7. Efecto de prácticas de conservación en la biocenosis de los suelos agrícolas

La labranza es característica de la AT y también un factor principal en la pérdida de suelo porque destruye los agregados, entierra los residuos vegetales y acelera la actividad microbiana. Como alternativa para reducir estos daños, la labranza mínima

o el arado con cinceles ofrecen una preparación del suelo menos perturbadora (Young y Ritz, 2000).

Se ha reportado que la riqueza de especies y la uniformidad son significativamente mayores en suelos agrícolas con labranza mínima frente a la agricultura tradicional (Daigh et al., 2018). En contraste, la diversidad beta resulta más alta en sistemas de AT que en los de AC (Lopes y Fernandes, 2020). La inversión de la capa arable propia de la AT modifica la estructura de la comunidad microbiana. Además, se observó un efecto positivo del manejo integrado de rotación de cultivos y retención de paja, con suelos que exhiben mayor diversidad bacteriana y menor abundancia de bacterias Gram positivas respecto de las Gram negativas (Xia et al., 2019). Las actinobacterias muestran especial sensibilidad a la perturbación física debido a su crecimiento micelial (Babin et al., 2019).

1.8. Efecto de la labranza mínima de la comunidad bacteriana en el suelo

La agricultura de conservación (AC) reduce la erosión, conserva humedad y disminuye costos de combustible (Schlatter et al., 2020). Lo cual mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo e incrementa la productividad de los cultivos (Melero et al., 2011; Zhang et al., 2018). No obstante, pueden presentarse efectos adversos: compactación, fuerte estratificación vertical de varias propiedades y acidificación de la capa superficial tras aplicar fertilizantes nitrogenados (Melero et al., 2011). La ausencia de arado también exige mayor uso de pesticidas y herbicidas para controlar malezas. De ahí la pregunta sobre cómo la labranza mínima/cero afecta la comunidad microbiana (Carbonetto et al., 2014; Rincon-Florez et al., 2020).

En el noreste de China, 15 años sin labranza aumentaron significativamente la diversidad alfa en los 0–5 cm y modificaron la composición bacteriana, probablemente por cambios en densidad aparente, pH y carbono orgánico del suelo. Los filos más abundantes fueron Proteobacteria, Actinobacteria, Acidobacteria, Chloroflexi y Gemmatimonadetes (M. Li et al., 2021).

Un experimento de 22 años con labranza disminuida en China también mostró un aumento de la diversidad alfa bacteriana. Las comunidades variaron según el

tratamiento; bajo AC se observaron más *Sphingomonas* y *Pseudomonas* y menos *Acidobacteria* que en agricultura tradicional(Dong et al., 2017).

La combinación de los principios de AC (labranza mínima y retención de rastrojo) incrementa el número de unidades taxonómicas operacionales (OTUs) bacterianas (Essel et al., 2019).

La transición a cero/mínima labranza en China elevó la riqueza y la diversidad bacteriana. La integración de los principios de AC modificó las propiedades fisicoquímicas del suelo y, como consecuencia, alteró la estructura y la diversidad de la comunidad microbiana (Zhu et al., 2018).

Con labranza tradicional, se observó un aumento en el número de secuencias taxonómicas y una disminución de los perfiles funcionales; según el autor, priorizar el funcionamiento del suelo a expensas de los taxones no es la estrategia más efectiva para ciertas funciones (Souza et al., 2016).

Durante la labranza tradicional también se registró un incremento en el recuento de secuencias taxonómicas y una reducción de los perfiles funcionales; en opinión del autor, mantener el funcionamiento sacrificando diversidad no resulta óptimo para algunas funciones. La cero labranza incrementa la cantidad de celulolíticos anaeróbicos y fijadores de nitrógeno, así como diazótrofos aeróbicos y amilolíticos; en contraste, la labranza tradicional aumenta amonificadores aeróbicos cultivables, desnitrificadores, celulolíticos aeróbicos, actinomicetos y micromicetos. En numerosos casos, el tiempo de muestreo, más que el tipo de suelo cultivado fue el principal factor que influyó en la estructura de la comunidad bacteriana (Nikitin et al., 2020).

Pese a los desafíos de la labranza mínima, esta tecnología se asocia con mejoras estructurales del suelo, especialmente en regiones áridas como mayor biodiversidad edáfica, conservación de carbono y otros elementos (Khmelevtsova et al., 2022).

La rotación de cultivos consiste en la siembra secuencial de diversas especies y comparte beneficios con el principio de la labranza mínima: mejora de propiedades

físicas del suelo, mayor rendimiento, menor necesidad de fertilizantes y reducción de patógenos. Estos efectos son mediados por la comunidad microbiana, que mineraliza residuos, solubiliza nutrientes y produce sideróforos (Chamberlain et al., 2020; Town et al., 2022). Las leguminosas son óptimas en rotación por su alto contenido de N y la fijación biológica de nitrógeno atmosférico en el ecosistema (Ai et al., 2018).

La influencia de la rotación sobre la comunidad bacteriana se asocia a la rizosfera y/o a diferencias en la composición de residuos (rastrajo y raíces) (Chamberlain et al., 2020). Se ha demostrado que la rotación modula la estructura bacteriana en gran parte del suelo, generando comunidades distintas bajo rotaciones continuas (Somenahally et al., 2018). En maíz-soya, el índice de Shannon no difiere entre sistemas. En ciclos longitudinales con trigo establecido, la diversidad alfa del suelo fue menor que en rotaciones y disminuyó con la fertilización (Lupwayi et al., 2021).

En un sistema de 10 años de arroz en rotación, la diversidad alfa aumentó respecto a arroz-trigo, donde la diversidad decreció como resultado de la fertilización (Shen et al., 2021).

La producción de cultivos de cobertura busca proteger y enriquecer el suelo, sin cosechar o, al menos, dejando hasta 30 % de la producción en campo (Chamberlain et al., 2020). Se ha informado que esta práctica previene la erosión y la lixiviación de nutrientes, facilita el control de malezas y el secuestro de carbono (Kim et al., 2020). Su efecto opera vía acumulación de residuos orgánicos en superficie, exudados radiculares y la descomposición de microorganismos y raíces muertas (Leite et al., 2021).

Al cultivar alfalfa, aumentó el número de Proteobacteria y disminuyó el de Actinobacteria y Firmicutes en suelo total, así como Acidobacteria en la rizosfera. La alfalfa incrementó los índices de Shannon y Simpson (Lupwayi et al., 2018).

La abundancia de Gemmatimonadetes creció con centeno y disminuyó con mostaza. Como cobertura, el mijo perla (*Pennisetum glaucum*) elevó Actinobacteria, Proteobacteria y Chloroflexi en sistemas tropicales brasileños; la diversidad alfa y la

riqueza bacteriana (Shannon y Chao1) fueron máximas durante la descomposición de los cultivos de cobertura (Nevins et al., 2018).

Sin embargo, el efecto de los cultivos de cobertura no siempre es detectable, especialmente en el corto plazo (Chamberlain et al., 2020).

1.9 Efectos de la agricultura de conservación en trigo y en las características del suelo

La agricultura de conservación se asocia con incrementos de rendimiento de trigo y mejoras edáficas, lo que sostendría la productividad, un ejemplo de ellos es el realizado por H. Li et al., (2007), en donde un experimento de 15 años en China, la mínima labranza con cobertura de rastrojo mejoró la estructura del suelo disminuyendo la densidad aparente, promoviendo mayor porosidad y la estabilidad de agregados así como un mayor incremento de materia orgánica, nitrógeno y fósforo y con ello aumentó el rendimiento y la eficiencia del uso de agua. Ambas variables mejoraron hasta en 19.1 y un 17.6, respectivamente frente a la labranza convencional. En la India Ghosh et al., (2015), prácticas de AC con franjas manejadas con cobertura permanente, enmiendas orgánicas y estiércol, redujeron escurrimiento y pérdida de suelo y duplicaron la humedad del perfil del suelo previo a la siembra, acompañándose de un aumento en el rendimiento hasta en un 79 % en rotaciones continuas de maíz-trigo. En ambientes mediterráneos, la combinación de cero labranza con rotación con el cultivo de haba fue la de mayor rendimiento, apoyando el supuesto de que estas prácticas aumentan la materia orgánica, la retención de agua y la disponibilidad de nutrientes (Calzarano et al., 2018). Estos mismos autores con ensayos de camas permanentes y retención de residuos se reportan que con el tiempo pueden ahorrar hasta el 29 % de agua con una ganancia en el rendimiento en el cultivo de trigo de hasta 8 %. En otros estudios, la adopción de la cero labranza se impulsa por ahorros de costos y los ensayos a largo plazo muestran rendimientos más altos y estables en comparación con las prácticas tradicionales (Hobbs et al., 2008b). En otro ensayo estableciendo trigo bajo AC, se sugiere que la mineralización de nitrógeno y menores pérdidas contribuyen a mantener los rendimientos relativamente altos (Santillano-Cázares et al., 2018). Sin

embargo, a pesar de que en la mayoría de los estudios se observa una mejora en los rendimientos en las características físicas del suelo, en sistemas de arroz-trigo, la AC no siempre incrementa el rendimiento promedio de trigo, pero suele mantenerlo mientras que reduce costos, aumentando ganancias y otorgando una estabilidad al sistema (Magar et al., 2022)

2. Efecto de la agricultura de conservación en los costos de producción

Los sistemas de producción agrícola en zonas áridas como el Valle de Mexicali enfrentan desde hace décadas una combinación de altos costos de producción, bajos márgenes de ganancia y una elevada vulnerabilidad por la dependencia de mercados internacionales. Las crisis económicas de los años 1994, 2008, 2009 y 2020 han presionado al sector agrícola afectando la relación entre precios y producción y aumentando la fragilidad financiera de los productores (Ramos Montes & Banda Ortiz, 2025). En este contexto, la agricultura de conservación se planea no solo como una estrategia agronómica para mejorar la salud del suelo y la sustentabilidad, sino también como una vía para reconfigurar la estructura de costos de producción y mejorar la rentabilidad de los sistemas agrícolas (Espinoza-Alonso et al., 2024; Lorenzetti & Fiorini, 2024; Saldivia-Tejeda et al., 2024).

2.1. Cambios en la estructura de costos bajo agricultura de conservación

Las prácticas conservacionistas se sustentan en tres principios: labranza mínima o nula, cobertura permanente del suelo y la diversificación de cultivos, frecuentemente mediante cultivos de cobertura. En términos económicos, estos principios implican una reorganización de los costos fijos y variables del sistema productivo (Blanco-Canqui & Lal, 2010b; Kassam et al., 2015; Palm et al., 2014; Pla, 2014b).

En comparación con la agricultura tradicional con labranza intensiva, la agricultura de conservación tiende a:

Reducir el número de maquinaria y como resultado el consumo de combustible, la depreciación y mantenimiento de implementos, así como los costos de mano de obra asociados a las labores de preparación del terreno.

Incrementar ciertos costos específicos, sobre todo en los primeros años por la adquisición de semilla de cultivos de cobertura, contratación o inversión en sembradoras de siembra directa o cero labranza, riegos adicionales vinculados al establecimiento de los cultivos de cobertura y en algunos casos, costos de manejo y terminación de la cobertura (que pueden ser química o mecánica).

La literatura acerca de este tema coincide en que cuando las prácticas de conservación se implementan de forma adecuada y adaptada a cada región agrícola, se observa un desplazamiento de costos operativos hacia costos de insumos, con una tendencia global a reducir los costos totales por unidad de superficie o de producto. Es decir, disminuye los costos por labores de labranza y operación de maquinaria, mientras que aumentan los costos por semilla, fertilizantes de precisión y manejo más sofisticado del sistema; sin embargo, el balance suele ser positivo, especialmente cuando se consideran los efectos a mediano y largo plazo (Derpsch et al., 2010; Govaerts et al., 2009; Lorenzetti & Fiorini, 2024; Saldivia-Tejeda et al., 2024).

2.2. Evidencia internacional sobre costos y rentabilidad en agricultura de conservación

Son limitados los estudios que han cuantificado el impacto del sistema conservacionista sobre los costos de producción y la rentabilidad en distintos contextos agrícolas:

En un experimento de largo plazo, la comparación económica entre labranza convencional y de conservación, ésta última mostró que, en una plataforma de 20 años, los costos de materiales fueron superiores en 2 % mientras que los operativos tuvieron una reducción del 10 % generando un ingreso bruto de 2.3 %. El resultado global fue una ganancia de 13 % en utilidad de los sistemas bajo el sistema que se propone adaptar en la zona del Valle de Mexicali (Madarász et al., 2025).

De manera similar, un análisis de múltiples criterios que combina la productividad, rentabilidad y riesgo han encontrado que los sistemas diversificados bajo agricultura de conservación pueden ofrecer mayores retornos netos con menor riesgo en comparación con rotaciones simplificadas y labranza convencional. En otro ensayo

de 14 años realizado en la India, los sistemas conservacionistas permitieron identificar combinaciones de cultivos que maximizaban el rendimiento y el retorno neto, reduciendo al mismo tiempo la probabilidad de pérdidas severas. Los autores subrayan que, aunque la agricultura de conservación incorpora costos adicionales, estos se compensan con mayor estabilidad en los rendimientos y mayor eficiencia en el uso de insumos y menores costos operativos (Nayak et al., 2025).

En el caso de cultivos específicos, por ejemplo el maíz en condiciones de temporal en las zonas semiáridas del altiplano de México, su producción en camas permanentes con cobertura (similar a las prácticas de conservación), con y sin rotación con triticale, avena o frijol mostró rendimientos hasta 70 % superiores respecto a la labranza convencional en algunos sitios y también mayor rentabilidad, incluso cuando se consideraron los costos anuales de producción y los precios de mercado locales (Saldivia-Tejeda et al., 2024). En este estudio, la rentabilidad se calculó como ingreso neto (ingresos por venta de grano – costos de producción), y se demostró que, una vez finalizado el sistema, los mayores rendimientos y la reducción de ciertas labores compensan con creces los costos específicos asociados a la cobertura ya la siembra directa.

Otros trabajo en sistemas de rotación y sin labranza han documentado que los costos directos vinculados a los cultivos de cobertura pueden ser importantes en el corto plazo, pero se amortizan vía mayores rendimientos, mejoras en la fertilidad y en algunos casos, reducción de herbicidas o fertilizantes. En este tipo de sistema, además se ha observado que las ganancias en retornos netos dependen de manejar cuidadosamente la intensidad del sistema y el manejo del nitrógeno, de manera que los costos adicionales de los cultivos de cobertura sean contrarrestados por incrementos en el rendimiento de los cultivos comerciales (Yeager et al., 2025).

En conjunto, estos trabajos apoyan la idea de que las prácticas conservacionistas tienden a reducir costos operativos y estabilidad o incrementar la rentabilidad, aun cuando algunos costos se incrementen.

2.3 Agricultura de conservación y costos de producción en el Valle de Mexicali

En el Valle de Mexicali, la producción de trigo se ve afectada por un contexto de altos costos de insumos, presión sobre los márgenes de rentabilidad y volatilidad de precios, lo que ha llevado a explorar alternativas conservacionistas donde el trigo se asocia con cultivos de cobertura con potencial forrajero, como *Sesbania spp.*, *Crotalaria juncea*, y *Vigna radiata* (Espinoza-Alonso et al., 2024). Los estudios desarrollados en esta región permiten analizar con mayor detalle el efecto de la Agricultura de conservación sobre los costos de producción y pueden encontrarse más adelante en la publicación rentabilidad financiera del sistema trigo-sesbania bajo agricultura de conservación en el Valle de Mexicali en el que se determinaron indicadores económicos (Relación beneficio-costo, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) a mediano plazo según los rendimientos de cada cultivo de cobertura (Agroptima, 2017; García-Zertuche et al., 2021; Yépez et al., 2022).

Cuando la relación beneficio costo es mayor a 1, indican que los beneficios superan los costos, es decir, que por cada unidad invertida se obtiene un porcentaje de ganancia. Cuando el VAN resulta positivo significa que una vez que se considera la inversión inicial y los flujos de costos a la tasa de actualización, puede afirmarse que el proyecto genera valor agregado para el productor. Por último, la tasa interna de retorno, cuando supera la tasa de descuento, implica que el rendimiento interno del proyecto es superior al costo del capital. En el caso de que todos los indicadores sean positivos puede indicarse que no solo se está hablando de una viabilidad si no que se convierte en un sistema financieramente atractivo, especialmente cuando se consideran los beneficios ambientales adicionales de la mejora en la estructura del suelo, el aumento de materia orgánica y la reducción potencial de erosión e impactos ambientales (Agroptima, 2017; Ayala et al., 2013; Barrios Puente et al., 2021; Derpsch et al., 2010; Molina, 2017)

2.4 Aprovechamiento forrajero parcial de cultivos de cobertura en trigo bajo agricultura de conservación

Un segundo componente clave es el análisis del aprovechamiento de la biomasa de los cultivos de cobertura como forraje. En el estudio que se presenta como capítulo de este documento sobre el impacto económico del uso parcial de cultivos de cobertura para forraje en trigo bajo AC, se evaluó la rentabilidad mediante el indicador Relación Beneficio-Costo.

Para ello se compararon escenarios de las prácticas de agricultura tradicional y de conservación con distintos cultivos de cobertura, considerando tanto el ingreso por grano de trigo como el adicional por la biomasa forrajera.

2.5. Referencias de Revisión de Literatura

Agroptima. (2017). *Rentabilidad Agrícola*. 15. https://webcdn.agroptima.com/wp-content/uploads/2017/05/guia_rentabilidad_agroptima.pdf

Ai, C., Zhang, S., Zhang, X., Guo, D., Zhou, W., & Huang, S. (2018). Distinct responses of soil bacterial and fungal communities to changes in fertilization regime and crop rotation. *Geoderma*, 319, 156–166. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.010>

Andronov, E. E., Ivanova, E. A., Pershina, E. V., Orlova, O. V., Kruglov, Yu. V., Belimov, A. A., & Tikhonovich, I. A. (2015). Analysis of soil microbiome indicators in processes of soil formation, organic matter transformation and processes involved with fine regulation of vegetative processes. *Dokuchaev Soil Bulletin*, 80, 83–94. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2015-80-83-94>

Awika, J. M. (2011). *Major Cereal Grains Production and Use around the World* (pp. 1–13). <https://doi.org/10.1021/bk-2011-1089.ch001>

Ayala, A., Schwentesius, R., O-Olán, M., Preciado, P., Almaguer, G., & Rivas, P. (2013). Análisis de rentabilidad de la producción de maíz en la región de Tulancingo, Hidalgo, México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 10(4), 381–395.

Babin, D., Deubel, A., Jacquiod, S., Sørensen, S. J., Geistlinger, J., Grosch, R., & Smalla, K. (2019). Impact of long-term agricultural management practices on soil prokaryotic communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 129, 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.11.002>

Barrios Puente, G., Arisbeth, Hortiales, R., Sangerman-Jarquín, D. M., Soto, F. P., González López, M., & Muro, L. R. (2021). Estimación de la rentabilidad agrícola de las empresas rurales de la mixteca Oaxaqueña. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12, 1483–1495.

Bedano, J. C., Lavelle, P., & Zou, X. (2021). Soil biodiversity for the sustainability of agroecosystems. *Acta Oecologica*, 110, 103705. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2021.103705>

Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2010a). Principles of soil conservation and management. In *Principles of Soil Conservation and Management*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8709-7>

Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2010b). Principles of soil conservation and management. In *Principles of Soil Conservation and Management*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8709-7>

Calzarano, F., Stagnari, F., D'Egidio, S., Pagnani, G., Galieni, A., Di Marco, S., Metruccio, E. G., & Pisante, M. (2018). Durum Wheat Quality, Yield and Sanitary Status under Conservation Agriculture. *Agriculture*, 8(9), 140. <https://doi.org/10.3390/agriculture8090140>

Carbonetto, B., Rascovan, N., Álvarez, R., Mentaberry, A., & Vázquez, M. P. (2014). Structure, Composition and Metagenomic Profile of Soil Microbiomes Associated to Agricultural Land Use and Tillage Systems in Argentine Pampas. *PLoS ONE*, 9(6), e99949. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099949>

Castellano-Hinojosa, A., Strauss, S. L., González-López, J., & Bedmar, E. J. (2021). Changes in the diversity and predicted functional composition of the bulk and rhizosphere soil bacterial microbiomes of tomato and common bean after inorganic N-fertilization. *Rhizosphere*, 18, 100362. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100362>

Chamberlain, L. A., Bolton, M. L., Cox, M. S., Suen, G., Conley, S. P., & Ané, J.-M. (2020). Crop rotation, but not cover crops, influenced soil bacterial community composition in a corn-soybean system in southern Wisconsin. *Applied Soil Ecology*, 154, 103603. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103603>

Chen, X., Henriksen, T. M., Svensson, K., & Korsæth, A. (2020). Long-term effects of agricultural production systems on structure and function of the soil microbial community. *Applied Soil Ecology*, 147, 103387. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103387>

Daigh, A. L. M., Dick, W. A., Helmers, M. J., Lal, R., Lauer, J. G., Nafziger, E., Pederson, C. H., Strock, J., Villamil, M., Mukherjee, A., & Cruse, R. (2018). Yields

and yield stability of no-till and chisel-plow fields in the Midwestern US Corn Belt. *Field Crops Research*, 218, 243–253. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.04.002>

de Sousa, T., Ribeiro, M., Sabença, C., & Igrejas, G. (2021). The 10,000-Year Success Story of Wheat! *Foods*, 10(9), 2124. <https://doi.org/10.3390/foods10092124>

Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., & Hongwen, L. (2010). Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 3(1), 1–25. <https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.001-025>

Dhaka, V., & Khatkar, B. S. (2015). Effects of Gliadin/Glutelin and HMW-GS/LMW-GS Ratio on Dough Rheological Properties and Bread-Making Potential of Wheat Varieties. *Journal of Food Quality*, 38(2), 71–82. <https://doi.org/10.1111/jfq.12122>

Dong, W., Liu, E., Yan, C., Tian, J., Zhang, H., & Zhang, Y. (2017). Impact of no tillage vs. conventional tillage on the soil bacterial community structure in a winter wheat cropping succession in northern China. *European Journal of Soil Biology*, 80, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2017.03.001>

Dubcovsky, J., & Dvorak, J. (2007a). Genome Plasticity a Key Factor in the Success of Polyploid Wheat Under Domestication. *Science*, 316(5833), 1862–1866. <https://doi.org/10.1126/science.1143986>

Dubcovsky, J., & Dvorak, J. (2007b). Genome Plasticity a Key Factor in the Success of Polyploid Wheat Under Domestication. *Science*, 316(5833), 1862–1866. <https://doi.org/10.1126/science.1143986>

Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Soto-Ortiz, R., & Quistián-Martínez, D. (2024). Producción de biomasa de cultivos decobertura en plataforma de agricultura deconservación. In R. Torres-Ramos, A. Mendoza-Gómez, M. Beleño-Cabarcas, & A. Vázquez-Espinoza (Eds.), *Producción agrícola sustentable:estrategias biotecnológicas parael fortalecimiento de la seguridadalimentaria* (1st ed., pp. 13–21). Astra Editorial.

https://www.researchgate.net/publication/390438727_Produccion_de_biomasa_de_cultivos_de_cobertura_en_plataforma_de_agricultura_de_conservacion

Essel, E., Xie, J., Deng, C., Peng, Z., Wang, J., Shen, J., Xie, J., Coulter, J. A., & Li, L. (2019). Bacterial and fungal diversity in rhizosphere and bulk soil under different long-term tillage and cereal/legume rotation. *Soil and Tillage Research*, 194, 104302. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104302>

FAO. (2024). *Agricultura de conservación*. <https://www.fao.org/conservation-agriculture/es/>

FAO. (2025). *FAOSTAT*. <https://www.fao.org/statistics/es/>

Fierer, N., Wood, S. A., & Bueno de Mesquita, C. P. (2021). How microbes can, and cannot, be used to assess soil health. *Soil Biology and Biochemistry*, 153, 108111. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108111>

García-Zertuche, M. F., Sandoval-Rangel, A., Robledo-Torres, V., Benavides-Mendoza, A., Robledo-Olivo, A., & Cabrera-de la Fuente, M. (2021). Rentabilidad y rendimiento agronómico de lechuga acuapónica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 26, 119–130. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i26.2942>

Ghosh, B. N., Dogra, P., Sharma, N. K., Bhattacharyya, R., & Mishra, P. K. (2015). Conservation agriculture impact for soil conservation in maize–wheat cropping system in the Indian sub-Himalayas. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(2), 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.001>

Govaerts*, B., Verhulst*, N., Castellanos-Navarrete, A., Sayre, K. D., Dixon, J., & Dendooven, L. (2009). Conservation Agriculture and Soil Carbon Sequestration: Between Myth and Farmer Reality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(3), 97–122. <https://doi.org/10.1080/07352680902776358>

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

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

Huang, Q., Wang, J., Wang, C., & Wang, Q. (2019). The 19-years inorganic fertilization increased bacterial diversity and altered bacterial community composition and potential functions in a paddy soil. *Applied Soil Ecology*, 144, 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.07.009>

Kassam, A., Friedrich, T., & Derpsch, R. (2015). Overview of the global spread of conservation agriculture. *Sustainable Development of Organic Agriculture: Historical Perspectives*, 8(December), 53–68.

Khmelevtsova, L. E., Sazykin, I. S., Azhogina, T. N., & Sazykina, M. A. (2022). Influence of Agricultural Practices on Bacterial Community of Cultivated Soils. *Agriculture*, 12(3), 371. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030371>

Kim, N., Zabaloy, M. C., Guan, K., & Villamil, M. B. (2020). Do cover crops benefit soil microbiome? A meta-analysis of current research. *Soil Biology and Biochemistry*, 142, 107701. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107701>

Kumar, U., Kumar Nayak, A., Shahid, M., Gupta, V. V. S. R., Panneerselvam, P., Mohanty, S., Kaviraj, M., Kumar, A., Chatterjee, D., Lal, B., Gautam, P., Tripathi, R., & Panda, B. B. (2018). Continuous application of inorganic and organic fertilizers over 47 years in paddy soil alters the bacterial community structure and its influence on rice production. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 262, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.04.016>

Lei, S., Xu, X., Cheng, Z., Xiong, J., Ma, R., Zhang, L., Yang, X., Zhu, Y., Zhang, B., & Tian, B. (2019). Analysis of the community composition and bacterial diversity of the rhizosphere microbiome across different plant taxa. *MicrobiologyOpen*, 8(6). <https://doi.org/10.1002/mbo3.762>

Leite, H. M. F., Calonego, J. C., Rosolem, C. A., Mendes, L. W., de Moraes, L. N., Grotto, R. M. T., Araujo, F. F., Pereira, A. P. de A., Melo, V. M. M., & Araujo, A. S.

- F. (2021). Cover crops shape the soil bacterial community in a tropical soil under no-till. *Applied Soil Ecology*, 168, 104166. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104166>
- Li, G., Zhang, M., & Wu, C. (2021). Short-term fallow practices drive soil bacterial community changes: A case study from China. *Applied Soil Ecology*, 165, 103988. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103988>
- Li, H., Gao, H., Wu, H., Li, W., Wang, X., & He, J. (2007). Effects of 15 years of conservation tillage on soil structure and productivity of wheat cultivation in northern China. *Soil Research*, 45(5), 344. <https://doi.org/10.1071/SR07003>
- Li, M., He, P., Guo, X.-L., Zhang, X., & Li, L.-J. (2021). Fifteen-year no tillage of a Mollisol with residue retention indirectly affects topsoil bacterial community by altering soil properties. *Soil and Tillage Research*, 205, 104804. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104804>
- Li, P., Liu, M., Ma, X., Wu, M., Jiang, C., Liu, K., Liu, J., & Li, Z. (2020). Responses of microbial communities to a gradient of pig manure amendment in red paddy soils. *Science of The Total Environment*, 705, 135884. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135884>
- Lopes, L. D., & Fernandes, M. F. (2020). Changes in microbial community structure and physiological profile in a kaolinitic tropical soil under different conservation agricultural practices. *Applied Soil Ecology*, 152, 103545. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103545>
- Lorenzetti, L. A., & Fiorini, A. (2024). Conservation Agriculture Impacts on Economic Profitability and Environmental Performance of Agroecosystems. *Environmental Management*, 73(3), 532–545. <https://doi.org/10.1007/s00267-023-01874-1>
- Lupwayi, N. Z., Janzen, H. H., Bremer, E., Smith, E. G., Kanashiro, D. A., Eastman, A. H., & Petri, R. M. (2021). The core soil bacterial genera and enzyme activities in incubated soils from century-old wheat rotations. *Geoderma*, 404, 115275. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115275>

- Lupwayi, N. Z., May, W. E., Kanashiro, D. A., & Petri, R. M. (2018). Soil bacterial community responses to black medic cover crop and fertilizer N under no-till. *Applied Soil Ecology*, 124, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.11.003>
- Madarász, B., Járási, É. Z., Jakab, G., Szalai, Z., & Ladányi, M. (2025). Economic comparison of conventional and conservation tillage in a long-term experiment: Is it worth shifting? *International Soil and Water Conservation Research*, 13(3), 501–510. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2025.02.012>
- Magar, S. T., Timsina, J., Devkota, K. P., Weili, L., & Rajbhandari, N. (2022). Conservation agriculture for increasing productivity, profitability and water productivity in rice-wheat system of the Eastern Gangetic Plain. *Environmental Challenges*, 7, 100468. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100468>
- Melero, S., Panettieri, M., Madejón, E., Macpherson, H. G., Moreno, F., & Murillo, J. M. (2011). Implementation of chiselling and mouldboard ploughing in soil after 8 years of no-till management in SW, Spain: Effect on soil quality. *Soil and Tillage Research*, 112(2), 107–113. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.12.001>
- Milkereit, J., Geisseler, D., Lazicki, P., Settles, M. L., Durbin-Johnson, B. P., & Hodson, A. (2021). Interactions between nitrogen availability, bacterial communities, and nematode indicators of soil food web function in response to organic amendments. *Applied Soil Ecology*, 157, 103767. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103767>
- Molina, O. (2017). Rentabilidad de la producción agrícola desde la perspectiva de los costos reales *Visión General*, 16(2), 217–232. <https://www.redalyc.org/journal/4655/465552407013/465552407013.pdf>
- Nayak, H. S., Mkondiwa, M., Patra, K., Sarkar, A., Reddy, K. S., Kumar, P., Bharadwaj, S., Singh, R., & Parihar, C. M. (2025). Risk-return trade-offs in diversified cropping systems under conservation agriculture: Evidence from a 14-year long-term field experiment in north-western India. *European Journal of Agronomy*, 162(November 2024), 127436. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127436>

Nelkner, J., Henke, C., Lin, T. W., Pätzold, W., Hassa, J., Jaenicke, S., Grosch, R., Pühler, A., Sczyrba, A., & Schlüter, A. (2019). Effect of Long-Term Farming Practices on Agricultural Soil Microbiome Members Represented by Metagenomically Assembled Genomes (MAGs) and Their Predicted Plant-Beneficial Genes. *Genes*, *10*(6), 424. <https://doi.org/10.3390/genes10060424>

Nevins, C. J., Nakatsu, C., & Armstrong, S. (2018). Characterization of microbial community response to cover crop residue decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, *127*, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.09.015>

Nikitin, D. A., Ivanova, E. A., Zhelezova, A. D., Semenov, M. V., Gadzhumarov, R. G., Tkhakakhova, A. K., Chernov, T. I., Ksenofontova, N. A., & Kutovaya, O. V. (2020). Assessment of the Impact of No-Till and Conventional Tillage Technologies on the Microbiome of Southern Agrochernozems. *Eurasian Soil Science*, *53*(12), 1782–1793. <https://doi.org/10.1134/S106422932012008X>

Page, K. L., Dang, Y. P., Dalal, R. C., Reeves, S., Thomas, G., Wang, W., & Thompson, J. P. (2019). Changes in soil water storage with no-tillage and crop residue retention on a Vertisol: Impact on productivity and profitability over a 50 year period. *Soil and Tillage Research*, *194*, 104319. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104319>

Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., & Grace, P. (2014). Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *187*, 87–105. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.010>

Peña, R. J., Trethowan, R., Pfeiffer, W. H., & Ginkel, M. Van. (2002). Quality (End-Use) Improvement in Wheat. *Journal of Crop Production*, *5*(1–2), 1–37. https://doi.org/10.1300/J144v05n01_02

Peng, J. H., Sun, D., & Nevo, E. (2011). Domestication evolution, genetics and genomics in wheat. *Molecular Breeding*, *28*(3), 281–301. <https://doi.org/10.1007/s11032-011-9608-4>

Pittelkow, C. M., Linnquist, B. A., Lundy, M. E., Liang, X., van Groenigen, K. J., Lee, J., van Gestel, N., Six, J., Venterea, R. T., & van Kessel, C. (2015). When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field Crops Research*, *183*, 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.020>

Pla, I. (2014a). Advances in soil conservation research: challenges for the future. *Spanish Journal of Soil Science*, *4*(3), 265–282. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2014.V4.N3.05>

Pla, I. (2014b). Advances in soil conservation research: challenges for the future. *Spanish Journal of Soil Science*, *4*(3), 265–282. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2014.V4.N3.05>

Ramos Montes, R., & Banda Ortiz, H. (2025). El impacto de las crisis en el sector agrícola mexicano. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *9*(1), 12406–12434. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.16823

Reynolds, M. P., & Braun, H.-J. (Eds.). (2022). *Wheat Improvement*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-90673-3>

Rincon-Florez, V. A., Carvalhais, L. C., Dang, Y. P., Crawford, M. H., Schenk, P. M., & Dennis, P. G. (2020). Significant effects on soil microbial communities were not detected after strategic tillage following 44 years of conventional or no-tillage management. *Pedobiologia*, *80*, 150640. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2020.150640>

Saldivia-Tejeda, A., Uribe-Guerrero, M. Á., Rojas-Cruz, J. M., Guera, O. G. M., Verhulst, N., & Fonteyne, S. (2024). Conservation agriculture enhances maize yields and profitability in Mexico's semi-arid highlands. *Scientific Reports*, *14*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80928-8>

Santillano-Cázares, J., Núñez-Ramírez, F., Ruíz-Alvarado, C., Cárdenas-Castañeda, M. E., & Ortiz-Monasterio, I. (2018). Assessment of Fertilizer Management Strategies Aiming to Increase Nitrogen Use Efficiency of Wheat Grown Under Conservation Agriculture. *Agronomy*, *8*(12), 304. <https://doi.org/10.3390/agronomy8120304>

Schlatter, D. C., Kahl, K., Carlson, B., Huggins, D. R., & Paulitz, T. (2020). Soil acidification modifies soil depth-microbiome relationships in a no-till wheat cropping system. *Soil Biology and Biochemistry*, *149*, 107939. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107939>

Schmid, C. A. O., Schröder, P., Armbruster, M., & Schloter, M. (2018). Organic Amendments in a Long-term Field Trial—Consequences for the Bulk Soil Bacterial Community as Revealed by Network Analysis. *Microbial Ecology*, *76*(1), 226–239. <https://doi.org/10.1007/s00248-017-1110-z>

Schoijet, M. (2005). *Desertificación y tormentas de arena*.

Semenov, M. V., Krasnov, G. S., Semenov, V. M., Ksenofontova, N., Zinyakova, N. B., & van Bruggen, A. H. C. (2021). Does fresh farmyard manure introduce surviving microbes into soil or activate soil-borne microbiota? *Journal of Environmental Management*, *294*, 113018. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113018>

Semenov, M. V., Krasnov, G. S., Semenov, V. M., & van Bruggen, A. H. C. (2020). Long-term fertilization rather than plant species shapes rhizosphere and bulk soil prokaryotic communities in agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, *154*, 103641. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103641>

Shen, J., Tao, Q., Dong, Q., Luo, Y., Luo, J., He, Y., Li, B., Li, Q., Xu, Q., Li, M., Guo, L., Cai, Y., Tang, X., Zhao, J., Li, H., & Wang, C. (2021). Long-term conversion from rice-wheat to rice-vegetable rotations drives variation in soil microbial communities and shifts in nitrogen-cycling through soil profiles. *Geoderma*, *404*, 115299. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115299>

Shewry, P. (2012). The World Wheat Book, Volume 2. A History of Wheat Breeding. *Journal of Cereal Science*, *55*(1), 77–78. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.10.001>

Somenahally, A., DuPont, J. I., Brady, J., McLawrence, J., Northup, B., & Gowda, P. (2018). Microbial communities in soil profile are more responsive to legacy effects of wheat-cover crop rotations than tillage systems. *Soil Biology and Biochemistry*, *123*, 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.04.025>

Souza, R. C., Mendes, I. C., Reis-Junior, F. B., Carvalho, F. M., Nogueira, M. A., Vasconcelos, A. T. R., Vicente, V. A., & Hungria, M. (2016). Shifts in taxonomic and functional microbial diversity with agriculture: How fragile is the Brazilian Cerrado? *BMC Microbiology*, *16*(1), 42. <https://doi.org/10.1186/s12866-016-0657-z>

Tian, W., Wang, L., Li, Y., Zhuang, K., Li, G., Zhang, J., Xiao, X., & Xi, Y. (2015). Responses of microbial activity, abundance, and community in wheat soil after three years of heavy fertilization with manure-based compost and inorganic nitrogen. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *213*, 219–227. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.08.009>

Town, J. R., Gregorich, E. G., Drury, C. F., Lemke, R., Phillips, L. A., & Helgason, B. L. (2022). Diverse crop rotations influence the bacterial and fungal communities in root, rhizosphere and soil and impact soil microbial processes. *Applied Soil Ecology*, *169*, 104241. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104241>

Venske, E., dos Santos, R. S., Busanello, C., Gustafson, P., & Costa de Oliveira, A. (2019). Bread wheat: a role model for plant domestication and breeding. *Hereditas*, *156*(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s41065-019-0093-9>

Verhulst, N., Francois, I., & Govaerts, B. (2015). *¿Qué es la agricultura de conservación?* CIMMYT.

Wang, H., He, X., Zhang, Z., Li, M., Zhang, Q., Zhu, H., Xu, S., & Yang, P. (2021). Eight years of manure fertilization favor copiotrophic traits in paddy soil microbiomes. *European Journal of Soil Biology*, *106*, 103352. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2021.103352>

Wilhelm, R. C., van Es, H. M., & Buckley, D. H. (2022). Predicting measures of soil health using the microbiome and supervised machine learning. *Soil Biology and Biochemistry*, *164*, 108472. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108472>

Xia, X., Zhang, P., He, L., Gao, X., Li, W., Zhou, Y., Li, Z., Li, H., & Yang, L. (2019). Effects of tillage managements and maize straw returning on soil microbiome using 16S rDNA sequencing. *Journal of Integrative Plant Biology*, *61*(6), 765–777. <https://doi.org/10.1111/jipb.12802>

- Yeager, E., Tomlinson, P., Fontes, G. P., Grunberg, J., Dille, J. A., Arnet, K., & Roozeboom, K. (2025). Cover crops, double-crop soybean, and nitrogen rates affect productivity and profitability of a no-till rotation. *Agronomy Journal*, 117(2). <https://doi.org/10.1002/agj2.70037>
- Yépez, M., Cedeño, A., & Mera, C. (2022). Rentabilidad económica empresarial, análisis de costos caso Martagua S.A., Montecristi Ecuador. *Polo Del Conocimiento*, 7(2550-682X), 1806–1825. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i7>
- Young, I. M., & Ritz, K. (2000). Tillage, habitat space and function of soil microbes. *Soil and Tillage Research*, 53(3–4), 201–213. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00106-3](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00106-3)
- Zhang, Z., Liang, S., Wang, J., Zhang, X., Mahamood, M., Yu, J., Zhang, X., Liang, A., & Liang, W. (2018). Tillage and crop succession effects on soil microbial metabolic activity and carbon utilization in a clay loam soil. *European Journal of Soil Biology*, 88, 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2018.07.006>
- Zhou, J., Guan, D., Zhou, B., Zhao, B., Ma, M., Qin, J., Jiang, X., Chen, S., Cao, F., Shen, D., & Li, J. (2015). Influence of 34-years of fertilization on bacterial communities in an intensively cultivated black soil in northeast China. *Soil Biology and Biochemistry*, 90, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.07.005>
- Zhu, X. C., Sun, L. Y., Song, F. B., Liu, S. Q., Liu, F. L., & Li, X. N. (2018). Soil microbial community and activity are affected by integrated agricultural practices in China. *European Journal of Soil Science*, 69(5), 924–935. <https://doi.org/10.1111/ejss.12679>

Objetivo específico 1 y 2 – Artículo enviado a revista TERRA

Latinoamericana

CAPÍTULO 2: AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN: IMPACTO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO Y RENDIMIENTO DE TRIGO EN EL VALLE DE MEXICALI

RESUMEN

La agricultura de conservación (AC) ha surgido como una alternativa sostenible a la labranza convencional, con el objetivo de mejorar la calidad del suelo y mantener la productividad de los cultivos en condiciones áridas. Este estudio evaluó los efectos de la AC sobre el rendimiento del trigo (*Triticum aestivum* L.) y las propiedades del suelo en el Valle de Mexicali, Baja California. Se realizó un experimento en campo incluyendo la AC y la labranza tradicional como tratamientos. La labranza tradicional comprendió rastreo, grada, siembra y fertilización mecanizada, seguida de periodos de barbecho; mientras que la AC consistió en una mínima alteración del suelo, cobertura permanente con residuos de trigo y cultivos de cobertura (*Sesbania* spp., *Crotalaria juncea*, *Vigna radiata*) establecidos de julio a septiembre de 2023. Los resultados indicaron que los rendimientos de trigo bajo AC fueron comparables a los de la agricultura convencional, alcanzando hasta 7.36 t ha^{-1} , sin diferencia estadística entre variedades, sin embargo, la variedad cristalina (DON LUPE ORO C2020), si presentó mayor producción para el primer ciclo de AC vs lo producido con prácticas tradicionales. El análisis del suelo mostró mejoras notables con AC, incluyendo un aumento del 17% en materia orgánica, 11% más en el porcentaje de saturación, reducciones significativas en la densidad aparente y una mayor proporción de macro agregados. Estos hallazgos destacan el potencial de la AC para mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo sin comprometer el rendimiento en regiones áridas del norte de México, aunque su adopción más amplia sigue limitada por desafíos socioeconómicos y agronómicos, lo que resalta la necesidad de políticas y programas de apoyo dirigidos a los productores.

Palabras clave: cultivos de cobertura; erosión de suelos; mejora de suelos.

SUMMARY

Conservation agriculture (CA) has emerged as a sustainable alternative to conventional tillage, aiming to improve soil quality and maintain crop productivity under arid conditions. This study evaluated the effects of CA on wheat yield (*Triticum aestivum* L.) and soil properties in the Mexicali Valley, Baja California. A field experiment was conducted including CA and traditional tillage as treatments. Traditional tillage involved harrowing, leveling, sowing, and mechanized fertilization, followed by fallow periods; whereas CA consisted of minimal soil disturbance, permanent cover with wheat residues, and cover crops (*Sesbania* spp., *Crotalaria juncea*, *Vigna radiata*) established from July to September 2023. Results indicated that wheat yields under CA were comparable to those obtained under conventional tillage, reaching up to 7.36 t ha⁻¹, with no significant differences between varieties; however, the durum variety (DON LUPE ORO C2020) exhibited higher production in the first CA cycle compared with traditional management. Soil analysis revealed notable improvements under CA, including a 17% increase in organic matter, an 11% increase in saturation percentage, significant reductions in bulk density, and a higher proportion of macroaggregates. These findings highlight the potential of CA to improve the physicochemical properties of soil without compromising yield in arid regions of northern Mexico, although its broader adoption remains constrained by socioeconomic and agronomic challenges, underscoring the need for targeted policies and support programs for producers.

Index words: *Cover crops, Soil erosion, Soil improvement.*

INTRODUCCIÓN

Las necesidades sociales, políticas e industriales, en conjunto con el avance de la tecnología han logrado la evolución de los conocimientos y las prácticas agrícolas, generando lo que hoy conocemos como “agricultura intensiva” (González - Jacome, Del Amo-Rodríguez y Urri-García (2007); y Cuadras-Berrelleza, Peinado-Guevara, Peinado-Guevara, López-López, Barrientos (2021)).

Este modelo de producción, el más utilizado para abastecer de alimentos a las poblaciones, se caracteriza por el uso de diversas prácticas intensivas: aplicación de fertilizantes inorgánicos, biofertilizantes o abonos naturales; empleo de semillas criollas, mejoradas, certificadas y transgénicas; utilización de herbicidas e insecticidas tanto químicos como orgánicos; tránsito frecuente de tractores y maquinaria agrícola para el laboreo intensivo del suelo; monitoreo constante del estado nutricional mediante análisis de suelo; así como la obtención de certificaciones que otorgan valor agregado en el mercado, tales como las de producción orgánica.

A causa de esto se han generado problemáticas socio – ambientales, entre ellas, el daño en la biodiversidad por el uso desmedido de agroquímicos en aguas subterráneas y costas, mayores emisiones de gases de efecto invernadero, un incremento en el uso del agua en la agricultura, la degradación de los suelos y altos costos de producción y endeudamiento en créditos agrícolas (Peinado - Guevara et al., 2015; Martínez Valenzuela et al., 2019; Cuadras-Berrelleza et al., 2021).

La degradación de los suelos se asocia principalmente, al concepto de erosión, definido por Foth (1970) y Blanco-Canqui & Lal (2010) como el desgaste o destrucción natural producido en la superficie terrestre por la fricción continua del viento, el agua, maquinaria agrícola y uso indiscriminado de químicos, acelerado por la actividad del hombre y su grado de avance se mide con diversas propiedades físicas, químicas y biológicas.

Diversos actores participan activamente para revertir y disminuir el avance en procesos de erosión del suelo, un ejemplo es La Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) la cual, define y promueve la agricultura de conservación como un sistema de producción de cultivos que previene la erosión y regenera los suelos agrícolas (FAO, 2024). Esta metodología en beneficio de la conservación del agua y el suelo ha tomado relevancia décadas después a los eventos del “Dust bowl” fenómeno meteorológico que ocurrió en el periodo de 1930 a 1936, en el cual tormentas de arenas dañaron la producción agrícola y la biodiversidad de la región del centro de los Estados Unidos de América

(Hobbs, Sayre, Gupta, 2008). La intensidad de las tormentas, aunado a las prácticas de agricultura intensiva (el cambio de uso de suelo de pastoreo a intensivo, el monocultivo, el diseño de surcos en la dirección del viento, eliminación del césped nativo), las sequías y el carácter irregular de las lluvias permitieron la libre acción destructiva de los vientos lo que dio lugar a la creencia de que "la lluvia sigue al arado", lo que obviamente, resultó falso (Schoijet, 2005; Pla, 2014). Desde entonces y de la mano de diversos investigadores y de instituciones nacionales e internacionales (Hobbs, Sayre y Gupta., 2008; Blanco-Canqui & Lal, 2010; Pittelkow et al., 2015; Verhulst, Francois y Govaerts, 2015; Page et al., 2019) se han estudiado ampliamente los efectos de los principios que involucran prácticas de conservación que han ido evolucionado hasta tener un enfoque regenerativo, investigando la interrelación de los tres principios de la agricultura de conservación y sus beneficios:

1. Mínima alteración mecánica del suelo utilizando labranza cero, sembrando directamente en camas preparadas sobre los residuos de cultivos anteriores obteniendo como beneficios: evitar la compactación y encostre del suelo, reducir el efecto de erosión, la producción de gases de efecto invernadero y mejorando la estructura y la fertilidad del suelo.

2. Diversificación o rotación de cultivos, es decir, sembrar de manera intercalada cultivos de interés económico o bien, de beneficio biológico en un manejo integrado de plagas y procesos de fertilización como uso de cultivos trampa para evitar plagas de interés y disminuir el uso de pesticidas y el uso leguminosas para promover la fijación biológica de nitrógeno atmosférico, trayendo como beneficios la reducción de plagas y enfermedades por interferir en sus ciclos de vidas, control de malezas, distribución de nutrientes en la capa arable del suelo, reducción de pérdidas económicas por riesgos climatológicos y económicos asociadas al monocultivo, balance de producción de residuos.

3. Cobertura del suelo con residuos vegetales del cultivo anterior, el uso de cultivos de cobertura o combinación de ambos proporciona mayor infiltración de agua y retención de humedad en el suelo, reduce la evaporación, mantiene la temperatura

del suelo estables y da estructura con respecto al espacio poroso y hay un aumento en la concentración de materia orgánica.

Las políticas públicas actuales del gobierno de México, en las directrices del Plan Nacional Hídrico que corresponde del año 2024-2030, propone la tecnificación de más de 200 mil hectáreas para la optimización del uso de agua de riego, un Programa Nacional de Descanso de Tierras y se promueven constantemente prácticas sostenibles para el mejoramiento de suelos como la labranza mínima, la rotación de cultivos y la cobertura de suelos (CONAGUA, 2024). Sin embargo, estas últimas propuestas distan mucho de haber sido probadas en cada región agrícola de México, por lo que, el paradigma actual de la producción agrícola sólo es puesto a prueba por investigadores en centros de investigación y universidades, sin resultados palpables que puedan motivar a la adopción de los principios de la agricultura de conservación, ya que esta última genera debates en cuanto a los efectos en el rendimiento y su aplicabilidad en diferentes contextos (Pittelkow et al., 2015a).

El objetivo de este trabajo fue la evaluación de la implementación de los principios de la agricultura de conservación en la región agrícola del Valle de Mexicali, Baja California en términos de rendimiento y cambios en las características físicas y químicas del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se emplearon dos variedades de trigo harinero y cristalino de nombre CIANO M 2018 y DON LUPE ORO C 2020 (*Triticum aestivum* L y *Triticum durum* L), respectivamente, de reciente liberación y proporcionadas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Como cultivo de cobertura, se utilizaron tres especies leguminosas *Sesbania spp* (sesbania), *Crotalaria juncea* (crotalaria) y *Vigna radiata* (mungo).

Establecimiento del ensayo de campo

El experimento se llevó a cabo en la parcela experimental del Centro de Bachillerato Tecnológico y Agropecuario N°41 ubicado en el ejido Benito Juárez en el Valle de Mexicali con las siguientes coordenadas: 33°33'35.2" N y 115°01'28.6" W a una altitud de 15 msnm y tuvo una duración de dos años, descritos a continuación:

Año 0 de agricultura de conservación. El año cero consistió en definir las condiciones permanentes de la plataforma, así como la distribución de los tratamientos (Figura 1) de la siguiente manera (Espinoza-Alonso et al., 2024a): Limpieza del predio (7,200 m²), nivelación del suelo, formación de los canales de riego (que no tendrían movimiento del suelo una vez transcurrido este primer ciclo). De este modo, se formaron 12 parcelas de 6 x 100 m (600 m²), considerándose cada una como una unidad experimental; ambas variedades fueron distribuidas de manera aleatoria e intercaladas entre sí (seis parcelas por variedad). Las variedades trigo fueron sembradas con ocho líneas de salida, a chorrillo y en plano con una sembradora John Deere® modelo BD1108, con una densidad de semilla de 200 kg ha⁻¹ (400 plantas m²), al mismo tiempo, se fertilizó con urea (46-00-00) y fosfato monoamónico (11-52-00) con una relación 90:10 hasta obtener una dosis total de 200 kg de nitrógeno. Se aplicaron cinco riegos (germinación y cuatro riegos de auxilio). Posterior al riego de germinación, se realizó el control de maleza con fluoroxipir y pinoxaden (Sigma Forte ®). El riego de germinación se llevó a cabo el 22 de diciembre del 2022 y el cultivo se cosechó el 26 de mayo de 2023.

Posterior a la cosecha de trigo, y dentro de la consideración del año cero, se eligieron de forma aleatoria seis parcelas para permanecer en un periodo de barbecho de siete meses, es decir, siguiendo el método de agricultura tradicional (AT), mientras que en las otras seis parcelas se asignaron los cultivos de cobertura (agricultura de conservación, AC) de forma aleatoria (dos parcelas por cultivo de cobertura: sesbania, crotalaria y mungo).

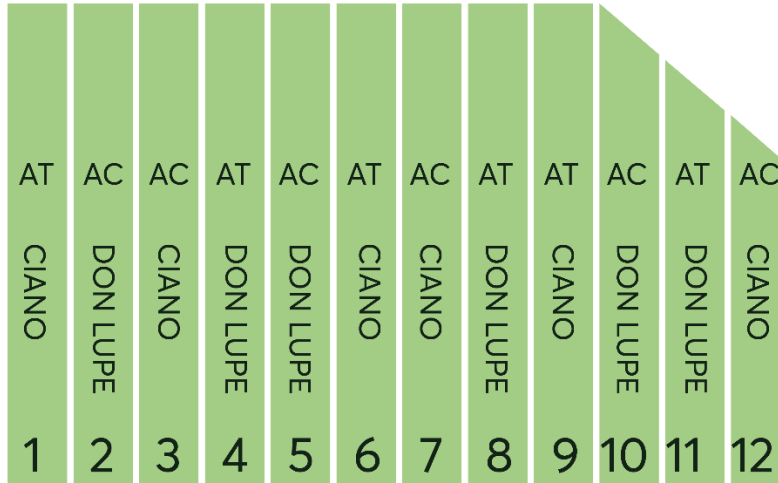


Figura 1. Distribución de tratamientos en las unidades experimentales

La sesbania y crotalaria, se sembraron con una densidad de 40 kg ha⁻¹ y mungo a 20 kg ha⁻¹; las tres especies recibieron un riego de germinación y dos de auxilio a los 24 y 32 días después de la siembra (dds), el cultivo se desarrolló sin manejo de fertilización, malezas o plagas. A los 60 dds, se realizó el corte de los cultivos de cobertura y se incorporaron al suelo aprovechando el mismo paso de maquinaria agrícola, el suelo permaneció en barbecho hasta la siguiente siembra de trigo en diciembre del año 2023.

Primer año de agricultura de conservación. El 7 de diciembre de 2023, sin previa preparación de suelo y con el resto de la paja de trigo y de los cultivos de cobertura, se sembró trigo empleando la misma densidad de siembra, dosis de fertilización, herbicida, y número de riegos. La cosecha se realizó el 13 de mayo de 2024.

Variables de interés

Características del suelo. Se obtuvieron dos muestras de suelo por parcela, una al inicio y otra al final del experimento empleando el método de zig-zag (Rodríguez – Fuentes, 2017). Los análisis de suelo fueron realizados en el laboratorio de Agua y Suelo del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC). Las variables físicas y químicas evaluadas fueron: pH,

conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, relación agua-sodio, porcentaje de sodio intercambiable, materia orgánica, porcentaje de saturación, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, humedad, densidad aparente, proporción de partículas del suelo, cationes (calcio, magnesio y sodio), aniones (bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato y fosfato).

Variables productivas: Se consideraron como variables productivas, el rendimiento y la calidad del grano. El rendimiento ($t\ ha^{-1}$) se obtuvo para las variedades harinera (CIANO M 2018) y cristalina (DON LUPE ORO C 2020) para ambos años (año 1 y 0) (Espinoza-Alonso et al., 2024a) Para la determinación de la calidad del grano se consideraron el peso hectolítrico, porcentaje de proteína y humedad del grano cosechado por m^2 procesados en un equipo Aquamatic AM5200 Perten®.

Variables climáticas: Se determinaron las horas frío y unidades calor empleando la herramienta informática “SIMAR BC” (Disponible en <http://apps.sedagro.gob.mx/simarbc>) utilizando la estación climatológica Andrade por ser la más cercana al sitio de experimentación, el periodo de consulta de las variables fue del 22 de diciembre de 2022 al 25 de mayo de 2023, y del 13 de diciembre de 2023 al 13 de mayo de 2024.

Análisis estadístico

Las variables de interés fueron analizadas empleando una prueba de t para muestras pareadas. Los análisis se realizaron con el programa estadístico R versión 4.3.1 (R Core Team, 2023) utilizando el paquete Rcmdr (Fox et al., 2024). Se declaró significancia a un nivel de probabilidad menor a 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Año cero

Las variedades de trigo establecidas en el año cero para esta plataforma de agricultura de conservación, tuvieron buen desempeño en el Valle de Mexicali,

siendo competitivo contra la media de la región de 6.0 t ha⁻¹ (SIAP, 2022), la variedad harinera y cristalina tuvieron un rendimiento 6.38 y 5.6 t ha⁻¹, respectivamente. Además de esto, en esta temporada invernal 2022-2023 se contabilizaron 1419 horas frío, observándose una disminución de 307 horas en comparación con los últimos 15 años, haciendo evidente los efectos del calentamiento global sobre el proceso de vernalización de este cultivo, de producción de macollos y por ende del rendimiento (Espinoza-Alonso et al., 2024a).

Cultivos de cobertura

Los cultivos de cobertura que mostraron mayor producción de biomasa fueron la sesbania y el mungo, en comparación con crotalaria que mostró la menor producción de biomasa. Cabe mencionar que en estudios previos con las mismas especies (Espinoza-Alonso et al., 2024b), pudo observarse buena adaptación de estos cultivos a las condiciones de verano del Valle de Mexicali, con excepción del Mungo, en el que pudo observarse una disminución en su germinación y correcto desarrollo. Lo anterior, sugiere que la sesbania podría considerarse como la especie con mayor potencial como cultivo de cobertura en el Valle de Mexicali.

Primer año de agricultura de conservación

En este ciclo de producción, el sistema de información para el manejo de agua de riego de Baja California informó que se alcanzaron 527 horas frío a los 94 días después de la siembra (dds), tiempo en el que se registró el inicio de la etapa de floración. Estos resultados contrastan con las 734 horas frío registradas en el año cero en la misma cantidad de días transcurridos; la importancia en la acumulación de horas frío radica en la asociación que existe entre éstas y la capacidad de vernalización de este cultivo, la cual se define cómo la capacidad de una planta para florecer mediante la exposición a climas fríos (Springer, 2024), que en el caso del cultivo de trigo abre paso a la producción de mayor números de espigas afectando los rendimientos, en esta investigación estos se mantuvieron constantes probablemente como consecuencia de los cultivos de cobertura y los restos del cultivo anterior, generando microclimas, mayor humedad y mayor acumulación de horas frío dentro de la unidad experimental.

El rendimiento de trigo en el ciclo 2022-2023 fue de 7.36 y 6.59 t ha⁻¹ para la variedad harinera y cristalina, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre variedades; sin embargo, se observó una diferencia significativa ($P < 0.05$) dentro de la variedad Don Lupe entre el ciclo 2022-2023 y el ciclo 2023-2024; es decir, después de un año de practicar agricultura de conservación (Cuadro 1). Estudios como el de Pittelkow et al. (2015), después de comparar 600 estudios sobre los efectos de la mínima labranza concluyeron que en general estas metodologías impactan negativamente el rendimiento de los cultivos hasta un 7.5%, mientras que, en combinación con los otros dos principios de agricultura de conservación, estos efectos negativos son minimizados. En un estudio realizado por Sun et al. (2018), en donde se compararon distintos tipos de labranza, el monocultivo y la rotación de cultivos en una región semi árida de China, se obtuvo como resultado que el rendimiento del cultivo de trigo de invierno, en rotación con cultivo de maíz sembrado en primavera en conjunto con prácticas de agricultura de conservación, obtuvo un incremento del 21% en el rendimiento en comparación con el monocultivo de trigo mediante agricultura convencional, y un incremento del 6.4% cuando se comparó la mínima labranza vs agricultura tradicional. Este efecto positivo para la mínima labranza en comparación con la agricultura convencional se observó sólo cuando en los ciclos de producción se presentaron menos precipitaciones, reforzando la hipótesis de la generación de microclimas y la mayor retención de agua en el suelo gracias a la reducción del paso de maquinaria agrícola.

Cuadro 1. Rendimiento de variedades probadas en el estudio en los ciclos 2022-2023 y 2023-2024

Ciclo	Variedad	Rendimiento (t ha ⁻¹)
Año 0	CIANO M2018	6.52 ^a
Año 1	CIANO M2018	6.59 ^a
Año 0	DON LUPE ORO C2020	6.43 ^b
Año 1	DON LUPE ORO C2020	7.36 ^a

En otro estudio realizado por Magar, Timsina, Devkota, Weli y Rajbhandari (2022), en la región de la llanura Gangética Oriental, donde se produce arroz por inundación, se observó un cambio de paradigma en su proceso de producción gracias a la introducción de prácticas de la agricultura de conservación, teniendo mejores rendimientos cuando se rotaron los cultivos de arroz y trigo, permitiendo tener mayor estabilidad en el rendimiento y en el beneficio neto al disminuir los costos de producción y una mejor productividad en el uso del agua de riego.

Los efectos en el rendimiento en diversos cultivos como trigo, maíz, frijol y asociaciones entre ellos, cuando se contrastan con las prácticas tradicionales de la agricultura varían entre un 10 hasta un 47% en plataformas a largo plazo (Erenstein, Sayre, Wall, Hellin y Dixon, 2012; Ghosh, Dogra, Sharma, Bhattacharyya y Bhattacharyya, 2015; Pittelkow et al., 2015 y Calzarano et al., 2018).

Efectos edáficos de agricultura de conservación

Propiedades químicas del suelo.

Las propiedades químicas del suelo en general no tuvieron cambios estadísticamente significativos (Cuadro 2), con excepción del contenido de materia orgánica, en donde se observó que las prácticas de agricultura de conservación resultaron en valores superiores respecto a las prácticas agrícolas tradicionales. Sin embargo, el contenido de materia orgánica fue similar al valor obtenido al inicio del experimento, es decir, previo al establecimiento de algún cultivo en el terreno agrícola, lo que indica que la agricultura de conservación en el primer año de implementar esta práctica ayudó a que no se perdiera materia orgánica como sucedió con la agricultura tradicional (Figura 2).

Estos resultados no concuerdan con lo obtenido por Nthebere et al., (2025), quienes después de evaluar el contenido de carbono orgánico y nutrientes en el suelo bajo un sistema de agricultura de conservación con rotación algodón–maíz–*Sesbania rostrata*, en comparación con prácticas convencionales (algodón y maíz seguidos de barbecho), encontraron que las prácticas de conservación promovieron un

incremento del 15% en el secuestro de carbono orgánico, así como aumentos de 15.1% en nitrógeno y de 19.6% en fósforo disponible, además de registrar una tasa de estratificación de nutrientes de 1.2 entre la capa arable y una profundidad de 30 cm.

Cuadro 2. Medias de las propiedades químicas del suelo por tipo de agricultura

Tipo de agricultura	pH	Conductividad (dS m ⁻¹)	SDT (mg L ⁻¹)	RAS	PSI (%)	MO (%)
Agricultura de conservación	8.34 ^a	1.70 ^a	1175.83 ^a	1.77 ^a	1.33 ^a	0.97 ^a
Agricultura tradicional	8.39 ^a	1.62 ^a	1146.50 ^a	2.45 ^a	2.28 ^a	0.83 ^b
Año cero	8.48 ^a	2.22 ^a	1474.00 ^a	1.70 ^a	1.20 ^a	1.02 ^a

pH-potencial de hidrógeno; SDT-Sólidos disueltos totales; RAS-Relación agua suelo: PSI - Porcentaje de sodio intercambiable; MO-Materia orgánica.

^{a, b} Literales diferentes en la misma columna representan diferencia significativa ($p < 0.05$)

A pesar de que en la mayoría de los estudios donde se evalúa la agricultura de conservación, el pH se ve disminuido en la parte superficial de los suelos, explicado por la acumulación y descomposición de materia orgánica en el suelo, además de la retención de fertilizantes ya que estos se aplican de manera superficial a diferencia de cuando se utiliza la metodología tradicional (Verhulst et al., 2015); dichos resultados no fueron evidentes en el presente estudio; esto quizá a que solo se evaluó el suelo a un año de practicar la agricultura de conservación y el campo agrícola en el que se realizó el experimento requiera un poco más tiempo para poder apreciar dicho cambio.

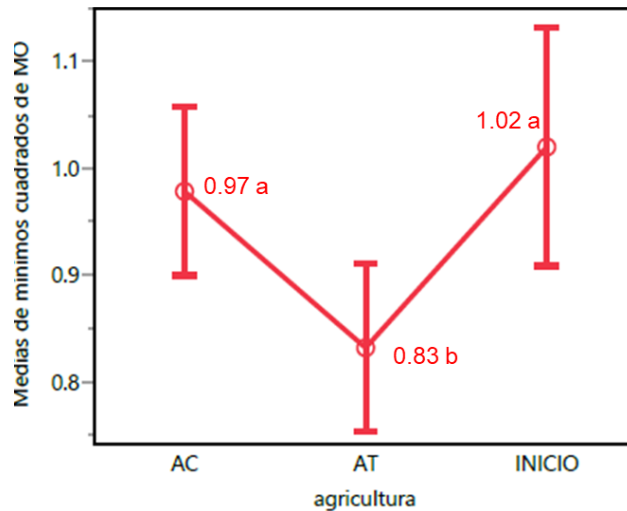


Figura 2. Comparación de medias de la variable materia orgánica en función del tipo de agricultura.

Propiedades físicas del suelo

Dentro de las propiedades físicas, las variables saturación y densidad aparente mostraron diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 3). Los resultados obtenidos en este estudio muestran que las variables físicas del suelo, asociadas a la distribución de poros y a la retención de humedad disponible para las plantas, presentaron diferencias estadísticas significativas. En particular, el porcentaje de saturación fue mayor bajo agricultura de conservación (44.6%) en comparación con las prácticas tradicionales (40.41%). Asimismo, la densidad aparente mostró una disminución en la agricultura de conservación, con valores de 1.48 g cm^{-3} frente a 1.68 g cm^{-3} en los tratamientos convencionales (Figura 3). Estos hallazgos coinciden con el metaanálisis realizado por Çerçioğlu et al. (2025), quienes, a partir de 190 estudios principalmente en Estados Unidos con un periodo de dos a tres años, concluyeron que la agricultura de conservación reduce la densidad aparente entre 1 a 24%, incrementa la proporción de macroporos en un rango de 1 a 67%, la materia orgánica en un rango de 7 a 74% y mejora las tasas de infiltración hasta en un 629%.

Cuadro 3. Medias de las propiedades físicas del suelo por tipo de agricultura

Tipo de agricultura	Saturación (%)	CC (%)	PMP (%)	HS (%)	DA (g cm ⁻³)
Agricultura de conservación	44.66 ^a	17.16 ^a	9.28 ^a	6.41 ^a	1.48 ^b
Agricultura tradicional	40.41 ^b	17.40 ^a	8.80 ^a	3.88 ^a	1.68 ^a
Año cero	42.50 ^{ab}	17.70 ^a	9.80 ^a	5.48 ^a	1.57 ^{ab}

^{a, b} Literales diferentes en la misma columna representan diferencia significativa ($p < 0.05$)

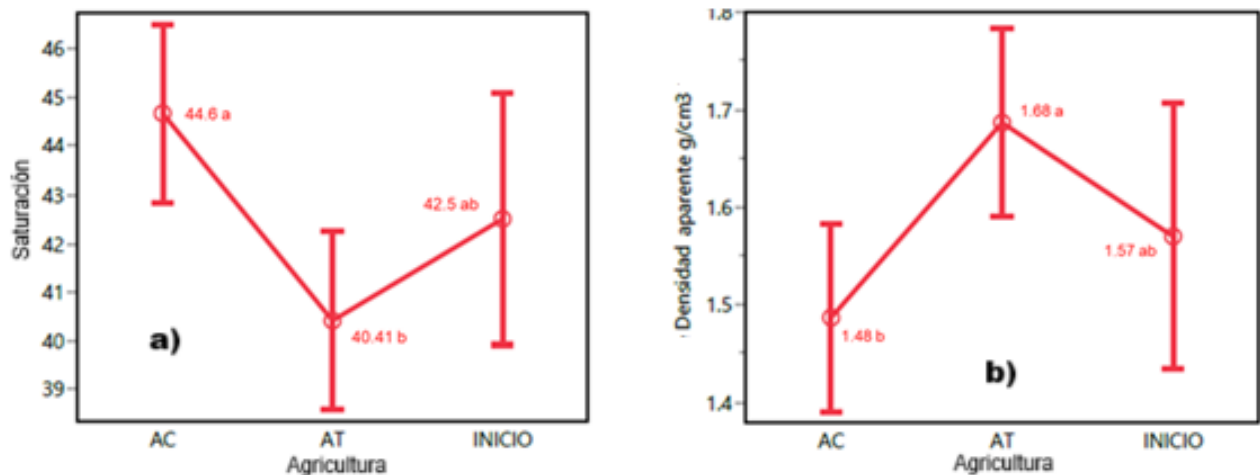


Figura 3. Comparación de medias por tipo de agricultura para saturación (a) y densidad aparente (b)

Cationes presentes en el suelo

Respecto a los cationes intercambiables, únicamente el calcio (Ca^{2+}) presentó diferencias ($P < 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 4). Las bases intercambiables del suelo también se ven afectadas por el incremento de carbono orgánico derivado de los cultivos de cobertura y por el principio fundamental de la agricultura de conservación, que promueve la permanencia de residuos vegetales sobre el terreno. En este contexto, la incorporación de estiércoles puede mejorar la concentración de carbono orgánico, especialmente en suelos deficientes en nitrógeno, mientras que el uso de paja resulta más beneficioso en suelos con

contenidos elevados de nitrógeno. Asimismo, la aplicación de estos principios contribuye a reducir los impactos ambientales, como la eutrofización, al disminuir la lixiviación de nitrógeno y fósforo (Guo et al., 2022; Ortiz et al., 2024).

Cuadro 4. Medias de los cationes intercambiables del suelo por tipo de agricultura

Tipo de agricultura	Ca (mEq L ⁻¹)	Mg (mEq L ⁻¹)	Na (mEq L ⁻¹)
Agricultura de conservación	5.73 ^b	6.93 ^a	4.38 ^a
Agricultura tradicional	5.06 ^b	5.33 ^a	5.43 ^a
Año cero	9.20 ^a	8.00 ^a	5.00 ^a

^{a, b} Literales diferentes en la misma columna representan diferencia significativa ($p < 0.05$)

En este análisis las diferencias observadas son en cationes y aniones intercambiables, sin embargo, no se relaciona con las prácticas agrícolas ya que la concentración de calcio, cloro y nitratos se observa con mayores valores al inicio del experimento, previo al establecimiento de los cultivos y los análisis de suelo no resultaron con diferencia estadísticas entre los tratamientos de prácticas agrícolas (Figura 4).

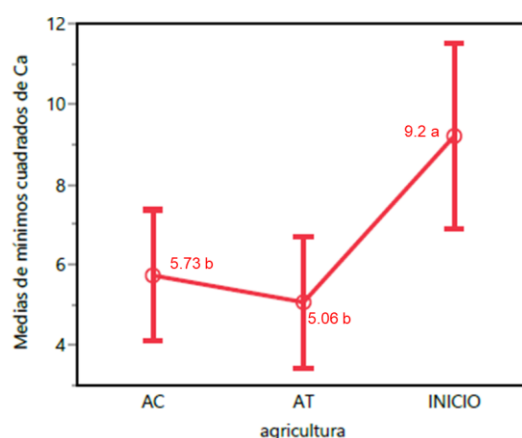


Figura 4. Comparación de medias por tipo de agricultura para calcio en el suelo

En el presente estudio, no se observaron diferencias estadísticas en las concentraciones de calcio intercambiable entre las prácticas agrícolas de conservación y las tradicionales. Sin embargo, al comparar estos valores con el análisis inicial del suelo, previo al establecimiento de los tratamientos, se evidenció una reducción general del calcio disponible, lo que podría atribuirse a la extracción de este catión por parte del cultivo de trigo durante el ciclo agrícola. Este comportamiento es consistente con el papel fisiológico del calcio en el trigo, donde actúa como un componente esencial para la estabilidad estructural de los tejidos, la integridad de las paredes celulares y la elongación radicular, además de desempeñar funciones críticas como segundo mensajero en la regulación de señales intracelulares bajo condiciones de estrés (Lindberg & Premkumar, 2023; Xu et al., 2022). Asimismo, su contribución al mantenimiento de la selectividad iónica y a la reducción del efecto competitivo del Na^+ resulta especialmente relevante en agroecosistemas con suelos salinos, como los del Valle de Mexicali. Estos mecanismos fisiológicos podrían explicar, en parte, la disminución observada en las reservas de calcio intercambiable tras el ciclo productivo, independientemente del sistema de manejo empleado.

Aniones presentes en el suelo

En el grupo de aniones, tanto el cloruro (Cl^-) como el nitrato (NO_3^-) exhibieron diferencias significativas (Cuadro 5). En este estudio, se observó que los niveles intercambiables de Cl^- y NO_3^- disminuyeron en comparación con los valores iniciales del suelo, sin diferencias significativas entre los sistemas de agricultura de conservación y tradicionales (Figura 5). Este comportamiento debe interpretarse bajo una doble perspectiva: por un lado, la absorción activa por el cultivo de trigo y, por otro, la alta movilidad de estos aniones en el suelo. El nitrato (NO_3^-), como principal fuente de nitrógeno, es intensamente utilizado por el trigo para la síntesis de aminoácidos y proteínas, pero su alta solubilidad lo hace especialmente susceptible a la lixiviación, fenómeno que puede incrementarse en suelos con mayor infiltración asociados a prácticas conservacionistas (Carillo & Roupheal, 2022; Fan

et al., 2025). Asimismo, el cloro, aunque requerido en menores concentraciones para procesos como la apertura estomática y la fotólisis del agua, es igualmente un anión muy móvil, cuya reducción en el perfil superficial puede explicarse por pérdidas por lixiviación además de su absorción para funciones osmóticas y metabólicas en el cultivo (Colmenero-Flores et al., 2019). Por tanto, las reducciones observadas en NO_3^- y Cl^- reflejan procesos combinados de absorción intensa por el cultivo y desplazamiento vertical, lo que subraya la importancia de estrategias de manejo que minimicen las pérdidas por percolación en estos sistemas.

Cuadro 5. Medias de los iones intercambiables del suelo por tipo de agricultura

Tipo de agricultura	HCO_3^- (mEq L ⁻¹)	Cl^- (mEq L ⁻¹)	SO_4^{2-} (mEq L ⁻¹)	NO_3^- (mEq L ⁻¹)	PO_4^{3-} (mEq L ⁻¹)
Agricultura de conservación	8.66 ^a	4.43 ^b	3.95 ^a	2.75 ^b	5.61 ^a
Agricultura tradicional	8.73 ^a	3.33 ^b	3.83 ^a	2.90 ^b	5.25 ^a
Año cero	8.80 ^a	8.20 ^a	5.20 ^a	4.00 ^a	4.37 ^a

^{a, b} Literales diferentes en la misma columna representan diferencia significativa ($p < 0.05$)

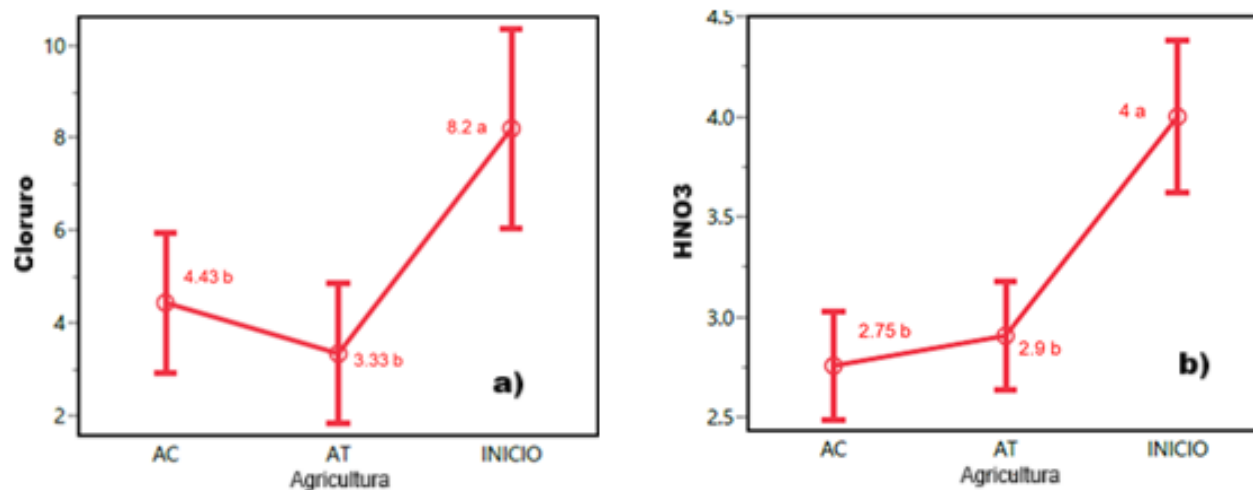


Figura 5. Comparación de medias por tipo de agricultura para aniones cloruro (a) y nitratos (b)

Partículas del suelo (agregados)

Finalmente, en lo que concierne a la fracción textural del suelo, se observó un cambio en la distribución de arcilla, limo y arena, atribuible al tipo de manejo agrícola aplicado (Cuadro 6).

Cuadro 6. Medias de partículas del suelo por tipo de agricultura

Tipo de agricultura	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Agricultura de conservación	26.50 ^a	39.00 ^b	34.50 ^b
Agricultura tradicional	23.83 ^b	44.33 ^a	31.83 ^c
Año cero	21.50 ^b	36.20 ^c	42.30 ^a

^{a, b} Literales diferentes en la misma columna representan diferencia significativa ($p < 0.05$)

En este estudio se observó que los tratamientos bajo agricultura de conservación presentaron porcentajes mayores de arena y arcilla en la capa superficial, mientras que en las prácticas tradicionales predominó el limo (Figura 6).

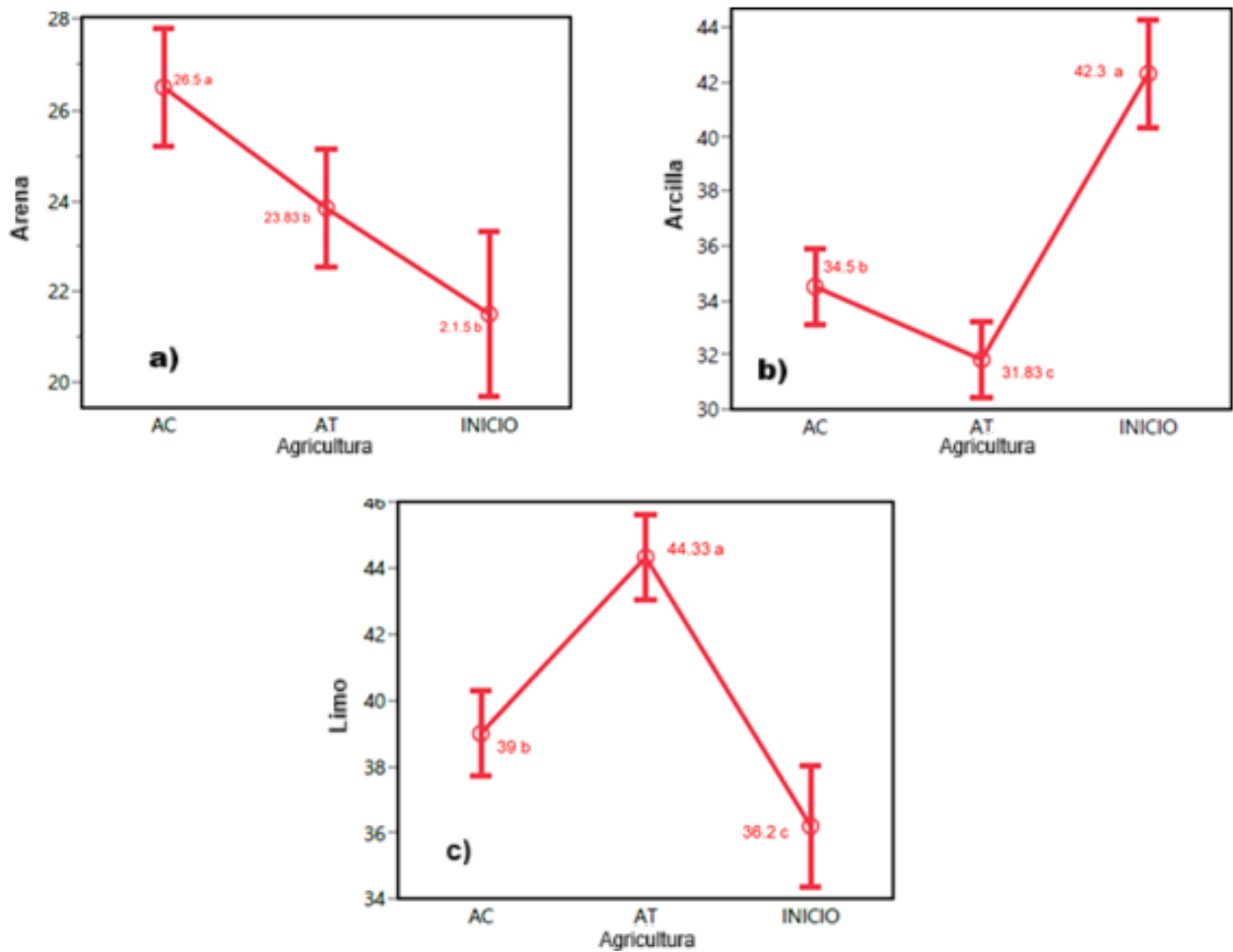


Figura 6. Comparación de medias por tipo de agricultura para las proporciones de arena (a), arcilla (b) y limo (c).

Este comportamiento puede explicarse por la mínima perturbación del suelo y la estabilidad de los agregados en los sistemas conservacionistas. En efecto, (Jacobs et al., 2024) mostraron que sistemas con siembra directa y cultivos de cobertura aumentan significativamente la retención de partículas de arena (hasta 62%) y arcilla en las zonas superficiales, especialmente en surcos, al reducir el transporte de partículas finas. La presencia de residuos vegetales en la superficie también favorece la formación de micro agregados que atrapan y estabilizan la arcilla, tendencia señalada en estudios de retención hídrica y agregación en sistemas de labranza reducida. En contraste, la labranza tradicional rompe la estructura del suelo, promoviendo la redistribución o pérdida del limo por procesos de mezcla vertical, erosión o sedimentación superficial. En conjunto, estos resultados reflejan

cómo los sistemas de conservación promueven una estratificación granulométrica más estable y diversificada, mientras que los suelos convencionales tienden a homogenizar o concentrar ciertas fracciones finas debido a la perturbación continua.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio mostraron que la agricultura de conservación, comparado con el manejo tradicional, presentó cambios significativos en ciertos aspectos de la calidad física y química del suelo en el Valle de Mexicali, tales como materia orgánica, porcentaje de saturación y densidad aparente. También se observaron cambios en la proporción de partículas, con mayor presencia de arena y arcilla bajo este sistema, lo que indica una mejor estabilidad de la estructura del suelo y formación de agregados. A pesar de estos cambios, el rendimiento del trigo se mantuvo estable entre ambos sistemas, alcanzando hasta 7.36 t ha^{-1} en agricultura de conservación, lo que confirma su capacidad para sostener la productividad en el corto plazo sin impactos negativos relevantes. Sin embargo, la reducción general de calcio, nitratos y cloruros respecto a los valores iniciales del suelo sugiere una absorción intensiva por el cultivo y posibles pérdidas por lixiviación, resaltando la necesidad de ajustar el manejo del riego y la fertilización. Estos hallazgos subrayan el potencial de la agricultura de conservación como alternativa sostenible para mejorar las condiciones del suelo y mantener los rendimientos en regiones áridas, así como la importancia de impulsar políticas públicas y programas que promuevan su adopción gradual, junto con estudios adicionales que evalúen su rentabilidad y efectos a largo plazo en distintas variedades y escenarios climáticos.

DECLARACIÓN ÉTICA

No aplicable

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles por el autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

Esta investigación se llevó a cabo con el apoyo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias y el Centro de Bachilleratos Tecnológicos Agropecuarios N° 41.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Escritura, preparación del borrador original: J.A.E.A. Conceptualización y Adquisición de fondos: M.G.J y C.E.A.C. Análisis de Información: M.G.J., V.J.C.B, D.Q.M., B.M.M.B. Escritura, revisión y edición: M.G.J. y R.S.O

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Centro de Bachilleratos Tecnológico y Agropecuario N° 41, al Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, a la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, al CIMMYT y al INIFAP.

LITERATURA CITADA

Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2010). Principles of soil conservation and management. En *Principles of Soil Conservation and Management*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8709-7>

Calzarano, F., Stagnari, F., D'Egidio, S., Pagnani, G., Galieni, A., Di Marco, S., Metruccio, E. G., & Pisante, M. (2018). Durum Wheat Quality, Yield and Sanitary Status under Conservation Agriculture. *Agriculture*, 8(9), 140. <https://doi.org/10.3390/agriculture8090140>

Carillo, P., & Roupael, Y. (2022). Nitrate Uptake and Use Efficiency: Pros and Cons of Chloride Interference in the Vegetable Crops. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.899522>

Çerçioğlu, M., Udawatta, R. P., & Anderson, S. H. (2025). Use of cover crops for sustainable management of soil condition and health: A review. *Soil Security*, 18, 100177. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2025.100177>

Colmenero-Flores, J. M., Franco-Navarro, J. D., Cubero-Font, P., Peinado-Torrubia, P., & Rosales, M. A. (2019). Chloride as a Beneficial Macronutrient in Higher Plants: New Roles and Regulation. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(19), 4686. <https://doi.org/10.3390/ijms20194686>

CONAGUA. (2024). *Día Mundial del Suelo*. <https://www.gob.mx/conagua/es/articulos/dia-mundial-del-suelo-385363?idiom=es>

Cuadras-Berrelleza, A. A., Peinado-Guevara, V. M., Peinado-Guevara, H. J., López-López, J. de J., & Barrientos, J. H. (2021). Agricultura intensiva y calidad de suelos: retos para el desarrollo sostenible en Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(8), 1401–1414. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2704>

Erenstein, O., Sayre, K., Wall, P., Hellin, J., & Dixon, J. (2012). Conservation Agriculture in Maize- and Wheat-Based Systems in the (Sub)tropics: Lessons from Adaptation Initiatives in South Asia, Mexico, and Southern Africa. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(2), 180–206. <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.620230>

Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Velasco-López, J. L., Soto-Ortiz, R., & Quistián-Martínez, D. (2024a). Evaluación de las variedades de trigo Don Lupe Oro C2020 y Ciano M2018 durante el ciclo 2022-2023 en el Valle de Mexicali, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(3). <https://doi.org/10.56369/5440>

Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, Marisol., Soto-Ortiz, R., Ail-Catzim, C. E., Montiel Batalla, B. M., & Quisitán-Martínez, Deyanira. (2024a). Producción de biomasa de cultivos de cobertura en plataforma de agricultura de conservación. En

R. Torres-Ramos, A. Mendoza-Gómez, M. Beleño-Cabarcas, & A. Vázquez-Espinoza (Eds.), *Producción agrícola sostenible: estrategias biotecnológicas para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria* (1a ed., pp. 13–21). Astra Editorial. https://www.researchgate.net/publication/390438727_Produccion_de_biomasa_de_cultivos_de_cobertura_en_plataforma_de_agricultura_de_conservacion

Fan, Y., Li, W., Zhang, L., Song, J., Wang, D., Xue, J., Wang, Y., & Gao, Z. (2025). Wheat Nitrogen Use and Grain Protein Characteristics Under No-Tillage: A Greater Response to Drip Fertigation Compared to Intensive Tillage. *Agronomy*, 15(3), 588. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030588>

FAO. (2024). *Agricultura de conservación*. <https://www.fao.org/conservation-agriculture/es/>

Foth, H. D. (1970). *A Study of Soil Science The Expanded Second Edition*. La Motte. www.lamotte.com

Ghosh, B. N., Dogra, P., Sharma, N. K., Bhattacharyya, R., & Mishra, P. K. (2015). Conservation agriculture impact for soil conservation in maize–wheat cropping system in the Indian sub-Himalayas. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(2), 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.001>

González - Jacome, A., Del Amo - Rodríguez, S., & Urri - García, F. (2007). Los nuevos caminos de la agricultura. Procesos de construcción y perspectivas. *Península*, 506.

Guo, L., Nie, Z., Zhou, J., Zhang, S., An, F., Zhang, L., Tóth, T., Yang, F., & Wang, Z. (2022). Effects of Different Organic Amendments on Soil Improvement, Bacterial Composition, and Functional Diversity in Saline–Sodic Soil. *Agronomy*, 12(10), 2294. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102294>

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

Jacobs, A. A., Stout Evans, R., Allison, J. K., Kingery, W. L., McCulley, R. L., & Brye, K. R. (2024). Tillage and Cover Crop Systems Alter Soil Particle Size Distribution in Raised-Bed-and-Furrow Row-Crop Agroecosystems. *Soil Systems*, 8(1), 6. <https://doi.org/10.3390/soilsystems8010006>

Lindberg, S., & Premkumar, A. (2023). Ion Changes and Signaling under Salt Stress in Wheat and Other Important Crops. *Plants*, 13(1), 46. <https://doi.org/10.3390/plants13010046>

Magar, S. T., Timsina, J., Devkota, K. P., Weili, L., & Rajbhandari, N. (2022). Conservation agriculture for increasing productivity, profitability and water productivity in rice-wheat system of the Eastern Gangetic Plain. *Environmental Challenges*, 7, 100468. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100468>

Martínez Valenzuela, C., Romano Casas, G., Cuadras Berrelleza, A. A., & Ortega Martínez, L. D. (2019). Plaguicidas, impacto en salud y medio ambiente en sinaloa (méxico): implicaciones y retos en gobernanza ambiental. *Trayectorias Humanas Trascontinentales*. <https://doi.org/10.25965/trahs.1615>

Nthebere, K., Tata, R. P., Gudapati, J., Bhimireddy, P., Admala, M., Chandran, L. P., & Yadav, M. B. N. (2025). Assessment of conservation agriculture on soil nutrient's stratification ratio, carbon sequestration rate, management indices and crop productivity in Southern Telangana India. *Scientific Reports*, 15(1), 15038. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00177-1>

Ortiz, C., Yagüe, M. R., Valdez, A. S., Molina, M. G., & Bosch-Serra, À. D. (2024). Sustainability of Organic Fertilizers Use in Dryland Mediterranean Agriculture. *Agriculture*, 14(8), 1301. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081301>

Page, K. L., Dang, Y. P., Dalal, R. C., Reeves, S., Thomas, G., Wang, W., & Thompson, J. P. (2019). Changes in soil water storage with no-tillage and crop residue retention on a Vertisol: Impact on productivity and profitability over a 50 year period. *Soil and Tillage Research*, 194, 104319. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104319>

Peinado - Guevara, V., Peinado- Guevara, H., Campista -León, S., & Delgado-Rodríguez, O. (2015). Análisis de la producción agrícola y gestión del agua en módulos de riego del distrito 063 de Sinaloa, México. *Revista de Estudios Sociales*, XXIII, 113–136.

Pittelkow, C. M., Liang, X., Linquist, B. A., van Groenigen, K. J., Lee, J., Lundy, M. E., van Gestel, N., Six, J., Venterea, R. T., & van Kessel, C. (2015). Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517(7534), 365–368. <https://doi.org/10.1038/nature13809>

Pla, I. (2014). Advances in soil conservation research: challenges for the future. *Spanish Journal of Soil Science*, 4(3), 265–282. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2014.V4.N3.05>

Schoijet, M. (2005). *Desertificación y tormentas de arena*.

Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). *Avance de siembras y cosechas por estado*. Producción mensual agrícola. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/

Springer. (2024). *The Wheat Genome* (R. Appels, K. Eversole, C. Feuillet, & D. Gallagher, Eds.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-38294-9>

Sun, L., Wang, S., Zhang, Y., Li, J., Wang, X., Wang, R., Lyu, W., Chen, N., & Wang, Q. (2018). Conservation agriculture based on crop rotation and tillage in the semi-arid Loess Plateau, China: Effects on crop yield and soil water use. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 251, 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.011>

Verhulst, N., Francois, I., & Govaerts, B. (2015). *¿Qué es la agricultura de conservación?* CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/que-es-la-agricultura-de-conservacion/>

Xu, T., Niu, J., & Jiang, Z. (2022). Sensing Mechanisms: Calcium Signaling Mediated Abiotic Stress in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.925863>

Objetivo específico 3 – Artículo por enviar a revista científica

CAPÍTULO 3: IMPACTO DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN LA MICROBIOTA DEL SUELO EN EL VALLE DE MEXICALI EVALUADA MEDIANTE RECUEENTOS CULTIVABLES Y SECUENCIACIÓN 16S/ITS

IMPACTO DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN LA MICROBIOTA DEL SUELO

Se presentan resultados de investigación contenidos en el manuscrito en preparación titulado “*Impacto de la agricultura de conservación en la microbiota del suelo en el Valle de Mexicali evaluada mediante recuentos cultivables y secuenciación 16S/ITS*”. En este estudio se comparó la diversidad, composición y funciones potenciales de las comunidades bacterianas y fúngicas cultivables en suelos bajo AC y Agricultura tradicional (AT) en el Valle de Mexicali. El cual aborda el objetivo específico 3) Caracterizar la fracción cultivable de la comunidad microbiana del suelo en Agricultura de Conservación (AC) vs Agricultura Tradicional (AT), utilizando la siembra en placa tradicional, amplificación de región 16S ribosomal para microorganismos procariotas y los índices de Shannon, Simpson y Bray – Curtis con base en OTU’s cultivables complementado con conteo de UFC g⁻¹ de suelo. La fracción bacteriana cultivable bajo AC presentó mayor riqueza de géneros, con un ensamble más complejo de bacterias Gram negativas rizosféricas, mientras que AT estuvo caracterizada por bacterias promotoras del crecimiento vegetal y menor diversidad. En la fracción fúngica, ambos sitios fueron fuertemente dominados por *Rhizopus*, aunque en AC se presentaron géneros saprófitos y de biocontrol adicionales. En conjunto, los resultados indican que la agricultura de conservación, aun en suelos áridos y alcalinos, favorece comunidades microbianas más diversas.

Resumen

La agricultura de conservación (AC) se ha propuesto como una alternativa para mejorar la calidad del suelo y la resiliencia de los agroecosistemas, particularmente en regiones áridas con suelos alcalinos. En este estudio se comparó la diversidad, composición y funciones potenciales de las comunidades bacterianas y fúngicas cultivables en suelos bajo AC y Agricultura tradicional (AT) en el Valle de Mexicali. Se estableció una plataforma experimental con trigo y cultivo de cobertura (*Sesbania* spp.) y se evaluaron propiedades fisicoquímicas del suelo, recuentos de unidades formadoras de colonia (UFC) en medios generales y la estructura de la comunidad microbiana mediante secuenciación del gen 16S y de la región ITS en dos unidades experimentales representativas (M2 = AC; M11 = AT). La mayoría de las variables edáficas no difirió significativamente entre manejos, aunque el pH fue ligeramente mayor en AT y mostró una correlación positiva con los recuentos de las UFC. La fracción bacteriana cultivable bajo AC presentó mayor diversidad alfa y riqueza de géneros, con un ensamble más complejo de bacterias Gram negativas rizosféricas (ej. *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Massilia*, etc.), mientras que AT estuvo caracterizada por bacilos esporulados promotores del crecimiento vegetal (*Bacillus*, *Lysinibacillus*, *Paenibacillus*) y menor diversidad. En la fracción fúngica, ambos sitios estuvieron fuertemente dominados por *Rhizopus*, aunque en CA se encontraron además géneros saprófitos y de biocontrol ausentes en TA. En conjunto, los resultados indican que la agricultura de conservación, aun en suelos áridos y alcalinos, favorece comunidades microbianas más diversas y funcionalmente complejas, aunque la fuerte dominancia de taxones y el enfoque de la fracción cultivable subrayan la necesidad de profundizar mediante evaluaciones de la dinámica microbiana en función del tiempo para confirmar estas observaciones.

Palabras clave: Microbiota del suelo, diversidad bacteriana; diversidad fúngica; 16S, ITS, rRNA

Abstract

Conservation agriculture (CA) has been proposed as an alternative to improve soil quality and agroecosystem resilience, particularly in arid regions with alkaline soils. In this study, we compared the Diversity, Composition and potential functions of cultivable Bacterial and fungal communities in soils under conservation agriculture (CA) and traditional agriculture (TA) in the Mexicali Valley (northwest Mexico). An experimental platform was established with wheat and a cover crop (*Sesbania* spp.), and soil physicochemical properties, colony – forming unit (CFU) counts on general media, and microbial community structure were evaluated. For a deeper taxonomic assesment, two representative experimental unit (M2 = CA; M11 = TA) were selected based on soil properties and ubjected to 16 S rRNA gene and ITS región sequencing. Most edaphic variables did not differ significantly between managements, although soil pH was slightly higher under TA and showed a strong positive correlation with CFU counts. The cultivable Bacterial fraction under CA exhibited higher Alpha diveristy and genus richness, with a more complex assemblage of rhizosphere associated Gram negative bacteria (e.g. *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Massilia*, etc), whereas TA was characterized by spore forming plant growth promoting Bacilli (*Bacillus*, *Lysinibacillus*, *Paenibacillus*) and lower diversity. In the fungal fraction, both sites were strongly dominated by *Rhizopus*, although CA harbored additional saprophytic and biocontrol genera absent under TA (*Alternaria*, *Trichoderma*), aril alkaline soils, supports more diverse and functionally complex soil microbiota. However, the marked dominance of a few taxa and the focus on the cultivable fraction highlight the need to incorporate higher resolution molecular approaches and biological replication.

Keywords: Soil microbiota; bacterial diversity; fungal diversity; 16S, ITS, rRNA,

INTRODUCCIÓN

Los suelos representan un patrimonio crítico de los ecosistemas terrestres y del bienestar humano, ya que suministran alimentos, regulan el ciclo del agua, almacenan carbono y sostienen una gran parte de la biodiversidad del planeta (Rakshit et al., 2021). La producción agrícola intensiva ha creado agroecosistemas,

definidos como sistemas simplificados, de baja diversidad y con nutrientes gestionados externamente, responsables de abastecer de alimentos a la población humana. Sin embargo, las prácticas que involucran rastreo, surcado y subsolado, el uso de semillas comerciales, la quema o eliminación de residuos, el manejo de agroquímicos (herbicidas, pesticidas, fertilizantes) y el monocultivo modifican no solo la fertilidad del suelo, sino también a la estructura y funcionamiento de las comunidades bacterianas, afectando su diversidad y densidad (Bedano et al., 2021; Shen et al., 2021).

La finalidad de estas prácticas es soltar las partículas del suelo, combatir malezas y fitopatógenos, y elevar la fertilidad mediante incorporación de residuos. Sin embargo, la evidencia indica que también pueden generar efectos negativos en la capa arable del suelo, al acelerar los procesos de mineralización de la materia orgánica, lo que provoca una alteración en la dinámica de los procesos biológicos (Lei et al., 2019; Leite et al., 2021; Tian et al., 2015).

La Agricultura de Conservación es un sistema con enfoque sostenible que busca mantener la productividad agrícola a largo plazo mediante la preservación y el uso eficiente de los recursos naturales. Se apoya en tres principios básicos que orientan el manejo del suelo y de los cultivos (Kleijn et al., 2019; Y. Li et al., 2025).

Este sistema de naturaleza semi intensiva reemplaza el paradigma de producción agrícola basado en el uso intensivo de insumos externos y en el control mecánico o químico de malezas y plagas, por un enfoque que aprovecha los procesos ecológicos asociados al suelo, la vegetación y la biota edáfica. Al favorecer la acumulación de residuos de cosecha, la actividad de raíces vivas y la diversificación de cultivos, la agricultura de conservación promueve condiciones para que, de manera natural, prosperen diversas formas de vida que forman parte de los agroecosistemas sostenibles y contribuyen a mantener la producción agrícola (Duru et al., 2015; Kleijn et al., 2019).

Los microorganismos lideran la colonización del suelo y ello ha llevado a categorizar al suelo como un servicio ambiental que gobiernos, cuerpos académicos y organizaciones de sociedad civil se esfuerzan por promover en las entidades de

producción agrícola (O. I. et al., 2020). Además, los microorganismos moderan el flujo de alimento y energía en los suelos agrícolas. Indicadores fisicoquímicos y biológicos se utilizan para determinar la “salud del suelo”. Entre los indicadores fisicoquímicos se incluyen la compactación y la densidad del suelo, el pH, la conductividad eléctrica, los nutrientes (como magnesio y nitrógeno), la materia orgánica y el porcentaje de humedad; mientras que entre los indicadores biológicos se consideran la diversidad y la abundancia, con los cuales es posible determinar si el suelo tiene los requerimientos adecuados para sustentar las comunidades vegetales con las condiciones necesarias (Chaudhary et al., 2024).

Las perspectivas para analizar la diversidad y abundancia de microorganismos son diversas. De acuerdo con Ndour et al., 2008; Rakshit et al., (2021) esto puede lograrse por métodos dependientes de cultivo – como el conteo de unidades formadoras de colonia o células individuales y la estimación de la relación bacterias: hongos – y mediante métodos independientes de cultivo que incluyen aproximaciones estructurales, genéticas y metabólicas. Sin embargo, la complejidad de la diversidad y de la función microbiana en los suelos agrícolas se encuentra poco documentada.

Ante la ausencia de reportes en esta área, el presente estudio adquiere relevancia. El experimento se llevó a cabo en el CBTA 41° ubicado en el ejido Benito Juárez en el Valle de Mexicali. El objetivo fue comparar la diversidad, la composición y las funciones potenciales de las comunidades microbianas del suelo bajo agricultura de conservación y agricultura tradicional en el Valle de Mexicali, mediante técnicas dependientes de cultivo y, posteriormente, mediante amplificación de los genes 16S e ITS en dos unidades representativas de cada manejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del ensayo

El lote experimental correspondió al establecimiento de una plataforma de investigación en agricultura de conservación en CBTA 41, localizado en el ejido

Benito Juárez en el Valle de Mexicali, Baja California, México (32°33'35.2"N y 115°01'28.6"; con una altitud de 15 msnm.)

El clima local es muy seco y cálido, con lluvia de verano escasa y corresponde a la clasificación BWh (desértico muy seco y cálido) del sistema de Köppen de acuerdo con la adaptación para México(INEGI, 2022; Souza et al., 2013).

Características del suelo agrícola

De acuerdo con la clasificación utilizada en el sitio experimental, el tipo de suelo se ubica en una zona de transición entre Arenosoles, cambisoles y calcisoles representativas del Valle de Mexicali (INEGI, 2022), característica de las áreas destinadas al cultivo de trigo bajo riego. Para la caracterización fisicoquímica del lote experimental que abarcó una hectárea, se recolectó una muestra compuesta mediante un muestreo en zigzag. El análisis de suelo incluyó la determinación de pH, porcentaje de saturación, conductividad eléctrica, magnesio, sodio, nitratos, materia orgánica y densidad aparente, siguiendo los procedimientos establecidos en la norma oficial mexicana NOM 021-REC-NAT.

Unidad experimental

Las 12 unidades experimentales (melgas) tuvieron dimensiones de 600 m² (6 x 100 m). Al inicio todas las unidades experimentales se establecieron en plano, tal como lo siembra el productor en la región del Valle de Mexicali. Posteriormente, se asignaron al azar seis melgas al manejo de agricultura tradicional (AT), en las cuales el paso de la maquinaria agrícola se realizó de forma habitual (cosecha seguida de arado o disca); las otras seis melgas, también asignadas al azar, se manejaron con prácticas de agricultura de conservación (AC), que consistieron en disminuir los pasos de maquinaria, utilizando únicamente la maquinaria para la cosecha y el corte y, posteriormente, una sembradora de mínima labranza para establecer el cultivo de cobertura. Se utilizó un diseño completamente al azar, con dos tratamientos (AT y AC) y seis repeticiones cada uno, distribuidos como se muestra en la figura 1.

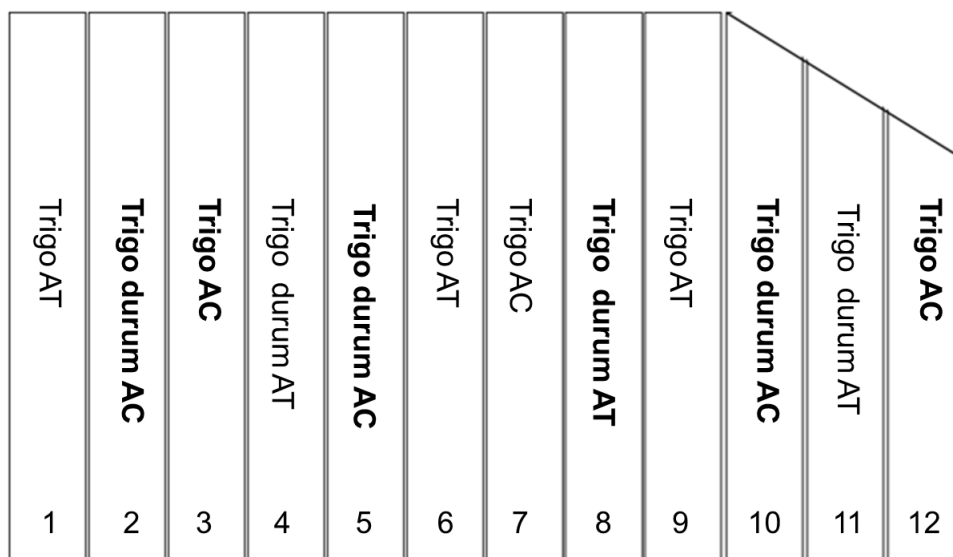


Figura 1. Croquis de establecimiento de plataforma de investigación, de izquierda a derecha los números 1 – 12 representan como se enumeraron las unidades experimentales.

Material vegetal y establecimiento de cultivo

El cultivo de trigo (*Triticum durum* variedad Don Lupe Oro C2020) se estableció el 22 de diciembre de 2022 y se cosechó el 26 de mayo de 2023. La densidad de siembra fue de 200 kg ha⁻¹, con una dosis de fertilización de 400 kg de N ha⁻¹. El cultivo requirió un riego de germinación y cuatro riegos de auxilio. Posterior al riego de germinación se aplicó una mezcla de fluoroxipir y pinoxaden (Sigma Forte ®) para el manejo de malezas.

El cultivo de cobertura de *Sesbania spp.* se estableció el 9 de julio de 2023 a una densidad de 40 kg ha⁻¹, y recibió un riego de germinación y dos de auxilio; su duración en campo fue de 60 días. Para este cultivo no se realizaron fertilizaciones ni aplicación de control de malezas o pesticidas.

Muestreo de suelos

Los muestreos de suelos se realizaron el 26 de septiembre de 2023, utilizando un recorrido en zigzag y tomando muestras en seis posiciones de las unidades

experimentales. Posteriormente se generó una muestra compuesta, la cual se conservó a temperatura ambiente.

Aislamiento de microorganismos de suelos

Los microorganismos del suelo fueron aislados mediante la técnica reportada por Kannan et al., (2018) y Rosado-flores et al., (2020), a partir de las muestras compuestas del suelo descritas en la sección “muestreo de suelos” correspondientes a cada unidad experimental, se tomó 1 g de suelo y se suspendió en 9 ml de agua peptonada estéril al 0.1 %, obteniendo una dilución inicial 10^{-1} . A partir de esta suspensión se realizaron diluciones seriadas hasta 10^{-5} . De cada dilución se sembró 1 ml en medios de agar nutritivo (AN) para bacterias y agar papa dextrosa (PDA) para hongos, utilizando la técnica de extensión en superficie, con tres réplicas por dilución y tratamiento. Las placas se incubaron durante 48 h a 37° C tanto para bacterias como para hongos, dadas las condiciones particulares del suelo del Valle de Mexicali, en el que predominan comunidades adaptadas a ambientes extremos. Adicionalmente, se reservó una fracción de las muestras compuestas correspondientes a las melgas 2 (AC) y 11 (AT) para los análisis moleculares de secuenciación 16s e ITS descritos más adelante.

Los análisis de unidades formadoras de colonia (UFC) se llevaron a cabo al término de tiempo de incubación. Para facilitar el conteo, cada caja Petri se dividió en cuatro cuadrantes y se contabilizaron las colonias observadas en un cuadrante, multiplicando este valor por cuatro. Los recuentos se expresaron como UFC g^{-1} de suelo seco y, para los análisis estadísticos, se transformaron mediante \log_{10} (UFC+1).

Extracción de ácidos nucleicos

Utilizando las siembras en placa de la dilución 10^{-1} en ambos medios de cultivo (AN y PDA) correspondientes a las muestras M2 (AC) y M11 (AT), se adicionaron 3 ml de agua peptonada estéril a cada placa petri y se realizó un raspado al medio de cultivo para desprender las colonias. La suspensión obtenida se incubó durante 30 minutos a temperatura ambiente y, posteriormente, se llevó a cabo la extracción de

ADN mediante la metodología descrita por Hoffman & Winston, (1987), brevemente descrita: en un tubo de microcentrífuga de 1.5 ml coleccionar 500 µl de la suspensión y se añadieron 200 µl de solución Hoffman junto con perlas de vidrio estériles; la mezcla se sometió a dos ciclos de vórtex de 1 minuto cada uno. A continuación, se agregaron 200 µl de una solución fenol: cloroformo, se mezcló por vórtex durante 2 minutos y se centrifugó a 13,000 rpm durante 10 minutos. La fase acuosa superior se transfirió a un nuevo tubo de 1.5 mL, donde se añadieron 60 µl de NaCl a 5 M y 500 µl de isopropanol frío. La mezcla se homogenizó por inversión y se incubó 20 minutos a temperatura ambiente, seguida de una nueva centrifugación a 13,000 rpm durante 10 minutos. El sobrenadante se decantó, la pastilla de ADN se lavó con 1 ml de etanol al 70 %, se dejó secar y finalmente se resuspendió en 50 µl de buffer TE 1X.

Identificación molecular

Una vez obtenido el ADN, las muestras etiquetadas como M2 y M11, correspondientes a agricultura de conservación (AC) y agricultura tradicional (AT), respectivamente, se enviaron a la empresa Zymo research ® (Irvine, Ca, EUA), donde se realizó la amplificación del gen 16S rRNA (bacterias) y de la región ITS (hongos), así como el análisis de diversidad mediante los índices de Shannon y Simpson. La biblioteca de secuenciación se preparó mediante reacciones de PCR en plataformas de PCR en tiempo real, con el fin de controlar el número de ciclos y limitar la formación de quimeras. Los productos finales de PCR se cuantificaron a partir de las lecturas de fluorescencia por qPCR y se agruparon en función de una molaridad equivalente. La biblioteca agrupada se purificó utilizando el kit Select-a-size DNA clean & concentrator™ (Zymo Research) y se cuantificó con un sistema TapeStation® (Agilent Technologies, Santa Clara, CA) y los ensayos de alta sensibilidad Qubit 1X DSDNA® (Invitrogen, Thermo Fisher Scientific). La secuenciación se llevó a cabo en una plataforma Illumina® NextSeq 2000™ con un kit de reactivos P1 (600 ciclos) empleando un 25 % de PhiX como control interno.

Análisis estadísticos

Los resultados de los análisis de suelos (pH, porcentaje de saturación, conductividad eléctrica, magnesio, sodio, nitratos, materia orgánica y densidad aparente), así como los recuentos de unidades formadoras de colonia transformados mediante $\log_{10} (\text{UFC} + 1)$, se compararon entre los dos manejos (AC y AT). Previamente se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas entre manejos; la homogeneidad se evaluó mediante la prueba de F para la comparación de varianzas. Cuando los supuestos se cumplieron, las medias de AC y AT se compararon utilizando la prueba t de Student para muestras independientes, con nivel de significancia $\alpha \leq 0.05$.

Adicionalmente, se calcularon coeficientes de correlación de Pearson entre las variables fisicoquímicas del suelo y los recuentos de UFC ($\log_{10} (\text{UFC} + 1)$) para explorar relaciones lineales entre las propiedades del suelo y la abundancia de microorganismos cultivables. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software InfoStat, versión 2020e.

Índices de diversidad

Además, se reportan los índices de diversidad ecológica a partir de los resultados obtenidos de la secuenciación de las regiones 16S e ITS en las muestras M2 (AC) y M11 (AT).

El índice de Shannon mide la diversidad α al combinar la riqueza de taxones y su distribución relativa en la comunidad, y se calculó siguiendo la expresión descrita por (Chernov et al., 2015), donde p_i , representa la proporción del i-ésimo taxón en la muestra.

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln(p_i)$$

El índice de Simpson (1-D) mide la diversidad α con énfasis en la dominancia de las categorías más comunes, y se calculó con la expresión basada en la suma de los cuadrados de las proporciones de cada taxón.

$$D = 1 - \sum_i P_i^2$$

La similitud composicional entre las comunidades de M2 y M11 se evaluó mediante el índice Bray – Curtis, que mide la diversidad β a partir de abundancias cuantitativas y se expresa en función de las diferencias en abundancia relativa entre ambas muestras (AC vs AT).

$$BC(x, y) = \frac{\sum_i |X_i - Y_i|}{\sum_i (X_i + Y_i)}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables del suelo y UFC.

Los resultados del análisis de suelos realizados tras la realización del experimento se presentan en el cuadro 1 bajo agricultura de conservación (las melgas 2, 5 y 10) y tradicional (melgas 4, 8 y 11), además de la melga 12 que representa el estado nutricional del suelo al inicio del experimento. En su mayoría las melgas se mostraron un pH generalizado, consistente en un suelo alcalino (8.35 a 8.49), sin diferencias marcadas entre manejo, lo que sugiere que la reacción del suelo está dominada por condiciones edáficas regionales más que por el tipo de manejo en el periodo evaluado. El porcentaje de saturación osciló entre 40 y 47 %, con valores relativamente homogéneos, indicando que la capacidad de retención de agua a saturación fue comparable entre sitios.

La conductividad eléctrica (CE) varió de 1.44 a 1.8 dS m⁻¹, con una tendencia a valores más elevados en AT respecto a AC. Aunque estos valores corresponden a una salinidad baja a moderada, el incremento en AT podría asociarse a mayor acumulación de sales por prácticas que favorece la evaporación acelerada o menor cobertura, concentrando los solutos en el suelo. Este patrón es consistente con la variación observada en los cationes: el sodio presentó los contrastes más notorios

con valores más altos en las melgas con AT que en AC. La combinación de estos dos variables sugiere que la AT favorece procesos de sodicidad afectando la estructura del suelo.

En el caso del magnesio, se observó una amplitud considerable, explicado por la historia del suelo en cuanto a fertilización y sus diferencias espaciales. La materia orgánica fue baja en ambos tratamientos, con un ligero incremento en AC.

En cuanto a propiedades físicas, la densidad aparente mostró el contraste más evidente entre manejo, reduciéndose en AC a diferencia de la AT.

Cuadro 1. Resultados de los análisis de suelo del suelo en el manejo de la plataforma de agricultura de conservación vs agricultura tradicional.

Determinación	Total	Agricultura de Conservación			Agricultura Tradicional		
	M12	M2	M5	M10	M4	M8	M11
pH	8.48	8.4	8.35	8.35	8.42	8.49	8.48
% saturación	42.5	47	40	40	40	40	40
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	1.44	1.56	1.5	1.44	1.73	1.47	1.8
Magnesio (ppm)	97.2	82.6	77.8	68	87.5	24.3	87.5
Sodio (ppm)	115	73.6	151.7	82.8	103.5	243.7	174.7
NO ₃ ⁻ (ppm)	4	2.51	3.25	3.14	3.11	2.83	3.01
Materia orgánica (%)	1.02	0.96	0.83	0.77	0.83	0.83	0.96
Densidad aparente		1.46	1.54	1.54	1.53	1.82	1.83
Textura	Arcillosa	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcilloso

M=Melga

Los resultados para la prueba de F de igualdad de varianzas (cuadro 2), indicó que, en general las variables edáficas presentaron varianzas similares entre agricultura tradicional (AT) y agricultura de conservación (AC) con $p > 0.05$, con excepción del porcentaje de saturación, que mostró una marcada heterogeneidad de varianzas. Para UFC log, las varianzas fueron homogéneas entre tratamientos (Cuadro 2), respaldando el uso de las pruebas paramétricas bajo el supuesto de homocedasticidad, sin embargo no se presentaron diferencias estadísticas entre las UFC y las melgas 2 y 11.

Cuadro 2. Análisis F de igualdad de varianzas

Variable	F	gl AT y AC	Valor p
pH	1.72	2	0.7353
% saturación	0**	2	<0.0001
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	8.4	2	0.2128
Magnesio (ppm)	24.04	2	0.0799
Sodio (ppm)	2.7	2	0.5409
NO ₃ ⁻ (ppm)	0.13	2	0.2242
Materia orgánica (%)	0.6	2	0.7478
Densidad aparente	13.61	2	0.1369
UFC log	0.7495	30	0.7495

En conjunto, estos resultados indican que, en el periodo evaluado, las prácticas de agricultura de conservación no han generado cambios drásticos en la mayoría de las propiedades fisicoquímicas del suelo en comparación con la agricultura tradicional. Esto es consistente con el hecho de que las variables como la conductividad eléctrica, la materia orgánica o los nutrientes tienen a responder de manera gradual entre sistemas agrícolas. No obstante, la heterogeneidad observada en el porcentaje de saturación sugiere que la dinámica del agua en el suelo puede estar siendo modulada de forma diferenciada por las prácticas de manejo, lo que podría tener implicaciones sobre la actividad microbiana y el movimiento de sales en ciclos posteriores.

En la comparación de medias (Tabla 3), sólo el pH mostró diferencias significativas entre manejos, con valores ligeramente más altos en AT que en AC, lo que indica una reducción del pH bajo AC, aunque ambos sistemas dentro de un rango alcalino. Las variables conductividad eléctrica, magnesio, sodio, NO₃⁻ y materia orgánica no presentaron diferencias significativas entre AT y AC; sin embargo, numéricamente la AC tendió a mostrar menos conductividad eléctrica y sodio, así como mayor magnesio y porcentaje de saturación. La densidad aparente siguió una tendencia similar, con valores ligeramente menores en AC, sin diferencias estadísticas, probablemente a que los efectos del manejo sobre la estructura física del suelo

suelen manifestarse a más largo plazo. Los conteos cultivables (UFC log) tampoco mostraron diferencias significativas entre tratamientos, aunque se observó una tendencia a mayores valores medios en AT. Estudios como el Ishaq et al., (2017) refuerzan los resultados obtenidos, dado que los suelos con manejo orgánico presentaron mayor diversidad alfa y riqueza, no así para la densidad de microorganismos, por lo que podría deberse a que hay menos competencia y como resultado se dan las condiciones para una mayor generación de UFC.

Cuadro 3. Comparación de medias para tipos de agricultura y variables de análisis de suelo

	pH	Saturación (%)	Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	Magnesio (ppm)	Sodio (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (g cm ⁻³)	UFC Log
AT	8.46 a	40 a	1.67 a	66.43 a	173.97 a	2.98 a	0.87 a	1.73 a	1.42 a
AC	8.37 b	42.33 a	1.5 a	76.13 a	102.7 a	2.97 a	0.85 a	1.51 a	1.06 a

Correlaciones de UFC log con las variables del suelo

El análisis de correlación de Pearson (Tabla 4) entre las variables del suelo y los conteos mostró que el pH fue la única variable significativamente asociada con UFC log ($r = 0.93$; $p = 0.01$), indicando una relación positiva muy fuerte en el conjunto de muestras analizado. Densidad aparente y sodio presentaron correlaciones moderadas a fuertes con UFC log, pero no significativas. Entre las propiedades edáficas, se observaron correlaciones significativas entre pH y densidad aparente ($r = 0.83$; $p = 0.04$), sodio y densidad aparente ($r = 0.87$; $p = 0.02$), así como entre el porcentaje de saturación y NO₃⁻ ($r = -0.85$; $p = 0.03$). La correlación positiva muy fuerte entre pH y UFC log sugiere que, dentro del rango alcalino observado, ligeros incrementos en pH se asocian con un aumento en la fracción cultivable de la microbiota, lo cual podría estar reflejando la afinidad de los grupos dominantes por condiciones ligeramente más alcalinas. Sin embargo, esta relación debe interpretarse con cautela, ya que el pH también se correlacionó positivamente con la densidad aparente y el sodio, lo que podría indicar cierto grado de colinealidad entre las propiedades edáficas. El hecho de que otras variables, como la materia orgánica y NO₃⁻, no se asocien de manera significativa con las UFC respalda la idea de que la abundancia de microorganismos cultivables en estos suelos no depende únicamente de la disponibilidad inmediata de nutrientes, sino de un conjunto de

condiciones físico-químicas integradas. Estos patrones proporcionan un contexto importante para interpretar, en la siguiente sección, cómo difiere la estructura taxonómica de las comunidades bacterianas y fúngicas entre MAC y MAT cuando se analiza por secuenciación 16S e ITS.

Cuadro 4. Análisis de correlación entre las UFC vs las variables de suelos

	pH	Saturación (%)	Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	Magnesio (ppm)	Sodio (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (g cm ⁻³)	UFC log
pH	1	0.82	0.34	0.46	0.12	0.48	0.39	0.04	0.01
Saturación (%)	-0.12	1	0.88	0.66	0.33	0.03	0.2	0.33	0.68
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0.48	-0.08	1	0.2	0.97	0.94	0.23	0.61	0.24
Magnesio (ppm)	-0.38	0.23	0.61	1	0.13	0.75	0.43	0.33	0.59
Sodio (ppm)	0.7	-0.49	-0.02	-0.69	1	0.9	0.98	0.02	0.28
NO ₃ ⁻ (ppm)	-0.36	-0.85	0.04	0.17	0.07	1	0.18	0.96	0.65
Materia orgánica (%)	0.44	0.6	0.58	0.4	-0.01	-0.63	1	0.74	0.61
Densidad aparente	0.83	-0.48	0.26	-0.49	0.87	0.02	0.18	1	0.12
UFC log	0.93	-0.22	0.56	-0.28	0.53	-0.24	0.27	0.7	1

Identificación molecular de bacterias basada en 16S.

En la fracción cultivable en agar nutritivo identificada mediante la región V3 – V4, del gen 16S ribosomal, las abundancias relativas por sitio se aproximaron a 1 (M2 = 0.99; M11 = 1.00). El sitio bajo agricultura de conservación (MAC) presentó mayor diversidad alfa (Shannon = 3.329; Simpson 1-D = 0.6599; n=41) en comparación con la agricultura tradicional (MAT) (Shannon = 2.768; Simpson 1-D=0.6448; n= 41), lo que coincide con una mayor riqueza de géneros (25 en M2 frente a 9 en M11).

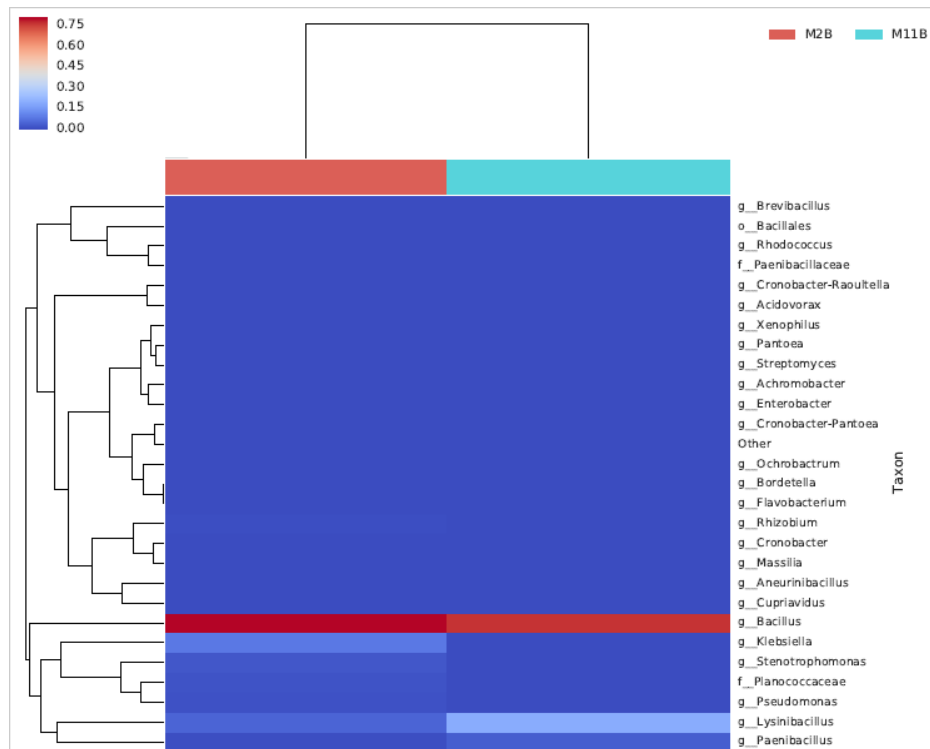


Figura 2. Mapa de calor de diversidad microbiana de bacterias cultivables de suelo bajo Agricultura de conservación (MAC) y Agricultura tradicional (MAT) basado en 16S.

Investigaciones de largo plazo (15 a 44 años) realizadas Carbonetto et al., (2014), Khmelevtsova et al., (2022); M. Li et al., (2021) y Rincon-Florez et al., (2020) , concluyen que especies como *Sesbania spp* y prácticas de conservación adaptadas a los diferentes contextos de cada zona agrícola presentan la misma tendencia de incrementar el índice de Shannon y Simpson a diferencias de las prácticas tradicionales. Algunos estudios sugieren que la adición de fertilizantes inorgánicos pueden incrementar linealmente los valores de esos índices, esta situación puede también observarse al agregar materia orgánica para promover procesos biológicos de mineralización (Lupwayi et al., 2018).

En ambos sitios, la fracción cultivable está fuertemente dominada por *Bacillus* (80.669 % en MAC; 76.71 % en MAT), un género esporulado ubicuo en suelo, capaz de resistir sequía, labranza intensiva y el constante uso de agroquímicos mediante bancos de esporas y conocido por su amplia capacidad enzimática extracelular (amilasas, celulasas, proteasas), producción de sideróforos, biosurfactantes y

metabolitos antimicrobianos que le confieren funciones de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y agente de biocontrol (Freire et al., 2024).

Las comunidades microbianas difieren marcadamente en los taxones secundarios. En MAT se concentra un consorcio de bacilos esporulados con funciones PGPR encabezado por *Lysinibacillus* (19.526 % vs 4.51 % en MAC), género asociado a la solubilización de fósforo mediante ácidos orgánicos y fosfatasas, producción de ácido Indolacético (IAA) y tolerancia a metales pesados, rasgos relevantes en suelos perturbados (Gupta et al., 2024); y por *Paenibacillus* (3.346 vs 0.449 en MAC), que incluye especies con fijación asociativa de N₂, solubilización de P y actividad celulítica/quitinolítica vinculada a biocontrol.

Se detectaron también, aunque en bajas proporciones, *Brevibacillus* (0.087 % en MAT; 0.022 % en MAC), género esporulado con producción de quitinasas y antagonismo frente a hongos fitopatógenos, y *Aneurinibacillus* (0.084 %, en MAT; 0.117% en MAC), linaje frecuentemente tolerante al estrés térmico y ambiental, con enzimas degradadoras de compuestos complejos (Ahmad et al., 2023; H.-P. Li et al., 2023; Siddique et al., 2021). *Rhodococcus* aparece como género exclusivo de MAT y representa *Actinobacterias* catabólicamente versátiles, capaces de degradar hidrocarburos y compuestos recalcitrantes y realizar biotransformaciones, lo que se alinea con pulsos de oxidación y microambientes de estrés asociados al manejo tradicional (Feng et al., 2021).

En contraste, MAC concentra un ensamble más diverso de bacterias Gram negativas rizosféricas y heterótrofas aerobias/facultativas ausentes en MAT (Figura 2). Destaca *Klebsiella* (8.242 % en MAC; no detectada en MAT), género con cepas capaces de fijación asociativa de N₂, solubilización de P y colonización de raíces (si bien incluye especies oportunistas, su detección en suelo y raíces, a este nivel de resolución, no implica riesgo sanitario (Saha et al., 2017). *Pseudomonas* (1.072 % en MAC; < 0.01 % en MAT) aporta enzimas degradativas, sideróforos y actividad antagónica documentada, reforzando el biocontrol y el reciclaje de carbono. *Rhizobium* (0.418 %, en MAC; no detectada en MAT) es consistente con la implementación de cultivos de cobertura del género *Sesbania* y procesos de fijación

simbiótica o asociativa de N₂ (Ahmad et al., 2023; H.-P. Li et al., 2023; Saha et al., 2017; Siddique et al., 2021). *Massilia* (0.258 % en MAC; no detectada en MAT) actúa como temprano de raíces con capacidad de degradar compuestos aromáticos, tolerar metales y participar en interacciones potencialmente fijadoras de N, rasgos de interés útil en fitorremediación aunado a esto, este género de reciente descripción ha dado promisorios usos en la biotecnología por su capacidad de producir polímeros y metabolitos secundarios (Amirhosseini et al., 2025). *Enterobacter* (0.074 %, en MAC; no detectada en MAT) y *Pantoea* (0.066 % en M2; no detectada en MAT), géneros que incluyen tanto cepas PGPR como u oportunistas según la especie, contribuyen a la movilización de nutrientes y la competencia en la rizosfera (Pan & Cai, 2023; Pandey et al., 2019).

Adicionalmente, *Streptomyces* (0.059 % en MAC; no detectado en MAT), Actinobacteria filamentosa, reconocida por la producción de antibióticos y enzimas que degradan celulosa, lignina y quitina, sugiere procesos de supresión natural de patógenos y reciclaje de carbono recalcitrante (Soumare et al., 2020). *Xenophilus* (0.53 % en MAC; no detectado en MAT) diversas especies de este género participan en la biotransformación de xenobióticos y movilización de fósforo, estos microorganismos han sido ampliamente utilizados en diversos inóculos de consorcios bacterianos por sus beneficios observados en la producción de sustancias promotoras del crecimiento como ácido indolacético, giberelinas, citoquininas y auxinas (Phule et al., 2018).) y *Ochrobactrum* (Presente sólo en MAC) es un género bacteriano conocido por su capacidad de crecer en condiciones de alta salinidad en los suelos agrícolas, con producción de hormonas de crecimiento y aminoácidos, (Huda Krebit Hundi et al., 2025). *Achromobacter* (0.090 % en MAC; no detectado en MAT) indica potencial de desnitrificación y degradación de contaminantes como insecticidas a base de neonicotinoides, compatible con microzonas anóxicas transitorias en micro agregados del suelo (Gao et al., 2021). Dentro de Bacteroidetes, *Flavobacterium* (0.025 % en MAC; no detectado en MAT) refleja la degradación de polisacáridos vegetales asociada a la incorporación de residuos y beneficios asociados a promover el crecimiento bacteriano aún sin describir (Seo et al., 2024). *Bordetella* (0.028 % en MAC; no detectado en MAT)

incluye linajes ambientales con potencial desnitrificante, un estudio realizado por Lacerda-Júnior et al., (2023). Concluye que especies de este género en conjunto con *Streptomyces* y *Aspergillus* en la descomposición de materia orgánica lignificada. Las asignaciones a *Cronobacter* se interpretan como de baja resolución dentro de *Enterobacteriaceae* ambientales/vegetales sin implicaciones de riesgo sanitario (Pan & Cai, 2023). Adicionalmente, en MAC los géneros no asignados o de resolución taxonómica incompleta alcanzan el 1.27 %, frente al 0.22 % en MAT, lo que subraya que la comunidad más rica también presenta una estructura más compleja y parcialmente no resuelta.

A nivel de unidad experimental, los géneros con abundancia relativa superior al 1 % incluyen, en MAC, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Lysinibacillus*, *Stenotrophomonas* y *Pseudomonas*, mientras que en MAT se encuentran *Bacillus*, *Lysinibacillus* y *Paenibacillus* géneros que han aislado en diversos estudios donde su cultivo principal consistió en una rotación entre trigo y maíz (Asghar et al., 2023) lo que sugiere que el manejo basado en prácticas de conservación favorece a las comunidades bacterianas consistentes, dominadas por taxones con funciones potencialmente benéficas para el cultivo. Entre ambas prácticas agrícolas se comparten *Bacillus*, *Lysinibacillus*, *Paenibacillus*, *Brevibacillus* y *Aneurinibacillus*, mientras que la mayoría de los géneros exclusivos de MAC corresponden a bacterias Gram negativas (18 géneros), y el único género exclusivo de MAT es *Rhodococcus*. Funcionalmente, el perfil de MAC sugiere una red rizosférica amplia, con gremios metabolizadores de carbono, nitrógeno y fósforo diversos, potencial de fijación asociativa de nitrógeno atmosférico, procesos de desnitrificación y solubilización de fósforo; en contraste, el suelo con manejo convencional (MAT), se caracteriza por una comunidad centrada en bacilos esporulados PGPR y una señal actinobacterial asociada al catabolismo de compuestos recalcitrantes, configurando un ensamble funcionalmente competente pero menos diverso. Aun cuando ambas comunidades muestran similitud global a nivel de género (índice Bray-Curtis = 0.18) debido a la dominancia compartida de *Bacillus*, la identidad y funciones de los taxones secundarios difieren claramente y se alinean con las prácticas de manejo (conservación = mayor diversidad funcional; tradicional = resiliencia basada en

esporulación). Cabe señalar que estas inferencias se derivan exclusivamente de la fracción cultivable en un único medio (agar nutritivo); no obstante, proporcionan un marco ecológico sólido para interpretar el efecto del manejo agrícola sobre la microbiota del suelo.

Identificación molecular de hongos basada en ITS. En la fracción fúngica cultivable a nivel de género, ambas parcelas (MAC = conservación; MAT = tradicional) estuvieron fuertemente dominadas por *Rhizopus* (Mucoral saprófito de crecimiento rápido) con abundancias relativas de 97.05 % en MAC y 99.80 % en MAT. Esta hiper – dominancia se refleja en diversidades alfa bajas (MAC = 0.14 vs MAT = 0.16), valores reducidos de Simpson (1 – D) (MAC = 0.057 vs MAT = 0.003) y una alta similitud composicional entre sitios (Bray – Curtis = 0.2924).

A pesar del dominio de *Rhizopus*, MAC presentó mayor riqueza de géneros (5 vs 3) y un conjunto secundario con funciones ecológicas distintivas, integrado por *Alternaria* (2.75 %), saprófito asociado a la degradación de residuos vegetales y superficies secas (DeMers, 2022); *Trichoderma* (0.1512 %), género con reconocidas capacidades de biocontrol y microparasitismo (producción de quitinasas, β – 1, 3 – glucanasas, antibióticos y sideróforos) (Senkovs et al., 2021; Woo et al., 2023); y *Talaromyces* (0.022 %), descomponedor de polisacáridos y agente de biocontrol (Abbas et al., 2024). Estos géneros estuvieron ausentes en MAT. En conjunto, MAC evidencia una mayor amplitud de gremios saprófitos y de biocontrol, coherente con la cobertura superficial de residuos y la heterogeneidad estructural asociada a la agricultura de conservación.

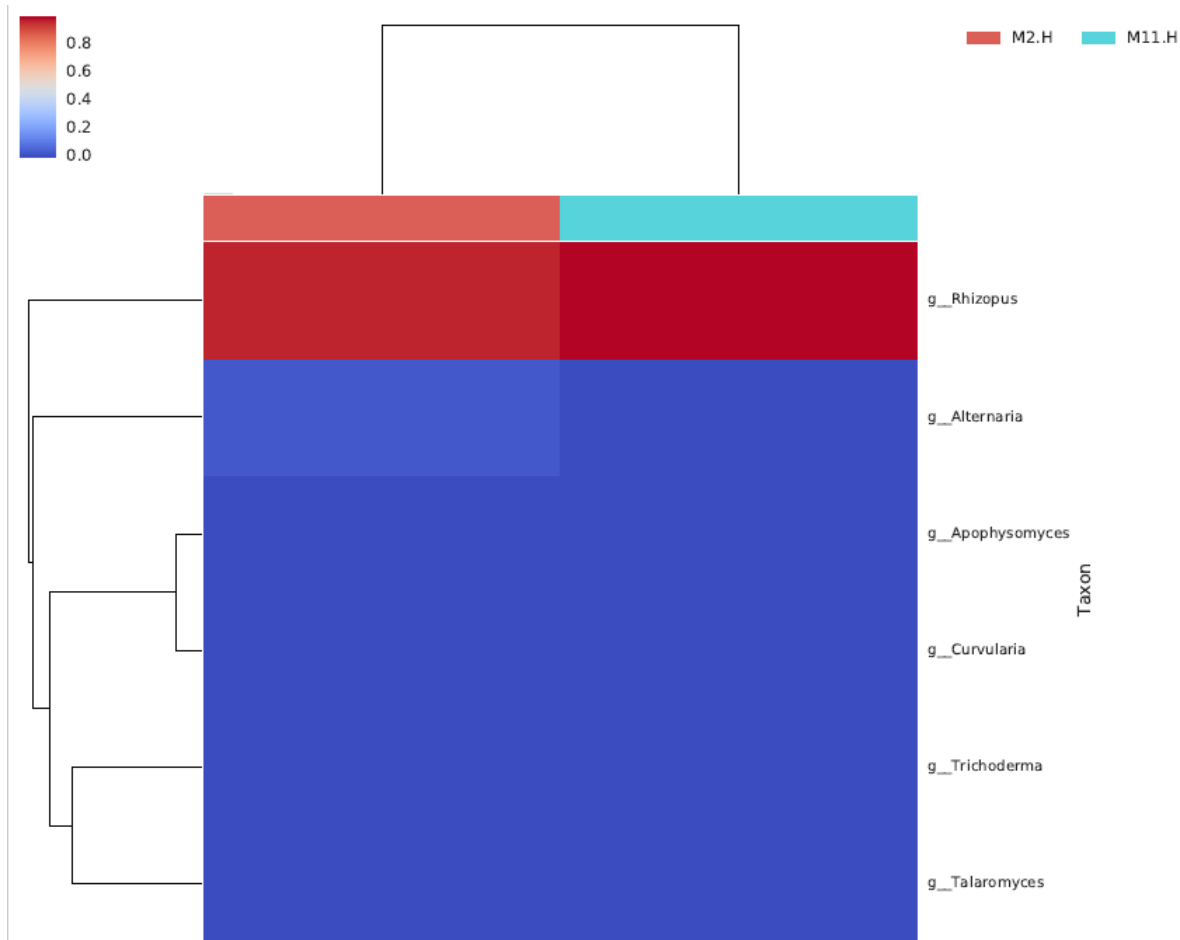


Figura 3. Mapa de calor de diversidad microbiana de hongos cultivables de suelo bajo Agricultura de conservación (MAC) y Agricultura tradicional (MAT) basada en ITS.

En MAT, además de la hiper – dominancia de *Rhizopus* se detectó *Curvularia* (0.1003 %, no registrada en MAC), genero asociado a gramíneas y a condiciones de estrés que incluye especies tanto fitopatógenas como endófitas (Mehta et al., 2022), así como un leve incremento de *Apopphysomyces*, hongo que se caracteriza por colonizar los suelos de la rizosfera en ambientes extremos, específicamente en suelos expuestos a altas temperaturas (Yarzabal Rodríguez et al., 2024) Este patrón configura un ensamble más simple, consistente con condiciones de mayor exposición y perturbación.

En conjunto, la hiper – dominancia mencionada, reduce la équidas y tiende a ocultar parte de la diversidad, los patrones observados sugieren que la agricultura de

conservación sostiene una comunidad funcionalmente más compleja, mientras que la agricultura tradicional mantiene una estructura menos diversa y potencialmente más vulnerable (figura 3). Dado el sesgo del medio generalista hacia *Mucorales* de rápido crecimiento, se recomienda la incorporación de medios selectivos, el uso de diluciones elevadas y la aplicación de ITS metabarcoding con réplicas biológicas, con el fin de cuantificar la β – diversidad y las diferencias a nivel de taxón entre manejos.

CONCLUSIONES

En las condiciones áridas y alcalinas del Valle de Mexicali, la implementación de AC no generó cambios drásticos en la mayoría de las propiedades fisicoquímicas del suelo en el periodo evaluado, en comparación con la AT. A excepción del pH, que fue ligeramente menor bajo AC pero se mantuvo dentro de un rango alcalino en ambos manejos.

La fuerte correlación positiva entre pH y UFC, así como las asociaciones entre pH, sodio y densidad aparente, indican que pequeñas variaciones en el ambiente edáfico pueden modular la fracción cultivable de la microbiota en estos suelos.

En la fracción bacteriana cultivable, la AC se asoció con una mayor diversidad alfa y riqueza de géneros AC respecto a AT, aun cuando las UFC no difirieron significativamente entre manejos.

Ambas parcelas estuvieron dominadas por *Bacillus*, la parcela bajo AC incorporó un consorcio bacteriano más complejo enriquecido en Gram negativas rizosféricas (*Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Massilia*, *Enterobacter*, *Pantoea*, entre otros) con funciones potenciales en fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo, degradación de compuestos recalcitrantes y supresión de patógenos. En contraste, la AT concentró un consorcio de bacilos esporulados característico de suelos sometidos a condiciones de estrés.

En la fracción fúngica cultivable, ambas parcelas mostraron una hiper- dominancia de *Rhizopus*, reflejada en valores bajos de diversidad alfa y en una similitud

composicional. Sin embargo, la AC sostuvo una fracción secundaria de géneros saprófitos y de biocontrol ausentes en la AT, lo que apunta a una comunidad fúngica funcionalmente más diversa y potencialmente más capaz de participar en la descomposición de residuos y en la supresión de patógenos. En la AT, la presencia de *Curvularia* y un mayor aporte de *Apophysomyces* se asocian con condiciones de estrés y exposición más intensa, configurando un ensamble más simple y posiblemente más vulnerable.

En conjunto, estos resultados indican que, aun cuando los cambios fisicoquímicos del suelo son todavía incipientes, la AC favorece comunidades microbianas más diversas y complejas a nivel funcional, en comparación con la AT.

Esta investigación aporta evidencia inicial de que, en suelos áridos y alcalinos bajo riego, los indicadores microbianos pueden ser más sensibles que los indicadores fisicoquímicos para detectar los efectos tempranos de la AC. No obstante, el estudio presenta limitaciones importantes: se basa en un único muestreo temporal, en un número reducido de unidades para la caracterización molecular y en una fracción cultivable obtenida de medios general, subestimando la diversidad real de bacterias y hongos en el suelo. Se sientan las bases para futuras investigaciones donde se incorporen series de tiempo, uso de medios selectivos y aproximaciones de metabarcoding con mayor resolución taxonómico, así como la integración de indicadores funcionales como actividad enzimática o metatranscriptómica que permitan vincular de forma más directa la composición de la microbiota con los procesos de ciclado de nutrientes, la estabilidad estructural del suelo y la resiliencia de los agroecosistemas bajo AC en regiones áridas.

Referencias

- Abbas, A., Ali, S., Mubeen, M., Hussain, A., Gutumsary, K. A., Hussain, B., & Chen, T. (2024). *Talaromyces spp. Are Promising Biocontrol Agents for Sustainable Agriculture* (pp. 245–280). https://doi.org/10.1007/978-981-97-8739-5_13
- Ahmad, A., Moin, S. F., Liaqat, I., Saleem, S., Muhammad, F., Mujahid, T., & Zafar,

- U. (2023). Isolation, Solubilization of Inorganic Phosphate, and Production of Organic Acids by Individual and Co-inoculated Microorganisms. *Geomicrobiology Journal*, 40(1), 111–121.
<https://doi.org/10.1080/01490451.2022.2124329>
- Amirhosseini, K., Alizadeh, M., & Azarbad, H. (2025). Harnessing the Ecological and Genomic Adaptability of the Bacterial Genus *Massilia* for Environmental and Industrial Applications. *Microbial Biotechnology*, 18(5).
<https://doi.org/10.1111/1751-7915.70156>
- Asghar, I., Ahmed, M., Farooq, M. A., Ishtiaq, M., Arshad, M., Akram, M., Umair, A., Alrefaei, A. F., Jat Baloch, M. Y., & Naeem, A. (2023). Characterizing indigenous plant growth promoting bacteria and their synergistic effects with organic and chemical fertilizers on wheat (*Triticum aestivum*). *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1232271>
- Avendaño-Ruiz, B., Acosta-Martínez, A., & Varela-Llamas, R. (2010). *El trigo en Baja California* (Universidad Autónoma de Baja California (Ed.); Vol. 1). Editorial Miguel Angel Porrúa.
- Awale, R., Singh, S., & Machado, S. (2022). Soil chemical properties and wheat yields under different tillage and nitrogen rates in eastern Oregon. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 5(3).
<https://doi.org/10.1002/agg2.20272>
- Bedano, J. C., Lavelle, P., & Zou, X. (2021). Soil biodiversity for the sustainability of agroecosystems. *Acta Oecologica*, 110, 103705.
<https://doi.org/10.1016/j.actao.2021.103705>
- Borbón-Gracia, A., Díaz-Ceniceros, H. L., Chávez-Villalba, G., Ammar, K., Fuentes-Dávila, G., Alvarado-Padilla, J. I., & Huerta-Espino, J. (2022). DON LUPE ORO C2020: Nueva Variedad de Trigo duro para el noroeste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(3), 413.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2022.3.413>
- Brajcich Gallegos, P., Cornejo Oviedo, E., Govaerts, B., Moncada de la fuente, J.,

- Barrales Dominguez, S., Ornelas Ruiz, P., Obando Rodríguez, R., Galo Medina, J., Aguirre Elizondo, R., Reyes Muro, L., Ortíz Trejo, C., Vargas Mir, S., González Salamanca, M., Rodríguez Díaz, V., Mendoza Ruiz, C., Sánchez Galván, B., De la Vega García, P., & Medina Montaña, F. (2015). *Agenda técnica agrícola Baja California*.
https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?//=AT
- Brun, L., Abdulsamad, A., Geurtsen, C., & Gereffi, G. (2010). *Agricultural value chaing in the mexicali valle of Mexico main producers and buyers*.
- Bunma, S., & Balslev, H. (2019). A Review of the Economic Botany of Sesbania (Leguminosae). *The Botanical Review*, 85(3), 185–251.
<https://doi.org/10.1007/s12229-019-09205-y>
- Carbonetto, B., Rascovan, N., Álvarez, R., Mentaberry, A., & Vázquez, M. P. (2014). Structure, Composition and Metagenomic Profile of Soil Microbiomes Associated to Agricultural Land Use and Tillage Systems in Argentine Pampas. *PLoS ONE*, 9(6), e99949.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099949>
- Chaudhary, P., Bhattacharjee, A., Khatri, S., Dalal, R. C., Kopittke, P. M., & Sharma, S. (2024). Delineating the soil physicochemical and microbiological factors conferring disease suppression in organic farms. *Microbiological Research*, 289, 127880. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127880>
- Chávez-Villalba, G., Camacho-Casas, M. A., Ammar, K., Alvarado-Padilla, J. I., Fuentes Dávila, G., & Borbon-Gracia, A. (2018). CENEB Oro C2017: nueva variedad de trigo duro para el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(7), 1560–1563.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1679>
- Chernov, T. I., Tkhakakhova, A. K., & Kutovaya, O. V. (2015). Assessment of diversity indices for the characterization of the soil prokaryotic community by metagenomic analysis. *Eurasian Soil Science*, 48(4), 410–415.
<https://doi.org/10.1134/S1064229315040031>

- DeMers, M. (2022). *Alternaria alternata* as endophyte and pathogen. *Microbiology*, 168(3). <https://doi.org/10.1099/mic.0.001153>
- Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., & Hongwen, L. (2010). Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 3(1), 1–25. <https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.001-025>
- Dirección de investigación y Evaluación Económica y Sectorial. (2025). Panorama Agroalimentario Trigo 2025. En *Panorama Agroalimentario*. <https://www.fira.gob.mx/InvYEvalEcon/EvaluacionIF>
- Domínguez, A. (2024, noviembre 8). Pronostican disminución de superficie de siembra de trigo. *La voz de la frontera* . <https://oem.com.mx/lavozdelafrontera/local/pronostican-disminucion-de-superficie-de-siembra-de-trigo-13137426>
- Dubcovsky, J., & Dvorak, J. (2007). Genome Plasticity a Key Factor in the Success of Polyploid Wheat Under Domestication. *Science*, 316(5833), 1862–1866. <https://doi.org/10.1126/science.1143986>
- Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., Journet, E.-P., Aubertot, J.-N., Savary, S., Bergez, J.-E., & Sarthou, J. P. (2015). How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1259–1281. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>
- Escobar Pérez, L. (2016, enero 1). Análisis de la problemática de los pequeños y medianos productores de trigo del Valle de Mexicali. *Coloquio Interdisciplinario de Posgrado – Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla*. <https://cipu.upaep.mx/index.php/cipu/article/view/356/311>
- Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Soto-Ortiz, R., & Quistián-Martínez, D. (2024). Producción de biomasa de cultivos de cobertura en plataforma de agricultura de conservación. En R. Torres-Ramos, A. Mendoza-Gómez, M. Beleño-Cabarcas, & A. Vázquez-

Espinoza (Eds.), *Producción agrícola sostenible: estrategias biotecnológicas para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria* (1a ed., pp. 13–21). Astra Editorial.

https://www.researchgate.net/publication/390438727_Produccion_de_biomasa_de_cultivos_de_cobertura_en_plataforma_de_agricultura_de_conservacion

Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Soto-Ortiz, R., Quistián-Martínez, D., Cervantes-Díaz, L., & Catañeda-Trujano, F. (2023). Cuantificación de nódulos en *Sesbania grandiflora*. En *XXVI Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas Memorias en extenso* (pp. 516–519). Universidad Autónoma de Baja California.

https://drive.google.com/file/d/16pFkZ0cmMHSbDD_09C11aT48_MRkQJA/view

Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Velasco-López, J. L., Soto-Ortiz, R., & Quistián-Martínez, D. (2024). Evaluación de las variedades de trigo Don Lupe Oro C2020 y Ciano M2018 durante el ciclo 2022-2023 en el Valle de Mexicali, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(3). <https://doi.org/10.56369/5440>

FAO. (2024). *Agricultura de conservación*. <https://www.fao.org/conservation-agriculture/es/>

Feng, S., Gong, L., Zhang, Y., Tong, Y., Zhang, H., Zhu, D., Huang, X., & Yang, H. (2021). Bioaugmentation potential evaluation of a bacterial consortium composed of isolated *Pseudomonas* and *Rhodococcus* for degrading benzene, toluene and styrene in sludge and sewage. *Bioresource Technology*, 320, 124329. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124329>

Fonteyne, S., Dominguez-Flores, O., García - López, A. R., Velasco-López, J. L., & Verhulst, N. (2022). *Avances en agricultura sostenible Resultados de plataforma de investigación HUB Pacífico Norte 2010 - 2021* (M. C. I. de M. de Maíz (Ed.)).

Freire, V., Condón, S., & Gayán, E. (2024). Impact of sporulation temperature on

germination of *Bacillus subtilis* spores under optimal and adverse environmental conditions. *Food Research International*, 182, 114064. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114064>

Gao, Y., Liu, M., Zhao, X., Zhang, X., & Zhou, F. (2021). Paracoccus and Achromobacter bacteria contribute to rapid biodegradation of imidacloprid in soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 225, 112785. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112785>

Gupta, A., Siwach, C., & Mishra, V. K. (2024). Revolutionizing remediation: Unveiling the power of *Lysinibacillus* sp. in tackling heavy metal stress. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 8, 100156. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100156>

Hoffman, C. S., & Winston, F. (1987). A ten-minute DNA preparation from yeast efficiently releases autonomous plasmids for transformation of *Escherichia coli*. *Gene*, 57(2–3), 267–272. [https://doi.org/10.1016/0378-1119\(87\)90131-4](https://doi.org/10.1016/0378-1119(87)90131-4)

Huda Khabit Hundi, Mustafa Qais Hamid, & Ali Abdul Majeed Noori. (2025). Role of Ochrobactrum Bacteria and Organic Matter in Plant Growth and the Content of N, P, and K Under Soil Salinity Stress. *Journal of Environmental & Earth Sciences*, 7(5), 130–139. <https://doi.org/10.30564/jees.v7i5.8777>

INEGI. (2022). *Aspectos geográficos de Baja California*.

Ishaq, S. L., Johnson, S. P., Miller, Z. J., Lehnhoff, E. A., Olivo, S., Yeoman, C. J., & Menalled, F. D. (2017). Impact of Cropping Systems, Soil Inoculum, and Plant Species Identity on Soil Bacterial Community Structure. *Microbial Ecology*, 73(2), 417–434. <https://doi.org/10.1007/s00248-016-0861-2>

Kannan, M. N., Sethi, S., Badoni, A., & Chamoli, V. (2018). *Advances in Agriculture and Natural Sciences for Sustainable Agriculture Isolation and characterization of bacterial isolates from agriculture field soil of Roorkee region*. 2013, 108–110.

Karmakar, P., Singh, V., Yadava, R. B., Singh, D. B., Singh, R., & Kushwaha, M.

(2016). *Agathi [Sesbania grandiflora L. (Agast)]: Current Status of Production, Protection and Genetic Improvement.*

- Khmelevtsova, L. E., Sazykin, I. S., Azhogina, T. N., & Sazykina, M. A. (2022). Influence of Agricultural Practices on Bacterial Community of Cultivated Soils. *Agriculture*, 12(3), 371. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030371>
- Kleijn, D., Bommarco, R., Fijen, T. P. M., Garibaldi, L. A., Potts, S. G., & van der Putten, W. H. (2019). Ecological Intensification: Bridging the Gap between Science and Practice. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(2), 154–166. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.11.002>
- Lacerda-Júnior, G. V., Pastore, R. A. A., Delforno, T. P., Centurion, V. B., Noronha, M. F., Ventura, J. P., Sartoratto, A., Melo, I. S., & Oliveira, V. M. (2023). Taxonomic and functional dynamics of the soil microbiome from a tropical dry forest in kraft lignin-amended microcosms. *Applied Soil Ecology*, 183, 104766. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104766>
- Lei, S., Xu, X., Cheng, Z., Xiong, J., Ma, R., Zhang, L., Yang, X., Zhu, Y., Zhang, B., & Tian, B. (2019). Analysis of the community composition and bacterial diversity of the rhizosphere microbiome across different plant taxa. *MicrobiologyOpen*, 8(6). <https://doi.org/10.1002/mbo3.762>
- Leite, H. M. F., Calonego, J. C., Rosolem, C. A., Mendes, L. W., de Moraes, L. N., Grotto, R. M. T., Araujo, F. F., Pereira, A. P. de A., Melo, V. M. M., & Araujo, A. S. F. (2021). Cover crops shape the soil bacterial community in a tropical soil under no-till. *Applied Soil Ecology*, 168, 104166. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104166>
- Li, H.-P., Han, Q.-Q., Liu, Q.-M., Gan, Y.-N., Rensing, C., Rivera, W. L., Zhao, Q., & Zhang, J.-L. (2023). Roles of phosphate-solubilizing bacteria in mediating soil legacy phosphorus availability. *Microbiological Research*, 272, 127375. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127375>
- Li, M., He, P., Guo, X.-L., Zhang, X., & Li, L.-J. (2021). Fifteen-year no tillage of a Mollisol with residue retention indirectly affects topsoil bacterial community by

altering soil properties. *Soil and Tillage Research*, 205, 104804.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104804>

Li, Y., Xue, C., Chai, C., & Li, W. (2025). A comparative assessment for agricultural eco-efficiency under conventional tillage and conservation tillage: A case study of China. *Journal of Rural Studies*, 120, 103890.
<https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2025.103890>

Lorenzetti, L. A., & Fiorini, A. (2024). Conservation Agriculture Impacts on Economic Profitability and Environmental Performance of Agroecosystems. *Environmental Management*, 73(3), 532–545. <https://doi.org/10.1007/s00267-023-01874-1>

Lupwayi, N. Z., May, W. E., Kanashiro, D. A., & Petri, R. M. (2018). Soil bacterial community responses to black medic cover crop and fertilizer N under no-till. *Applied Soil Ecology*, 124, 95–103.
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.11.003>

Macias, C., Rosiles, L., & Pérez, S. (2010). El financiamiento como factor de competitividad para el productor de trigo del Valle de Mexicali, Baja California, México. *Global Conference on Business and Finance Proceedings*, 962–966.

Magar, S. T., Timsina, J., Devkota, K. P., Weili, L., & Rajbhandari, N. (2022). Conservation agriculture for increasing productivity, profitability and water productivity in rice-wheat system of the Eastern Gangetic Plain. *Environmental Challenges*, 7, 100468. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100468>

Martínez-Gamiño, M. Á., Osuna-Ceja, E. S., Padilla Rampirez, J. S., & Pimentel-López, J. (2023). Agricultura de conservación: alternativa para la mitigación del cambio climático en el altiplano semiárido de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(6), e2957.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.2957>

Mehta, T., Meena, M., & Nagda, A. (2022). Bioactive compounds of *Curvularia* species as a source of various biological activities and biotechnological applications. *Frontiers in Microbiology*, 13.

<https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1069095>

Michel-López, C. Y., Caballero-Julián, S., Flores-Garibay, R., Lara-Rivera, A. L., Morales-Hernández, J. C., & Zambrano-Reyes, C. (2023). Estudio exploratorio de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) como actividad productiva del valle de Mexicali, México. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 17.

https://riiit.com.mx/apps/site/idem.php?module=Catalog&action=ViewItem&id=6357&item_id=85553&id=6357

Miller, P. R. (1996). *Cultivos de Cobertura Para la Agricultura de California*. Universidad de California, Division de Agricultura y Recursos Naturales.

<https://books.google.es/books?id=Eu-wBWrFWFwC>

Ndour, N. Y. B., Baudoin, E., Guissé, A., Seck, M., Khouma, M., & Brauman, A. (2008). Impact of irrigation water quality on soil nitrifying and total bacterial communities. *Biology and Fertility of Soils*, 44(5), 797–803.

<https://doi.org/10.1007/s00374-008-0285-3>

Nthebere, K., Tata, R. P., Gudapati, J., Bhimireddy, P., Admala, M., Chandran, L. P., & Yadav, M. B. N. (2025). Assessment of conservation agriculture on soil nutrient's stratification ratio, carbon sequestration rate, management indices and crop productivity in Southern Telangana India. *Scientific Reports*, 15(1), 15038. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00177-1>

O. I., O., A. A., A., A. N., M., M. O., A., C. N., N., & A. N., O. (2020). Microbial Diversity: Values and Roles in Ecosystems. *Asian Journal of Biology*, 10–22. <https://doi.org/10.9734/ajob/2020/v9i130075>

Ogle, S. M., Breidt, F. J., & Paustian, K. (2005). Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry*, 72(1), 87–121.

<https://doi.org/10.1007/s10533-004-0360-2>

Pan, L., & Cai, B. (2023). Phosphate-Solubilizing Bacteria: Advances in Their Physiology, Molecular Mechanisms and Microbial Community Effects.

Microorganisms, 11(12), 2904.

<https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>

- Pandey, A., Tripathi, A., Srivastava, P., Choudhary, K. K., & Dikshit, A. (2019). Plant growth-promoting microorganisms in sustainable agriculture. En *Role of Plant Growth Promoting Microorganisms in Sustainable Agriculture and Nanotechnology* (pp. 1–19). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817004-5.00001-4>
- Peña, R. J., Trethowan, R., Pfeiffer, W. H., & Ginkel, M. Van. (2002). Quality (End-Use) Improvement in Wheat. *Journal of Crop Production*, 5(1–2), 1–37. https://doi.org/10.1300/J144v05n01_02
- Phule, M., Vidyapeeth, K., Award, Y. S., Interactions, P., Interactions, R., Stress, A., Himachal, K., Krishi, P., & Publication, S. I. (2018). *Agritlcural microbiology: Harnessing microbial innovations for sustainable farming* (Vol. 136118).
- Prasad R., & Zhang So. (2022). *Beneficial Microorganisms in Agriculture* (R. Prasad & S.-H. Zhang (Eds.)). Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-0733-3>
- Rakshit, A., Singh, S. ., Abhilash, P. C., & Biswas, A. (Eds.). (2021). *Soil Science: Fundamentals to Recent Advances*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-0917-6>
- Rincon-Florez, V. A., Carvalhais, L. C., Dang, Y. P., Crawford, M. H., Schenk, P. M., & Dennis, P. G. (2020). Significant effects on soil microbial communities were not detected after strategic tillage following 44 years of conventional or no-tillage management. *Pedobiologia*, 80, 150640. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2020.150640>
- Rosado-flores, M. F., González-prieto, J. M., Mireles-martínez, M., Torres-ortega, J. A., María, N., & Jesús, R. (2020). *Identificación de microorganismos aislados de suelos agrícolas con capacidad de tolerar 2.4-D y malatión*. 1–9.

- SADER. (2024). *Buscan autoridades y productores alternativas para el nuevo ciclo triguero en el Valle de Mexicali*.
- Saha, B., Saha, S., Das, A., Bhattacharyya, P. K., Basak, N., Sinha, A. K., & Poddar, P. (2017). Biological Nitrogen Fixation for Sustainable Agriculture. En *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture* (pp. 81–128). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5343-6_4
- Saldivia-Tejeda, A., Uribe-Guerrero, M. Á., Rojas-Cruz, J. M., Guera, O. G. M., Verhulst, N., & Fonteyne, S. (2024). Conservation agriculture enhances maize yields and profitability in Mexico's semi-arid highlands. *Scientific Reports*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80928-8>
- Senkovs, M., Nikolajeva, V., Makarenkova, G., & Petrina, Z. (2021). Influence of *Trichoderma asperellum* and *Bacillus subtilis* as biocontrol and plant growth promoting agents on soil microbiota. *Annals of Microbiology*, 71(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s13213-021-01647-3>
- Seo, H., Kim, J. H., Lee, S.-M., & Lee, S.-W. (2024). The Plant-Associated Flavobacterium: A Hidden Helper for Improving Plant Health. *The Plant Pathology Journal*, 40(3), 251–260. <https://doi.org/10.5423/PPJ.RW.01.2024.0019>
- Shen, J., Tao, Q., Dong, Q., Luo, Y., Luo, J., He, Y., Li, B., Li, Q., Xu, Q., Li, M., Guo, L., Cai, Y., Tang, X., Zhao, J., Li, H., & Wang, C. (2021). Long-term conversion from rice-wheat to rice-vegetable rotations drives variation in soil microbial communities and shifts in nitrogen-cycling through soil profiles. *Geoderma*, 404, 115299. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115299>
- SIAP. (2024). *Panorama agroalimentario 2024*. https://drive.google.com/file/d/1NXcDhaB63Z94wjRUVF6f_FK0Urv6cgvJ/view
- SIAP. (2025). *Avance de siembras y cosechas*. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- Siddique, R., Gul, A., Ozturk, M., & Altay, V. (2021). Phosphate Solubilizing

- Bacteria for Soil Sustainability. En *Handbook of Assisted and Amendment: Enhanced Sustainable Remediation Technology* (pp. 423–435). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781119670391.ch21>
- Soumare, A., Boubekri, K., Lyamlouli, K., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., & Kouisni, L. (2020). From Isolation of Phosphate Solubilizing Microbes to Their Formulation and Use as Biofertilizers: Status and Needs. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00425>
- Souza, A. P. De, Lima, L., Zamadei, T., Martim, C. C., Almeida, F. T. De, & Paulino, J. (2013). CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA E BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO NO ESTADO DE MATO GROSSO IN MATO GROSSO STATE, BRAZIL. *Nativa*, 1(1).
- Springer. (2024). *The Wheat Genome* (R. Appels, K. Eversole, C. Feuillet, & D. Gallagher (Eds.)). Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-38294-9>
- Tian, W., Wang, L., Li, Y., Zhuang, K., Li, G., Zhang, J., Xiao, X., & Xi, Y. (2015). Responses of microbial activity, abundance, and community in wheat soil after three years of heavy fertilization with manure-based compost and inorganic nitrogen. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 213, 219–227.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.08.009>
- Verhulst, N., Francois, I., & Govaerts, B. (2015). ¿Qué es la agricultura de conservación? CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/que-es-la-agricultura-de-conservacion/>
- Woo, S. L., Hermosa, R., Lorito, M., & Monte, E. (2023). Trichoderma: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature Reviews Microbiology*, 21(5), 312–326. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00819-5>
- Yarzabal Rodríguez, L. A., Álvarez Gutiérrez, P. E., Gunde-Cimerman, N., Ciancas Jiménez, J. C., Gutiérrez-Cepeda, A., Ocaña, A. M. F., & Batista-García, R. A. (2024). Exploring extremophilic fungi in soil mycobiome for sustainable

agriculture amid global change. *Nature Communications*, 15(1), 6951.
<https://doi.org/10.1038/s41467-024-51223-x>

Yépez, M., Cedeño, A., & Mera, C. (2022). Rentabilidad económica empresarial, análisis de costos caso Martagua S.A., Montecristi Ecuador. *Polo del conocimiento*, 7(2550-682X), 1806–1825. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i7>

Zavala-Álvarez, J., Partida. Martínez, J. A., & Gastélum-López, L. D. C. (2022). La organización de productores de trigo de Baja California. En *POLIS. México* (Vol. 2022, Número 2).

Anexos

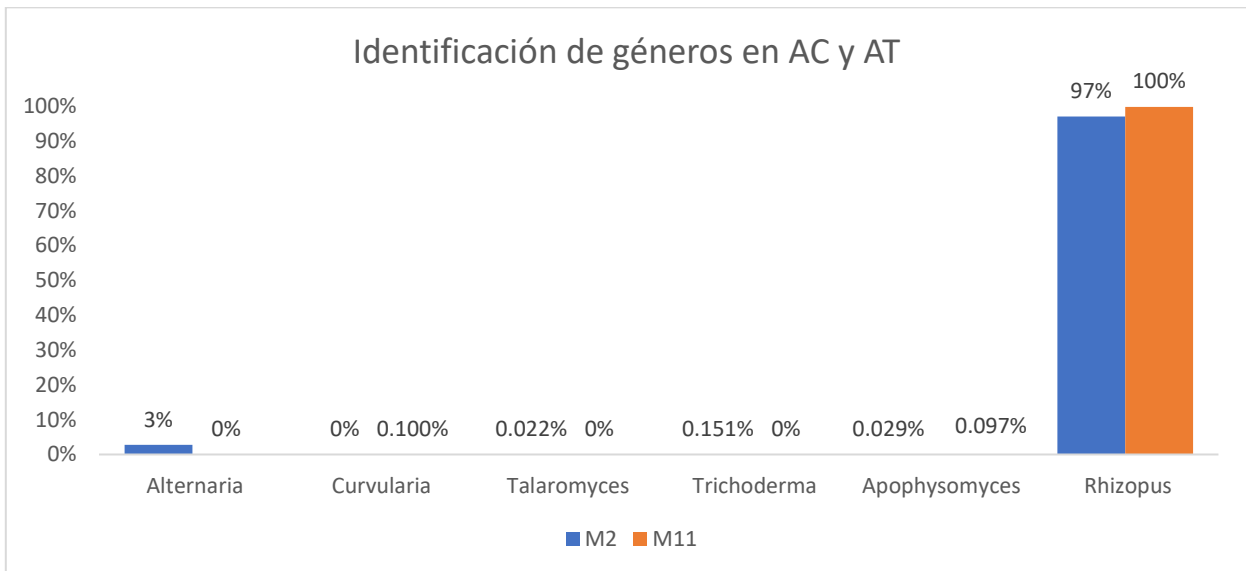


Figura 4. Composición de géneros fúngicos cultivables en suelos bajo agricultura de conservación (M2) y agricultura tradicional (M11).

Cuadro 1. Resultados de los análisis de suelo del suelo en el manejo de la plataforma de agricultura de conservación vs agricultura tradicional

Determinación	M12	M2	M4	M5	M8	M10	M11
pH	8.48	8.4	8.42	8.35	8.49	8.35	8.48
% saturación	42.5	47	40	40	40	40	40
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	1.44	1.56	1.73	1.5	1.47	1.44	1.8
Magnesio (ppm)	97.2	82.6	87.5	77.8	24.3	68	87.5
Sodio (ppm)	115	73.6	103.5	151.7	243.7	82.8	174.7
NO ₃ ⁻ (ppm)	4	2.51	3.11	3.25	2.83	3.14	3.01
Materia orgánica (%)	1.02	0.96	0.83	0.83	0.83	0.77	0.96
Densidad aparente		1.46	1.53	1.54	1.82	1.54	1.83
Textura	Arcillosa	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcilloso

M12 – Superficie total del experimento; M 2, 5 y 10 – Melgas de AC; M 4, 8 y 11 de AT

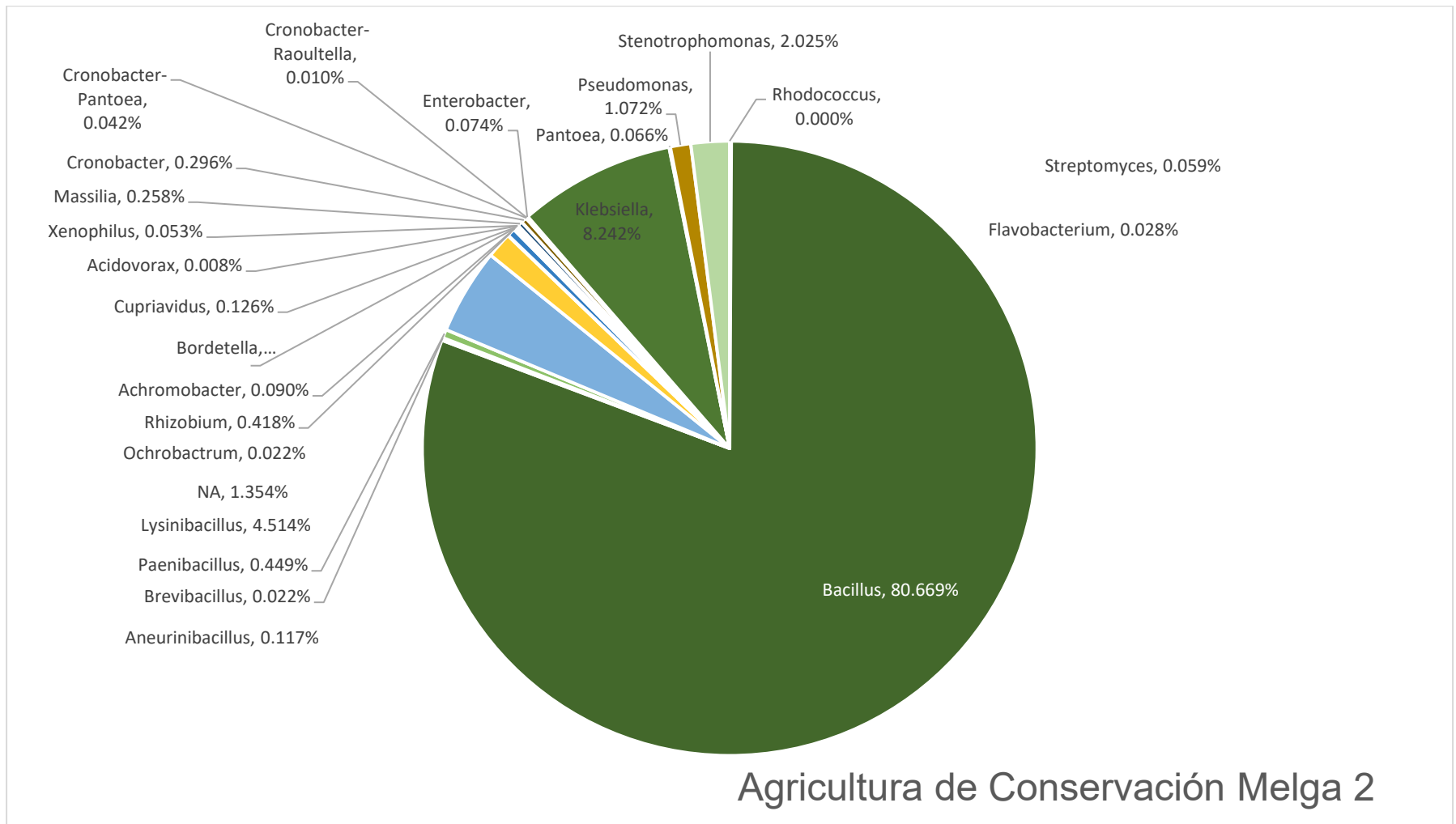


Figura 2. Composición de géneros bacterianos cultivables en suelo bajo agricultura de conservación (M2, Melga 2).

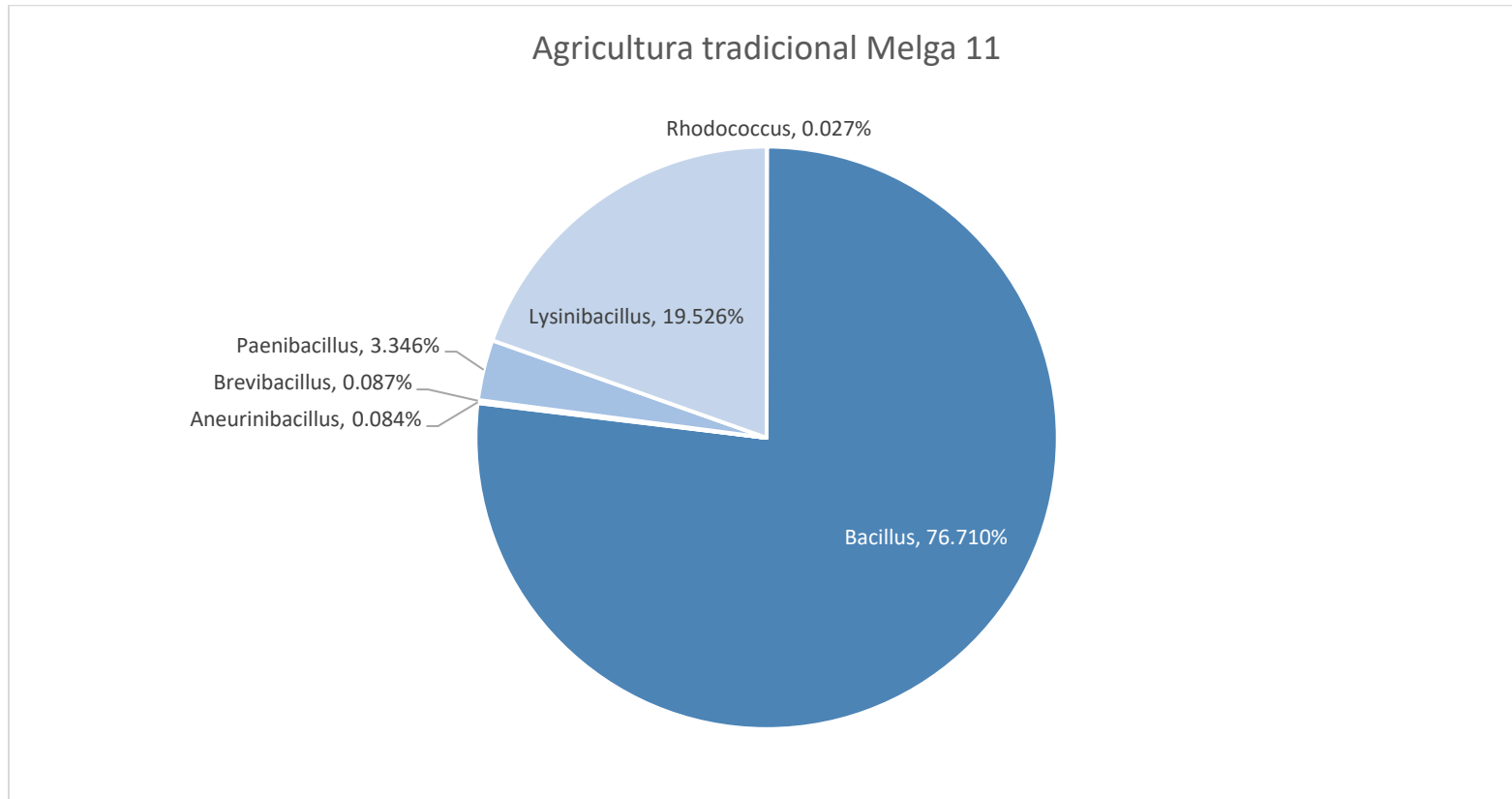


Figura 3. Composición de géneros bacterianos cultivables en suelo bajo agricultura tradicional (M11, Melga 11)

Objetivo específico 4-Artículo por enviar a revista científica

CAPÍTULO 4 FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA TRIGO – SESBANIA EN UN ESQUEMA DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL VALLE DE MEXICALI

RESUMEN

La producción de trigo en México enfrenta un déficit estructural del 57 % respecto a la demanda nacional, en un contexto de altos costos de producción y disminución de superficie cultivada. El presente estudio evaluó la factibilidad económica de la Agricultura de Conservación (AC) en el Valle de Mexicali, mediante la incorporación de *Sesbania* spp. como cultivo de cobertura. Se utilizó un diseño factorial 2×2 completamente al azar con dos sistemas de manejo (tradicional y conservación) y dos variedades de trigo (*Ciano M2018* y *Don Lupe Oro C2020*). El análisis económico se realizó a cinco años, empleando los indicadores Valor Actual Neto (VAN), Relación Beneficio-Costo (RBC) y Tasa Interna de Retorno (TIR), con una tasa de actualización del 12.23 %. Los rendimientos de trigo oscilaron entre 6.52 y 7.36 t ha⁻¹, superando la media nacional (5.95 t ha⁻¹), mientras que *Sesbania* generó 12.9 t ha⁻¹ de biomasa fresca (430 pacas de 30 kg). Aunque la AC incrementó los costos de producción en 39.6 %, el aprovechamiento progresivo de la biomasa (30, 50, 70 y 90 % a partir del segundo año) permitió compensar dichos costos. Ambas variedades registraron TIR superiores a la tasa de actualización, confirmando la rentabilidad del sistema. Se concluye que la AC con *Sesbania* spp. constituye una alternativa económica y ambientalmente viable para los productores trigueros del Valle de Mexicali.

ABSTRACT

Wheat production in Mexico faces a structural deficit of 57% relative to national demand, within a context characterized by high production costs and a continuous reduction in cultivated area. This study evaluated the economic feasibility of implementing Conservation Agriculture (CA) in the Mexicali Valley through the incorporation of *Sesbania*

spp. as a cover crop. A completely randomized 2 × 2 factorial design was employed, comprising two management systems (traditional and conservation) and two wheat varieties (*Ciano M2018* and *Don Lupe Oro C2020*). The economic analysis was conducted over a five-year period using the indicators Net Present Value (NPV), Benefit–Cost Ratio (BCR), and Internal Rate of Return (IRR), with a discount rate of 12.23%. Wheat yields ranged from 6.52 to 7.36 t ha⁻¹, exceeding the national average of 5.95 t ha⁻¹, while *Sesbania* produced 12.9 t ha⁻¹ of fresh biomass (equivalent to 430 bales of 30 kg each). Although CA increased production costs by 39.6%, the progressive utilization of biomass (30, 50, 70, and 90% from the second year onward) offset these expenses. Both varieties recorded IRR values higher than the discount rate, confirming the profitability of the system. It is concluded that CA with *Sesbania* spp. constitutes an economically and environmentally viable alternative for wheat producers in the Mexicali Valley.

Introducción

El trigo (*Triticum* spp.) constituye uno de los cereales más relevantes a nivel global, al aportar cerca del 20 % de las calorías consumidas por la población humana (Springer, 2024). En México, la disponibilidad *per cápita* se estima en aproximadamente 60 kg anuales, con una producción de 3.5 millones de toneladas en 2023, cifra que representa un aumento de 1.4 % en comparación con la última década (SIAP, 2024). El cultivo se divide principalmente en dos tipos: trigo cristalino (*Triticum durum* L.), utilizado en la elaboración de pastas y sémola, y trigo panificable (*Triticum aestivum* L.), destinado a la producción de pan, galletas y harinas.

A pesar de los avances productivos, no se ha podido cubrir la demanda nacional, la cual asciende a 6.3 millones de toneladas anuales, generando un déficit estructural cercano al 57 % que se cubre mediante importaciones (SIAP, 2024). En términos de participación, el trigo cristalino representa alrededor del 60 % de la producción nacional total, mientras que el panificable aporta el 40 % restante (SADER, 2024). Esta distribución muestra la importancia relativa del cristalino, aunque la industria alimentaria continúa dependiendo de altos volúmenes de importaciones para cubrir el consumo interno.

El Valle de Mexicali, en Baja California, se ha consolidado históricamente como una región estratégica en la producción de trigo, maíz, algodón, alfalfa, hortalizas y frutales. Sin embargo, enfrenta limitaciones crecientes asociadas con el aumento de los costos de producción, la disminución de los márgenes de rentabilidad, la reducción de la superficie sembrada (de 47,487 ha en 2021 a 30,600 ha en 2023) y la ausencia de precios de garantía (Domínguez, 2024; SIAP, 2024). Aunque los rendimientos promedio en 2024 fueron de 6.35 t ha⁻¹ — superiores al promedio nacional de 5.95 t ha⁻¹ —, las tendencias actuales amenazan la competitividad y la permanencia del cultivo en la región.

A estos factores económicos se suman problemáticas ambientales: erosión de suelos, encarecimiento del agua, uso intensivo de fertilizantes y baja diversificación productiva. Esta situación demanda la implementación de innovaciones tecnológicas y prácticas sostenibles que permitan incrementar la eficiencia del uso de recursos, reducir costos y fortalecer la resiliencia de los sistemas agrícolas.

La Agricultura de Conservación (AC), definida por la FAO, (2024) como un sistema basado en la mínima labranza, la rotación de cultivos y el mantenimiento de rastrojos en la superficie del suelo, ha demostrado beneficios en la fertilidad edáfica, la eficiencia en el uso del agua y la reducción de costos operativos (Derpsch et al., 2010; Martínez-Gamiño et al., 2023; Nthebere et al., 2025; Saldivia-Tejeda et al., 2024; Verhulst et al., 2015). En este marco, la incorporación de cultivos de cobertura constituye una estrategia complementaria para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, además de ofrecer alternativas de aprovechamiento forrajero. Entre ellos, el cultivo de *Sesbania* spp. destaca por su capacidad de fijación biológica de nitrógeno, la aportación de materia orgánica y su potencial como fuente adicional de ingresos.

No obstante, en el Valle de Mexicali no se han documentado investigaciones que analicen la factibilidad económica de la AC con incorporación de *Sesbania* spp. como cultivo de cobertura. Este vacío de conocimiento sustenta la pertinencia del presente estudio, cuyo objetivo fue evaluar la viabilidad económica del sistema trigo–sesbania bajo condiciones de AC, mediante el análisis de la Relación Beneficio-Costo (RBC), el Valor Actual Neto

(VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), en distintos escenarios de aprovechamiento progresivo de biomasa.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el CBTA No. 41, ejido Benito Juárez, Valle de Mexicali, Baja California, México (33°33'35.2" N; 115°01'28.6" W; 15 m s. n. m.). El suelo presentó textura arcillosa, pH 8.48, 1.02 % de materia orgánica y conductividad eléctrica de 2.22 dS m⁻¹, condiciones típicas de ambientes áridos con tendencia a salinidad. Se utilizó un diseño factorial 2 × 2 completamente al azar con tres repeticiones, que contrastó dos sistemas de producción (agricultura tradicional vs. agricultura de conservación) y dos variedades de trigo: Ciano M2018 (*Triticum aestivum* L., harinero) y Don Lupe Oro C2020 (*Triticum durum* L., cristalino). Se establecieron 12 parcelas de 600 m², distribuidas aleatoriamente en tres bloques.

La siembra de trigo se realizó con sembradora John Deere® BD1108 (200 kg ha⁻¹), fertilización con urea (46-00-00) y fosfato monoamónico (11-52-00) en proporción 90:10, y control de malezas con fluoroxipir y pinoxaden; se aplicó un riego de germinación y cuatro de auxilio. La cosecha del primer ciclo se efectuó en mayo de 2023. Posteriormente, sobre los residuos del trigo, se estableció *Sesbania* spp. como cultivo de cobertura (40 kg ha⁻¹), con un riego de germinación y dos de auxilio; el cultivo permaneció 60 días en campo sin fertilización ni control fitosanitario y, al término, la biomasa se incorporó al suelo dejando un remanente como cobertura. En el ciclo 2023–2024 se sembró nuevamente trigo bajo agricultura de conservación, manteniendo densidad y fertilización, y se empleó herbicida selectivo (Sigma Forte®) para el control de malezas; se aplicó un riego de germinación y cuatro de auxilio hasta la cosecha (mayo de 2024).

Para el análisis económico se clasificaron los costos en: fijos (seguro agrícola, permisos de siembra y riego, renta del terreno) y variables (labores culturales, siembra, riego, fertilización, control de plagas y malezas, y cosecha). El horizonte de evaluación fue de t = 5 años. Se consideró un aprovechamiento progresivo de la biomasa de *Sesbania* a partir del segundo año en 30, 50, 70 y 90 %, manteniendo al menos 10 % en campo como

cobertura. La tasa de actualización utilizada fue $i = 12.23 \%$ (TREMA 5% , inflación 4.23% , costo de oportunidad 3%).

Se estimaron tres indicadores de rentabilidad: Relación Beneficio-Costo (RBC), Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) (Baca, 2013; Sapag, 2014; Jácome y Carvache, 2017).

1. Relación Beneficio-Costo

$$\sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+i)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{E_t}{(1+i)^t}$$

Donde:

$Y_t =$ ingresos totales

$E_t =$ egresos totales (incluida la inversión inicial)

$i =$ tasa de actualización

Criterio de decisión: $RBC > 1$ indica que los beneficios actualizados superan a los costos actualizados.

2. Valor Actual Neto

$$\sum_{t=1}^n [Y_t - E_t / (1+i)^t] - I_0$$

Donde:

$Y_t =$ flujo de ingresos

$E_t =$ flujo de egresos

$I_0 =$ inversión inicial

$i =$ tasa de actualización

Criterio de decisión: $VAN > 0$ implica creación de valor económico al descontar a la tasa i .

3. Tasa Interna de Retorno

$$\sum_{t=1}^n [Y_t - E_t / (1 + r)^t] - I_0 = 0$$

Donde:

Y_t = flujo de ingresos

E_t = flujo de egresos

I_0 = inversión inicial

r = tasa interna de retorno

La TIR es la tasa r que hace $VAN = 0$. Criterio de decisión: $TIR > i$ indica que el rendimiento del proyecto supera el costo de capital.

Los ingresos Y_t consideraron la venta de grano de trigo y, bajo agricultura de conservación, la venta del porcentaje aprovechado de la biomasa de *Sesbania* (30–90 % a partir del año 2). Los egresos E_t incluyeron costos fijos y variables diferenciados por sistema (tradicional vs. conservación), incorporando los costos específicos de establecimiento y manejo del cultivo de cobertura. Con estos flujos se estimaron RBC, VAN y TIR para cada variedad y sistema, y se compararon los resultados para evaluar la factibilidad económica del esquema trigo–*Sesbania* en el Valle de Mexicali.

Resultados y discusión

Los niveles de producción de trigo obtenidos en este estudio se presentan en el Cuadro 1. Estos valores superaron la media nacional de 5.95 t ha⁻¹ reportada por el SIAP, (2024), lo que sugiere que la implementación de prácticas orientadas a la sustentabilidad puede mejorar significativamente el desempeño productivo del cultivo en el Valle de Mexicali.

Hasta ahora, la mayoría de las investigaciones en México se han centrado en el desarrollo de nuevas variedades con mayores rendimientos, mejor calidad de grano y resistencia a plagas y enfermedades (Borbón-Gracia et al., 2022; Chávez-Villalba et al., 2018; Fonteyne et al., 2022). Sin embargo, los hallazgos de este trabajo evidencian la necesidad de integrar estrategias multidisciplinarias que, además de explorar el potencial genético, optimicen las interacciones entre el cultivo y su entorno, mejorando las condiciones edáficas y climáticas en las que se establece.

Cuadro 1. Rendimientos del cultivo de variedades de trigo harinera y cristalina (CIANO y DON LUPE) y cultivo de cobertura.

	Rendimiento t ha ⁻¹		
	Ciano	Don Lupe	Sesbania
Año 0	6.52	6.43	12.9
Año 1	6.59	7.36	

El cultivo de cobertura de *Sesbania spp.* registró un rendimiento de 430 pacas de 30 kg ha⁻¹, equivalentes a 12.9 t ha⁻¹ de peso fresco. Este valor es ligeramente inferior al rango de 15–18 t ha⁻¹ reportado para la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en sistemas forrajeros convencionales (Michel-López et al., 2023). No obstante, la *Sesbania* mostró un crecimiento vigoroso, alcanzando una altura promedio de 1.5 m al momento del corte, lo cual se atribuye a su siembra con sembradora de precisión y una densidad de 40 kg ha⁻¹. Además del rendimiento, esta leguminosa aportó fijación biológica de nitrógeno y alta incorporación de materia orgánica, características que refuerzan su potencial como cultivo de cobertura en sistemas de Agricultura de Conservación (AC), al mejorar la estructura del suelo y favorecer la sustentabilidad del agroecosistema.

Estructura de costos de producción

En relación con los costos de producción del trigo, no se observaron variaciones significativas durante los dos años de evaluación; sin embargo, se prevé que, a mediano y largo plazo, los costos asociados a labores culturales, fertilización y riego tiendan a disminuir en los sistemas conservacionistas. En el Cuadro 2 se aprecia una diferencia en

los costos variables de producción entre la agricultura tradicional (AT) y la de conservación (AC), derivada principalmente de la eliminación de labores como el barbecho, rastreo, bordeo y nivelación. No obstante, se registró un incremento en el costo de siembra debido al uso de maquinaria especializada para cero labranza.

Cuadro 2. Comparativo de costos entre sistemas de producción de trigo (MXN ha⁻¹).

Conceptos	AT	AC (Trigo)	Diferencia
Costos Variables Totales (CVT)	\$ 20,593.00	\$ 17,919.00	\$ 2,674.00
Costos Fijos Totales (CFT)	\$ 10,588.00	\$ 10,588.00	\$ -
Costos Totales de Producción	\$ 31,181.00	\$ 28,507.00	\$ 2,674.00

Al incorporar el costo del establecimiento del cultivo de cobertura, los costos totales se incrementaron en 39.6 %, resultado de los gastos adicionales asociados al seguro agrícola, permisos de siembra, asistencia técnica, semilla, renta de sembradora de cero labranza y riegos.

Cuadro 3. Costos totales de producción bajo agricultura tradicional y de conservación (trigo + Sesbania) (MXN ha⁻¹).

Conceptos	AT	AC (Trigo+Sesbania)
Costos Variables Totales (CVT)	\$ 20,593.00	\$ 26,853.00
Costos Fijos Totales (CFT)	\$ 10,588.00	\$ 15,296.00
Costos Totales de Producción	\$ 31,181.00	\$ 42,149.00

La distribución de los costos variables mostró diferencias estructurales entre ambos sistemas. En la agricultura tradicional, el gasto se concentró principalmente en el riego (19.9 %), la fertilización (19.6 %) y el control de plagas y malezas (18.9 %). En cambio, en la agricultura de conservación, el mayor costo correspondió a la siembra (32.6 %), seguida del riego (21.0 %) y la cosecha (16.9 %).

Cuadro 4. Distribución porcentual de los costos variables por actividad.

Actividad	AT	AC
Labores culturales	15.2%	0.0%

Siembra	15.1%	32.6%
Riego	19.9%	21.0%
Fertilización	19.6%	15.0%
Control de plagas y malezas	18.9%	14.5%
Cosecha	11.3%	16.9%
Total	100.0%	100.0%

Estos resultados confirman que las labores culturales pierden relevancia en la AC, dado que uno de sus principios es mantener el suelo con el mínimo movimiento posible. Por otra parte, el costo de siembra aumenta por el establecimiento de dos cultivos, y aunque el costo del riego se eleva en el primer año, se espera que disminuya progresivamente conforme se consolida la cobertura vegetal.

Indicadores económicos

Para la aplicación de la AC se consideró un aprovechamiento máximo del 90 % de la biomasa de *Sesbania spp.*, dejando un 10 % como cobertura permanente. Esto permite conservar las propiedades físicas y biológicas del suelo, garantizando los beneficios ambientales del sistema.

En la variedad Ciano, el Valor Actual Neto (VAN) fue positivo en ambos sistemas: 21,353.34 MXN en agricultura tradicional y 29,186.74 MXN en conservación, es decir, 36.7 % mayor en esta última (Cuadro 5). La Relación Beneficio-Costo (RBC) fue de 1.15 y 1.14, respectivamente, lo que implica que por cada peso invertido se obtuvieron 15 y 14 centavos de ganancia. La Tasa Interna de Retorno (TIR) fue de 31.7 % y 27.6 %, ambas por encima de la tasa de actualización (12.23 %). Aunque la agricultura tradicional muestra una leve ventaja, la AC demuestra una rentabilidad comparable con beneficios adicionales en sustentabilidad.

Cuadro 5. Indicadores económicos para la variedad Ciano.

Sistema	Beneficios Totales Actualizados	Costos Totales Actualizados	VAN (MXN)	RBC	TIR (%)
AT	162,802.86	141,449.52	21,353.34	1.15	31.7

Sistema	Beneficios Totales Actualizados	Costos Totales Actualizados	VAN (MXN)	RBC	TIR (%)
AC	242,826.28	213,639.55	29,186.74	1.14	27.6

Para la variedad Don Lupe, los resultados fueron aún más favorables: el VAN fue de 45,183.05 MXN en agricultura tradicional y 74,043.71 MXN en conservación (55 % mayor), con una RBC de 1.31 y 1.33, respectivamente. La TIR fue de 53.2 % y 52.5 %, superando ampliamente la tasa de actualización.

Estos resultados confirman que la incorporación de *Sesbania* spp. como cultivo de cobertura y su aprovechamiento progresivo a partir del segundo año permite obtener una rentabilidad equivalente a la agricultura tradicional, pero con beneficios ambientales y sociales adicionales derivados de la incorporación de materia orgánica al suelo. Este comportamiento fue consistente en ambas variedades y se manifestó con mayor claridad en la variedad harinera, donde la biomasa tuvo un papel clave para igualar los márgenes de rentabilidad.

Contexto productivo regional

Los resultados económicos deben interpretarse dentro del contexto estructural que enfrentan los productores trigueros del Valle de Mexicali. En 2024, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Baja California reportó un rendimiento promedio de 6.2 t ha⁻¹, y precios de 300 USD t⁻¹ para trigo cristalino y 7,500 MXN t⁻¹ para trigo harinero. Considerando un costo de producción de 5,553 MXN t⁻¹ y un precio de venta promedio de 5,984 MXN t⁻¹ (incluidos apoyos), el margen de ganancia fue de apenas 431 MXN ha⁻¹. Este margen disminuye al incluir la renta del terreno (450–550 USD ha⁻¹) y las tasas de interés de créditos agrícolas (12–14 % anual) (Brun et al., 2010; Dirección de investigación y Evaluación Económica y Sectorial, 2025).

Diversos estudios han documentado la estructura social y productiva de la cadena de valor del trigo en el Valle de Mexicali. Se estima que existen alrededor de 3,000

productores, de los cuales 2,100 pertenecen al régimen ejidal y 900 a propiedad particular, con un promedio de 20 ha cada uno (Zavala-Álvarez et al., 2022). A pesar de la presencia de productores de gran escala (100–400 ha), la adopción de innovaciones tecnológicas sigue siendo limitada: solo 26 % cuenta con asesoría técnica y 65 % carece de conocimientos sobre nuevas tecnologías (Brun et al., 2010). Esta situación restringe la competitividad y evidencia la necesidad de estrategias integrales de asistencia técnica y financiamiento (Escobar Pérez, 2016; Macias et al., 2010) que favorezcan la reducción de costos, el aumento de rendimientos y la adopción de sistemas sostenibles de producción.

Hasta la fecha, no existen antecedentes en el Valle de Mexicali que evalúen la factibilidad económica de la Agricultura de Conservación incorporando *Sesbania* spp. como cultivo de cobertura, lo que confiere a este estudio un carácter pionero a nivel regional. Los resultados demuestran que, incluso considerando los costos de establecimiento de la cobertura, la rentabilidad del trigo se mantiene cuando se aprovecha entre el 50 % y 70 % de la biomasa de *Sesbania*, representando una alternativa viable frente a los márgenes de ganancia actualmente reducidos. Este hallazgo cobra especial relevancia ante los altos costos de producción, la dependencia del crédito agrícola y los gastos de renta de tierra, condiciones que limitan la competitividad del sector. En consecuencia, se refuerza la necesidad de políticas de apoyo dirigidas a pequeños y medianos productores, que contemplen esquemas de financiamiento accesibles y programas de capacitación técnica para fomentar la adopción de sistemas de Agricultura de Conservación con cultivos de cobertura.

Conclusiones

En conjunto, los altos costos de producción, los márgenes de ganancia estrechos, la dependencia de créditos con tasas elevadas y la limitada adopción tecnológica configuran un escenario de vulnerabilidad económica para los productores de trigo en el Valle de Mexicali. Los resultados de esta investigación demuestran que la incorporación de *Sesbania* spp. como cultivo de cobertura en esquemas de Agricultura de Conservación puede revertir parcialmente estas limitaciones, al aumentar la eficiencia económica y

fortalecer la sostenibilidad del sistema productivo. Estas evidencias respaldan la necesidad de políticas de apoyo e incentivos que favorezcan la adopción de prácticas conservacionistas y el acceso a financiamiento competitivo.

LITERATURA CITADA

Borbón-Gracia, A., Díaz-Ceniceros, H. L., Chávez-Villalba, G., Ammar, K., Fuentes-Dávila, G., Alvarado-Padilla, J. I., & Huerta-Espino, J. (2022). DON LUPE ORO C2020: Nueva Variedad de Trigo duro para el noroeste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(3), 413. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.3.413>

Brun, L., Abdulsamad, A., Geurtsen, C., & Gereffi, G. (2010). *Agricultural value chaing in the mexicali valle of Mexico main producers and buyers.*

Chávez-Villalba, G., Borbón-Gracia, A., Díaz-Ceniceros, H. L., Alvarado-Padilla, J. I., Huerta-Espino, J., García-León, E., & Fuentes-Dávila, G. (2021). CIANO M2018: Nueva variedad de trigo harinero para el noroeste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(3), 477. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.3.477>

Chávez-Villalba, G., Camacho-Casas, M. A., Ammar, K., Alvarado-Padilla, J. I., Fuentes Dávila, G., & Borbon-Gracia, A. (2018). CENEB Oro C2017: nueva variedad de trigo duro para el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(7), 1560–1563. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1679>

Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., & Hongwen, L. (2010). Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 3(1), 1–25. <https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.001-025>

Diario Cambio 22. (2024, November 12). Pronostican Disminución de 4 Mil Hectáreas de Trigo Este Ciclo Agrícola. *La Voz de La Frontera* .

Dirección de investigación y Evaluación Económica y Sectorial. (2025). Panorama Agroalimentario Trigo 2025. In *Panorama Agroalimentario*.

Domínguez, A. (2024, November 8). Pronostican disminución de superficie de siembra de trigo. *La Voz de La Frontera* .

Escobar Pérez, L. (2016, January 1). Análisis de la problemática de los pequeños y medianos productores de trigo del Valle de Mexicali. *Coloquio Interdisciplinario de Posgrado – Universidad Popular Autónoma d El Estado de Puebla*.

Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Soto-Ortiz, R., & Quistián-Martínez, D. (2024 a). Producción de biomasa de cultivos de cobertura en plataforma de agricultura de conservación. In R. Torres-Ramos, A. Mendoza-Gómez, M. Beleño-Cabarcas, & A. Vázquez-Espinoza (Eds.), *Producción agrícola sostenible: estrategias biotecnológicas para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria* (1st ed., pp. 13–21). Astra Editorial.

Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Soto-Ortiz, R., Quistián-Martínez, D., Cervantes-Díaz, L., & Catañeda-Trujano, F. (2023). Cuantificación de nódulos en *Sesbania grandiflora*. In *XXVI Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas Memorias en extenso* (pp. 516–519). Universidad Autónoma de Baja California.

Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Velasco-López, J. L., Soto-Ortiz, R., & Quistián-Martínez, D. (2024 b). Evaluación de las variedades de trigo Don Lupe Oro C2020 y Ciano M2018 durante el ciclo 2022-2023 en el Valle de Mexicali, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(3). <https://doi.org/10.56369/5440>

FAO. (2024). *Agricultura de conservación*. <https://www.fao.org/conservation-agriculture/es/>

Garza - Lagler, M. C., & Taddei - Bringas, C. (2016). Definición del mercado de trigo cristalino en el valle del Yaqui, México. *Economía: Teoría y Práctica*, 44, 193–215.

Hernández Vázquez, B., Iván, J., Padilla, A., Alberto, J., & Palafox, V. (2011). *Descripción de las Variedades de Trigo para el Valle de Mexicali, B.C. y Norte de Sonora*.

Macias, C., Rosiles, L., & Pérez, S. (2010). El financiamiento como factor de competitividad para el productor de trigo del Valle de Mexicali, Baja California, México. *Global Conference on Business and Finance Proceedings*, 962–966.

Martínez-Gamiño, M. Á., Osuna-Ceja, E. S., Padilla Rampirez, J. S., & Pimentel-López, J. (2023). Agricultura de conservación: alternativa para la mitigación del cambio climático en el altiplano semiárido de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(6), e2957. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.2957>

Michel-López, C. Y., Caballero-Julián, S., Flores-Garibay, R., Lara-Rivera, A. L., Morales-Hernández, J. C., & Zambrano-Reyes, C. (2023). Estudio exploratorio de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) como actividad productiva del valle de Mexicali, México. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 17.

Nthebere, K., Tata, R. P., Gudapati, J., Bhimoreddy, P., Admala, M., Chandran, L. P., & Yadav, M. B. N. (2025). Assessment of conservation agriculture on soil nutrient's stratification ratio, carbon sequestration rate, management indices and crop productivity in Southern Telangana India. *Scientific Reports*, *15*(1), 15038. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00177-1>

Saldivia-Tejeda, A., Uribe-Guerrero, M. Á., Rojas-Cruz, J. M., Guera, O. G. M., Verhulst, N., & Fonteyne, S. (2024). Conservation agriculture enhances maize yields and profitability in Mexico's semi-arid highlands. *Scientific Reports*, *14*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80928-8>

SIAP. (2024). *Panorama agroalimentario 2024*.

Springer. (2024). *The Wheat Genome* (R. Appels, K. Eversole, C. Feuillet, & D. Gallagher, Eds.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-38294-9>

Velasco-López, J. L., Alvarado-Padilla, J. I., Perez-Rivas, J. M., Ponce-Díaz, D., Ruíz-Torres, N., & Gordillo-Melgoza, F. (2022). Evaluación de variedades de trigo cristalino en los valles de Mexicali y San Luis Río Colorado. *Investigación En Ciencias Agrícolas. Desarrollo Científico y Tecnológico En La Producción Agrícola Sostenible*.

Verhulst, N., Francois, I., & Govaerts, B. (2015). *¿Qué es la agricultura de conservación?* CIMMYT.

Zavala-Álvarez, J., Partida. Martínez, J. A., & Gastélum-López, L. D. C. (2022). La organización de productores de trigo de Baja California. In *POLIS. México* (Vol. 2022, Issue 2).

- Abbas, A., Ali, S., Mubeen, M., Hussain, A., Gutumsary, K. A., Hussain, B., & Chen, T. (2024). *Talaromyces spp. Are Promising Biocontrol Agents for Sustainable Agriculture* (pp. 245–280). https://doi.org/10.1007/978-981-97-8739-5_13
- Ahmad, A., Moin, S. F., Liaqat, I., Saleem, S., Muhammad, F., Mujahid, T., & Zafar, U. (2023). Isolation, Solubilization of Inorganic Phosphate, and Production of Organic Acids by Individual and Co-inoculated Microorganisms. *Geomicrobiology Journal*, 40(1), 111–121. <https://doi.org/10.1080/01490451.2022.2124329>
- Amirhosseini, K., Alizadeh, M., & Azarbad, H. (2025). Harnessing the Ecological and Genomic Adaptability of the Bacterial Genus *Massilia* for Environmental and Industrial Applications. *Microbial Biotechnology*, 18(5). <https://doi.org/10.1111/1751-7915.70156>
- Asghar, I., Ahmed, M., Farooq, M. A., Ishtiaq, M., Arshad, M., Akram, M., Umair, A., Alrefaei, A. F., Jat Baloch, M. Y., & Naeem, A. (2023). Characterizing indigenous plant growth promoting bacteria and their synergistic effects with organic and chemical fertilizers on wheat (*Triticum aestivum*). *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1232271>
- Avendaño-Ruiz, B., Acosta-Martínez, A., & Varela-Llamas, R. (2010). *El trigo en Baja California* (Universidad Autónoma de Baja California (Ed.); Vol. 1). Editorial Miguel Angel Porrúa.
- Awale, R., Singh, S., & Machado, S. (2022). Soil chemical properties and wheat yields under different tillage and nitrogen rates in eastern Oregon. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 5(3). <https://doi.org/10.1002/agg2.20272>
- Bedano, J. C., Lavelle, P., & Zou, X. (2021). Soil biodiversity for the sustainability of agroecosystems. *Acta Oecologica*, 110, 103705. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2021.103705>
- Borbón-Gracia, A., Díaz-Ceniceros, H. L., Chávez-Villalba, G., Ammar, K., Fuentes-Dávila, G., Alvarado-Padilla, J. I., & Huerta-Espino, J. (2022). DON LUPE ORO

C2020: Nueva Variedad de Trigo duro para el noroeste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(3), 413. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.3.413>

Brajcich Gallegos, P., Cornejo Oviedo, E., Govaerts, B., Moncada de la fuente, J., Barrales Dominguez, S., Ornelas Ruiz, P., Obando Rodríguez, R., Galo Medina, J., Aguirre Elizondo, R., Reyes Muro, L., Ortíz Trejo, C., Vargas Mir, S., González Salamanca, M., Rodríguez Díaz, V., Mendoza Ruiz, C., Sánchez Galván, B., De la Vega García, P., & Medina Montaña, F. (2015). *Agenda técnica agrícola Baja California*. https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?//=AT

Brun, L., Abdulsamad, A., Geurtsen, C., & Gereffi, G. (2010). *Agricultural value chaing in the mexicali valle of Mexico main producers and buyers*.

Bunma, S., & Balslev, H. (2019). A Review of the Economic Botany of Sesbania (Leguminosae). *The Botanical Review*, 85(3), 185–251. <https://doi.org/10.1007/s12229-019-09205-y>

Carbonetto, B., Rascovan, N., Álvarez, R., Mentaberry, A., & Vázquez, M. P. (2014). Structure, Composition and Metagenomic Profile of Soil Microbiomes Associated to Agricultural Land Use and Tillage Systems in Argentine Pampas. *PLoS ONE*, 9(6), e99949. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099949>

Chaudhary, P., Bhattacharjee, A., Khatri, S., Dalal, R. C., Kopittke, P. M., & Sharma, S. (2024). Delineating the soil physicochemical and microbiological factors conferring disease suppression in organic farms. *Microbiological Research*, 289, 127880. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127880>

Chávez-Villalba, G., Camacho-Casas, M. A., Ammar, K., Alvarado-Padilla, J. I., Fuentes Dávila, G., & Borbon-Gracia, A. (2018). CENEB Oro C2017: nueva variedad de trigo duro para el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(7), 1560–1563. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1679>

Chernov, T. I., Tkhakakhova, A. K., & Kutovaya, O. V. (2015). Assessment of diversity indices for the characterization of the soil prokaryotic community by metagenomic

- analysis. *Eurasian Soil Science*, 48(4), 410–415.
<https://doi.org/10.1134/S1064229315040031>
- DeMers, M. (2022). *Alternaria alternata* as endophyte and pathogen. *Microbiology*, 168(3). <https://doi.org/10.1099/mic.0.001153>
- Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., & Hongwen, L. (2010). Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 3(1), 1–25.
<https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.001-025>
- Dirección de investigación y Evaluación Económica y Sectorial. (2025). Panorama Agroalimentario Trigo 2025. En *Panorama Agroalimentario*.
<https://www.fira.gob.mx/InvYEvalEcon/EvaluacionIF>
- Domínguez, A. (2024, noviembre 8). Pronostican disminución de superficie de siembra de trigo. *La voz de la frontera*.
<https://oem.com.mx/lavozdelafrontera/local/pronostican-disminucion-de-superficie-de-siembra-de-trigo-13137426>
- Dubcovsky, J., & Dvorak, J. (2007). Genome Plasticity a Key Factor in the Success of Polyploid Wheat Under Domestication. *Science*, 316(5833), 1862–1866.
<https://doi.org/10.1126/science.1143986>
- Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., Journet, E.-P., Aubertot, J.-N., Savary, S., Bergez, J.-E., & Sarthou, J. P. (2015). How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1259–1281.
<https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>
- Escobar Pérez, L. (2016, enero 1). Análisis de la problemática de los pequeños y medianos productores de trigo del Valle de Mexicali. *Coloquio Interdisciplinario de Posgrado – Universidad Popular Autónoma d el Estado de Puebla*.
<https://cipu.upaep.mx/index.php/cipu/article/view/356/311>

Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Soto-Ortiz, R., & Quistián-Martínez, D. (2024). Producción de biomasa de cultivos de cobertura en plataforma de agricultura de conservación. En R. Torres-Ramos, A. Mendoza-Gómez, M. Beleño-Cabarcas, & A. Vázquez-Espinoza (Eds.), *Producción agrícola sostenible: estrategias biotecnológicas para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria* (1a ed., pp. 13–21). Astra Editorial. https://www.researchgate.net/publication/390438727_Produccion_de_biomasa_de_cultivos_de_cobertura_en_plataforma_de_agricultura_de_conservacion

Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Soto-Ortiz, R., Quistián-Martínez, D., Cervantes-Díaz, L., & Catañeda-Trujano, F. (2023). Cuantificación de nódulos en *Sesbania grandiflora*. En *XXVI Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas Memorias en extenso* (pp. 516–519). Universidad Autónoma de Baja California. https://drive.google.com/file/d/16pFkZ0cmMHSbBDD_09C11aT48_MRkQJA/view

Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Velasco-López, J. L., Soto-Ortiz, R., & Quistián-Martínez, D. (2024). Evaluación de las variedades de trigo Don Lupe Oro C2020 y Ciano M2018 durante el ciclo 2022-2023 en el Valle de Mexicali, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(3). <https://doi.org/10.56369/5440>

FAO. (2024). *Agricultura de conservación*. <https://www.fao.org/conservation-agriculture/es/>

Feng, S., Gong, L., Zhang, Y., Tong, Y., Zhang, H., Zhu, D., Huang, X., & Yang, H. (2021). Bioaugmentation potential evaluation of a bacterial consortium composed of isolated *Pseudomonas* and *Rhodococcus* for degrading benzene, toluene and styrene in sludge and sewage. *Bioresource Technology*, 320, 124329. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124329>

Fonteyne, S., Dominguez-Flores, O., García - López, A. R., Velasco-López, J. L., & Verhulst, N. (2022). *Avances en agricultura sostenible Resultados de plataforma de*

investigación HUB Pacífico Norte 2010 - 2021 (M. C. I. de M. de Maíz (Ed.)).

Freire, V., Condón, S., & Gayán, E. (2024). Impact of sporulation temperature on germination of *Bacillus subtilis* spores under optimal and adverse environmental conditions. *Food Research International*, 182, 114064. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114064>

Gao, Y., Liu, M., Zhao, X., Zhang, X., & Zhou, F. (2021). Paracoccus and Achromobacter bacteria contribute to rapid biodegradation of imidacloprid in soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 225, 112785. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112785>

Gupta, A., Siwach, C., & Mishra, V. K. (2024). Revolutionizing remediation: Unveiling the power of *Lysinibacillus* sp. in tackling heavy metal stress. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 8, 100156. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100156>

Hoffman, C. S., & Winston, F. (1987). A ten-minute DNA preparation from yeast efficiently releases autonomous plasmids for transformation of *Escherichia coli*. *Gene*, 57(2–3), 267–272. [https://doi.org/10.1016/0378-1119\(87\)90131-4](https://doi.org/10.1016/0378-1119(87)90131-4)

Huda Khabib Hundi, Mustafa Qais Hamid, & Ali Abdul Majeed Noori. (2025). Role of *Ochrobactrum* Bacteria and Organic Matter in Plant Growth and the Content of N, P, and K Under Soil Salinity Stress. *Journal of Environmental & Earth Sciences*, 7(5), 130–139. <https://doi.org/10.30564/jees.v7i5.8777>

INEGI. (2022). *Aspectos geográficos de Baja California*.

Ishaq, S. L., Johnson, S. P., Miller, Z. J., Lehnhoff, E. A., Olivo, S., Yeoman, C. J., & Menalled, F. D. (2017). Impact of Cropping Systems, Soil Inoculum, and Plant Species Identity on Soil Bacterial Community Structure. *Microbial Ecology*, 73(2), 417–434. <https://doi.org/10.1007/s00248-016-0861-2>

Kannan, M. N., Sethi, S., Badoni, A., & Chamoli, V. (2018). *Advances in Agriculture and Natural Sciences for Sustainable Agriculture Isolation and characterization of bacterial isolates from agriculture field soil of Roorkee region*. 2013, 108–110.

- Karmakar, P., Singh, V., Yadava, R. B., Singh, D. B., Singh, R., & Kushwaha, M. (2016). *Agathi [Sesbania grandiflora L. (Agast)]: Current Status of Production, Protection and Genetic Improvement*.
- Khmelevtsova, L. E., Sazykin, I. S., Azhogina, T. N., & Sazykina, M. A. (2022). Influence of Agricultural Practices on Bacterial Community of Cultivated Soils. *Agriculture*, 12(3), 371. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030371>
- Kleijn, D., Bommarco, R., Fijen, T. P. M., Garibaldi, L. A., Potts, S. G., & van der Putten, W. H. (2019). Ecological Intensification: Bridging the Gap between Science and Practice. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(2), 154–166. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.11.002>
- Lacerda-Júnior, G. V., Pastore, R. A. A., Delforno, T. P., Centurion, V. B., Noronha, M. F., Ventura, J. P., Sartoratto, A., Melo, I. S., & Oliveira, V. M. (2023). Taxonomic and functional dynamics of the soil microbiome from a tropical dry forest in kraft lignin-amended microcosms. *Applied Soil Ecology*, 183, 104766. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104766>
- Lei, S., Xu, X., Cheng, Z., Xiong, J., Ma, R., Zhang, L., Yang, X., Zhu, Y., Zhang, B., & Tian, B. (2019). Analysis of the community composition and bacterial diversity of the rhizosphere microbiome across different plant taxa. *MicrobiologyOpen*, 8(6). <https://doi.org/10.1002/mbo3.762>
- Leite, H. M. F., Calonego, J. C., Rosolem, C. A., Mendes, L. W., de Moraes, L. N., Grotto, R. M. T., Araujo, F. F., Pereira, A. P. de A., Melo, V. M. M., & Araujo, A. S. F. (2021). Cover crops shape the soil bacterial community in a tropical soil under no-till. *Applied Soil Ecology*, 168, 104166. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104166>
- Li, H.-P., Han, Q.-Q., Liu, Q.-M., Gan, Y.-N., Rensing, C., Rivera, W. L., Zhao, Q., & Zhang, J.-L. (2023). Roles of phosphate-solubilizing bacteria in mediating soil legacy phosphorus availability. *Microbiological Research*, 272, 127375. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127375>

- Li, M., He, P., Guo, X.-L., Zhang, X., & Li, L.-J. (2021). Fifteen-year no tillage of a Mollisol with residue retention indirectly affects topsoil bacterial community by altering soil properties. *Soil and Tillage Research*, 205, 104804. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104804>
- Li, Y., Xue, C., Chai, C., & Li, W. (2025). A comparative assessment for agricultural eco-efficiency under conventional tillage and conservation tillage: A case study of China. *Journal of Rural Studies*, 120, 103890. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2025.103890>
- Lorenzetti, L. A., & Fiorini, A. (2024). Conservation Agriculture Impacts on Economic Profitability and Environmental Performance of Agroecosystems. *Environmental Management*, 73(3), 532–545. <https://doi.org/10.1007/s00267-023-01874-1>
- Lupwayi, N. Z., May, W. E., Kanashiro, D. A., & Petri, R. M. (2018). Soil bacterial community responses to black medic cover crop and fertilizer N under no-till. *Applied Soil Ecology*, 124, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.11.003>
- Macias, C., Rosiles, L., & Pérez, S. (2010). El financiamiento como factor de competitividad para el productor de trigo del Valle de Mexicali, Baja California, México. *Global Conference on Business and Finance Proceedings*, 962–966.
- Magar, S. T., Timsina, J., Devkota, K. P., Weili, L., & Rajbhandari, N. (2022). Conservation agriculture for increasing productivity, profitability and water productivity in rice-wheat system of the Eastern Gangetic Plain. *Environmental Challenges*, 7, 100468. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100468>
- Martínez-Gamiño, M. Á., Osuna-Ceja, E. S., Padilla Rampirez, J. S., & Pimentel-López, J. (2023). Agricultura de conservación: alternativa para la mitigación del cambio climático en el altiplano semiárido de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(6), e2957. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.2957>
- Mehta, T., Meena, M., & Nagda, A. (2022). Bioactive compounds of *Curvularia* species as a source of various biological activities and biotechnological applications. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1069095>

- Michel-López, C. Y., Caballero-Julián, S., Flores-Garibay, R., Lara-Rivera, A. L., Morales-Hernández, J. C., & Zambrano-Reyes, C. (2023). Estudio exploratorio de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) como actividad productiva del valle de Mexicali, México. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 17. https://riit.com.mx/apps/site/idem.php?module=Catalog&action=ViewItem&id=6357&item_id=85553&id=6357
- Miller, P. R. (1996). *Cultivos de Cobertura Para la Agricultura de California*. Universidad de California, Division de Agricultura y Recursos Naturales. <https://books.google.es/books?id=Eu-wBWrFWFwC>
- Ndour, N. Y. B., Baudoin, E., Guissé, A., Seck, M., Khouma, M., & Brauman, A. (2008). Impact of irrigation water quality on soil nitrifying and total bacterial communities. *Biology and Fertility of Soils*, 44(5), 797–803. <https://doi.org/10.1007/s00374-008-0285-3>
- Nthebere, K., Tata, R. P., Gudapati, J., Bhimireddy, P., Admala, M., Chandran, L. P., & Yadav, M. B. N. (2025). Assessment of conservation agriculture on soil nutrient's stratification ratio, carbon sequestration rate, management indices and crop productivity in Southern Telangana India. *Scientific Reports*, 15(1), 15038. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00177-1>
- O. I., O., A. A., A., A. N., M., M. O., A., C. N., N., & A. N., O. (2020). Microbial Diversity: Values and Roles in Ecosystems. *Asian Journal of Biology*, 10–22. <https://doi.org/10.9734/ajob/2020/v9i130075>
- Ogle, S. M., Breidt, F. J., & Paustian, K. (2005). Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry*, 72(1), 87–121. <https://doi.org/10.1007/s10533-004-0360-2>
- Pan, L., & Cai, B. (2023). Phosphate-Solubilizing Bacteria: Advances in Their Physiology, Molecular Mechanisms and Microbial Community Effects. *Microorganisms*, 11(12),

2904. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>

Pandey, A., Tripathi, A., Srivastava, P., Choudhary, K. K., & Dikshit, A. (2019). Plant growth-promoting microorganisms in sustainable agriculture. En *Role of Plant Growth Promoting Microorganisms in Sustainable Agriculture and Nanotechnology* (pp. 1–19). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817004-5.00001-4>

Peña, R. J., Trethowan, R., Pfeiffer, W. H., & Ginkel, M. Van. (2002). Quality (End-Use) Improvement in Wheat. *Journal of Crop Production*, 5(1–2), 1–37. https://doi.org/10.1300/J144v05n01_02

Phule, M., Vidyapeeth, K., Award, Y. S., Interactions, P., Interactions, R., Stress, A., Himachal, K., Krishi, P., & Publication, S. I. (2018). *Agritultural microbiology: Harnessing microbial innovations for sustainable farming* (Vol. 136118).

Prasad R., & Zhang So. (2022). *Beneficial Microorganisms in Agriculture* (R. Prasad & S.-H. Zhang (Eds.)). Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-0733-3>

Rakshit, A., Singh, S. ., Abhilash, P. C., & Biswas, A. (Eds.). (2021). *Soil Science: Fundamentals to Recent Advances*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-0917-6>

Rincon-Florez, V. A., Carvalhais, L. C., Dang, Y. P., Crawford, M. H., Schenk, P. M., & Dennis, P. G. (2020). Significant effects on soil microbial communities were not detected after strategic tillage following 44 years of conventional or no-tillage management. *Pedobiologia*, 80, 150640. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2020.150640>

Rosado-flores, M. F., González-prieto, J. M., Mireles-martínez, M., Torres-ortega, J. A., María, N., & Jesús, R. (2020). *Identificación de microorganismos aislados de suelos agrícolas con capacidad de tolerar 2.4-D y malatión*. 1–9.

SADER. (2024). *Buscan autoridades y productores alternativas para el nuevo ciclo triguero en el Valle de Mexicali*.

- Saha, B., Saha, S., Das, A., Bhattacharyya, P. K., Basak, N., Sinha, A. K., & Poddar, P. (2017). Biological Nitrogen Fixation for Sustainable Agriculture. En *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture* (pp. 81–128). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5343-6_4
- Saldivia-Tejeda, A., Uribe-Guerrero, M. Á., Rojas-Cruz, J. M., Guera, O. G. M., Verhulst, N., & Fonteyne, S. (2024). Conservation agriculture enhances maize yields and profitability in Mexico's semi-arid highlands. *Scientific Reports*, *14*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80928-8>
- Senkovs, M., Nikolajeva, V., Makarenkova, G., & Petrina, Z. (2021). Influence of *Trichoderma asperellum* and *Bacillus subtilis* as biocontrol and plant growth promoting agents on soil microbiota. *Annals of Microbiology*, *71*(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s13213-021-01647-3>
- Seo, H., Kim, J. H., Lee, S.-M., & Lee, S.-W. (2024). The Plant-Associated Flavobacterium: A Hidden Helper for Improving Plant Health. *The Plant Pathology Journal*, *40*(3), 251–260. <https://doi.org/10.5423/PPJ.RW.01.2024.0019>
- Shen, J., Tao, Q., Dong, Q., Luo, Y., Luo, J., He, Y., Li, B., Li, Q., Xu, Q., Li, M., Guo, L., Cai, Y., Tang, X., Zhao, J., Li, H., & Wang, C. (2021). Long-term conversion from rice-wheat to rice-vegetable rotations drives variation in soil microbial communities and shifts in nitrogen-cycling through soil profiles. *Geoderma*, *404*, 115299. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115299>
- SIAP. (2024). *Panorama agroalimentario 2024*. https://drive.google.com/file/d/1NXcDhaB63Z94wjRUVF6f_FK0Urv6cgvJ/view
- SIAP. (2025). *Avance de siembras y cosechas*. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- Siddique, R., Gul, A., Ozturk, M., & Altay, V. (2021). Phosphate Solubilizing Bacteria for Soil Sustainability. En *Handbook of Assisted and Amendment: Enhanced Sustainable Remediation Technology* (pp. 423–435). Wiley.

<https://doi.org/10.1002/9781119670391.ch21>

Soumare, A., Boubekri, K., Lyamlouli, K., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., & Kouisni, L. (2020). From Isolation of Phosphate Solubilizing Microbes to Their Formulation and Use as Biofertilizers: Status and Needs. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00425>

Souza, A. P. De, Lima, L., Zamadei, T., Martim, C. C., Almeida, F. T. De, & Paulino, J. (2013). CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA E BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO NO ESTADO DE MATO GROSSO IN MATO GROSSO STATE, BRAZIL. *Nativa*, 1(1).

Springer. (2024). *The Wheat Genome* (R. Appels, K. Eversole, C. Feuillet, & D. Gallagher (Eds.)). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-38294-9>

Tian, W., Wang, L., Li, Y., Zhuang, K., Li, G., Zhang, J., Xiao, X., & Xi, Y. (2015). Responses of microbial activity, abundance, and community in wheat soil after three years of heavy fertilization with manure-based compost and inorganic nitrogen. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 213, 219–227. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.08.009>

Verhulst, N., Francois, I., & Govaerts, B. (2015). ¿Qué es la agricultura de conservación? CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/que-es-la-agricultura-de-conservacion/>

Woo, S. L., Hermosa, R., Lorito, M., & Monte, E. (2023). Trichoderma: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature Reviews Microbiology*, 21(5), 312–326. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00819-5>

Yarzabal Rodríguez, L. A., Álvarez Gutiérrez, P. E., Gunde-Cimerman, N., Ciancas Jiménez, J. C., Gutiérrez-Cepeda, A., Ocaña, A. M. F., & Batista-García, R. A. (2024). Exploring extremophilic fungi in soil mycobiome for sustainable agriculture amid global change. *Nature Communications*, 15(1), 6951. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-51223-x>

Yépez, M., Cedeño, A., & Mera, C. (2022). Rentabilidad económica empresarial, análisis

de costos caso Martagua S.A., Montecristi Ecuador. *Polo del conocimiento*, 7(2550-682X), 1806–1825. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i7>

Zavala-Álvarez, J., Partida. Martínez, J. A., & Gastélum-López, L. D. C. (2022). La organización de productores de trigo de Baja California. En *POLIS. México* (Vol. 2022, Número 2).

3. CONCLUSIONES GENERALES

La presente tesis demuestra que la agricultura de conservación (AC), implementada en condiciones áridas con suelos alcalinos del Valle de Mexicali, constituye una estrategia viable para transitar hacia sistemas de producción más sostenibles. Desde el enfoque del triángulo de la sustentabilidad, la AC mostró efectos diferenciados en tres dimensiones: ambiental (propiedades del suelo y microbiota), agronómica (producción de cultivos de cobertura y de trigo) y económica (rentabilidad y costos de oportunidad frente a la agricultura tradicional, AT).

La tesis también aporta una contribución metodológica relevante al establecer y aprovechar una plataforma experimental de agricultura de conservación en un contexto educativo y productivo, integrando mediciones de campo, análisis de laboratorio, herramientas estadísticas y aproximaciones económicas y moleculares. Este enfoque multidisciplinario genera un marco replicable para otros agroecosistemas áridos que busquen evaluar el impacto de la AC sobre la salud del suelo y la resiliencia de los sistemas de producción.

Finalmente, esta tesis de investigación abre líneas de investigación futuras: (i) estudios de seguimiento a largo plazo que permitan confirmar las tendencias observadas en parámetros fisicoquímicos y en productividad; (ii) la evaluación de diferentes especies y mezclas de cultivos de cobertura y su impacto microbiano y económico; (iii) la incorporación de análisis funcionales más detallados como actividad enzimática, procesos de ciclado de nutrientes, y uso de las tecnológicas de biología molecular más modernas que, vinculen composición microbiana con servicios ecosistémicos; y (iv) el

modelado económico de escenarios donde se adopten prácticas de AC que incluyan los beneficios ambientales y sociales. Estas líneas ofrecen un camino para consolidar a la agricultura de conservación como eje de sustentabilidad en regiones áridas, fortaleciendo la base científica y económica para su recomendación a productores y tomadores de decisiones.

ANEXOS

Complemento objetivo específico 1 – Artículo publicado Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Velasco-López, J. L., Soto-Ortiz, R., & Quistián-Martínez, D. (2024a). Evaluación de las variedades de trigo Don Lupe Oro C2020 y Ciano M2018 durante el ciclo 2022-2023 en el Valle de Mexicali, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(3). <https://doi.org/10.56369/5440>

Tropical and Subtropical Agroecosystems 27 (2024): Art. No. 096

Espinoza-Alonso et al., 2024



EVALUATION OF THE DON LUPE ORO C2020 AND CIANO M2018 WHEAT VARIETIES DURING THE 2022-2023 CYCLE IN THE MEXICALI VALLEY, MEXICO †

[EVALUACIÓN DE LAS VARIETADES DE TRIGO DON LUPE ORO C2020 Y CIANO M2018 DURANTE EL CICLO 2022-2023 EN EL VALLE DE MEXICALI, MÉXICO]

Juan Ángel Espinoza-Alonso¹, Marisol Galicia-Juárez^{1*}, Carlos Enrique Ail-Catzim¹, Blanca Margarita Montiel-Batalla¹, José Luis Velasco-López², Roberto Soto-Ortiz³ and Deyanira Quistián-Martínez³,

¹Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California. Carretera a Delta s/n, Ejido Nuevo León, Baja California, México. C.P. 21703. Email: juan.espinoza.alonso@uabc.edu.mx; marisol.galicia.juarez@uabc.edu.mx; carlos.ail@uabc.edu.mx; blanca.montiel@uabc.edu.mx; roberto.soto@uabc.edu.mx
²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Fitomejoramiento, Calzada Antonio Narro 1923, col. Buena vista, Saltillo Coahuila, México. C.P. 23515. Email: josel.velasco@uanar.edu.mx
³Facultad de Ciencias Biológicas-Universidad Autónoma de Nuevo León. Av. Pedro de Alba s/n colonia Niños héroes, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. C.P. 66453. Email: deyanira.quistianmar@uanl.edu.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background: México in 2021 obtained the position number 37 in wheat production in the world with 3.5 M of tons, Baja California state contributes with 7 % of total production with a yield of 6-t ha⁻¹. Spread new varieties by Mexican territory implies to describe them in farming regions which becomes an essential labor in the constant pursuit of improving of yield and quality in wheat production. **Objective:** To assess the development, yield and quality of two new wheat varieties released by International Maize and Wheat Improvement and the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. **Methods:** Wheat varieties, a bread variety (CIANO M2018) and a crystalline variety (DON LUPE C2020) were sown in six plot of 6 x 100 meters, each one, resulting in 12 experimental units arranged by a completely randomized design with the objective of register the principal phenological stages base on heat units and cold hours, yield and quality thus. Per each variety were registered main phenological states based on heat units and cold hours, besides the assessment of yield components as (tiller numbers and leaves, plant height, spikelets by spike, grains by spike, wide and large of the spike, weight of 100 seeds, spike by plant and spike m²) and physical quality (yield, hectoliter weight, humidity and protein percentage) data obtained were analyzed by a T-student medium comparison with a minimum level of significance of p ≤ 0.05. **Results:** Ciano M2018 variety, shows early development with 129 days after sowing to achieve physiological maturity in comparison to 158 days in commercial varieties, also showed 6.38 t ha⁻¹ in yield and 10.23 % of grain protein. Beside Don Lupe Oro C2020, show same quantity of days to maturity in comparison the 140 days in commercial traits, with 5.6 t ha⁻¹ and 10.89 % of gran protein. **Implications:** After the evaluation of these varieties, different fertilization programs must be tested to establish the highest production potential. Additionally, since these are recently released varieties, access to them is subject to the availability from INIFAP and CIMMYT **Conclusion:** Previous reports of these traits in Valle del Yaquis in Sonora state, show a range of values associated to development, yield and quality. **Key words:** Yield components; crystalline wheat; bread wheat.

† Submitted January 31, 2024 – Accepted June 3, 2024. <http://doi.org/10.56369/5440>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462

ORCID = Juan Angel Espinoza-Alonso: <https://orcid.org/0009-0009-0711-4469>, Marisol Galicia - Juárez: <https://orcid.org/0000-0003-3319-3673>, Carlos Enrique Ail-Catzim: <https://orcid.org/0000-0003-3426-1578>, José Luis Velasco-Lopez: <https://orcid.org/0000-0002-8967-1446>, Blanca Margarita Montiel-Batalla: <https://orcid.org/0000-0003-0928-5365>, Roberto Soto-Ortiz: <https://orcid.org/0000-0002-9568-4104>, Deyanira Quistián - Martínez: <https://orcid.org/0000-0002-5949-6907>

RESUMEN

Antecedentes: En el año 2021, México obtuvo el trigésimo séptimo lugar en la producción de trigo a nivel mundial con una producción de 3.5 millones de toneladas, el estado de Baja California aportó el 7 %, con una producción promedio de 6 t ha⁻¹. Caracterizar nuevas variedades de trigo en las diferentes regiones agrícolas de México, es una tarea fundamental en la liberación de variedades para mejorar la producción agrícola de este cultivo en términos de rendimiento y calidad. **Objetivo:** Evaluar el desarrollo, rendimiento y calidad dos variedades de trigo producidas en conjunto por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. **Metodología:** Las variedades de trigo harinero (CIANO M2018) y de trigo cristalino (DON LUPE ORO C2020), fueron establecidas, en la localidad Benito Juárez del Valle de Mexicali, en seis parcelas de 6 x 100 m por variedad, cada parcela fue considerada una unidad experimental y fueron distribuidas bajo un diseño completamente al azar. Para cada variedad se registraron las principales etapas fenológicas en base a unidades calor y horas frío, además se determinaron los componentes de rendimiento (número de macollos y hojas, altura de la planta, espiguillas por espiga, granos por espiga, ancho de espiga, peso de 100 semillas, longitud de espiga, espigas por planta y espigas m²) y se realizó un análisis de calidad física del grano (rendimiento, peso hectolítico, humedad y porcentaje de proteína). Los datos obtenidos se analizaron a través de una comparación de medias T-student con nivel de significancia de $p \leq 0.05$. **Resultados:** La variedad Ciano M2018 resultó ser una variedad precoz con 129 días a madurez fisiológica en comparación con otras variedades de trigo harinero que alcanzan alrededor de 158 días, además obtuvo altos rendimientos de 6.38 t ha⁻¹, con porcentaje de proteína del 10.23, la variedad de trigo cristalino Don Lupe Oro C 2020, también resultó con característica de variedad precoz a madurez fisiológica con 129 días después de la siembra (dds) en comparación a las variedades cristalinas que se utilizan actualmente con 140 dds a madurez fisiológica, con rendimientos de 5.6 t ha⁻¹ y 10.89 % de proteína. **Implicaciones:** Posterior a la evaluación de estas variedades, se deberán probar diferentes programas de fertilización, con el propósito de establecer el mayor potencial de producción, además de que al ser variedades de reciente liberación el acceso a estas variedades está sujeto a la disponibilidad del INIFAP y del CIMMYT. **Conclusión:** Se reportan evaluaciones previas de estas variedades en el Valle del Yaqui en Sonora, lo cual permite establecer un rango de días a madurez fisiológica, rendimientos y calidad para estas variedades.

Palabras clave: componentes de rendimiento; trigo cristalino; trigo harinero.

INTRODUCCIÓN

En el año 2021, México ocupó la trigésima séptima posición dentro de la lista que comprende a los 123 países productores de trigo en el mundo, con una producción mundial que supera las 3.5×10^6 toneladas de grano de trigo anuales (SIAP, 2022). La producción de trigo en grano en el Estado de Baja California para el año 2022 representó el 7 % de la producción nacional, con un rendimiento promedio de 6.0 toneladas, lo que supera la media nacional de 3.2 t ha⁻¹, ocupando el tercer lugar en producción de este cultivo, solo por debajo del estado de Sonora y Guanajuato (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2022). Actualmente en México: el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), tienen el compromiso de atender las necesidades nacionales en materia de mejora de rendimientos en la producción de granos con relevancia a nivel mundial, por ello constantemente se desarrolla el mejoramiento de variedades de trigo que respondan las necesidades de los diferentes sectores.

El 96 % de la producción de trigo en México (3.5×10^6 toneladas) se obtiene en el ciclo otoño-invierno (noviembre-mayo) y se divide por tipo de grano, el 46 % corresponde a trigo panificable y el 54 % a trigo cristalino, en el año 2021 el consumo de este grano se ubicó en 7.92 mdt (más del doble de la producción

nacional), de las cuales el 85 % fueron trigo panificable (importando el 78 %) y el 15 % a trigo cristalino, del cual existe un superávit que permite exportar el 33 % de su producción, lo que hace evidente la necesidad en el país de mejorar la producción de los grupos panificables, derivado de esta situación el gobierno mexicano a partir del año 2019 ha establecido precios de garantía únicamente para los trigos panificables, dicho precio en 2022 fue de 6900 pesos mexicanos (415 USD/MXN de 16.62 en marzo 2024) por tonelada, con distintos incentivos hacia la productividad y ciertas restricciones, situación totalmente diferente para el trigo cristalino ya que no cuenta con precios de garantía, pero si con dichos incentivos (Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial, 2022).

La importancia del cultivo de trigo radica en que se ha vuelto parte de la dieta del ser humano, debido a sus altos contenidos de gluten con proteínas, lo que lo hace diferente a otros cereales, es esta cualidad la que permite obtener sus productos derivados y clasificar al trigo dependiendo de su utilización (Avendaño-Ruiz, Acosta-Martínez and Várela-Llamas, 2010). En México existe la Norma Oficial Mexicana NOM-FF-36-1984 donde menciona las condiciones y características para comercializar el trigo, considerando a *Triticum aestivum* y *Triticum durum*, agrupando a este cultivo según las características de gluten (fracción de la proteína de trigo que retiene el gas producto de la fermentación durante la

panificación) de la siguiente manera: Gluten fuerte: Trigo destinado a la industria de panificación y que se mezcla con trigos suaves, gluten medio fuerte: Trigo destinado a la panificación manual y que se mezcla con trigos suaves, gluten suave: Trigo destinado a elaborar tortillas, buñuelos y los productos asociados, gluten tenaz: Trigo destinado a industrias galleteras y para la elaboración de donas, grano cristalino: Trigo destinado a elaboración de pastas y macarrones y también para mezclas en productos panificables. Las características del grano que incluye la norma mencionada anteriormente para la comercialización de trigo son: humedad, impurezas, granos dañados, granos dañados por calor, granos dañados por insectos, microorganismos, por germinación, heladas, granos inmaduros, granos con panza blanca, peso hectolitrico y contenido de proteína (De la O - Olan *et al.*, 2012), el cumplir con los límites establecidos confiere al producto evaluado el término "Calidad México" (Gobernación, 1984)

En la mayoría de los casos cuando se evalúan nuevas variedades de trigo en función de mejoras de rendimientos, la fertilización, el control de malezas, enfermedades, el método de siembra y la cantidad de plantas por hectárea encabezan la lista de los factores limitantes en su producción (Ali *et al.*, 2009), siendo los últimos dos los que toman mayor relevancia ya que determinan el crecimiento adecuado del cultivo, si hay competencia entre las plantas y la tasa de conversión de energía solar (Suaste-Franco *et al.*, 2013) siendo la densidad óptima aquella que capte el 90 % de la radiación solar que incide cuando las espigas comienzan su crecimiento (Slafer and Satorre, 1999).

Otros componentes que deben ser considerados, son los estados fenológicos que se relacionan directamente con el rendimiento de grano de trigo, uno de ellos, es la producción del número de macollos, ya que impacta directamente al rendimiento, pues cada macollo producirá una espiga, este proceso es dependiente de la vernalización, la cual se define como el proceso por el cual ocurre una aceleración de transición del estado reproductivo a la floración, inducido por temperaturas frías (Chouard, 1960; Dixon *et al.*, 2019), para este cultivo estas temperaturas oscilan entre 0 y 12 °C (Ahrens and Loomis, 1963) 0 y 11 °C (Brooking, 1996) y 3 a 10 °C (Weir *et al.*, 1984) y se denominan "umbrales térmicos", los cuales son rangos de temperaturas en las que un cultivo se desarrolla apropiadamente y la exposición por encima o por debajo de estos umbrales afecta las etapas de desarrollo de los cultivos, en el caso del cultivo de trigo, cada etapa fenológica presenta umbrales térmicos diferentes para cada etapa fenológica, es por esto que se utilizan las fechas de siembra para el establecimiento del cultivo, (Barberis, 2018). Elegir variedades que tengan patrones de desarrollos con un menor requerimiento de horas frío, resulta de suma importancia, ya que cómo

menciona (Moreno Dena, Salazar Solano and Rojas Rodríguez, 2018), se espera que las temperaturas que se registren en la región incrementen de uno a dos grados centígrados derivado del cambio climático, por lo que las horas frío tendrán una tendencia a reducirse, provocando disminuciones en los rendimientos actuales en el cultivo de trigo y otros cultivos de invierno en la región.

Por lo anteriormente mencionado, en la región del Valle de Mexicali, los umbrales térmicos que permiten a la planta de trigo experimentar estas temperaturas se logran alcanzar en las fechas de siembra establecidas, del 15 de noviembre al 15 de diciembre, sin embargo, debido a las variaciones de temperatura y eventos climáticos derivados de la del actual cambio climático, hacen necesario que se evalúen constantemente las variedades y también se registren los datos en cuanto a las horas frío y unidades calor, que permitan en caso de ser necesario la modificación de fechas de siembra y la optimización de la interacción del ambiente con el cultivo. En la búsqueda de alternativas que permitan establecer nuevas variedades de trigo para el Valle de Mexicali, se desarrolló este trabajo de investigación, con objetivo de registrar las principales etapas fenológicas en base a unidades calor, evaluar los componentes de rendimiento y calidad física del grano de dos variedades de trigo, una del grupo panificable y otra del grupo cristalino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Dos variedades de trigo fueron evaluadas en esta investigación, una variedad de trigo harinero que lleva por nombre CIANO M2018 y una variedad de trigo cristalino que lleva por nombre Don Lupe Oro C2020, ambas variedades fueron proporcionadas por CIMMYT e INIFAP.

Establecimiento del ensayo en campo

Las dos variedades de trigo: Don Lupe Oro C2020 y CIANO M2018 fueron establecidas utilizando una sembradora mecánica marca John Deere® modelo BD1108 de ocho líneas de salida a chorrillo con fecha de siembra del 22 de diciembre del 2022 en el campo experimental del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario 41 (CBTA 41) ubicado en el ejido Benito Juárez de la ciudad de Mexicali, Baja California, México, en las coordenadas 32°33'35.2"N y 115°01'28.6"W, con una altitud de 15 msnm.

El experimento se realizó bajo un diseño completamente al azar, con dos tratamientos (variedades C2020 y M2018), cada tratamiento se estableció en seis melgas de 6 x 100 m, con seis repeticiones, cada melga se consideró como una

unidad experimental, teniendo un total de 12 unidades experimentales en todo el experimento (Figura 1). La siembra fue en plano con una densidad de semilla de 200 kg ha⁻¹ (400 plantas m²) y una fertilización al momento de la siembra con urea y fosfato monoamónico con una relación de 90:10 en una dosis de 200 kg ha⁻¹, se dotó de un riego de germinación y cuatro riegos de auxilio. El control de malezas se efectuó mediante el uso de herbicidas comerciales de compuestos fluoroxipir y pinoxaden posterior al riego de germinación.

Variables analizadas

Densidad de plantas

A los 15 y 23 días después de la siembra se realizaron conteos del número de plantas por metro cuadrado (m²), esto se realizó utilizando un marco de 1 x 1 m, de material pvc, el cual se posicionó donde se observó mayor uniformidad de germinación dentro de la unidad experimental, dando preferencia al centro de las melgas. Posteriormente se realizó un promedio de las seis repeticiones por tratamientos y se calculó la densidad de siembra por m².

Las siguientes variables fueron analizadas utilizando la escala de Zadoks (Zadoks, Chang and Konzak, 1974), según se ajustaran las etapas de desarrollo del cultivo, para el caso del cultivo de trigo, se describen 10 estados principales, que se denotan con una letra Z y a continuación el número del estado de desarrollo, de los cuales en esta investigación sólo se analizaron los siguientes:

Número de macollos (Z2)

A los 66 dds, posterior al inicio de la etapa de encañe y a los 74 dds se promediaron los datos obtenidos de

contabilizar el número de macollos, cuando se observaron tallos y hojas adicionales al tallo central, esto fue realizado en 10 plantas elegidas al azar en las seis repeticiones que se establecieron por tratamiento.

Número de hojas (Z1 – Z4)

Esta determinación se realizó promediando los datos obtenidos del conteo de hojas iniciando con el marcaje de la primera hoja verdadera desde su aparición (29 dds) hasta el conteo de la última cuando la planta llegó a la etapa de madurez fisiológica (129 dds) de 10 plantas elegidas al azar.

Las siguientes variables fueron determinadas a los 152 dds (Z9):

Altura de la planta

Se realizó promediando el conteo de los datos obtenidos midiendo por triplicado en cada unidad experimental, desde la base del suelo hasta la arista superior de la espiga de 10 plantas al azar, en las seis repeticiones por tratamiento.

Espigas por m²

Se realizó promediando el conteo por triplicado en cada unidad experimental, contabilizando el número de espigas en una superficie de 1 m², en las seis repeticiones por tratamiento.

Espigas por planta

Se realizó promediando el conteo por triplicado en cada unidad experimental del número de espigas por planta de 10 plantas elegidas al azar dentro del m², elegido de la variable espigas por m².

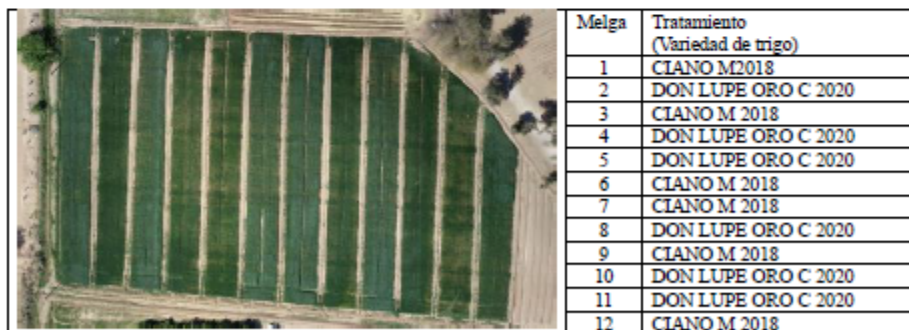


Figura 1. Fotografía aérea de lote experimental ubicado en el plantel de bachillerato CBTA 41, el ejido Benito Juárez de la ciudad de Mexicali, Baja California, México. De izquierda a derecha se contabilizan las 12 melgas que componen el experimento. Se indica la distribución de los tratamientos en cada melga.

Espiguillas por espiga, ancho de espiga, longitud de espiga

A partir de la determinación de la variable anterior, se colectaron 10 espigas al azar por triplicado en cada unidad experimental y se realizó un promedio a partir del conteo manual del número de espiguillas contenidas en cada espiga, en las seis repeticiones por tratamiento. Posteriormente con un vernier se midió el ancho y largo de cada espiga y se calculó el promedio de cada submuestreo (3) por tratamiento.

Numero de granos por espiga

Posterior a las determinaciones anteriores, se desgranaron las 10 espigas de cada submuestreo (3) por tratamiento y se contabilizó el número de granos y se promediaron el conteo de los valores obtenidos.

Peso de 100 semillas

Se realizó el conteo de tres repeticiones de 100 semillas y se pesaron en una balanza analítica, para obtener el promedio de peso de 100 semillas.

Rendimiento

Se realizó la cosecha de 1 m² por duplicado de cada melga y se registró el peso de los granos obtenidos y estimó el rendimiento a una hectárea y posteriormente se realizó un promedio de las seis repeticiones de cada tratamiento.

Calidad de grano

Se determinaron porcentajes de humedad, proteína y peso hectolítico de 800 g del grano cosechado por m² y fueron procesadas en un Aquamatic AM5200, Perten® obteniendo los porcentajes de humedad, proteína y peso hectolítico.

Cálculo de Unidades Calor y Horas Frío

El cálculo de unidades calor y horas frío se realizó gracias al programa "Sistema de información para el manejo del agua de riego de Baja California" el cual pone a disposición el registro de variables climatológicas de las regiones, dicho registro se lleva a cabo gracias a las estaciones meteorológicas ubicadas en todo el estado de Baja California, las estaciones meteorológicas utilizadas para este estudio fueron en la localidad Andrade, dicha estación es la más cercana al punto geográfico a donde se desarrolló el experimento. (Gámez, 2016). El portal para acceder a los servicios de SIMARBC se encuentra en el siguiente link de acceso: <http://apps.sedagro.gob.mx/simarbc>. El periodo utilizado en la obtención de estas variables fue a partir del día de siembra (22 de diciembre de 2022 al 25 de mayo de 2023).

Una vez obtenidos los datos de las temperaturas máximas y mínimas de los días que comprenden los años: 2018, 2019, 2020 y 2022 (año de la experimentación), se analizaron utilizando el sistema informático InfoStat y se determinó la desviación estándar.

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos efectuados fue una comparación de medias de los tratamientos mediante la prueba T-Student con un nivel de significancia $p \leq 0.05$, el software que se utilizó es InfoStat versión 2008. El diseño experimental fue un completo al azar, donde las variedades quedaron distribuidas de forma aleatoria en doce melgas de 6 x 100 m.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN**Registro de temperaturas máxima y mínimas y relación de las principales etapas fenológicas del cultivo de trigo de variedades en el noroeste de México**

El registro de la temperatura máxima y mínima durante las principales etapas fenológicas para obtener las unidades calor y horas frío en el periodo que estuvo establecido el cultivo para este experimento, (el cual comprende desde el 21 de diciembre del año 2022 al 25 de mayo de 2023), con la finalidad de comprobar que las temperaturas para este cultivo siguen estando en los umbrales ideales y seguir reconociendo a esta zona agrícola para trigo, fueron los presentados en la tabla 1.

Las principales etapas fenológicas de los tratamientos se estimaron mediante las unidades calor y las horas frío, según la metodología de (Félix *et al.*, 2009) además, sus resultados fueron utilizados como referente en la tabla 2, debido a que el umbral para la fecha de siembra (15 diciembre) sigue vigente a la de la utilizada en la presente investigación para el cultivo trigo, en San Luis Río, Colorado, Sonora, ciudad que pertenece a la región Noroeste de México, así como el Valle de Mexicali por esto se compararon con los resultados de la presente investigación

Tabla 1. Registro de temperaturas máximas y mínimas del Valle de Mexicali, México.

Año	Temp máx (°C)	Temp mín (°C)	Desv. est.
2018-2019	27.7	11.1	10.5
2019-2020	27.2	9.9	10.0
2022-2023	24.6	7.9	10.6

Desv: Est. Desviación estándar de la media.

Tabla 2. Horas frío y unidades calor acumuladas por etapa fenológica en el establecimiento del cultivo de trigo en el ciclo 2022-2023 y comparación con los datos de producción de trigo de Sonora en el año 2008.

Fecha de siembra		Variedades comerciales de la región		
		Noroeste	CIANO M2018	DON LUPE ORO C2020
		15/12/2008	21/12/2022	21/12/2022
Plántula	UC	100	94.39	94.39
	HF	44	85	85
	dds	-	16	16
Amacollo	UC	202	38.2	38.2
	HF	147	55	55
	dds	-	23	23
Encañe	UC	186	139.1	139.1
	HF	193	453	453
	dds	-	66	66
Días a floración	UC	319	188.4	188.4
	HF	91	140	140
	dds	-	94	94
Madurez fisiológica	UC	919	959	959
	HF	415	90	90
	dds	123	129	129
Cosecha	UC	1726	1419	1419
	HF	968	823	823
	dds	-	154	154

UC = Unidades Calor, HF = Horas frío, dds = días después de la siembra

La estructura de la presentación de resultados y discusión a continuación se aborda en el orden de desarrollo fenológico del cultivo de trigo en sus principales etapas fenológicas y su relación con la presencia de horas frío y unidades calor.

Amacollamiento y encañe

La planta de trigo comienza a producir macollos (de 1 a 5) a partir de la aparición de la segunda y tercera hoja hasta la formación del primer nudo, esta etapa depende de la disponibilidad de los nutrientes, la variedades y principalmente de la fecha de siembra debido a la acumulación de horas frío (Abadía *et al.*, 2017) ya que cuando las temperaturas invernales se presentan, aceleran el proceso de producción de macollos y puede tener una duración de 30 a 35 días con un acumulado de 150 horas frío, aproximadamente (Félix *et al.*, 2009; Pask *et al.*, 2013). En los resultados presentados en esta investigación, la presencia de horas frío tuvo una duración superior a los 30 días superando el cúmulo de 170 horas y se presentaron hasta llegar la etapa de encañe, lo que probablemente, provocó condiciones de estrés, siendo para la variedad CIANO M2018 la cantidad de 3.28 macollos y para la variedad de DON LUPE ORO C 2020 valores de 3.78 macollos por planta, además del factor de densidad, el cual, se recomienda según (Brajcich Gallegos *et al.*, 2015) en la Agenda técnica agrícola de Baja California publicada por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) e INIFAP, sea de entre 100 y 120 kg ha⁻¹, mientras que

la densidad en este experimento fue de 200 kg ha⁻¹, lo que pudo haber generado una competencia entre planta y una disminución en la generación de posibles macollo, sin embargo, es importante mencionar que la duración de la etapa del macollaje condiciona también el número de macollos, por lo que estas variedades evaluadas en este experimento al ser de ciclos cada vez más cortos, el periodo del tiempo para recibir las horas frío y así promover la producción de macollos debe ir acompañado de un buen paquete tecnológico adaptado a cada variedad en particular (Abadía *et al.*, 2017).

Las variedades de trigo establecidas en el experimento fueron de tipo panificable y cristalino (CIANO M2018 y Don Lupe Oro C2020, respectivamente), ambas presentaron un desarrollo fenológico análogo descrito en la tabla 2. Ambas variedades presentaron días a floración a los 94 dds y madurez fisiológica a los 129 dds, datos contrastantes con la investigación realizada por (Chávez-Villalba *et al.*, 2021), quienes reportan para la variedad CIANO M2018 76 dds para llegar a floración y 123 dds para madurez fisiológica, los cambios en el estado de vegetativo a reproductivo del ocurre durante la primera mitad del macollaje, llegando a la aparición de primordios donde se forma la espiguilla terminal y es en este estado donde quedan definidas el número de hojas y el número potencial de las espiguillas (Abadía *et al.*, 2017). Las variedades harineras comerciales: Rayón 89, Cachamilla F2000, Kronstad F2004 y Roelfs F2007 actualmente son utilizadas en la región agrícola del noroeste de México, particularmente en el estado de Baja California y

Sonora, presentan días a floración de 100 a 108 dds y madurez fisiológica de 137 a 145 dds, esto permite proponer a CIANO M2018, evaluada en este estudio como variedad potencial capaz de sustituir a las variedades comerciales, mencionadas anteriormente, ya que, su rendimiento (6.38 t ha^{-1}) se encuentra entre los valores intermedios de rendimiento de estas variedades ($5.55 - 8.5 \text{ t ha}^{-1}$), así también, por la diferencia considerable en cuanto los días a floración y madurez fisiológica, lo que sugiere un probable ahorro de gasto hídrico. Chávez-Villalba *et al.* (2021), reporta que para la variedad CIANO M2018 transcurrieron 80 días para llegar a floración y 123 dds para madurez fisiológica en el Valle del Yaqui en Sonora. Por otro lado, al comparar con las variedades comerciales de trigos cristalinos designadas para esta región, se observa la misma tendencia que con los trigos harineros, es decir, que la variedad Don Lupe Oro C 2020 tiene periodos más cortos de desarrollo, lo que representa una ventaja competitiva en términos del tiempo de duración del ciclo y de aprovechamiento de suelos agrícolas, así como de competitividad en el mercado.

Para enfatizar la importancia de la obtención de horas frío y unidades calor para las variedades evaluadas en esta investigación se han realizado distintos estudios, una reciente investigación dirigida a explicar las repercusiones que tiene en la economía la acumulación de horas frío en el estado de Sonora, derivado de la disminución de la presencia de estas horas frío, que en el caso de trigo, la temperatura es el factor considerado más importante que induce el desarrollo de la planta, desde la emergencia hasta su floración y madurez, ya que los ciclos fenológicos en presencia de frío son más lentos, lo cual propicia un mayor rendimiento productivo (Moreno Dena, Salazar Solano and Rojas Rodríguez, 2018).

Rendimiento

El rendimiento de trigo que (Félix *et al.*, 2009) reporta fue de 6.32 t ha^{-1} con una acumulación total de 1726 horas frío, y establece una correlación entre la acumulación de hora frío y rendimiento, tomando

como base un acumulado de 340 horas frío con las que se obtendrán 4.64 t ha^{-1} y estima un incremento de 330 kg por la acumulación de 100 horas frío, dicho criterio coincide con las horas frío acumuladas en esta investigación, con un rendimiento promedio de 6.38 y 5.6 t ha^{-1} , para la variedad harinera y cristalina, respectivamente, lo que podría ayudar a establecer una adecuada fecha de siembra para estas dos variedades para aprovechar el rendimiento potencial de 7.87 t ha^{-1} alcanzado por (Rosas-Jáuregui *et al.*, 2023) en la variedad CIANO M2018 y 6.9 t ha^{-1} en la variedad Don Lupe Oro C2020 (Borbón-Gracia *et al.*, 2022) si se siembra desde el 15 de noviembre y se logran acumular mayor número de horas frío.

Comparación en términos de rendimientos de variedades de trigo del noroeste de México

En esta investigación la variedad CIANO M2018, tuvo un rendimiento de 6.38 t ha^{-1} , mientras (Chávez-Villalba *et al.*, 2021) con la misma variedad, obtuvo un rendimiento de 6.72 t ha^{-1} y (Rosas-Jáuregui *et al.*, 2023) un rendimiento de 7.87 t ha^{-1} y con respecto a la variedad Don Lupe se obtuvieron rendimientos de 5.6 t ha^{-1} comparados con los 6.3 que obtuvo (Borbón-Gracia *et al.*, 2022) (Tabla 3).

Es debido a estas diferencias, que ambas variedades de trigo resultan competitivas, pues tiene posibilidades de superar a las variedades utilizadas comercialmente, las cuales tienen valores de rendimientos entre un rango de 5.55 a 8.5 t ha^{-1} (Figueras-López *et al.*, 2011), una vez establecido lo anterior, las perspectivas futuras para estas variedades van en función de encontrar una correcta aplicación de los fertilizante nitrogenados en las etapas fenológicas críticas y la respuesta en el análisis de contenido de proteína del grano, para dicha variable la variedad de trigo harinero CIANO M2018 obtuvo valores bajos con un 10.23 en porcentaje de proteína contrastante con la variedad Kronstad F2004 de 13.3 , sin embargo, en la investigación de (Rosas-Jáuregui *et al.*, 2023) se obtuvieron valores de 12.4 , por lo que se sugieren estudios de rentabilidad en el futuro y dosis de fertilización.

Tabla 3. Días a floración y madurez fisiológica de las variedades Ciano M2018 y Don Lupe oro C2020 del presente experimento en comparación a otros años de producción.

	Floración (días)	Madurez Fisiológica (días)	Rendimiento (t ha^{-1})
Ciano M2018 ¹	80	123	6.72
Ciano M2018 ²	80	123	7.87
Don Lupe Oro C2020 ³	76	123	6.3
CIANO M2018 ⁴			6.38
Don Lupe Oro C2020 ⁴	94	129	5.6

¹Chávez-Villalba, 2021; ²Rosas-Jauregui *et al.* 2023; ³Borbon *et al.*, 2022; ⁴Resultados 2022-2023

Para la variedad Don Lupe (Borbón-Gracia *et al.*, 2022) reporta un rendimiento de 6.2 a 6.3 t ha⁻¹, contrastando en una disminución del 10 % con los las 5.6 t ha⁻¹ (Martínez-Barreras and Camacho-Casas, 2003; Alfonso Camacho-Casas *et al.*, 2010; Figueroa-López *et al.*, 2011) obtenidos en este experimento, estas diferencias están posiblemente vinculadas a la fecha de siembra (21 de diciembre) ya que el cultivo fue establecido posterior a ésta, y los rendimientos esperados por las variedades cristalinas comercialmente utilizadas se ubican entre las 6.5 a 9 t ha⁻¹, además de la fecha de siembra, esto puede deberse a que debido la densidad utilizada de 200 kg ha⁻¹, pues fue evidente el acame de las plantas de trigo para la variedad cristalina, lo que según (Cortés-Jiménez and Ortiz-Avalos, 2023), puede generar pérdidas en la cosecha por trilladora de hasta el 41 %, además de una disminución de macollos, evitando que el genotipo se expresara de manera óptima, por lo que se recomienda seguir evaluando esta variedad durante posteriores ciclos agrícolas.

Análisis de componentes del rendimiento

La cosecha del grano de trigo para las dos variedades se realizó el 26 de mayo de 2023 para posteriormente validar las siguientes variables:

El número de plantas posterior a los quince días del riego de establecimiento fueron 460 y 360 m² para la variedad harinera "CIANO M2018" y la variedad

cristalina "Don Lupe", con un 100 y 92 % de porcentaje de germinación.

Posteriormente al analizar las variables asociadas al rendimiento se determinó que sólo en los granos por espiga, se presentó diferencia estadística en las comparaciones de medias entre ambas variedades, siendo la variedad de trigo Don Lupe, la que obtuvo mayor número de granos por espiga, debido a que la espiga produjo un mayor número de espiguillas por espiga, sin embargo, en el resto de las variables, Don Lupe, también presentó los mayores valores, sólo con diferencia numérica. (Tabla 4).

Por otro lado, en las variables espigas por planta, espigas por m², longitud de espiga, rendimiento, porcentaje de humedad y peso hectolítico los valores más altos lo obtuvo la variedad harinera, CIANO M2018, en comparación con la cristalina, teniendo mayor número de espigas por m², cómo resultado dio mayores valores de rendimiento (Tabla 5).

La variedad de trigo probadas en este estudio (CIANO M2018 2018 y Don Lupe oro C2020), son de hábito primaveral generadas por el CIMMYT y el INIFAP en el campo experimental Norman E. Borlaug (CENEB). El establecimiento de este experimento se comparó con los datos referenciados de la liberación de la variedad CIANO M2018 la cual registra un peso específico de 819 g L⁻¹, similar a los 824 g L⁻¹ que se obtuvieron una vez se cosechó y 10.23 % de proteína

Tabla 4. Valores de media de las variables asociadas al crecimiento y rendimiento de trigo CIANO M2018 y Don Lupe.

Variación	Nº macollos	Nº hojas	Altura de la planta (cm)	Espiguillas por espiga	Granos por espiga	Ancho de espiga (cm)	Peso de 100 semillas (g)	Proteína (%)
CIANO M2018	3.28 a	7.92 a	80.73 a	15.97 a	41.35 b	1.46 a	5.07 a	10.23 a
E. E	0.24	0.42	14.47	1.28	1.45	0.05	0.07	0.33
Don Lupe	3.73 a	9.68 a	82.92 a	19.12 a	51.1 a	2.58 a	5.13 a	10.89 a
E. E	0.29	0.70	2.89	2.79	1.67	1.24	0.17	0.16

a y b corresponden a diferencia estadística entre las variedades con nivel de significancia $p \leq 0.05$ (t student); E. E: error estándar con respecto a la media.

Tabla 5. Medias de variables asociadas al crecimiento y rendimientos de las variedades de trigo CIANO M2018, panificable y Don Lupe, cristalino.

Variación	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Humedad (%)	Peso hecto (g semilla L ⁻¹)	Longitud de espiga (cm)	Espigas por planta	Espigas (m ²)
CIANO M2018	6.38 a	9.6 a	824.1 a	8.96 a	9.23 a	326.68 a
E. E.	0.48	0.06	2.00	0.17	0.45	22.15
Don Lupe Oro C2020	5.6 a	9.48 a	790.5 a	8.82 a	8.55 a	302.14 a
E. E.	0.52	0.06	0.00	0.00	0.85	27.71

Peso hecto: peso hectolítico; a y b corresponden a diferencia estadística entre las variedades con nivel de significancia $p \leq 0.05$ (t student); E. E: error estándar con respecto a la media.

por debajo de los 12.4 % de proteína que reporta (Chávez-Villalba *et al.*, 2021), esta variedad se caracteriza por ser de gluten medio, siendo su harina apta para productos panificables. Se reporta que es superior en rendimiento desde 3.25 % en el estado de Baja California, dicho comportamiento coincide, ya que la producción promedio del Valle de Mexicali para el año 2021, fue de 6 t ha⁻¹ en las variedades comerciales (Borlaug 100) sembradas comúnmente y en esta investigación fueron obtenidas 6.38 t ha⁻¹ (Tabla 3).

Por otro lado, la variedad de trigo cristalino Don Lupe Oro C2020 se reporta previo a su liberación como variedad peso específico del grano de 825 g L⁻¹ con un contenido de proteína de un 11.4 %, y un peso de mil granos de 52.7 g, en esta investigación las diferencias se presentaron en el porcentaje de proteína, obteniendo un 10.89 y un peso específico del grano inferior con 790.5 g L⁻¹ en comparación con CIANO M2018, sin embargo, si se obtuvieron los rendimientos por encima del 3 % reportados por (Chávez-Villalba *et al.*, 2018; Borbón-Gracia *et al.*, 2022) en comparación de las variedades cristalinas (5.5 t ha⁻¹ correspondientes a CIRNO 2008) obteniendo 5.6 t ha⁻¹, además se reporta que son resistentes a la roya de la hoja, resistencia a la cual las variedades comerciales sembradas actualmente han ido perdiendo. Rosas-Jáuregui *et al.* (2022), pusieron a prueba esta variedad, y obtuvo un 12 % de proteína en el grano, con un peso específico de 825 g L⁻¹, el largo promedio de la espiga para esta variedad es de 7 cm, con un rango de 5.5 a 8.4 cm, con un número de granos por espiga de 52.7, factor limitante en las variedades actuales de trigo, con un peso de 100 semillas de 5.7 g estas diferencias probablemente se deben a la diferencia en las fechas de siembra.

CONCLUSIONES

Las variedades de trigo CIANO M2018 y Don Lupe Oro C2020, expresan altos rendimientos superiores al promedio producido con las variedades comerciales en la región del Valle de Mexicali, se vuelve necesario explorar su establecimiento a diferentes fechas, densidades y dosis de fertilización para generar un paquete tecnológico adecuado, así como su continuidad en ciclos de cultivos consecutivos para asegurar la viabilidad de la variedad para describir a detalle su comportamiento en función del rendimiento. Debe considerarse que realizar en conjunto, actividades de establecimiento de estas variedades con actividades relacionadas a la conservación podría generar una reducción en los costos de producción y mayor rentabilidad.

Funding. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías grant a scholarship to doctorate studies. Centro de Bachillerato Tecnológico

Agropecuario 41 granted agrochemicals supplies. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) granted the wheat varieties evaluated in this Research.

Conflict of interest. The authors declare no conflict-of-interest respect to evaluated wheat varieties used in this study.

Compliance with ethical standards. Does not apply.

Data availability. The data used to analyze the results are available via mail with Dra. Marisol Galicia Juárez marisol.galicia.juarez@uabc.edu.mx

Author contribution statement (CRediT): J. Espinoza-Alonso: Conceptualization, Investigation, Methodology, Formal analysis, Data curation, Writing—original draft preparation, Writing—review and editing, Visualization, Supervision, Software. M. Galicia-Juárez: Methodology, Formal analysis, Data curation, writing – Review and editing, funding-acquisition, supervision, investigation. C.E. Ail-Catzim: Methodology, visualization, funding – acquisition, supervision. B. M. Montiel-Batalla: writing-edition. J.L. Velasco-López: funding-acquisition. R. Soto-Ortiz: Writing-editing, conceptualization, investigation. D. Quistián-Martínez: Conceptualization, investigation, writing – editing, visualization.

REFERENCES

- Abadia, B., Abbate, P., Álvarez, C., Aramburu, F., Barroco, M., Bartosik, R., Campaña, L., Bujan, J., Cardos, M., Cardoso, L., Carmona, D., Carmona, M., Calviño, P., Correndo, A., De la Torre, D., Divito, G., Ersut, O., Faberi, A., Frascina, J., García, F., González, F., Hoffman, E., Leaden, M., Maciel, G., Manetti, P., Monzon, J., Salvio, C., Sautua, F., Tourn, F. and Tulli, M., 2017. Manual del Cultivo del Trigo. [online] Manual del Cultivo del Trigo. International Plant Nutrition Institute. Available at: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1320>
- Ahrens, J.F. and Loomis, W.E., 1963. Floral Induction and Development in Winter Wheat 1. *Crop Science*, [online] 3(6), pp.463–466. <https://doi.org/10.2135/cropsci1963.0011183X000300060001x>
- Alfonso Camacho-Casas, M., Figueroa-López, P., Fuentes-Dávila, G., Chávez-Villalba, G., Javier Peña-Bautista, R., Valenzuela-Herrera, V., Luis Félix-Fuentes, J. and Alberto Mendoza-Lugo, J., 2010. KRONSTAD

- F2004, Nueva variedad de trigo harinero para el sur de Sonora. [online] *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(1), pp.111-113. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&id=52007-09342010000100012
- Ali, U., Rahman, M., Soomro, U.A., Rahman, U., Odhano, A., Gul, S. and Qadir Tareen, A., 2009. Effects of Sowing Method and Seed Rate on Growth and Yield of Wheat (*Triticum aestivum*). *World Journal of Agricultural Sciences*, [online] 5(2), pp.159–162.
- Avendaño-Ruiz, B., Acosta-Martínez, A. and Varela-Llamas, R., 2010. El trigo en Baja California. Baja California : Editorial Miguel Angel Porrúa.
- Barberis, J.G., 2018. Cuantificación del impacto de los eventos climáticos extremos de temperatura sobre los rendimientos de trigo de la región pampeana ampliada analizado un período de 30 años. Universidad de Buenos Aires.
- Borbón-Gracia, A., Díaz-Ceniceros, H.L., Chávez-Villalba, G., Ammar, K., Fuentes-Dávila, G., Alvarado-Padilla, J.I. and Huerta-Espino, J., 2022. DON LUPE ORO C2020: Nueva Variedad de Trigo duro para el noroeste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(3), p.413. <https://doi.org/10.35186/rfm.2022.3.413>
- Brajcich Gallegos, P., Comejo Oviedo, E., Govaerts, B., Moncada de la fuente, J., Barrales Domínguez, S., Ornelas Ruiz, P., Obando Rodríguez, R., Galo Medina, J., Aguirre Elizondo, R., Reyes Muro, L., Ortiz Trejo, C., Vargas Mir, S., González Salamanca, M., Rodríguez Díaz, V., Mendoza Ruiz, C., Sánchez Galván, B., De la Vega García, P. and Medina Moutaño, F., 2015. Agenda técnica agrícola Baja California. [online] Available at: <https://wym.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/Content?/=AT>
- Brooking, I., 1996. Temperature Response of Vernalization in Wheat: A Developmental Analysis. *Annals of Botany*, [online] 78(4), pp.507–512. <https://doi.org/10.1006/anno.1996.0148>
- Chávez-Villalba, G., Borbón-Gracia, A., Díaz-Ceniceros, H.L., Alvarado-Padilla, J.I., Huerta-Espino, J., García-León, E. and Fuentes-Dávila, G., 2021. CIANO M2018: Nueva variedad de trigo harinero para el noroeste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(3), p.477. <https://doi.org/10.35186/rfm.2021.3.477>
- Chávez-Villalba, G., Camacho-Casas, M.A., Ammar, K., Alvarado-Padilla, J.I., Fuentes Dávila, G. and Borbon-Gracia, A., 2018. CENEB Oro C2017: nueva variedad de trigo duro para el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(7), pp.1560–1563. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1679>
- Chouard, P., 1960. Vernalization and its Relations to Dormancy. *Annual Review of Plant Physiology*, [online] 11(1), pp.191–238. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.11.06016.0001203>
- Cortés-Jiménez, J. and Ortiz-Ávalos, A., 2023. Efecto del Acame sobre el rendimiento de trigo Variedad Don Lupe C2020, En el Valle del Yaqui, Sonora. In: XXVI Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas Memorias en extenso. [online] Mexicali, Baja California: Universidad Autónoma de Baja California. pp.464–469. Available at: https://drive.google.com/file/d/16nFkZ0cmMHShBDD_09C11aT48_MRkOJA/view [Accessed 17 November 2023].
- Dirección de investigación y Evaluación Económica y Sectorial, 2022. Panorama Agroalimentario Trigo 2022. [online] Panorama Agroalimentario. Available at: <https://www.fira.gob.mx/InvYEvalEcon/EvaluacionIE> [Accessed 17 November 2023].
- Dixon, L.E., Karsai, I., Kiss, T., Adamski, N.M., Liu, Z., Ding, Y., Allard, V., Boden, S.A. and Griffiths, S., 2019. VERNALIZATION1 controls developmental responses of winter wheat under high ambient temperatures. *Development*, [online] 146(3), pp.10. <https://doi.org/10.1242/dev.172684>
- Félix, P., José, V., Enriquez, E.O., Dávila, G.F., Guadalupe, J., Quiroz, Q. and Grageda Grageda, J., 2009. Horas frío en relación al rendimiento de trigo. Áreas de producción del estado de Sonora. [online] Available at: <https://www.comunicamco.com/tecnicos/horasfriorrendimiento-trigo-son.pdf>
- Figueroa-López, P., Fuentes-Dávila, G., Valenzuela-Herrera, V., Chávez-Villalba, G., Félix-Fuentes, J.L. and Mendoza-Lugo, J.A., 2011. "ROELFS F2007", Nueva variedad de trigo harinero para el noroeste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, [online] 34(3), pp.221–223. <https://doi.org/10.35186/rfm.2011.3.221>

- Gómez, M., 2016. Cuantificación del potencial eólico para aplicación agrícola en el Valle de Mexicali, B.C., México. [online] Universidad Autónoma de Baja California. Available at: <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/entidades/publication/451c412d-ee8e-43ae-892d-1a340d98989c>.
- Gobernación, S. de, 1984. Norma Oficial Mexicana NOM-FF-36-1984 Productos alimenticios no industrializados para uso humano cereales-trigo. (*Triticum aestivum* y *T. durum*). Especificaciones (Esta norma cancela la NOM-FF-36-1982). [online] Ciudad de México. Available at: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4660099&fecha=23/03/1984#psc-tab=0.
- De la O - Olan, M., Rangel, E., Sánchez, L., Mir, V., Bautista, P. and Hernández, H., 2012. Calidad Física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, [online] 3(2), pp.271–283. Available at: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263123201005>.
- Martínez-Barreras, A. and Camacho-Casas, M., 2003. Cachanilla F2000 y Río Colorado C2000, Nuevas variedades de trigo harinero y trigo duro para Baja California y norte de Sonora. [online] Available at: <https://trigoemexico.wordpress.com/wp-content/uploads/2000/02/folleto866.pdf>.
- Moreno Dena, J.M., Salazar Solano, V. and Rojas Rodríguez, I.S., 2018. Impactos económicos de las horas frío en la producción de trigo en Sonora, México. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 6(16), pp.17–31. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e2018.16.63206>.
- Pask, A., Pietragalla, J., Mullan, D., Chávez, P. and Reynolds, M., 2013. TRIGO Fitomejoramiento Fisiológico II: Una Guía de Campo para la Caracterización Fenotípica de Trigo Federal Ministry for Economic Cooperation and Development. [online] Available at: <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/3390/97924.pdf?sequence=7&isAllowed=y>.
- Rosas-Jáuregui, I.A., Félix-Fuentes, J.L., Fuentes-Dávila, G., Ortiz-Avalos, A.A. and Cortés-Jiménez, J.M., 2022. Evaluación de la variedad de trigo cristalino Don Lupe Oro C2020 durante el ciclo 2021-2022 en el valle del yaquí, sonora, México. *South Florida Journal of Development*, 3(6), pp.6418–6429. <https://doi.org/10.46932/sfjdv3n6-006>.
- Rosas-Jáuregui, I.A., Fuentes-Dávila, G., Félix-Fuentes, J.L., Ortiz-Avalos, A.A., Cortés-Jiménez, J.M. and Torres-Cruz, M.M., 2023. Productividad de dos variedades comerciales de trigo harinero en el Valle del Yaquí, Sonora, México, durante el ciclo agrícola 2021-2022. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 6(4), pp.3195–3207. <https://doi.org/10.34188/bjaerv6n4-010>.
- Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera, 2022. Avance de siembras y cosechas por estado. [online] Producción mensual agrícola. Available at: https://mube.sian.gob.mx/avance_agricola/.
- Slafer, G. and Satorre, E., 1999. Plant density and distribution as modifiers of growth and yield. In: *Wheat Ecology and Physiology of Yield Determination*. Food products press. pp.141–159.
- Suaste-Franco, M.P., Solís-Moya, E., Ledesma-Ramírez, L., Lourdes De La Cruz-Gonzalez, M., Arath Grageda-Cabrera, O. and Báez-Pérez, A., 2013. Effect of plant density and sowing method on wheat (*Triticum aestivum* L.) Grain yield in El Bajío, México. *Agrociencia*, 47, pp.159–170.
- Weir, A.H., Bragg, P.L., Porter, J.R. and Rayner, J.H., 1984. A winter wheat crop simulation model without water or nutrient limitations. *The Journal of Agricultural Science*, 102(2), pp.371–382. <https://doi.org/10.1017/S0021859600042702>.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T. and Konzak, C.F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, [online] 14(6), pp.415–421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>.

Complemento objetivo específico 3 – Artículo científico publicado: Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Soto-Ortiz, R., Aíl-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., González-Mendoza, D., Michel-López, C. y Quistián-Martínez, D. (2024). Endophytic Mycorrhiza-mediated Phytoen resistance in plants. *Agro Productividad*.

Endophytic Mycorrhiza-mediated Pathogen resistance in plants

Espinoza-Alonso, Juan A.¹; Galicia-Juárez, Marisol^{1*}; Soto-Ortiz, Roberto¹;
Aíl-Catzim, Carlos E.¹; Montiel-Batalla, Blanca M.¹; González-Mendoza, Daniel¹;
Michel-López, Claudia Y.¹; Quistián-Martínez, Deyanira²

¹ Universidad Autónoma de Baja California Instituto de Ciencias Agrícolas, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México. C.P. 21705.

² Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Ciencias Biológicas, Av. Pedro de Alba s/n colonia Niños héroes, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. C.P. 66455. deyanira.quistianmrt@uanl.edu.mx

* Correspondence: marisol.galicia.juarez@uabc.edu.mx

ABSTRACT

Objective: Mycorrhizal fungi are a group of microorganisms that live in symbiosis, thus, maintaining perceptible associations with their host plants in certain parts of their life cycle. They can be characterized by their capacity to synthesize secondary metabolites and to promote growth and induce plant-disease resistance, therefore, gaining greater biotechnological importance in pest and diseases management for crops of agricultural relevance. The study of these microorganisms has been a widely researched area subject for more than half a century.

Design/methodology/approach: Their biology and molecular relationships in plant-microorganism interactions, on the other hand, have only recently begun to gain relevance for understanding the colonization process in recent decades. There has been observed a complexity in the generation of formulations that can guarantee the permanence of fungi outside the host plant.

Findings/conclusions: This review article will address topics related to their biology, ecological role, possible negative effects on commercially important animals, and successful cases in Mexico regarding biotechnological products based on these microorganisms.

Keywords: Plant-endophyte interaction, mycorrhizae, biological control.

Citation: Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Soto-Ortiz, R., Aíl-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., González-Mendoza, D., Michel-López, C. Y. & Quistián-Martínez, D. (2024). Endophytic Mycorrhiza-mediated Phytoen resistance in plants. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v17i11.3120>

Academic Editor: Jorge Caldera Iniguez
Associate Editor: Dra. Lucero del Mar Ruiz Paredes
Guest Editor: Daniel Alejandro Caldera Zamudio

Received: May 25, 2024.

Accepted: September 14, 2024.

Published on-line: December XX, 2024.

Agro Productividad, 17(11) supplement, November, 2024, pp. 85-92.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license.



INTRODUCTION

At the end of the 20th century, the Mycology Committee of the American Phytopathological Society (APS) held one of the first discussions on the presence of endophytic fungi in woody plants and grasses. This event marked the beginning of a series of publications aimed at highlighting the phenomenon of endophytism in these species to the scientific community (Backman & Sikora, 2008). In 1996, a book on the ecology and evolution of endophytes was published, mostly focused on clavicipitaceous fungi, which were frequently associated with the reduction in grass consumption due to insects and some mammals (Redlin & Carris, 1996).



Endophytes are microorganisms that reside wholly or partially within the tissues of living plants without causing negative symptoms in their hosts; their internal presence can be demonstrated. Unlike mycorrhizae, endophytic fungi lack external structures such as hyphae or mycelia and can utilize various nutrient sources (Ownley *et al.*, 2010).

The objective of this work was to conduct a literature review on the role of endomycorrhizae in promoting resistance to different phytopathogens when they are in a plant-microorganism association.

MATERIALS AND METHODS

The development of this work was based on a search and review of articles dealing with the associations between mycorrhizal fungi published with the most up-to-date information. The information from studies conducted in Mexico is presented from these articles, providing insights into important concepts of mycorrhizal symbiosis and the mechanisms involved in the interaction between these endomycorrhizae and the host species. The search included experimental and review studies from databases such as SCOPUS, Web of Science, Forest Science, PubMed, and Scielo. The searches were conducted using Spanish keywords: "micorrizas" and "México".

RESULTS AND DISCUSSION

As a result of this review, the information is structured into the following sections: 1) Biology of endomycorrhizae; 2) Endomycorrhizae and their ecological role; 3) Endomycorrhizae and their classification; 4) Mechanisms of action; 5) Adverse effects of some mycorrhizae; 6) Dual effect of endomycorrhizae; 7) Endomycorrhizae in Mexico and success study-cases.

Biology of Endomycorrhizae

Fungi are among the most important and abundant microorganisms on Earth. Their origin dates back more than 400 million years, when interactions between these microorganisms and aquatic plants began the colonization of soils, resulting in our current knowledge. They are present in almost all groups of terrestrial plants (Simon, 1996). The interactions between fungi and plants have changed the Earth's ecology (Berbee *et al.*, 2017). Fungi are characterized by their great diversity, including microscopic fungi, unicellular and macroscopic multicellular fungi (Schoch *et al.*, 2014). Fungi are generally saprophytic, maintaining ecosystem functions and forming a key part of food chains. These qualities make them important for biotechnological applications such as fertilizers, natural pigments, cosmetics, and in the food industry (Muzzarelli *et al.*, 2012).

Currently, there are several types of mycorrhizal fungi, based on the characteristics of their infection and the organisms with which they establish mutualistic relationships. However, for practical purposes, they are distinguished as ectomycorrhiza, endomycorrhiza, and a third intermediate group between these two former groups (Franco-Navarro, 2002).

The term endophyte refers to fungal internal association with plant tissues without causing harmful damage (Petrini, 1991). Endophytic fungi penetrate the cells of the root cortex. They are a group of fungi often grouped according to their physiological condition,

method of infection, secondary metabolism, stages of development and evolution, colonization patterns, and the taxonomic relationship of the symbiosis. This symbiosis is continuous and balanced between the fungus and the host, ranging from mutualism, parasitism, and commensalism (Aly *et al.*, 2011). Their interactions involve a balance of antagonisms independent of the plant organs they infect and encompass almost all taxonomic classifications of plants, especially those of agricultural interest, such as wheat, salvia, thyme, among others (Schulz & Boyle, 2005).

Endomycorrhizae and Their Ecological Role

Endomycorrhizae are involved in the mechanisms of acquired resistance to different types of stress. Stress is defined as external factors that negatively influence the plant and can be biotic, such as pathogens and heavy metals, or abiotic, such as water, salt, thermal, light excess, anoxia, and oxidative stress (Rodríguez & Redman, 2008). Additionally, mycorrhizae improve nutrient uptake, produce phytohormones, and participate in the synthesis of compounds with biological activity, such as antibiotics and secondary metabolites like antioxidants, anticancer, antidiabetic, and immunosuppressive compounds (Aly *et al.*, 2011; Chamkhi *et al.*, 2018; Tanabe *et al.*, 2004). Therefore, it is said that endomycorrhizae have profound effects on the environments where they are found, in addition to evolving alongside the plant species they colonize.

Mycorrhizae have the ability to absorb carbohydrates from the plant roots, and in this absorption process, they exchange minerals with the plant's vascular system. In the absorption of phosphorus, these microorganisms play a decisive role. It has been shown that inoculation with fungal isolates provides protection to plants in soils with lead and zinc toxicity due to phosphorus solubilization (Díaz *et al.*, 2016).

Endomycorrhizae and Their Classification

The current classification of endomycorrhizae is divided into Clavicipitaceous, which are mutualistic organisms that, together with their host, promote defense against herbivorous insect attacks and also colonize grasses (Clay & Schardl, 2002), and non-Clavicipitaceous, which are characterized by colonizing non-vascular plants such as conifers, ferns, and angiosperms (Rodríguez & Redman, 2008).

Class I Clavicipitaceous are related to a few phylogenetically related species with host selectivity (Rodríguez & Redman, 2008). These promote the development of plant biomass, confer resistance to water stress, and produce insecticidal compounds for herbivorous animals. They are divided into three types:

- Type I: The life cycle involves symptomatic and pathogenic species. Their propagation is through ascospores, they are heterothallic and require the transfer of spermatia for successful reproduction.
- Type II: The reproduction of fungi in this classification in already colonized plants involves the formation of fungal fruiting bodies and plant inflorescences as a mechanism of mixed interaction. They are the so-called pleiotropic symbionts transmitted vertically by seeds and horizontally by sporulation.

- Type III: They remain within the plant tissue throughout their life, including the flowering of the host. They have an asymptomatic life cycle and do not produce sexual spores, so there is no genetic recombination for these fungi (Clay & Schardl, 2002).

Non-Clavicipitaceous endomycorrhizae include:

- Class II: (Ascomycota and Basidiomycota) which enhance the morphogenesis of their host, root biomass, synthesis of hormones, growth-regulating enzymes, and provide protection to their host (Campanile *et al.*, 2007).
- Class III: Which grow in fruiting bodies above ground with horizontal transmission in plant organs such as flowers, fruits, and stems (Tejesvi *et al.*, 2007).
- Type IV: Distinguished as fungi with dark melanized septa, mainly ascomycetes that produce conidia forming intercellular and intracellular hyphae in plant roots.

Mechanisms of Action

Salicylic Acid-Mediated Signaling

Secondary plant metabolites serve to prevent or mitigate different sources of stress in plants (Glazebrook, 2005). In this section, we analyze those produced by known attackers, such as secondary metabolites produced by biotrophic agents, which are known for salicylic acid signaling. Necrotrophs, on the other hand, induce programmed cell death (Thomma *et al.*, 1998).

Salicylic acid acts as a “signaling molecule” that triggers the initiation of the acquired resistance mechanism in healthy tissues, in addition to the genetic expression of coding messengers related to pathogenesis (Pieterse *et al.*, 2009). Various experiments in mutant and transgenic plants in these genes are unable to develop the acquired resistance mechanism, as the activation of PR genes is not observed when an infection by a pathogenic organism is present (Durrant & Dong, 2004). This allows us to conclude the fundamental role of salicylic acid as an intermediary in the signaling pathway, with the NPR1 protein being an important transducer of the salicylic acid signaling pathway (Dong, 2004).

Jasmonic Acid and Ethylene-Mediated Signaling

The mechanism of action of salicylic acid represents the interaction of plants with pathogenic organisms (Pieterse *et al.*, 2009). In beneficial interactions, the recognition patterns present different molecular patterns, activating the immune system response at a systemic level. In this response, there is a signal that travels long distances through the plant's vascular system, activating the immune system. This is commonly regulated by jasmonic acid and ethylene-dependent pathways and does not activate the PR genes of systemic acquired resistance. The activation of this signaling is mediated by beneficial soil microorganisms, rhizobacteria, and mycorrhizae, which promote plant growth (Pozo & Azcón-Aguilar, 2007; van Loon *et al.*, 1998).

Tolerance to biotic stress

The main characteristic of these beneficial endophytic organisms is the production of secondary metabolites, such as antibiotics with antifungal, antibacterial, and insecticidal properties (Gunatilaka, 2006), which inhibit the development of phytopathogens. These properties promote the search and prospecting of endophytic organisms, derived from their activity as phytopathogen controllers and their contribution to biomass production.

Some endophytic fungi, such as *Piriformospora indica*, isolated from sandy soil in the Indian desert from the shrubs *Prosopis juliflora* and *Ziziphus nummularia* (Verma *et al.*, 1998), induce resistance to saline stress in barley (*Hordeum vulgare*) plants and resistance to pathogens like *Fusarium culmorum* and *Cochliobolus sativas* (Kumar *et al.*, 2002). In addition to these examples of resistance to these types of stress, it also stimulated biomass production. At the root level, the roots showed greater antioxidant capacity, increasing the concentrations of ascorbic acid and dehydroascorbate reductase, reducing cell death (Waller *et al.*, 2005).

In another study, a non-pathogenic strain Fo47 of *Fusarium oxysporum* reduced the symptoms of the strain *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* in tomato cultivation (Bolwerk *et al.*, 2005). These symptoms were root and stem collar production. For this, a concentration 50 times higher of biocontrol spores is needed. The control mediated by this strain is due to the occupation and reduction of fixation sites, resulting in fewer symptomatic lesions. The interaction of the strain used as biocontrol had a direct effect on the acquired resistance mechanism, as it increased the levels of PR-1, β -1-3-glucanase, and β -1-4-glucanase (Duijff *et al.*, 1998; Fuchs *et al.*, 1997), indicating that this beneficial fungus acts similarly to the acquired resistance system, *i.e.*, it conserves the patterns that, like pathogenic organisms, trigger the plant's defense systems with a positive symbiosis.

The most studied entomopathogenic fungi are *Lecanicillium* spp., *Metarhizium* spp., *Hirsutiella* spp., *Isaria* spp., *Nomuraea* spp., *Sporothrix* spp., *Aschersonia* spp., *Paecilomyces* spp., *Tolyocladium* spp., and *B. bassiana*. These fungi have been shown to produce secondary metabolites with antagonistic activities against mammals, microorganisms, insects, and even plant cells (Vidal & Jaber, 2015). Studies on *Metarhizium* spp. have shown that it causes susceptibility in *Drosophila* spp. to infection by other bacterial entomopathogens (Vega *et al.*, 2009).

Beauveria bassiana is one of the fungi considered as an entomopathogen and is the most used in the control of insect pest populations. Synergistic applications of *M. brunneum* on alfalfa, tomato, and melon plants lead to endophytic colonization, causing an increase in mortality rates of *Spodoptera littoralis* larvae when they feed directly on the inoculated plants. Particularly in melon, a whitefly mortality rate of 53% was observed (Garrido-Jurado *et al.*, 2017; Jaber & Ownley, 2018).

Adverse effect of some endomycorrhizae

The function of secondary metabolites produced by endophytic fungi can be either positive, such as providing protection to plants against herbivore attacks, or negative, such as the emission of certain alkaloids. Their production has diversified due to the increased

number and diversity of herbivores, which affects even the natural enemies of plants, leaving them unprotected from other more complex organisms (Tanaka *et al.*, 2005).

The main function of volatile organic compounds is the communication of the plant with its environment and therefore, they affect other organisms in various ways. When a plant is invaded by an endophytic microorganism, this situation can disrupt such communication, depending on the species and colonizing strain.

Dual effect of endomycorrhizae

There are reported cases of fungi that exhibit this type of functionality. The fungus *Phomopsis oblonga* produces alkaloids and mycotoxins, which in turn can control the population of the insect *Physocnemum brevilinenu*, considered a non-pest. However, the interaction of this fungus with trees like the Dutch elm also decreases the spread of the pathogenic fungus *Ceratocytis ulmi*, as the insect targeted by biotechnological products based on this fungus is controlled (Dutta *et al.*, 2014; Webber, 1981).

The fungus *B. bassiana* produces active metabolites that exhibit mycotoxin activity against phytopathogenic fungi under laboratory conditions, unlike in soil assays where its activity is directed against soil pathogens such as *Pythium*, *Rhizoctonia*, and *Fusarium* species. The fungus *Lecanicillium* spp. induces systemic resistance and acts as a mycoparasite against powdery mildew (Ownley *et al.*, 2010).

Endomycorrhizae in Mexico

Mexico ranks fifth globally in terms of biodiversity and endemism, hosting 10% of the world's diversity, the geographical location, topography, altitude, and climate types create an environmental diversity that promotes habitat variety (Aguirre-Acosta *et al.*, 2014; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 1998).

In the cultivation of fava beans, 758 endophytic fungi have been identified, classified into 129 families and 66 genera. The most representative genera include *Alternaria*, *Colletotrichum*, *Curvularia*, *Fusarium*, and *Phomopsis* (López-González *et al.*, 2017).

In the medicinal species *Dendropanax arboreus*, 45 endophytic fungi have been isolated from various plant organs such as leaves, bark, and roots. The predominant genera include *Fusarium*, *Alternaria*, *Colletotrichum*, as well as *Corynespora*, *Endomelanconiopsis*, and *Thozetella*, which show potential for generating antimicrobial compounds (Ramos-Garza *et al.*, 2016).

Successful commercial products based on endophytic fungi

The development of a biotechnological product generally begins with the identification of the microorganism and its properties, large-scale production, product development, efficacy testing, and finally, registration and commercialization. Below are descriptions of three filamentous fungal products with endophytic characteristics, two with insecticidal activity and one as a mycotoxin.

Strains 5 and F52 of the fungus *M. brunneum*, isolated from codling moth or apple moth, are the active ingredients in a wettable powder. They have a broad spectrum of insect targets including thrips, whitefly, aphids, beetles, weevils, mosquitoes, and mites (Ríos-Moreno *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2011). This biocontrol agent causes insect death through

physical obstruction, nutrient depletion, organ invasion, or paralysis, and it produces 15 toxins known as destruxins (A-E, Ed and Ed1, A2, B and B2, D2, E2, G1, DesmA, and DH-A), with destruxin A being the most abundant, mainly produced by the genus *Metarhizium* (Ríos-Moreno *et al.*, 2016).

The biopesticide process is as follows: conidia germinate on the host surface and form appressoria that penetrate the exoskeleton. The infective hypha then penetrates through the host's cuticle, eventually emerging as a homothallic, where the fungus produces cells and toxins. Upon the insect's death, and under humid conditions (25-30 °C), the mycelium penetrates the insect's cuticle and produces infectious conidia outside the cadaver. Under minimal humidity conditions, the fungus survives in the mycelial phase but does not produce conidia outside the insect's body (Authority, 2012).

Application of this formulation on insects *Strophosoma melanogrammmum* and *Strophosoma capitatum* under laboratory conditions showed 100% pathogenicity at 21 days, with average survival rates of 13.5% and 96.5% at 32 days, respectively, and a mean survival time of 22.6 days. In field conditions, with two applications at a 15-day interval to the soil of pine and red fir crops, a prevalence of 90% and 78% was achieved in both species after 3 years. This study demonstrated suppression of *Strophosoma* spp. populations and potential cumulative effects preventing population increases in the next generation (Nielsen *et al.*, 2006).

Naturalis-L is a bioinsecticide from strain ATCC 74040 of *B. bassiana* oil-based. It was primarily sourced from the cotton boll weevil *Anthonomus grandis* in Texas, USA (Mayoral *et al.*, 2006). This pesticide is recommended for controlling larvae of the *Aleyrodidae* family, including greenhouse whiteflies *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia* spp. These organisms are highly reproductive, significant in crops, and have a wide range of hosts, including weeds, and they also act as vectors for plant viruses. This biopesticide, applied at different doses (125, 250, and 300 mL L⁻¹) weekly during the fruit ripening stage of tomato crops, reduced greenhouse whitefly infestations by reducing live nymphs with 72% and 82% efficacy compared to the control (Mayoral *et al.*, 2006).

Lastly, the product "Tricovab," *Trichoderma stromaticum*, affects cocoa tree witches' broom disease (WBD) caused by *M. pernicioso*, a disease of great importance in Latin America. The basidiospores of the fungus infect plant growth tissues, causing a variety of symptoms depending on the infected organ, particularly in apical meristems (De Souza *et al.*, 2008).

CONCLUSIONS

The biological potential and alternative use of endomycorrhizal fungi for plant disease control are huge. The biological description of these microorganisms, their ecological role, action mechanisms, and potential dual or adverse effects are aspects that biotechnological production and technology should address in the upcoming years of research. Additionally, integrating social aspects, such as the transition from traditional products to these alternatives, should be included in all biotechnological research focused on such applications.

REFERENCES

- Backman, P. A., & Sikora, R. A. (2008). Endophytes: An emerging tool for biological control. *Biological Control*, 46(1), 1-3. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.03.009>
- Redlin, S. C., & Carris, L. M. (1996). Endophytic Fungi in Grasses and Woody Plants: Systematics, Ecology, and Evolution. APS Press. https://books.google.com.mx/books?id=hZ_wAAAAMAAJ
- Ownley, B. H., Gwinn, K. D., & Vega, F. E. (2010). Endophytic fungal entomopathogens with activity against plant pathogens: ecology and evolution. *BioControl*, 55(1), 113-128. <https://doi.org/10.1007/s10526-009-9241-x>
- Simon, L. (1996). Phylogeny of the Glomales: deciphering the past to understand the present. *New Phytologist*, 133(1), 95-101. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1996.tb04345.x>
- Berbee, M. L., James, T. Y., & Strullu-Derrien, C. (2017). Early Diverging Fungi: Diversity and Impact at the Dawn of Terrestrial Life. *Annual Review of Microbiology*, 71(1), 41-60. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-030117-020324>
- Schoch, C. L., Robbertse, B., Robert, V., Vu, D., Cardinali, G., Irinyi, L., Meyer, W., Nilsson, R. H., Hughes, K., Miller, A. N., Kirk, P. M., Abarenkov, K., Aime, M. C., Ariyawansa, H. A., Bidartondo, M., Boekhout, T., Bayce, B., Cai, Q., Chen, J., ... Federhen, S. (2014). Finding needles in haystacks: linking scientific names, reference specimens and molecular data for Fungi. Database, 2014, bau061-bau061. <https://doi.org/10.1093/database/bau061>
- Muzzarelli, R. A. A., Boudrant, J., Meyer, D., Manno, N., DeMarchis, M., & Paoletti, M. G. (2012). Current views on fungal chitin/chitosan, human chitinases, food preservation, glucans, pectins and inulin: A tribute to Henri Braconnot, precursor of the carbohydrate polymers science, on the chitin bicentennial. *Carbohydrate Polymers*, 87(2), 995-1012. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.063>
- Franco - Navarro, J. (2002). Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas [Universidad de Sevilla]. https://ciagranico.net/documypublic/200_infiaagronomo.net_Micorrizas-beneficios.pdf
- Petrini, O. (1991). Fungal Endophytes of Tree Leaves (pp. 179-197). https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3168-4_9
- Aly, A. H., Dehbab, A., & Proksh, P. (2011). Fungal endophytes: unique plant inhabitants with great promises. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 90(6), 1829-1845. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3270-y>
- Schulz, B., & Boyle, C. (2005). The endophytic continuum. *Mycological Research*, 109(6), 661-686. <https://doi.org/10.1017/S095375620500273X>
- Rodríguez, R., & Redman, R. (2008). More than 400 million years of evolution and some plants still can't make it on their own: plant stress tolerance via fungal symbiosis. *Journal of Experimental Botany*, 59(5), 1109-1114. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern342>
- Chamkhi, I., Shabou, L., & Aurag, J. (2018). Endophytic Fungi Isolated from *Oncas sativus* L. (Saffron) as a Source of Bioactive Secondary Metabolites. *Pharmacognosy Journal*, 10(6), 1143-1148. <https://doi.org/10.5530/pj.2018.6.195>
- Tanabe, Y., Saikawa, M., Watanabe, M. M., & Sugiyama, J. (2004). Molecular phylogeny of Zygomycota based on EF-1 α and RPB1 sequences: limitations and utility of alternative markers to rDNA. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 30(2), 438-449. [https://doi.org/10.1016/S1055-7903\(03\)00185-4](https://doi.org/10.1016/S1055-7903(03)00185-4)
- Díaz, G., Torres, P., Sánchez, F., García, G., & Carrillo, C. (2016). Primeras Tesis Doctorales sobre Micorrizas. Eubacteria, 1-5. https://www.um.es/eubacteria/Primeras_Tesis_Doctorales_sobre_Micorrizas.pdf
- Clay, K., & Schardl, C. (2002). Evolutionary Origins and Ecological Consequences of Endophyte Symbiosis with Grasses. *The American Naturalist*, 160(S4), S99-S127. <https://doi.org/10.1086/342161>
- Campanile, G., Ruscelli, A., & Luisi, N. (2007). Antagonistic activity of endophytic fungi towards *Diplodia corticola* assessed by *in vitro* and in planta tests. *European Journal of Plant Pathology*, 117(3), 237-246. <https://doi.org/10.1007/s10658-006-9089-1>
- Tejesvi, M. V., Kini, K. R., Prakash, H. S., Subbiah, V., & Shetty, H. S. (2007). Genetic diversity and antifungal activity of species of *Pestalotiopsis* isolated as endophytes from medicinal plants. *Fungal Diversity*, 24, 37-54.
- Glazebrook, J. (2005). Contrasting Mechanisms of Defense Against Biotrophic and Necrotrophic Pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, 43(1), 205-227. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.040204.135923>
- Thomma, B. P. H. J., Eggermont, K., Penninckx, I. A. M. A., Mauch-Mani, B., Vogelsang, R., Cammue, B. P. A., & Broekaert, W. F. (1998). Separate jasmonate-dependent and salicylate-dependent defense-response pathways in Arabidopsis are essential for resistance to distinct microbial pathogens. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(25), 15107-15111. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.25.15107>
- Pieterse, C. M. J., Leon-Reyes, A., Van der Ent, S., & Van Wees, S. C. M. (2009). Networking by small-molecule hormones in plant immunity. *Nature Chemical Biology*, 5(5), 308-316. <https://doi.org/10.1038/nchembio.164>

- Durrant, W. E., & Dong, X. (2004). Systemic Acquired Resistance. *Annual Review of Phytopathology*, 42(1), 185-209. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.42.040803.140421>
- Dong, X. (2004). NPR1, all things considered. *Current Opinion in Plant Biology*, 7(5), 547-552. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2004.07.005>
- Pozo, M. J., & Azcón-Aguilar, C. (2007). Unraveling mycorrhiza-induced resistance. *Current Opinion in Plant Biology*, 10(4), 393-398. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2007.05.004>
- van Loon, L. C., Bakker, P. A. H. M., & Pieterse, C. M. J. (1996). SYSTEMIC RESISTANCE INDUCED BY RHIZOSPHERE BACTERIA. *Annual Review of Phytopathology*, 36(1), 453-483. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.36.1.453>
- Gunatilaka, A. A. L. (2006). Natural Products from Plant-Associated Microorganisms: Distribution, Structural Diversity, Bioactivity, and Implications of Their Occurrence. *Journal of Natural Products*, 69(3), 509-526. <https://doi.org/10.1021/np058128n>
- Verma, S., Varma, A., Rexer, K.-H., Hassel, A., Kost, G., Sarbhoy, A., Bisen, P., Butehorn, B., & Franken, P. (1996). *Piriformospora indica*, gen. et sp. nov., a New Root-Colonizing Fungus. *Mycologia*, 90(5), 896. <https://doi.org/10.2307/3761331>
- Kumar, J., Schäfer, P., Hüchelhoven, R., Langen, G., Baltruschat, H., Stein, E., Nagarajan, S., & Kogel, K. (2002). *Bipolaris sorokiniana*, a cereal pathogen of global concern: cytological and molecular approaches towards better control. *Molecular Plant Pathology*, 3(4), 185-195. <https://doi.org/10.1046/j.1364-3703.2002.00120.x>
- Waller, F., Achatz, B., Baltruschat, H., Fodor, J., Becker, K., Fischer, M., Heier, T., Hüchelhoven, R., Neumann, C., von Wettstein, D., Franken, P., & Kogel, K.-H. (2005). The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(38), 13386-13391. <https://doi.org/10.1073/pnas.0504423102>
- Bobwerk, A., Lagopodi, A. L., Lugtenberg, B. J. J., & Bloemberg, G. V. (2005). Visualization of Interactions Between a Pathogenic and a Beneficial Fusarium Strain During Biocontrol of Tomato Root and Root Rot. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 18(7), 710-721. <https://doi.org/10.1094/MPMI-18-0710>
- Duijff, B., Puchair, D., Olivain, C., Alabouvette, C., & Lemanceau, P. (1996). Implication of Systemic Induced Resistance in the Suppression of Fusarium Wilt of Tomato by *Pseudomonas fluorescens* WCS417r and by Nonpathogenic *Fusarium oxysporum* Fo47. *European Journal of Plant Pathology*, 104, 903-910. <https://doi.org/10.1023/a:1008626212305>
- Fuchs, J.-G., Moënne-Loccoz, Y., & Défago, G. (1997). Nonpathogenic *Fusarium oxysporum* Strain Fo47 Induces Resistance to *Fusarium Wilt* in Tomato. *Plant Disease*, 81(5), 492-496. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.5.492>
- Vidal, S., & Jaber, L. R. (2015). Entomopathogenic fungi as endophytes: plant-endophyte-herbivore interactions and prospects for use in biological control. *Current Science*, 109, 46-54. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:91045685>
- Vega, F. E., Goettel, M. S., Blackwell, M., Chandler, D., Jackson, M. A., Keller, S., Koike, M., Maniania, N. K., Monzón, A., Ownley, B. H., Pell, J. K., Rangel, D. E. N., & Roy, H. E. (2009). Fungal entomopathogens: new insights on their ecology. *Fungal Ecology*, 2(4), 149-159. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2009.05.001>
- Garrido-Jurado, I., Resquín-Romero, G., Amarilla, S. P., Ríos-Moreno, A., Carrasco, L., & Quesada-Moraga, E. (2017). Transient endophytic colonization of melon plants by entomopathogenic fungi after foliar application for the control of *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal of Pest Science*, 90(1), 319-330. <https://doi.org/10.1007/s10340-016-0767-2>
- Jaber, L. R., & Ownley, B. H. (2018). Can we use entomopathogenic fungi as endophytes for dual biological control of insect pests and plant pathogens? *Biological Control*, 116, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.01.018>
- Tanaka, A., Tapper, B. A., Popay, A., Parker, E. J., & Scott, B. (2005). A symbiosis expressed non ribosomal peptide synthetase from a mutualistic fungal endophyte of perennial ryegrass confers protection to the symbiont from insect herbivory. *Molecular Microbiology*, 57(4), 1036-1050. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2005.04747.x>
- Dutta, D., Puzari, K. C., Gogoi, R., & Dutta, P. (2014). Endophytes: exploitation as a tool in plant protection. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 57(5), 621-629. <https://doi.org/10.1590/S1516-8913201402043>
- Webber, J. (1981). A natural biological control of Dutch elm disease. *Nature*, 292(5822), 449-451. <https://doi.org/10.1038/292449a0>
- Aguirre-Acosta, E., Ulloa, M., Aguilar, S., Cifuentes, J., & Valenzuela, R. (2014). Biodiversidad de hongos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 76-81. <https://doi.org/10.7550/rmb.33649>

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (1996). La diversidad biológica de México: Estudio de País.
- López-González, R. C., Gómez-Cornelio, S., De la Rosa-García, S. C., Garrido, E., Oropeza-Mariano, O., Heil, M., & Partida-Martínez, L. P. (2017). The age of lima bean leaves influences the richness and diversity of the endophytic fungal community, but not the antagonistic effect of endophytes against *Colletotrichum lindemathianum*. *Fungal Ecology*, 26, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2016.11.004>
- Ramos-Garza, J., Rodríguez-Tovar, A. V., Flores-Cotera, L. B., Rivera-Orduña, F. N., Vázquez-Murrieta, M. S., Ponce-Mendoza, A., & Wang, E. T. (2016). Diversity of fungal endophytes from the medicinal plant *Dendropanax arboreus* in a protected area of Mexico. *Annals of Microbiology*, 66(3), 991-1002. <https://doi.org/10.1007/s13213-015-1184-0>
- Ríos-Moreno, A., Carpio, A., Garrido-Jurado, I., Arroyo-Manzanares, N., Lozano-Tovar, M. D., Arce, L., Gámiz-Gracia, L., García-Campaña, A. M., & Quesada-Moraga, E. (2016). Production of destruxins by *Metarhizium* strains under different stress conditions and their detection by using UHPLC-MS/MS. *Biocontrol Science and Technology*, 26(9), 1298-1311. <https://doi.org/10.1007/9583157.2016.1195336>
- Singh, I. P., Gill, S. S., & Tuteja, N. (2011). Unraveling the role of fungal symbionts in plant abiotic stress tolerance. *Plant Signaling & Behavior*, 6(2), 175-191. <https://doi.org/10.4161/psb.6.2.14146>
- Authority, E. F. S. (2012). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* BIPESCO 5/F52. *EFSA Journal*, 10(1), 2498. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2498>
- Nielsen, C., Vestergaard, S., Harding, S., Wolsted, C., & Eilenberg, J. (2006). Biological control of *Strophosoma* spp. (Coleoptera: Curculionidae) in greenery (*Abies procera*) plantations using Hyphomycetes. *Biocontrol Science and Technology*, 16(6), 583-598. <https://doi.org/10.1007/9583150500532824>
- Mayoral, F., Bemuzzi, M., & Lachurner, E. (2006). Efficacy of the *Beauveria bassiana* strain ATCC 74040 (Naturalis®) against whiteflies on protected crops. *Integrated Control in Protected Crops, Mediterranean Climate, IOBC/Wprs Bulletin*, 29, 83-88. <https://iobc-wprs.org/product/efficacy-of-beauveria-bassiana-strain-atcc-74040-against-whiteflies-on-protected-tomato-and-compatibility-with-nesiodicoris-tenuis-and-orius-laevigatus/>
- De Souza, J. T., Bailey, B. A., Pomella, A. W. V., Erbe, E. F., Murphy, C. A., Bae, H., & Hebbbar, P. K. (2008). Colonization of cacao seedlings by *Trichoderma stromaticum*, a mycoparasite of the witches' broom pathogen, and its influence on plant growth and resistance. *Biological Control*, 46(1), 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.01.010>



Complemento Objetivo específico 4 Capítulo de libro publicado

IMPACTO ECONÓMICO DEL APROVECHAMIENTO PARCIAL DE SESBANIA COMO FORRAJE EN UN SISTEMA DE CONSERVACIÓN EN TRIGO

Espinoza – Alonso Juan Angel¹, Montiel – Batalla Blanca Margarita¹, Avendaño – Ruíz Belem Dolores², Sierra – López Olga Alejandra², Aguilar – Quiñones José Antonio³, Gastelum – Delgado Miguel Angel³, Castañeda – Bustos Vielka Jeanethe¹ y Galicia – Juárez Marisol¹.

¹Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California. Carretera a Delta s/n, Ejido Nuevo León, Baja California, México. C.P. 21705¹

juan.espinoza.alonso@uabc.edu.mx

²Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Economía y Relaciones Exteriores. Calzada Universidad 14418, Parque Industrial Internacional Tijuana, Tijuana, B.C., 22427

³Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán-El Dorado km. 17.5 Culiacán, Sinaloa, México

Resumen

La baja rentabilidad del cultivo de trigo en el Valle de Mexicali ha generado la necesidad de adoptar estrategias productivas más sostenibles y económicamente viables. Este estudio evaluó el impacto económico de un sistema de agricultura de conservación que incorpora *Sesbania spp.* como cultivo de cobertura, aprovechando el 70 % de su biomasa aérea como forraje. Bajo condiciones reales de producción, se analizaron dos variedades de trigo (CIANO y DON LUPE), estimando ingresos por grano y por biomasa forrajera, simulada como pacas de avena. Se empleó un enfoque de presupuestos parciales para comparar ingresos, costos y rentabilidad frente a un sistema tradicional. Aunque el sistema conservacionista presentó costos más altos, el ingreso adicional por el forraje permitió compensarlos, generando relaciones beneficio/costo (B/C) de hasta 1.55, superiores a las del sistema tradicional. Estos resultados indican que el uso parcial de *Sesbania* como forraje no solo mejora la rentabilidad, sino que también fortalece la resiliencia económica del sistema agrícola y representa una alternativa útil para diversificar ingresos.

Palabras clave: Rentabilidad, Cultivos de cobertura, Sustentabilidad.

Introducción

El Valle de Mexicali, es una región estratégica de México, destacando por cultivos como algodón, alfalfa, maíz, hortalizas y, particularmente, trigo (Brajcich Gallegos et al., 2015). Aunque este cereal ha sido clave por su volumen de producción y aporte a la seguridad alimentaria su superficie sembrada, se redujo de 47,487 hectáreas en 2021 a solo 30,600 hectáreas en 2024 (Avendaño-Ruiz et al., 2010; SIAP, 2025). A pesar de que el rendimiento en la región alcanza las 6.2 t ha⁻¹, superando la media nacional (SADER, 2024), los márgenes de ganancia son mínimos; con un ingreso bruto estimado en \$ 37,100 MXN por hectárea y una ganancia marginal de solo \$431 MXN, sin considerar el arrendamiento de tierras, muchos productores enfrentan pérdidas.

Ante esta situación, se requieren estrategias que aumenten la rentabilidad sin comprometer la sustentabilidad. La agricultura de conservación (AC), y el uso de cultivos de cómo, *Sesbania spp.*, una leguminosa adaptada a zonas cálidas y tolerante a suelos de baja fertilidad destaca por su rápido crecimiento, alta producción de biomasa y capacidad de fijación biológica de nitrógeno por lo que ha sido considerada como cultivo de cobertura con potencial forrajero (Bunma & Balslev, 2019; Espinoza-Alonso et al., 2023; Espinoza-Alonso, Galicia-Juárez, Ail-Catzim, Montiel-Batalla, Soto-Ortiz, et al., 2024; Karmakar et al., 2016; Miller, 1996).

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la rentabilidad económica de un sistema conservacionista trigo – *Sesbania* bajo condiciones de aprovechamiento del 70 % de la biomasa de *sesbania* como forraje, simulando su comercialización con pacas de avena forrajera.

Materiales y métodos

Área de estudio: El estudio se realizó con base en datos experimentales obtenidos en el Valle de Mexicali, Baja California, México, una región de clima árido cálido, con temperaturas extremas superiores a los 40 °C en verano y escasas precipitaciones anuales (<100 mm).

Recopilación de la información: El sistema evaluado consistió en una plataforma de investigación en la que se estableció el cultivo de trigo tanto cristalino (variedad Don Lupe) como harinero (variedad Ciano), bajo un esquema de agricultura de conservación, con incorporación de un cultivo de cobertura de *Sesbania spp.* posterior al ciclo de trigo. El ciclo de la plataforma inició en diciembre de 2022 y terminó en mayo de 2024. La estimación contempló el aprovechamiento del 70 % de la biomasa aérea de *Sesbania*. Las labores y costos se ajustaron a condiciones reales reportadas por productores de la región y fuentes oficiales como FIRA y SADER.

Análisis económico: Se empleó una metodología de presupuestos parciales, basada en un conjunto de ideas y datos con resultados viables, utilizando la metodología deductiva e inductiva de Yépez et al. (2022), ajustada a los mercados agrícolas mexicanos y de sistemas conservacionistas (Lorenzetti & Fiorini, 2024; Magar et al., 2022; Prasad R. & Zhang So, 2022; Saldivia-Tejeda et al., 2024), para estimar la rentabilidad del sistema productivo trigo – sesbania, bajo las siguientes variables:

Ingresos brutos: simulados en función del precio de venta de trigo y de las pacas de avena (forraje) para el año 2023. Costos de producción: Considerados para ambas etapas del ciclo (trigo y sesbania), incluyendo semillas, fertilizantes, mano de obra, maquinaria, agua de riego, empaque y demás insumos utilizados. Indicador económico: Se estimó la relación Beneficio/Costo (B/C) utilizando los costos dentro los siguientes conceptos “Rendimiento, Precio ton⁻¹, costos totales (CT), Ingresos (trigo), Ingresos (sesbania)”.

Los cálculos fueron realizados para el escenario específico del 70 % de aprovechamiento de la biomasa forrajera, y no incluyeron comparaciones estadísticas con otros porcentajes o ciclos, reservados para futuros análisis científicos.

Resultados y Discusión

El análisis económico comparativo entre la agricultura tradicional (AT) y la de conservación (AC) con aprovechamiento del 70 % de *Sesbania* mostró diferencias marcadas en costos, ingresos y rendimientos para las variedades de trigo CIANO y DON LUPE. El sistema AC-70 % presentó mayores costos (\$55,519 vs. \$34,020 MXN ha⁻¹), debido al manejo del cultivo de cobertura y la cosecha parcial de biomasa. Sin embargo, estudios como el de Saldivia-Tejeda et al., (2024) destacan que, aunque los sistemas conservacionistas pueden tener costos variables, sus ganancias netas son consistentemente superiores, evidenciando una mayor rentabilidad respecto al monocultivo tradicional.

El sistema conservacionista generó mayores ingresos brutos por grano en ambas variedades de trigo (CIANO y DON LUPE), atribuibles a ligeras mejoras en el rendimiento posiblemente vinculadas a los beneficios edáficos de *Sesbania spp.* A diferencia del estudio de Lorenzetti & Fiorini (2024) centrado en el secuestro de carbono con cultivos de cobertura sin aprovechamiento comercial, este trabajo incorpora el valor económico de la biomasa, lo que sugiere que dicha estrategia puede incrementar aún más la rentabilidad de los sistemas conservacionistas en comparación con los tradicionales hasta en un 23 %.

Además del ingreso por grano, el sistema AC-70 % incorporó un valor adicional al aprovechar el 70 % de la biomasa aérea de *Sesbania* como forraje (cuadro 1), generando ingresos estimados de \$30,100 MXN. Esto permitió compensar los mayores costos del sistema y mejorar significativamente la rentabilidad. Los ingresos totales oscilaron entre \$70,958 y \$86,036 MXN, frente a \$39,120-\$48,868 en el sistema tradicional. La relación beneficio/costo fue superior en AC (1.28 a 1.55) en comparación con la tradicional (1.15 a 1.44), lo que indica un margen de ganancia adicional de 28 a 55 centavos por cada peso invertido.

Cuadro 1. Indicadores productivos y económicos entre AT y AC con aprovechamiento del 70 % de *Sesbania spp.* como forraje, en variedades de trigo en el Valle de Mexicali.

Variedades	AT		AC – 70 %	
	CIANO	DON LUPE	CIANO	DON LUPE
Rendimiento (T ha ⁻¹)	6.52	6.43	6.59	7.36
\$ ha ⁻¹	\$ 6,200.00	\$ 7,600.00	\$ 6,200.00	\$ 7,600.00
CT (\$ ha ⁻¹)	\$ 34,020.04	\$ 34,020.04	\$55,519.33	\$ 55,519.33
Ingresos (trigo)	\$ 39,120.00	\$ 48,868.00	\$40,858.00	\$ 55,936.00
Ingresos (sesbania)	-	-	\$30,100.00	\$ 30,100.00
RBC	1.15	1.44	1.28	1.55

Estos resultados sugieren que la incorporación de cultivos de cobertura forrajera como *Sesbania* spp. en sistemas de agricultura de conservación representa una estrategia sostenible en el Valle de Mexicali, donde la diversificación de ingresos es fundamental frente a los precios bajos del trigo y la limitada oferta de apoyos gubernamentales.

Cabe destacar que los resultados presentados corresponden a una simulación puntual del aprovechamiento del 70 % de la biomasa forrajera, y no contemplan otros escenarios de aprovechamiento. Asimismo, la presente evaluación no incluye variables sociales, de adopción o climáticas, por lo que su interpretación debe centrarse en su valor técnico-económico preliminar.

Conclusiones

El aprovechamiento forrajero de la biomasa de *Sesbania* spp. en esquemas de agricultura de conservación fortalece la viabilidad económica del sistema al mejorar la rentabilidad y ofrecer una fuente adicional de ingreso, reduciendo la dependencia del grano de trigo. En regiones áridas como el Valle de Mexicali, esta estrategia mejora la resiliencia del productor ante la baja rentabilidad, el clima variable y la escasez de apoyos. En México, los estudios sobre impactos socioeconómicos de estas prácticas son limitados, por lo que este trabajo aporta bases para orientar su adopción tecnológica y el diseño de políticas públicas.

Referencias

- Abbas, A., Ali, S., Mubeen, M., Hussain, A., Gutumsary, K. A., Hussain, B., & Chen, T. (2024). *Talaromyces spp. Are Promising Biocontrol Agents for Sustainable Agriculture* (pp. 245–280). https://doi.org/10.1007/978-981-97-8739-5_13
- Ahmad, A., Moin, S. F., Liaqat, I., Saleem, S., Muhammad, F., Mujahid, T., & Zafar, U. (2023). Isolation, Solubilization of Inorganic Phosphate, and Production of Organic Acids by Individual and Co-inoculated Microorganisms. *Geomicrobiology Journal*, 40(1), 111–121. <https://doi.org/10.1080/01490451.2022.2124329>
- Amirhosseini, K., Alizadeh, M., & Azarbad, H. (2025). Harnessing the Ecological and Genomic Adaptability of the Bacterial Genus *Massilia* for Environmental and Industrial Applications. *Microbial Biotechnology*, 18(5). <https://doi.org/10.1111/1751-7915.70156>
- Asghar, I., Ahmed, M., Farooq, M. A., Ishtiaq, M., Arshad, M., Akram, M., Umair, A., Alrefaei, A. F., Jat Baloch, M. Y., & Naeem, A. (2023). Characterizing indigenous plant growth promoting bacteria and their synergistic effects with organic and chemical fertilizers on wheat (*Triticum aestivum*). *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1232271>
- Avendaño-Ruiz, B., Acosta-Martínez, A., & Varela-Llamas, R. (2010). *El trigo en Baja California* (Universidad Autónoma de Baja California (Ed.); Vol. 1). Editorial Miguel Ángel Porrúa.
- Awale, R., Singh, S., & Machado, S. (2022). Soil chemical properties and wheat yields under different tillage and nitrogen rates in eastern Oregon. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 5(3). <https://doi.org/10.1002/agg2.20272>
- Bedano, J. C., Lavelle, P., & Zou, X. (2021). Soil biodiversity for the sustainability of agroecosystems. *Acta Oecologica*, 110, 103705. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2021.103705>
- Borbón-Gracia, A., Díaz-Ceniceros, H. L., Chávez-Villalba, G., Ammar, K., Fuentes-Dávila, G., Alvarado-Padilla, J. I., & Huerta-Espino, J. (2022). DON LUPE ORO

C2020: Nueva Variedad de Trigo duro para el noroeste de México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 45(3), 413. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.3.413>

Brajcich Gallegos, P., Cornejo Oviedo, E., Govaerts, B., Moncada de la fuente, J., Barrales Dominguez, S., Ornelas Ruiz, P., Obando Rodríguez, R., Galo Medina, J., Aguirre Elizondo, R., Reyes Muro, L., Ortíz Trejo, C., Vargas Mir, S., González Salamanca, M., Rodríguez Díaz, V., Mendoza Ruiz, C., Sánchez Galván, B., De la Vega García, P., & Medina Montaña, F. (2015). *Agenda técnica agrícola Baja California*. https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?//=AT

Brun, L., Abdulsamad, A., Geurtsen, C., & Gereffi, G. (2010). *Agricultural value chaing in the mexicali valle of Mexico main producers and buyers*.

Bunma, S., & Balslev, H. (2019). A Review of the Economic Botany of Sesbania (Leguminosae). *The Botanical Review*, 85(3), 185–251. <https://doi.org/10.1007/s12229-019-09205-y>

Carbonetto, B., Rascovan, N., Álvarez, R., Mentaberry, A., & Vázquez, M. P. (2014). Structure, Composition and Metagenomic Profile of Soil Microbiomes Associated to Agricultural Land Use and Tillage Systems in Argentine Pampas. *PLoS ONE*, 9(6), e99949. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099949>

Chaudhary, P., Bhattacharjee, A., Khatri, S., Dalal, R. C., Kopittke, P. M., & Sharma, S. (2024). Delineating the soil physicochemical and microbiological factors conferring disease suppression in organic farms. *Microbiological Research*, 289, 127880. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127880>

Chávez-Villalba, G., Camacho-Casas, M. A., Ammar, K., Alvarado-Padilla, J. I., Fuentes Dávila, G., & Borbon-Gracia, A. (2018). CENEB Oro C2017: nueva variedad de trigo duro para el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(7), 1560–1563. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1679>

Chernov, T. I., Tkhakakhova, A. K., & Kutovaya, O. V. (2015). Assessment of diversity indices for the characterization of the soil prokaryotic community by metagenomic

- analysis. *Eurasian Soil Science*, 48(4), 410–415.
<https://doi.org/10.1134/S1064229315040031>
- DeMers, M. (2022). *Alternaria alternata* as endophyte and pathogen. *Microbiology*, 168(3). <https://doi.org/10.1099/mic.0.001153>
- Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., & Hongwen, L. (2010). Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 3(1), 1–25.
<https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.001-025>
- Dirección de investigación y Evaluación Económica y Sectorial. (2025). Panorama Agroalimentario Trigo 2025. En *Panorama Agroalimentario*.
<https://www.fira.gob.mx/InvYEvalEcon/EvaluacionIF>
- Domínguez, A. (2024, noviembre 8). Pronostican disminución de superficie de siembra de trigo. *La voz de la frontera* .
<https://oem.com.mx/lavozdelafrontera/local/pronostican-disminucion-de-superficie-de-siembra-de-trigo-13137426>
- Dubcovsky, J., & Dvorak, J. (2007). Genome Plasticity a Key Factor in the Success of Polyploid Wheat Under Domestication. *Science*, 316(5833), 1862–1866.
<https://doi.org/10.1126/science.1143986>
- Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., Journet, E.-P., Aubertot, J.-N., Savary, S., Bergez, J.-E., & Sarthou, J. P. (2015). How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1259–1281.
<https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>
- Escobar Pérez, L. (2016, enero 1). Análisis de la problemática de los pequeños y medianos productores de trigo del Valle de Mexicali. *Coloquio Interdisciplinario de Posgrado – Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla*.
<https://cipu.upaep.mx/index.php/cipu/article/view/356/311>

- Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Soto-Ortiz, R., & Quistián-Martínez, D. (2024). Producción de biomasa de cultivos de cobertura en plataforma de agricultura de conservación. En R. Torres-Ramos, A. Mendoza-Gómez, M. Beleño-Cabarcas, & A. Vázquez-Espinoza (Eds.), *Producción agrícola sostenible: estrategias biotecnológicas para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria* (1a ed., pp. 13–21). Astra Editorial.
https://www.researchgate.net/publication/390438727_Produccion_de_biomasa_de_cultivos_de_cobertura_en_plataforma_de_agricultura_de_conservacion
- Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Soto-Ortiz, R., Quistián-Martínez, D., Cervantes-Díaz, L., & Catañeda-Trujano, F. (2023). Cuantificación de nódulos en *Sesbania grandiflora*. En *XXVI Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas Memorias en extenso* (pp. 516–519). Universidad Autónoma de Baja California.
https://drive.google.com/file/d/16pFkZ0cmMHShBDD_09C11aT48_MRkQJA/view
- Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Velasco-López, J. L., Soto-Ortiz, R., & Quistián-Martínez, D. (2024). Evaluación de las variedades de trigo Don Lupe Oro C2020 y Ciano M2018 durante el ciclo 2022-2023 en el Valle de Mexicali, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(3). <https://doi.org/10.56369/5440>
- FAO. (2024). *Agricultura de conservación*. <https://www.fao.org/conservation-agriculture/es/>
- Feng, S., Gong, L., Zhang, Y., Tong, Y., Zhang, H., Zhu, D., Huang, X., & Yang, H. (2021). Bioaugmentation potential evaluation of a bacterial consortium composed of isolated *Pseudomonas* and *Rhodococcus* for degrading benzene, toluene and styrene in sludge and sewage. *Bioresource Technology*, 320, 124329. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124329>
- Fonteyne, S., Dominguez-Flores, O., García - López, A. R., Velasco-López, J. L., & Verhulst, N. (2022). *Avances en agricultura sostenible Resultados de plataforma de*

investigación HUB Pacífico Norte 2010 - 2021 (M. C. I. de M. de Maíz (Ed.)).

Freire, V., Condón, S., & Gayán, E. (2024). Impact of sporulation temperature on germination of *Bacillus subtilis* spores under optimal and adverse environmental conditions. *Food Research International*, *182*, 114064.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114064>

Gao, Y., Liu, M., Zhao, X., Zhang, X., & Zhou, F. (2021). *Paracoccus* and *Achromobacter* bacteria contribute to rapid biodegradation of imidacloprid in soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *225*, 112785.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112785>

Gupta, A., Siwach, C., & Mishra, V. K. (2024). Revolutionizing remediation: Unveiling the power of *Lysinibacillus* sp. in tackling heavy metal stress. *Sustainable Chemistry for the Environment*, *8*, 100156. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100156>

Hoffman, C. S., & Winston, F. (1987). A ten-minute DNA preparation from yeast efficiently releases autonomous plasmids for transformation of *Escherichia coli*. *Gene*, *57*(2–3), 267–272. [https://doi.org/10.1016/0378-1119\(87\)90131-4](https://doi.org/10.1016/0378-1119(87)90131-4)

Huda Krebit Hundi, Mustafa Qais Hamid, & Ali Abdul Majeed Noori. (2025). Role of *Ochrobactrum* Bacteria and Organic Matter in Plant Growth and the Content of N, P, and K Under Soil Salinity Stress. *Journal of Environmental & Earth Sciences*, *7*(5), 130–139. <https://doi.org/10.30564/jees.v7i5.8777>

INEGI. (2022). *Aspectos geográficos de Baja California*.

Ishaq, S. L., Johnson, S. P., Miller, Z. J., Lehnhoff, E. A., Olivo, S., Yeoman, C. J., & Menalled, F. D. (2017). Impact of Cropping Systems, Soil Inoculum, and Plant Species Identity on Soil Bacterial Community Structure. *Microbial Ecology*, *73*(2), 417–434. <https://doi.org/10.1007/s00248-016-0861-2>

Kannan, M. N., Sethi, S., Badoni, A., & Chamoli, V. (2018). *Advances in Agriculture and Natural Sciences for Sustainable Agriculture Isolation and characterization of bacterial isolates from agriculture field soil of Roorkee region*. 2013, 108–110.

- Karmakar, P., Singh, V., Yadava, R. B., Singh, D. B., Singh, R., & Kushwaha, M. (2016). *Agathi [Sesbania grandiflora L. (Agast)]: Current Status of Production, Protection and Genetic Improvement*.
- Khmelevtsova, L. E., Sazykin, I. S., Azhogina, T. N., & Sazykina, M. A. (2022). Influence of Agricultural Practices on Bacterial Community of Cultivated Soils. *Agriculture*, 12(3), 371. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030371>
- Kleijn, D., Bommarco, R., Fijen, T. P. M., Garibaldi, L. A., Potts, S. G., & van der Putten, W. H. (2019). Ecological Intensification: Bridging the Gap between Science and Practice. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(2), 154–166. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.11.002>
- Lacerda-Júnior, G. V., Pastore, R. A. A., Delforno, T. P., Centurion, V. B., Noronha, M. F., Ventura, J. P., Sartoratto, A., Melo, I. S., & Oliveira, V. M. (2023). Taxonomic and functional dynamics of the soil microbiome from a tropical dry forest in kraft lignin-amended microcosms. *Applied Soil Ecology*, 183, 104766. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104766>
- Lei, S., Xu, X., Cheng, Z., Xiong, J., Ma, R., Zhang, L., Yang, X., Zhu, Y., Zhang, B., & Tian, B. (2019). Analysis of the community composition and bacterial diversity of the rhizosphere microbiome across different plant taxa. *MicrobiologyOpen*, 8(6). <https://doi.org/10.1002/mbo3.762>
- Leite, H. M. F., Calonego, J. C., Rosolem, C. A., Mendes, L. W., de Moraes, L. N., Grotto, R. M. T., Araujo, F. F., Pereira, A. P. de A., Melo, V. M. M., & Araujo, A. S. F. (2021). Cover crops shape the soil bacterial community in a tropical soil under no-till. *Applied Soil Ecology*, 168, 104166. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104166>
- Li, H.-P., Han, Q.-Q., Liu, Q.-M., Gan, Y.-N., Rensing, C., Rivera, W. L., Zhao, Q., & Zhang, J.-L. (2023). Roles of phosphate-solubilizing bacteria in mediating soil legacy phosphorus availability. *Microbiological Research*, 272, 127375.

<https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127375>

Li, M., He, P., Guo, X.-L., Zhang, X., & Li, L.-J. (2021). Fifteen-year no tillage of a Mollisol with residue retention indirectly affects topsoil bacterial community by altering soil properties. *Soil and Tillage Research*, 205, 104804.

<https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104804>

Li, Y., Xue, C., Chai, C., & Li, W. (2025). A comparative assessment for agricultural eco-efficiency under conventional tillage and conservation tillage: A case study of China. *Journal of Rural Studies*, 120, 103890.

<https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2025.103890>

Lorenzetti, L. A., & Fiorini, A. (2024). Conservation Agriculture Impacts on Economic Profitability and Environmental Performance of Agroecosystems. *Environmental Management*, 73(3), 532–545. <https://doi.org/10.1007/s00267-023-01874-1>

Lupwayi, N. Z., May, W. E., Kanashiro, D. A., & Petri, R. M. (2018). Soil bacterial community responses to black medic cover crop and fertilizer N under no-till. *Applied Soil Ecology*, 124, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.11.003>

Macias, C., Rosiles, L., & Pérez, S. (2010). El financiamiento como factor de competitividad para el productor de trigo del Valle de Mexicali, Baja California, México. *Global Conference on Business and Finance Proceedings*, 962–966.

Magar, S. T., Timsina, J., Devkota, K. P., Weili, L., & Rajbhandari, N. (2022). Conservation agriculture for increasing productivity, profitability and water productivity in rice-wheat system of the Eastern Gangetic Plain. *Environmental Challenges*, 7, 100468. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100468>

Martínez-Gamiño, M. Á., Osuna-Ceja, E. S., Padilla Rampirez, J. S., & Pimentel-López, J. (2023). Agricultura de conservación: alternativa para la mitigación del cambio climático en el altiplano semiárido de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(6), e2957. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.2957>

Mehta, T., Meena, M., & Nagda, A. (2022). Bioactive compounds of *Curvularia* species

as a source of various biological activities and biotechnological applications.

Frontiers in Microbiology, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1069095>

Michel-López, C. Y., Caballero-Julián, S., Flores-Garibay, R., Lara-Rivera, A. L., Morales-Hernández, J. C., & Zambrano-Reyes, C. (2023). Estudio exploratorio de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) como actividad productiva del valle de Mexicali, México. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 17.

https://riiit.com.mx/apps/site/idem.php?module=Catalog&action=ViewItem&id=6357&item_id=85553&id=6357

Miller, P. R. (1996). *Cultivos de Cobertura Para la Agricultura de California*. Universidad de California, Division de Agricultura y Recursos Naturales.

<https://books.google.es/books?id=Eu-wBWrFWFwC>

Ndour, N. Y. B., Baudoin, E., Guissé, A., Seck, M., Khouma, M., & Brauman, A. (2008). Impact of irrigation water quality on soil nitrifying and total bacterial communities.

Biology and Fertility of Soils, 44(5), 797–803. <https://doi.org/10.1007/s00374-008-0285-3>

Nthebere, K., Tata, R. P., Gudapati, J., Bhimireddy, P., Admala, M., Chandran, L. P., & Yadav, M. B. N. (2025). Assessment of conservation agriculture on soil nutrient's stratification ratio, carbon sequestration rate, management indices and crop productivity in Southern Telangana India. *Scientific Reports*, 15(1), 15038.

<https://doi.org/10.1038/s41598-025-00177-1>

O. I., O., A. A., A., A. N., M., M. O., A., C. N., N., & A. N., O. (2020). Microbial Diversity: Values and Roles in Ecosystems. *Asian Journal of Biology*, 10–22.

<https://doi.org/10.9734/ajob/2020/v9i130075>

Ogle, S. M., Breidt, F. J., & Paustian, K. (2005). Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry*, 72(1), 87–121.

<https://doi.org/10.1007/s10533-004-0360-2>

- Pan, L., & Cai, B. (2023). Phosphate-Solubilizing Bacteria: Advances in Their Physiology, Molecular Mechanisms and Microbial Community Effects. *Microorganisms*, 11(12), 2904. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>
- Pandey, A., Tripathi, A., Srivastava, P., Choudhary, K. K., & Dikshit, A. (2019). Plant growth-promoting microorganisms in sustainable agriculture. En *Role of Plant Growth Promoting Microorganisms in Sustainable Agriculture and Nanotechnology* (pp. 1–19). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817004-5.00001-4>
- Peña, R. J., Trethowan, R., Pfeiffer, W. H., & Ginkel, M. Van. (2002). Quality (End-Use) Improvement in Wheat. *Journal of Crop Production*, 5(1–2), 1–37. https://doi.org/10.1300/J144v05n01_02
- Phule, M., Vidyapeeth, K., Award, Y. S., Interactions, P., Interactions, R., Stress, A., Himachal, K., Krishi, P., & Publication, S. I. (2018). *Agritucural microbiology: Harnessing microbial innovations for sustainable farming* (Vol. 136118).
- Prasad R., & Zhang So. (2022). *Beneficial Microorganisms in Agriculture* (R. Prasad & S.-H. Zhang (Eds.)). Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-0733-3>
- Rakshit, A., Singh, S. ., Abhilash, P. C., & Biswas, A. (Eds.). (2021). *Soil Science: Fundamentals to Recent Advances*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-0917-6>
- Rincon-Florez, V. A., Carvalhais, L. C., Dang, Y. P., Crawford, M. H., Schenk, P. M., & Dennis, P. G. (2020). Significant effects on soil microbial communities were not detected after strategic tillage following 44 years of conventional or no-tillage management. *Pedobiologia*, 80, 150640. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2020.150640>
- Rosado-flores, M. F., González-prieto, J. M., Mireles-martínez, M., Torres-ortega, J. A., María, N., & Jesús, R. (2020). *Identificación de microorganismos aislados de suelos agrícolas con capacidad de tolerar 2.4-D y malatión*. 1–9.

- SADER. (2024). *Buscan autoridades y productores alternativas para el nuevo ciclo triguero en el Valle de Mexicali*.
- Saha, B., Saha, S., Das, A., Bhattacharyya, P. K., Basak, N., Sinha, A. K., & Poddar, P. (2017). Biological Nitrogen Fixation for Sustainable Agriculture. En *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture* (pp. 81–128). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5343-6_4
- Saldivia-Tejeda, A., Uribe-Guerrero, M. Á., Rojas-Cruz, J. M., Guera, O. G. M., Verhulst, N., & Fonteyne, S. (2024). Conservation agriculture enhances maize yields and profitability in Mexico's semi-arid highlands. *Scientific Reports*, *14*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80928-8>
- Senkovs, M., Nikolajeva, V., Makarenkova, G., & Petrina, Z. (2021). Influence of *Trichoderma asperellum* and *Bacillus subtilis* as biocontrol and plant growth promoting agents on soil microbiota. *Annals of Microbiology*, *71*(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s13213-021-01647-3>
- Seo, H., Kim, J. H., Lee, S.-M., & Lee, S.-W. (2024). The Plant-Associated Flavobacterium: A Hidden Helper for Improving Plant Health. *The Plant Pathology Journal*, *40*(3), 251–260. <https://doi.org/10.5423/PPJ.RW.01.2024.0019>
- Shen, J., Tao, Q., Dong, Q., Luo, Y., Luo, J., He, Y., Li, B., Li, Q., Xu, Q., Li, M., Guo, L., Cai, Y., Tang, X., Zhao, J., Li, H., & Wang, C. (2021). Long-term conversion from rice-wheat to rice-vegetable rotations drives variation in soil microbial communities and shifts in nitrogen-cycling through soil profiles. *Geoderma*, *404*, 115299. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115299>
- SIAP. (2024). *Panorama agroalimentario 2024*. https://drive.google.com/file/d/1NXcDhaB63Z94wjRUVF6f_FK0Urv6cgvJ/view
- SIAP. (2025). *Avance de siembras y cosechas*. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- Siddique, R., Gul, A., Ozturk, M., & Altay, V. (2021). Phosphate Solubilizing Bacteria for

Soil Sustainability. En *Handbook of Assisted and Amendment: Enhanced Sustainable Remediation Technology* (pp. 423–435). Wiley.

<https://doi.org/10.1002/9781119670391.ch21>

Soumare, A., Boubekri, K., Lyamlouli, K., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., & Kouisni, L. (2020). From Isolation of Phosphate Solubilizing Microbes to Their Formulation and Use as Biofertilizers: Status and Needs. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00425>

Souza, A. P. De, Lima, L., Zamadei, T., Martim, C. C., Almeida, F. T. De, & Paulino, J. (2013). CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA E BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO NO ESTADO DE MATO GROSSO IN MATO GROSSO STATE, BRAZIL. *Nativa*, 1(1).

Springer. (2024). *The Wheat Genome* (R. Appels, K. Eversole, C. Feuillet, & D. Gallagher (Eds.)). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-38294-9>

Tian, W., Wang, L., Li, Y., Zhuang, K., Li, G., Zhang, J., Xiao, X., & Xi, Y. (2015). Responses of microbial activity, abundance, and community in wheat soil after three years of heavy fertilization with manure-based compost and inorganic nitrogen. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 213, 219–227. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.08.009>

Verhulst, N., Francois, I., & Govaerts, B. (2015). ¿Qué es la agricultura de conservación? CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/que-es-la-agricultura-de-conservacion/>

Woo, S. L., Hermosa, R., Lorito, M., & Monte, E. (2023). Trichoderma: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature Reviews Microbiology*, 21(5), 312–326. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00819-5>

Yarzabal Rodríguez, L. A., Álvarez Gutiérrez, P. E., Gunde-Cimerman, N., Ciancas Jiménez, J. C., Gutiérrez-Cepeda, A., Ocaña, A. M. F., & Batista-García, R. A.

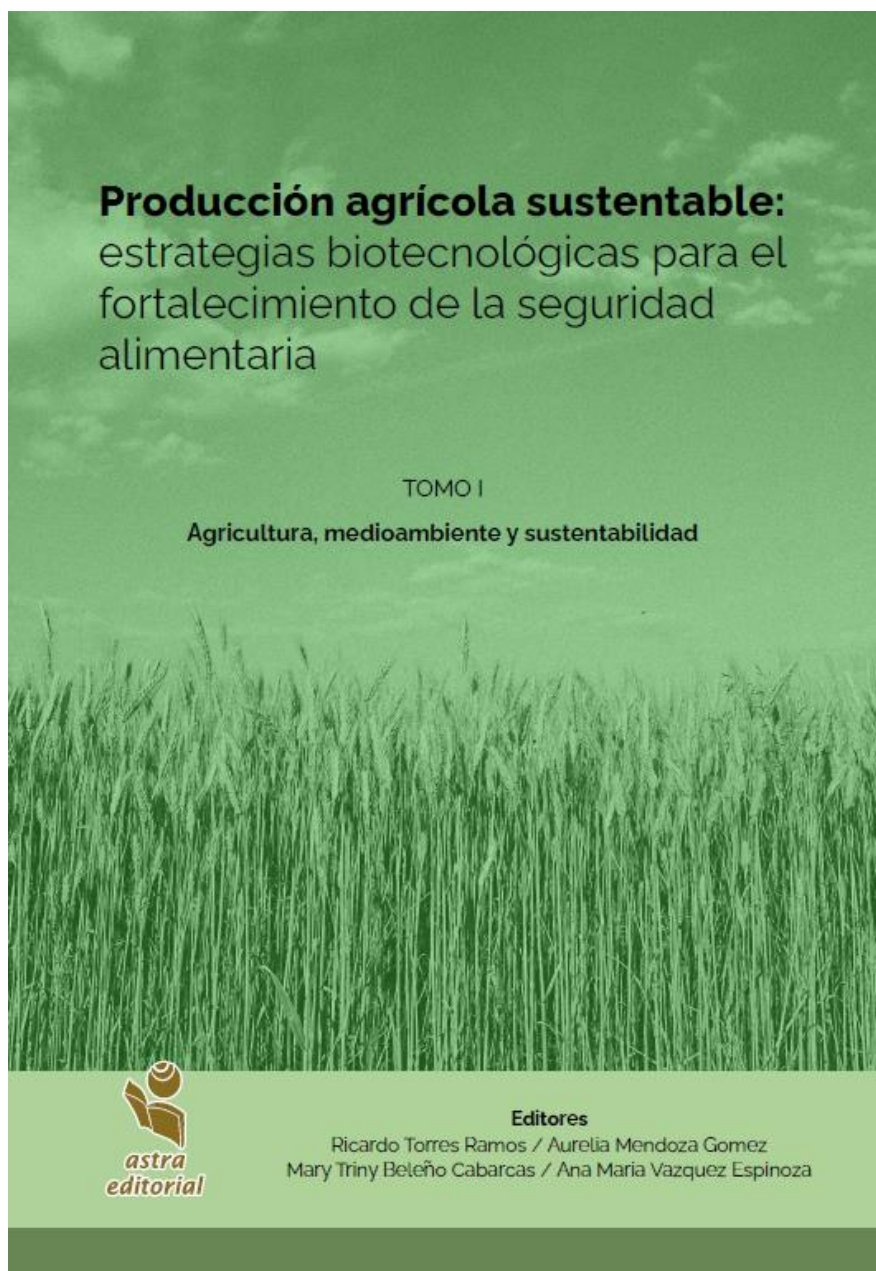
(2024). Exploring extremophilic fungi in soil mycobiome for sustainable agriculture amid global change. *Nature Communications*, 15(1), 6951.
<https://doi.org/10.1038/s41467-024-51223-x>

Yépez, M., Cedeño, A., & Mera, C. (2022). Rentabilidad económica empresarial, análisis de costos caso Martagua S.A., Montecristi Ecuador. *Polo del conocimiento*, 7(2550-682X), 1806–1825. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i7>

Zavala-Álvarez, J., Partida. Martínez, J. A., & Gastélum-López, L. D. C. (2022). La organización de productores de trigo de Baja California. En *POLIS. México* (Vol. 2022, Número 2).

Complemento objetivo específico 4 – Capítulo de libro publicado 1 Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Montiel-Batalla, B. M., Soto-Ortiz, R., & Quistián-Martínez, D. (2024 a). Producción de biomasa de cultivos de cobertura en plataforma de agricultura de conservación. In R. Torres-Ramos, A. Mendoza-Gómez, M. Beleño-Cabarcas, & A. Vázquez-Espinoza (Eds.), *Producción agrícola sostenible: estrategias*

biotecnológicas para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria (1st ed., pp. 13–21).
Astra Editorial.



**Producción agrícola sustentable:
estrategias biotecnológicas para
el fortalecimiento de la seguridad
alimentaria**

**Agricultura, medioambiente y
sustentabilidad**

Tomo **I**

Ricardo Torres Ramos
Aurelia Mendoza Gómez
Mary Triny Beleño Cabarcas
Ana María Vázquez Espinoza
Editores



Producción agrícola sustentable: estrategias biotecnológicas para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria. Agricultura, medioambiente y sustentabilidad. Tomo I. **Coordinadores editoriales:** Dr. Ricardo Torres Ramos; Dra. Aurelia Mendoza Gómez; Dra. Mary Triny Beleño Cabarcas; Dra. Ana María Vázquez Espinoza. —Baja California, México. 2024.

Publicación electrónica digital: descarga y *online*; detalle de formato: EPUB.

Primera edición

ISBN: 979-13-87631-24-6 Obra completa

ISBN: 979-13-87631-17-8 Tomo 1

© D. R. 2024; Ricardo Torres Ramos; Aurelia Mendoza Gómez; Mary Triny Beleño Cabarcas; Ana María Vázquez Espinoza

La presente obra fue dictaminada bajo el sistema de doble ciego por pares académicos externos, especialistas en la materia.

Edición y corrección: [Astra ediciones](#)

Se prohíbe la reproducción, el registro o la transmisión parcial o total de esta obra por cualquier sistema de recuperación de información, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, por fotocopia, cualquier otro existente o por existir, sin el permiso previo, por escrito, del titular de los derechos.

HECHO EN MÉXICO | MADE IN MEXICO

Contenido

Agricultura, medioambiente y sustentabilidad	5
Presentación	11
Capítulo 1	
Producción de biomasa de cultivos de cobertura en plataforma de agricultura de conservación	13
<i>Juan A. Espinoza Alonso</i>	
<i>Marisol Galicia Juárez</i>	
<i>Carlos Enrique Aíl Catzim</i>	
<i>Blanca M. Montiel Batalla</i>	
<i>Sergio Zamora Salgado</i>	
<i>Deyanira Quistián Martínez</i>	
Capítulo 2	
Recuperación de suelos con sistemas agroforestales sostenibles en la Amazonia peruana	21
<i>Julio Alegre Orihuela</i>	
Capítulo 3	
Potencial productivo con escenarios de cambio climático para maíz de temporal en la subcuenca Lerma-Toluca	27
<i>Jocksan Edrey Reyes Andrade</i>	
<i>Jesús Soria Ruíz</i>	
<i>Guillermo Medina García</i>	
<i>Héctor Daniel Inurreta Aguirre</i>	
Capítulo 4	
Estudio del impacto de nanomateriales de silicio y zinc en el control de gusano cogollero	35
<i>Maria Yesenia Ruiz Aguilar</i>	
<i>Agustín Hernández Juárez</i>	
<i>Yolanda del Carmen Pérez Luna</i>	
<i>Luis Alberto Aguirre Uribe</i>	
<i>Epifanio Castro del Angel</i>	

Capítulo 1

Producción de biomasa de cultivos de cobertura en plataforma de agricultura de conservación

Juan A. Espinoza Alonso¹
Marisol Galicia Juárez¹
Carlos Enrique Aíl Catzim¹
Blanca M. Montiel Batalla¹
Sergio Zamora Salgado¹
Deyanira Quistián Martínez²

¹ Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas

² Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de botánica. E-mail de correspondencia: juan.espinoza.alonso@uabc.edu.mx

Resumen

El establecimiento de cultivos de cobertura hace posible aminorar los daños en los suelos ocasionados por los sistemas de agricultura intensiva y mantener la productividad de los cultivos de interés. La presente investigación tiene por objetivo determinar la producción de biomasa de tres diferentes tipos de cultivos de cobertura en una plataforma de agricultura de conservación, con la finalidad de determinar cuál cultivo expresa mejor adaptación para su establecimiento en las condiciones climáticas del Valle de Mexicali, lo anterior basado en la producción de biomasa fresca y seca. El experimento se estableció en el campo experimental del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario 41 ubicado en el Valle de Mexicali, el diseño utilizado fue un completamente al azar con dos repeticiones, los tratamientos (*Sesbania grandiflora*, *Crotalaria juncea* y *Vigna radiata*) se establecieron en melgas de 6 x 100 m. Se aplicó un riego de establecimiento y uno de auxilio a los 23 días después de la siembra (dds), se muestrearon 5 plantas a los 37 dds (considerando una planta como una unidad experimental) y fueron divididas en sus estructuras vegetales; raíz, tallo y hojas, registrando su peso fresco y seco; se midió la longitud de la planta y raíz. Los resultados obtenidos se analizaron con un ANVA y una comparación de medias Tukey ($p < 0.05$). Los resultados indican que la especie *Sesbania grandiflora* obtuvo mayor producción de biomasa. La posterior evaluación del estado nutricional de los suelos debido a la incorporación y a los usos potenciales, son las perspectivas para esta investigación.

Introducción

El establecimiento de cultivos de cobertura hace posible aminorar los daños en los suelos ocasionados por los sistemas de agricultura intensiva y su vez mantener la productividad de los cultivos de interés; son

establecidos una vez que los cultivos de interés principal (considerados así por su importancia económico-social) son cosechados y proveen diferentes ventajas como, la mejora de las características físico-químicas y la microbiota de la rizosfera, disminuye el proceso de erosión de los suelos, la lixiviación de nitrógeno y presencia de malezas, además reduce el flujo de gases de efecto invernadero (Peng *et al.*, 2024). Las leguminosas fijan nitrógeno atmosférico e incrementan la disponibilidad de este nutriente en el suelo durante su descomposición (Kuo y Sainju, 1998). A continuación, se describen brevemente los rasgos morfológicos de los cultivos de coberturas utilizados en esta investigación.

El género *Sesbania* contiene de 60 a 85 especies, crecen en regiones con climas tropicales secos, subtropicales y zonas templadas cálidas (Bunma y Balslev, 2019). La especie *Sesbania grandiflora* es utilizada en alimentación humana y para ganado, medicina, en materia ambiental, etc.; se caracteriza por ser una especie leguminosa y poco ramificada muy conocida del Asia tropical, que incluye India, Indonesia, Malasia, Myanmar y Filipinas. Alcanza una altura de entre 8 a 15 m y un ancho de 25 a 30 cm, produce gran cantidad de nódulos y puede desarrollar raíces adventicias externas, las hojas son alternas, compuestas y pinnadas, de 15 a 30 cm de largo con 12 a 20 pares de folíolos redondos y oblongos, de 3 a 4 cm de largo y aproximadamente 1 cm de ancho y las hojas nacen solo en los extremos terminales de las ramas (Bunma & Balslev, 2019; Karmakar *et al.*, 2016). En la listas de los cultivos agrícolas considerados como abonos verdes también destaca la especie *Crotalaria juncea*, que es un arbusto subtropical, alcanza una altura 1 a 3 metros, produce una raíz central larga con vigorosas raíces laterales, tiene un tallo grueso, acanalado y pubescente (cubierto de pelos cortos y suaves) que crece desde 1 hasta 2 pulgadas de diámetro y produce nódulos radiculares son lobulados; de hojas trifoliadas, de tallo corto, de color verde brillante y forma elíptica de 4 a 12 cm de largo y de 0.5 a 3 cm de ancho, dispuestas en forma de espiral alrededor del tallo, el crecimiento vegetativo se produce durante los días más largos del año (Sheahan, 2012). Por último, el frijol mungo (*Vigna radiata*), pertenece al género *Ceratropis* originario de Asia, sus rasgos morfológicos característicos son los siguientes: las plantas de esta especie alcanzan una altura de 30 a 90 cm, con hojas

trifoliadas ovaladas de márgenes lisos y vainas elongadas, produce pequeñas flores de color verde amarillo que se desarrollan en grupos de 10 a 15, las plantas de mungo se auto polinizan y tiene un sistema de raíces pivotantes bien desarrollado, lo que la convierte en un cultivo resistente a la sequía (Huppertz et al., 2023).

La biomasa es definida como aquella materia orgánica vegetal que es degradada mediante procesos biológicos, en el terreno agrícola, esto sucede por el procesamiento biológico por los diversos organismos del suelo; la biomasa en la mayoría de las veces resulta como desecho una vez que los cultivos agrícolas son cosechados (cereales, tubérculos, semillas), sin embargo, estos desechos pueden ser utilizados como fuentes de energía, combustibles, bioproductos y en materia ambiental como abonos orgánicos o verdes (Velázquez-Martí et al., 2011). La presente investigación tiene por objetivo un análisis de la producción de biomasa de tres diferentes tipos de cultivos de cobertura en una plataforma de agricultura de conservación, con finalidad de determinar cuál cultivo expresa mejor adaptación para su establecimiento en las condiciones climáticas del Valle de Mexicali, lo anterior basado en la producción de biomasa fresca y seca.

Materiales y métodos

El material vegetal de *Sesbania grandiflora* fue adquirido por el laboratorio de Nutrición Animal del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, las semillas de *Crotalaria juncea* (crotalaria) y *Vigna radiata* (mungo) fueron donadas por personal del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), las tres especies fueron establecidas en los terrenos experimentales del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario 41 ubicado en el Valle de Mexicali en las coordenadas 32°33'35.2"N y 115°01'28.6"W, con una altitud de 15 msnm. El experimento forma parte de un proyecto de investigación de una tesis doctoral, las tres leguminosas utilizadas como cultivos de cobertura (tratamientos) fueron establecidas en campo bajo un diseño completamente al azar con dos repeticiones, en melgas de 6 x 100 m. Los cultivos de sesbania y crotalaria fueron sembrados a una densidad

de 40 kg ha⁻¹ y mungo a una densidad de 20 kg ha⁻¹, sin fertilización, posteriormente se realizó una determinación del número de plantas m². La siembra y el riego de establecimiento se realizó el 9 de julio de 2023 y se, el posterior riego de auxilio se realizó a los 23 dds. Se muestrearon cinco plantas por melga los 37 dds, de cada planta se registró la altura de la planta y raíz, se dividió en sus estructuras vegetales; raíz, tallo y hojas, de las cuales se registró su peso fresco (gramos) y posteriormente se llevaron a secado en estufa a 65 ° C durante 72 h, una vez transcurrido este periodo se registró el peso seco. Los datos obtenidos se analizaron mediante un ANVA y una prueba de medias Tukey (p<0.05) utilizando el software estadístico Infostat versión 2008.

Resultados y discusión

Los resultados de la comparación de medias de las variables de biomasa a los 37 dds para los cultivos de cobertura se muestran en la Tabla 1. El cultivo sesbania y mungo destacan por su producción de biomasa en peso fresco y seco de hoja y tallo con diferencia estadística en comparación con crotalaria. Así también, sesbania presento mayores valores de media en largo de la planta, mayor longitud, peso fresco y seco en raíz. Estas variables pudieron verse afectadas por la densidad de siembra ya que las densidades para crotalaria fueron de 400 plantas m², sin embargo, De Oliveira Miranda et al., (2020)²⁰ recomiendan una densidad óptima de 100 plantas m². En el caso de mungo las densidades recomendadas de siembra son de 25 kg ha⁻¹ similares a los utilizados en esta evaluación preliminar de los cultivos de cobertura (Amanullah et al., 2016). Es importante señalar que las densidades de siembras para estos cultivos dependen del enfoque en la producción, para fines de esta investigación, cómo abono verde y por los reportes de estos cultivos como reparadores de suelos y formadores de nódulos con presunta función de fijación de nitrógeno fueron elegidas las densidades antes mencionadas, sin embargo, solo el cultivo de Sesbania presentó estos nódulos (Espinoza-Alonso et al., 2023) y una mayor producción de biomasa, por lo que de las tres especies evaluadas, destaca para establecerla como cultivo de cobertura en la región.

Tabla 1.

Valores de medias para las variables de altura y biomasa fresca y seca de los cultivos de cobertura

F.V.	Largo (cm)		Peso Fresco (g)			Peso Seco (g)			
	Planta	Raíz	Planta	Hoja	Tallo	Raíz	Hoja	Tallo	Raíz
Sesbania grandiflora	127.9 a	20.8 a	67.5 a	22.7 a	35.2 a	9.0 a	6.3 a	5.1 a	2.1 a
Crotalaria juncea	76.6 b	14.6 b	24.7 b	11.2 b	11.6 b	2.0 b	2.9 b	2.6 b	0.9 b
Vigna radiata	50.2 c	16.3 b	53.8 a	23.7 a	24.9 a	1.90 b	7.1 a	5.3 a	1.5 ab

F.V: Fuente de Variación; Medias con letras diferentes en hileras corresponden a diferencia estadística entre los cultivos de cobertura con nivel de significancia $p < 0.05$ (Tukey).

El establecimiento de los cultivos de cobertura se muestra en las siguientes figuras:

Figura 1.

Planta de la especie *Sesbania grandiflora*

**Figura 2.**

Planta de la especie *Crotalaria juncea*

**Figura 3.**

Planta de la especie *Vigna radiata juncea*



Conclusión

El cultivo de *Sesbania* destacó por mayor producción de biomasa y producción de nódulos con presunta actividad fijadora de nitrógeno, lo anterior como indicativo de mejor adaptación en la región del Valle de

Mexicali, por lo que fue elegida para seguirse utilizando en la plataforma de agricultura de conservación, se sugiere continuar futuras investigaciones abordando su análisis proximal, potencial usos como bioproductos y para introducir este cultivo de cobertura en la región.

Referencias

- Amanullah, P., Majidullah, Muhammad, A., Nawab, K., & Ali, A. (2016). Effect of tillage and phosphorus interaction on yield of mungbean (*Vigna radiata* L., Wilczek) with and without moisture stress condition. 72.
- Bunma, S., & Balslev, H. (2019). A Review of the Economic Botany of *Sesbania* (Leguminosae). *The Botanical Review*, 85(3), 185–251. <https://doi.org/10.1007/s12229-019-09205-y>
- De Oliveira Miranda, N., Morais de Sousa Vanomark, G. M., Costa e Melo, I. G., & Bezerra de Góes, G. (2020). Biomass of *Crotalaria juncea* as a function of plant densities in the semiarid region of Northeastern Brazil. *Agronomía Colombiana*, 38(1), 148–155. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v38n1.78957>
- Espinoza-Alonso, J. A., Galicia-Juárez, M., Ail-Catzim, C. E., Cervantes-Díaz, L., Soto-Ortíz, R., Quisítán-Martínez, D., & Catañeda-Trujano, F. (2023). CUANTIFICACIÓN DE NÓDULOS EN *Sesbania grandiflora*. In XXVI Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas Memorias en extenso (pp. 516–519). Universidad Autónoma de Baja California. https://drive.google.com/file/d/16pFkZ0cmMHShBDD_09C11aT48_MRkQJA/view
- Huppertz, M., Manasa S, L., Kachhap, D., Dalai, A., Yadav, N., Baby, D., Khan, M. A., Bauer, P., & Panigrahi, K. C. S. (2023). Exploring the potential of mung bean: From domestication and traditional selection to modern genetic and genomic technologies in a changing world. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100786. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100786>
- Karmakar, P., Singh, V., Yadava, R. B., Singh, D. B., Singh, R., & Kushwaha, M. (2016). *Agathi [Sesbania grandiflora L. (Agast)]: Current Status of Production, Protection and Genetic Improvement*.

- Kuo, S., & Sainju, U. M. (1998). Nitrogen mineralization and availability of mixed leguminous and non-leguminous cover crop residues in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 26(4), 346–353. <https://doi.org/10.1007/s003740050387>
- Peng, Y., Wang, L., Jacinthe, P.-A., & Ren, W. (2024). *Global synthesis of cover crop impacts on main crop yield*. *Field Crops Research*, 310, 109343. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109343>
- Sheahan, C. M. (2012). *Plant guide for sunn hemp (Crotalaria juncea)*. *USDA-Natural Resources Conservation Service, Cape May Plant Materials Center*. <https://plants.usda.gov/home>
- Velázquez-Martí, B., Fernández-González, E., López-Cortés, I., & Salazar-Hernández, D. M. (2011). Quantification of the residual biomass obtained from pruning of vineyards in Mediterranean area. *Biomass and Bioenergy*, 35(8), 3453–3464. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.04.009>

Actividades de retribución social – Congresos

IICNC24-TLP- 3

**La Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Agronomía**



1954 FACULTAD DE AGRONOMÍA 2024
UANL

otorga la presente

CONSTANCIA A:

Pablo Antonio López Briones, Marisol Galicia Juárez, Juan A. Espinoza Alonso, Yissel S. Valdés García, Olga M. Manríquez Núñez, Miguel A. Vega Cazares

Por la presentación del trabajo titulado:

“Análisis proximal de tres leguminosas con potencial uso forrajero“

En la modalidad: Póster

**En el II Congreso Nacional de Ciencias Agropecuarias, Recursos
Naturales y Sustentabilidad**

Realizado del 29 al 31 de octubre de 2024

M.C. Carlos Alberto Hernández Martínez
Director de la Facultad de Agronomía

Dra. Sugey R. Sinagawa García
Coordinadora del Congreso



**La Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Agronomía**



otorga la presente

CONSTANCIA A:

Juan Ángel Espinoza Alonso, Marisol Galicia Juárez, Roberto Soto Ortiz, Silvia Mónica Avilés Marín, Pablo Antonio López Briones, Deyanira Quistán Martínez

Por la presentación del trabajo titulado:

“Comparación de biomasa de tres leguminosas utilizadas como cultivos de cobertura“

En la modalidad: Póster

En el II Congreso Nacional de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y Sustentabilidad

Realizado del 29 al 31 de octubre de 2024

M.C. Carlos Alberto Hernández Martínez
Director de la Facultad de Agronomía

Dra. Sugey R. Sinagawa García
Coordinadora del Congreso





Universidad Autónoma de Baja California
Instituto de Ciencias Agrícolas



XXVI Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas

Gestión del agua y seguridad alimentaria ante el escenario de cambio climático

otorgan la presente
CONSTANCIA

A: Espinoza Alonso J. A., Galicia Juárez M., Aíl Catzim C. E., Cervantes
Díaz L., Soto Ortiz R., Quistián Martínez D., Castañeda Trujano F.J

Por su participación como **PONENTE EN CARTEL** con el tema:

CUANTIFICACIÓN DE NÓDULOS EN SESBANIA GRANDIFLORA

"POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL SER"

Mexicali, Baja California, 26 y 27 octubre de 2023

Dr. Daniel González Mendoza
Director del Instituto de Ciencias Agrícolas

Dra. Silvia Mónica Avilés Marín
Presidenta del Comité Organizador



Facultad de
Ingeniería y
Negocios
San Quintín



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Otorga la

CONSTANCIA a

Juan Ángel Espinoza Alonso

por su participación como Ponente en Evaluación de la Agricultura de conservación en la producción del cultivo de trigo y mejora de suelos en el valle de Mexicali. en la BIENAL INTERDISCIPLINARIA UABC 2024 celebrada los días 12 y 13 de junio de 2024 en modalidad virtual

"POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL SER"
Mexicali, B.C. a 21 de junio de 2024
SECRETARIO GENERAL

DR. JOAQUÍN CASO NIEBLA



XXV Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas

25 años de desarrollo científico y tecnológico en la producción agrícola sustentable

Universidad Autónoma de Baja California
Instituto de Ciencias Agrícolas

Otorga la presente

CONSTANCIA


a


Espinoza Alonso Juan Angel, Carlos Enrique Ail Catzim, Marisol Galicia Juárez, Blanca Margarita Montiel Batalla, Andrés González Ruíz, Francisco Zavala García, Jesús Alberto Lara Reyes

Por su participación como PONENTES con el trabajo titulado

EFECTO DE LA APLICACIÓN DE NANOPARTÍCULAS EN COMPUESTOS FENÓLICOS EN PLÁNTULAS DE MAÍZ

en la Modalidad Presentación de cartel de la temática **Biotecnología Agrícola**


Dr. Daniel González Mendoza
Director del
Instituto de Ciencias Agrícolas


Dr. Carlos Enrique Ail Catzim
Presidente del XXV Congreso Internacional
en Ciencias Agrícolas

Mexicali, Baja California, octubre de 2022
"Por la realización plena del ser"





Universidad Autónoma de Baja California
Instituto de Ciencias Agrícolas



XXVII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas

Producción Agrícola Sostenible: Estrategias Biotecnológicas para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria

Otorgan la presente

CONSTANCIA

A: Espinoza-Alonso, Juan A., Galicia-Juárez, Marisol, Aíl-Catzim, Carlos E., Montiel-Batalla Blanca M., Soto-Ortíz, R. y Quistián-Martínez, Deyanira.

Por su participación en el programa PRESENTACION DE CARTELES, con el tema: PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE CULTIVOS DE COBERTURA EN PLATAFORMA DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

Dr. Daniel Gonzalez Mendoza
Director del Instituto de Ciencias Agrícolas

Dr. Ricardo Torres Ramos
Presidente del XXVII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas

Mexicali, Baja California, octubre de 2024
"Por la realización plena del ser"



Universidad Autónoma de Baja California
Instituto de Ciencias Agrícolas



XXVII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas

Producción Agrícola Sostenible: Estrategias Biotecnológicas para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria

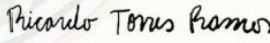
Otorgan la presente

CONSTANCIA

A: Espinoza Alonso Juan A, Galicia Juárez Marisol, Soto Ortiz Roberto,
Aíl-Catzim Carlos E, Montiel Batalla Blanca M, González Mendoza Daniel,
Michel López Claudia Yared y Quistián Martínez Deyanira

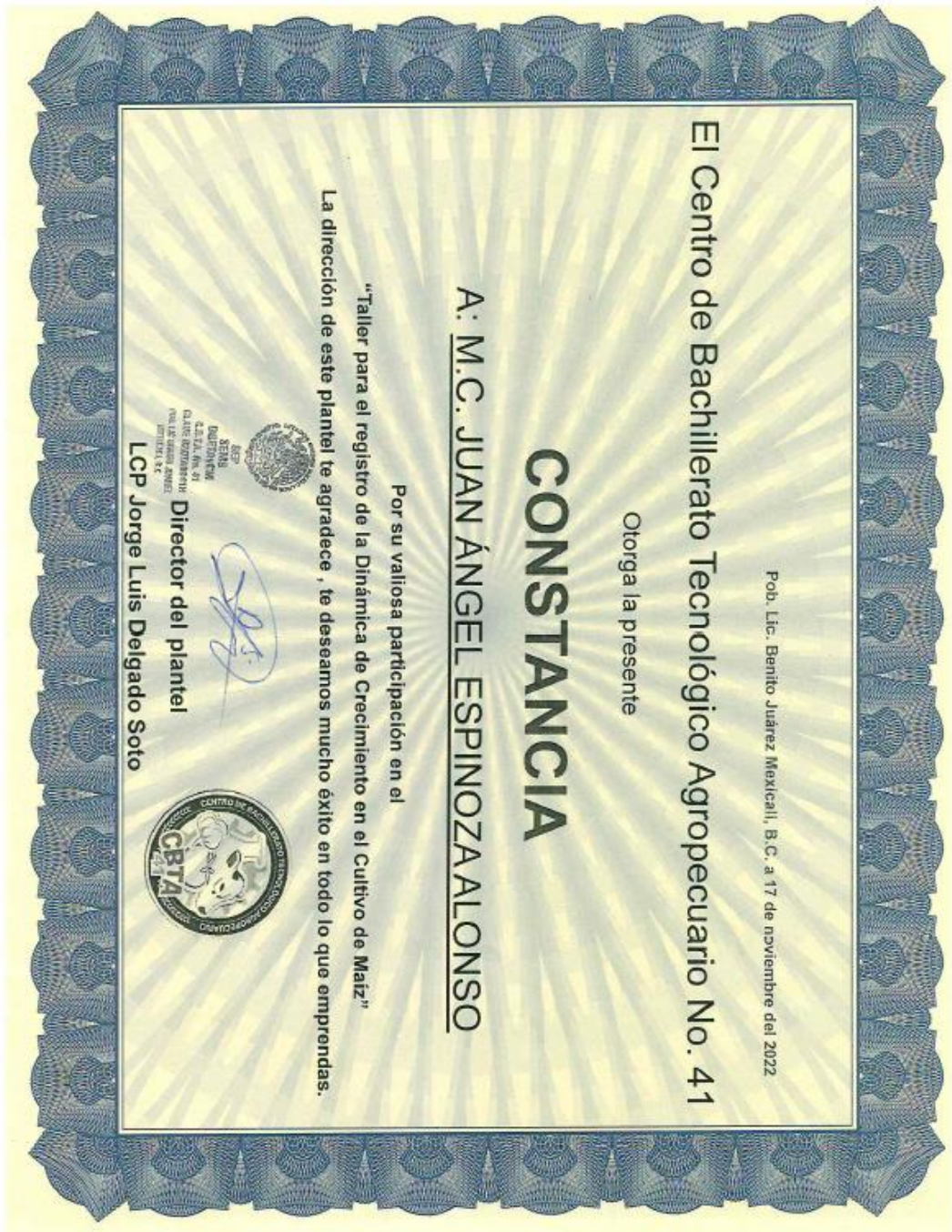
Por su participación como ponente **ORAL**, con el tema: **RESISTENCIA A FITOPATÓGENOS
MEDIADA CON MICORRIZAS ENDÓFITAS**


Dr. Daniel González Mendoza
Director del Instituto de Ciencias Agrícolas


Dr. Ricardo Torres Ramos
Presidente del XXVII Congreso Internacional en
Ciencias Agrícolas

Mexicali, Baja California, octubre de 2024
"Por la realización plena del ser"

Talleres, pláticas, transferencias de tecnología, concursos





Universidad Autónoma de Baja California
Coordinación General de Investigación y Posgrado
Programa del concurso Institucional SMT
Tecate, Baja California a 21 de agosto de 2025

Inauguración		
Hora	Actividad	Presente
10:00	Bienvenida	Dra. Dora Luz Flores Gutiérrez Coordinadora General de Investigación y Posgrado
10:10	Explicación de la dinámica de participación	MAP. Francisco Guzmán Aguirre Jefe del Departamento de Posgrado

Concurso		
Hora	Temas	Presente
10:30	Evaluación de la Agricultura de conservación en la producción del cultivo de trigo y mejora de suelos en el valle de Mexicali	Juan Angel Espinoza Alonso
10:35	Modelo de medición de los factores que inciden en la gestión de la Industria desde la conceptualización de las Innovaciones de la Industria Tradicional a la Industria 4.0	Luis Enrique Leyva Tapia
10:40	Tabla estandarizada para personas que practican ciclismo recreativo o competitivo en la ciudad de Mexicali: aplicación para reducir las lesiones y molestias de los ciclistas	Cristhian Emmanuel López Campos
10:45	Innovación tecnológica en la Industria automotriz en México: un análisis desde las economías de aglomeración	Angélica Guadalupe González López
10:50	Oxala Sensorial: Inclusión de Ambientes Terapéuticos de RV para Personas Neurodivergentes en Entornos Educativos	Valeria Guadalupe Díaz Ontiveros
10:55	Simulación de procesos y Machine Learning para la implementación de Lean Healthcare en servicios de salud	Ignacio Agustín Franco Alucano
11:00	Modelo Híbrido de gestión de calidad 4.0 y sustentabilidad en PyMEs por medio de Inteligencia Artificial	Diego Eduardo Caballero Ramírez
11:05	Efecto de un modelo de cuidado interdisciplinario con el uso de una aplicación móvil "Integral" vs. "convencional" sobre el estigma interortizado, el estilo de vida y el estado de salud de personas que viven con VIH	Cesar Quintero Miguel
11:10	Conectando Horizontes: Estrategia socioeducativa para la adaptación sociocultural y educativa de adolescencias en contextos de movilidad por Mexicali, B.C	Laura Marcela Rodríguez Benjumea

Pobl. Lic. Benito Juárez Mexicali, B.C. a 25 de mayo del 2023

El Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 41

Otorga la presente

CONSTANCIA

A: JUAN ÁNGEL ESPINOZA ALONSO

Por su valiosa participación y apoyo brindado en la practica de campo

“CULTIVO DE TRIGO” otorgada al grupo 4to A Agrícola.



SEP
DTEG
DTEG
DTEG
C.B.T.A. No. 41
CENRO DE BACHILLERATO
TECNOLÓGICO AGROPECUARIO
MEXICALI, B.C.

LCP Jorge Luis Delgado Soto
Director del plantel



Pub. Lic. Benito Juárez, Mexicali, B. C. a 24 de mayo del 2023

El Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 41

Otorga la presente

CONSTANCIA

A: JUAN ÁNGEL ESPINOZA ALONSO

Por su valiosa participación y apoyo brindado en la platica " Plataforma de Agricultura de Conservación y Toma de Variables de Rendimiento del Cultivo de Trigo" otorgada al grupo 4to A Agrícola.



LCP Jorge Luis Delgado Soto
Director del plantel



Programa de radio UABC “Agricultura de conservación en la producción del cultivo de trigo y mejora de suelos en el valle de Mexicali”

<https://radio.uabc.mx/agricultura-y-ciencia/agricultura-de-conservacion-en-la-produccion-del-cultivo-de-trigo-y-mejora-de>

