



Avances en Agricultura Sustentable

Resultados de plataformas
de investigación
de los Hubs Valles Altos
y Pacífico Centro,
México, 2012-2021

 **CIMMYT** 


CGIAR



AVANCES EN AGRICULTURA SUSTENTABLE
Resultados de plataformas de investigación
de los Hubs Valles Altos
y Pacífico Centro, México, 2012-2021



Autores

Jessica J. González Regalado
Simon Fonteyne
Nele Verhulst

Revisión técnica

Ana Rosa García
Gerardo Lara
Pablo Maya
Francisco López
Raúl Torres Flores

Editores

Gabriela Morales Barrientos
Fernando Morales Garcilazo

Diseño y diagramación editorial

Mayra Katy Servín Meza

Cita correcta: González, J., Fonteyne, S., y Verhulst, N. (2023) *Avances en Agricultura Sustentable. Resultados de plataformas de investigación de los Hubs Valles Altos y Pacífico Centro, México, 2012-2021.* México: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.

ISBN: 978-607-8263-88-2

© Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), 2023. Todos los derechos reservados. Las designaciones empleadas en la presentación de los materiales incluidos en este documento de ninguna manera expresan la opinión del CIMMYT o de sus patrocinadores respecto al estado legal de cualquier país, territorio, ciudad o zona, o de las autoridades de estos, o respecto a la delimitación de sus fronteras. Las opiniones expresadas son las del (los) autor(es) y no necesariamente representan las del CIMMYT ni las de nuestros aliados. El CIMMYT autoriza el uso razonable de este material, siempre y cuando se cite la fuente. La información contenida en la publicación: *Avances en Agricultura Sustentable. Resultados de plataformas de investigación de los Hubs Valles Altos y Pacífico Centro, México, 2012-2021*, se deriva de las actividades realizadas en las plataformas como parte de las acciones de los programas: Cultivos para México y Excellence in Agronomy.



CIMMYT

Director General
Bram Govaerts

Directora del Programa de Sistemas
Agroalimentarios Sustentables
Sieglinde Snapp

Coordinadora de Ciencia de Sistemas
de Cultivos
Nele Verhulst

Coordinador de Investigación Agronómica
Simon Fonteyne

Gerente de Divulgación
Georgina Mena

Coordinador de Comunicación
Francisco Alarcón

Gerente de Hub Valles Altos Maíz
Tania Alejandra Casaya Rodríguez
y José Guadalupe Flores Garza

Gerente de Hub Pacífico Centro
Eliud Pérez Medél y José Guadalupe
Flores Garza

Coordinadora de Investigación para Hubs
Valles Altos y Pacífico Centro
Jessica Jazmín González Regalado

Tabla de Contenido

Introducción	9
Texcoco I, Estado de México	10
Metepc, Estado de México	22
Texcoco II, Estado de México	31
Cuautempan, Puebla	40
Molcaxac, Puebla	49
Francisco I. Madero, Hidalgo	57
Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo	66
Huichapan, Hidalgo	86
Tlaltizapán, Morelos	93
Zacatepec, Morelos	98
Iguala, Guerrero	107
Dinámica ecológica de comunidades de malezas y su manejo en agricultura de conservación y agricultura convencional en los Valles Altos de México	118
Referencias	147



INTRODUCCIÓN

El maíz junto con el trigo y el arroz son los cereales más producidos en el mundo y contribuyen especialmente a la autosuficiencia alimentaria de las familias (FAO, 2022). Los Hubs Valles Altos y Pacífico Centro son regiones conformadas por el Estado de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Morelos y Guerrero en el centro sur y oriente de la República Mexicana, estas regiones son de importancia por la domesticación y diversificación del maíz debido a la presencia de sus parientes silvestres y a la adaptación y selección ciclo tras ciclo por los agricultores a las condiciones agroecológicas de estas regiones; desde los climas templados a semi fríos en los Valles Altos hasta los tropicales y subtropicales en Pacífico Centro. Por lo tanto, preservar la riqueza genética de este cultivo y fortalecer los sistemas de producción es de vital importancia.

La agricultura en la región se hace a través de productores pequeños y medianos en superficie de pequeña propiedad o ejidos que debido a fortalezas agroclimáticas producen una gran variedad de productos agrícolas como granos, hortalizas y frutas en condiciones de riego, pero especialmente en temporal. El maíz es el cultivo principal y en el contexto de pequeños productores se puede cultivar en rotación con frijol, haba, chícharo y otros granos (trigo, avena, cebada, triticale) o asociado con especies de frijol, chile serrano, arvejón, ebo, calabaza, y una amplia variedad de quelites. Las actividades agrícolas se realizan esencialmente de forma manual o con tracción animal con la participación familiar y contrato de jornales para actividades específicas como la preparación del terreno, siembra, deshierbe y cosecha. Los rendimientos de maíz en condiciones de secano normalmente son bajos de menos de una tonelada a 3.5 t/ha debido a temporales irregulares y escasos en etapas fisiológicas críticas del cultivo de maíz, además de la baja fertilidad del suelo, eventos de granizo y heladas. Por lo tanto, la producción de maíz no representa el ingreso principal de las familias, pero si se usa para el autoconsumo como un componente necesario

en los hogares marginados o por la preferencia de las familias para complementar su dieta o alimento para sus animales.

En contraste los medianos productores producen maíz bajo condiciones de riego con excedentes o para la comercialización y pueden alcanzar rendimientos de 7 a 10 t/ha. El sistema es tecnificado donde se usan insumos como semilla mejorada, insecticidas, herbicidas, fungicidas, fertilizantes y maquinaria que es suministrada por proveedores locales. Los problemas son los altos costos de producción por insumos y el monocultivo año tras año, lo que ha generado un incremento de problemas de plagas y enfermedades.

Existe entonces una compleja problemática para resolver que ningún científico ni organización puede realizar de forma aislada. Por esto, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) inició en 2011 la red de plataformas de investigación en los nodos de innovación de Valles Altos y Pacífico Centro. Esta edición presenta los resultados de la red de plataformas en el Hub Valles Altos Maíz y el Hub Pacífico Centro, resultado de la colaboración entre el CIMMYT; la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero (UPFIM), el Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico Valle del Mezquital (CIDT VM)—de la Sedagro—, el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan (ITESHU), La Unión Rural de Productores de Cuautempan y Tetela S. P. R. de R.L., el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario 305 de Molcaxac, Puebla y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Los lectores podrán encontrar en este libro los resultados de las plataformas con más tiempo de operación, en donde ya se han podido generar suficientes datos para sacar conclusiones basadas en evidencias sólidas. Esperamos que el libro pueda servir de inspiración a los productores y su red de actores para que sus actividades en el campo sean más productivas, rentables y sustentables.



Texcoco I, Estado de México

Nombre plataforma	Texcoco I, Estado de México
Colaboradores	Nele Verhulst, Fabián Enyanche
Institución	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)
Ubicación	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), El Batán, Lote D5: Km. 45, Carretera México-Veracruz, El Batán, Texcoco, Estado de México, C. P. 56130 Coordenadas: 19°31'46.83"N 98°51'9.81"O
Altitud	2298 metros sobre el nivel del mar (msnm)
Clima	Templado semiseco
Año de instalación	1999

La plataforma de investigación Texcoco I, Estado de México, se encuentra en la estación experimental del CIMMYT, en el municipio de Texcoco, en la región oriente del Estado de México. En este mismo municipio hay varias instituciones de enseñanza e investigación agrícola que brindan las bases del desarrollo científico y tecnológico de acuerdo con las necesidades de los sistemas de producción nacional; destacan el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), el Colegio de Posgraduados (COLPOS), la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

Desde 1990, el CIMMYT comenzó a trabajar con los principios de agricultura de conservación en México y en otras regiones del mundo —como el sur de Asia y África— para afrontar la crisis del cambio climático y sus efectos en los sistemas de producción de los pequeños y medianos productores, relacionados con los bajos rendimientos, pérdidas de cultivos y pocos ingresos por la comercialización de sus cosechas. Además de restaurar la pérdida y degradación de los suelos por efecto de las prácticas de laboreo convencional durante la preparación del terreno agrícola y poca contribución de materia orgánica por la venta o quema del rastrojo.

La plataforma de investigación Texcoco I, Estado de México, comenzó sus operaciones en 1991 con el propósito de evaluar diferentes prácticas agronómicas bajo condiciones de temporal —para asegurar el establecimiento de los cultivos en algunos años

se aplica un riego de emergencia por aspersion—. En ella se comparan los efectos de la agricultura convencional —basada en movimientos del suelo para la preparación del terreno, retiro de residuos y monocultivo— contra los tres componentes de la agricultura de conservación —mínima labranza, cobertura del suelo y diversificación de cultivos— en 32 diferentes combinaciones de los componentes.

Se implementan tres opciones de manejo de rastrojo; 1) dejar todo el rastrojo de los cultivos en la superficie de la parcela, 2) retirar todo el rastrojo y 3) dejar una parte de la planta como rastrojo para evaluar el impacto en el rendimiento y la posibilidad de aprovechamiento para la diversificación de su uso en la comercialización o alimento para ganado. Donde se deja todo el rastrojo de los cultivos el manejo depende del tipo de labranza; en el caso de labranza convencional se incorpora todo el residuo al efectuarse el laboreo, mientras que en las camas permanentes y cero labranza el rastrojo, cuando es de maíz, se acama y se mantiene en la superficie del suelo. También se tiene la remoción total del rastrojo de los cultivos y retención parcial —en el caso del trigo en todas las formas de labranza se dejan 25 cm de paja parada, mientras que en el caso del maíz se conserva la parte de abajo de la mazorca—.

Los tipos de labranza que se evalúan son: convencional, cero labranza y camas permanentes angostas (0.75 m) y anchas (1.50 m). El único movimiento que reciben las camas permanentes es al momento de la reformación de los fondos en cada ciclo, dejando intacta la superficie a sembrar. En la



labranza convencional, en cambio, después de la cosecha se hace un paso con cincel hasta 30 cm, dos pasos con la rastra hasta 20 cm, dos pasos con la 'danesa' hasta 10 cm —para fracturar terrones del suelo y nivelar el terreno— y en mayo antes de la siembra se repiten las operaciones, pero solo se hace un paso con la 'danesa'.

En esta plataforma se han establecido monocultivos de trigo y maíz, rotaciones de maíz-trigo o bien,

alternados con cultivos como frijol, cebada y triticale. Además, en el diseño de la plataforma se consideraron las principales limitantes del rendimiento de maíz y trigo.

Entre los temas más relevantes para investigar se encuentran: rendimientos bajos y poco estables de maíz y trigo debido al temporal irregular y errático, altos costos de producción, y suelos poco fértiles y degradados.

■ **Cuadro 1:** Características del sistema de producción en torno a la plataforma Texcoco I, Estado de México.

Condiciones agroecológicas	Características sistema de producción	Manejo agronómico	Aspectos socioeconómicos
Clima: Templado semiseco	Producción agrícola mecanizada	Labranza: convencional (rastra, barbecho y surcado)	Pequeña parcela ejidal, comunal (1.5–3.0 ha) y arrendamiento de tierras para la agricultura
Temperatura 10–16.2 °C	Siembras en valles y planicies	Fertilización: química	Producción: venta local
Precipitación anual: 703 mm	Régimen hídrico de temporal (90%) y riego (10%)	Manejo de malezas: químico	Mano de obra por contrato de jornales
Suelo: feozem háplico	Cultivo primario maíz (60%) y grano pequeño (cebada, avena, trigo y alfalfa)	Manejo de plagas: químico	Actividad pecuaria comercial de ganado caprino y bovino
Vegetación: agrícola y pastizales	Siembra en monocultivo		
	Uso de semilla mejorada		



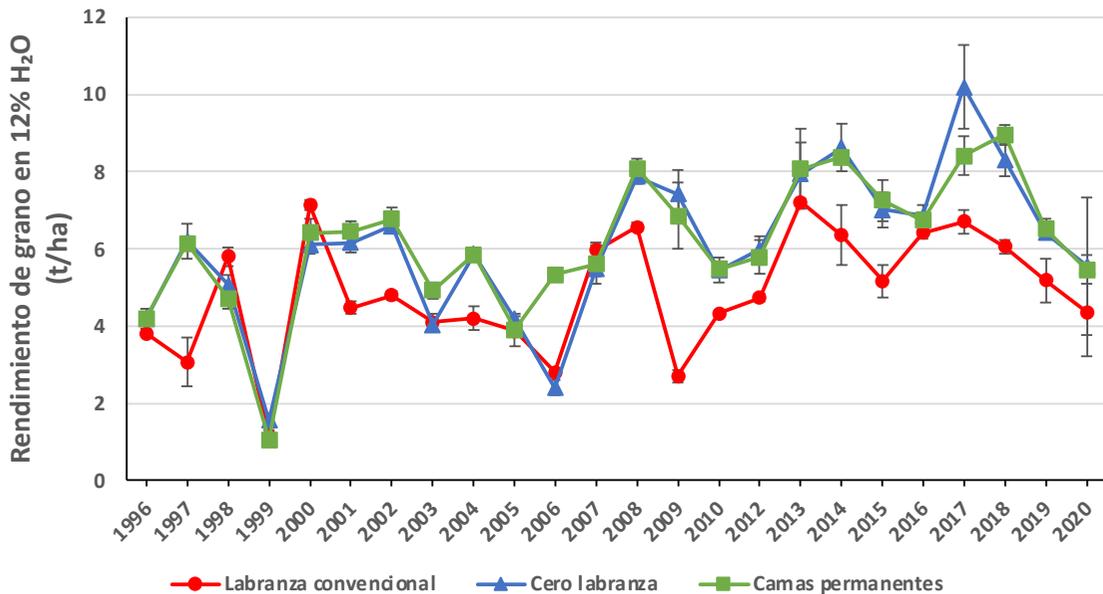
Resultados y aprendizajes

En este capítulo se presentan los resultados del rendimiento de maíz y trigo evaluados en los tratamientos de la plataforma Texcoco I, Estado de México. En 2011 por afectación de helada los rendimientos fueron bajos en todos los tratamientos con maíz por tal motivo no se consideran en este análisis de resultados.

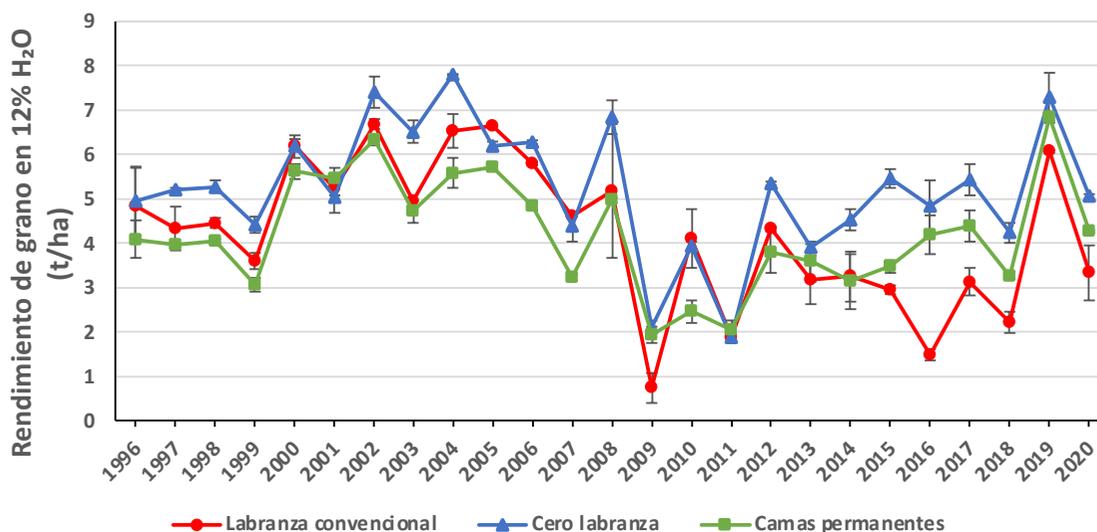
Labranza

El rendimiento promedio de maíz, entre 1996 y 2020, fue mayor en los tratamientos de camas permanentes y cero labranza (6.1 t/ha) que en el tratamiento con labranza convencional (4.9 t/ha) en rotación con maíz y con todos los residuos de cosecha sobre la superficie del terreno (figura 1).

En el mismo periodo, el rendimiento promedio de trigo fue mayor en el tratamiento con cero labranza (5.2 t/ha) que en los tratamientos de camas permanentes y labranza convencional (4.2 t/ha) (figura 2) en rotación con maíz y con todos los residuos de cosecha sobre la superficie del terreno. Cabe mencionar que el trigo en los Valles Altos no macolla mucho y no cierra el espacio entre camas (cuatro hileras en 1.5 m contra ocho hileras en 1.6 m en plano), de ahí el menor rendimiento. Además, el costo de producción por la preparación del terreno en cero labranza fue de 2,200 MXN/ha menor al evitar dos pasos de rastra y la fracturación de terrenos realizados con la labranza convencional.



■ **Figura 1.** Efecto de labranza sobre el rendimiento de maíz en rotación con trigo y todos los residuos de cosecha en la superficie del terreno a través de los años 1996 al 2020, en la plataforma Texcoco I, Estado de México.



■ **Figura 2.** Efecto de labranza sobre el rendimiento de trigo en rotación con maíz y todos los residuos de cosecha en la superficie del terreno a través de los años 1996 al 2020, en la plataforma Texcoco I, Estado de México.

Residuos de cosecha

Con cero labranza, el rendimiento promedio del grano de maíz en rotación con trigo fue similar entre los tratamientos donde se dejaron parcialmente los residuos —6.3 t/ha al remover por arriba de los 25 cm de la pata los residuos de trigo y conservar maíz solo por debajo de la mazorca, y 6.1 t/ha al remover por arriba de los 25 cm de la pata los residuos de trigo y conservar toda la planta seca de maíz— y donde se conservaron todos los residuos en el terreno después de la cosecha (6.2 t/ha) y menor donde se removieron todos los residuos (4.6 t/ha) (figura 3).

Con labranza convencional, el rendimiento promedio del grano de maíz en rotación con trigo fue similar donde se incorporaron al terreno todos los residuos de cosecha durante los movimientos de suelo (5.0 t/ha) y donde se removieron todos los residuos de la parcela después de la cosecha (4.7 t/ha) (figura 4). Sin embargo, en ciclos con fuertes eventos de sequía, como en 2019 después de 30 años de evaluación, se aprecia mayor rendimiento al incorporar el rastrojo (5.1 t/ha) que al removerlo de la parcela (2.4 t/ha) (figura 4).

Con cero labranza el rendimiento promedio del grano de trigo en rotación con maíz fue mayor en el tratamiento donde se conservaron todos los resid-

uos en la superficie del terreno (5.4 t/ha) y menor donde se removieron todos los residuos después de la cosecha (3.6 t/ha) (figura 5). Remover parcialmente los residuos de trigo (dejar 25 cm por debajo de la pata de trigo) y conservar maíz solo por debajo de la mazorca tuvo un rendimiento de 4.8 t/ha y remover parcialmente los residuos de trigo (dejar 25 cm por debajo de la pata de trigo) y conservar todos los residuos de maíz tuvo un rendimiento de 4.5 t/ha (figura 5).

Con labranza convencional, entre 1997 y 2020, el rendimiento promedio de trigo fue mayor donde se incorporaron al terreno todos los residuos de cosecha durante los movimientos de suelo (4.4 t/ha) y menor donde se removieron de la parcela después de la cosecha (3.7 t/ha) en rotación con maíz (figura 6).

Estos resultados muestran que los productores tendrían una mejor rentabilidad con cero labranza y el aprovechamiento parcial del rastrojo debido a un mayor rendimiento, ingresos por la venta parcial del rastrojo y menores costos de producción durante la preparación del terreno. Con labranza convencional, el valor del grano que se cosecha, más la incorporación de los residuos no es suficiente para compensar el valor del rastrojo.

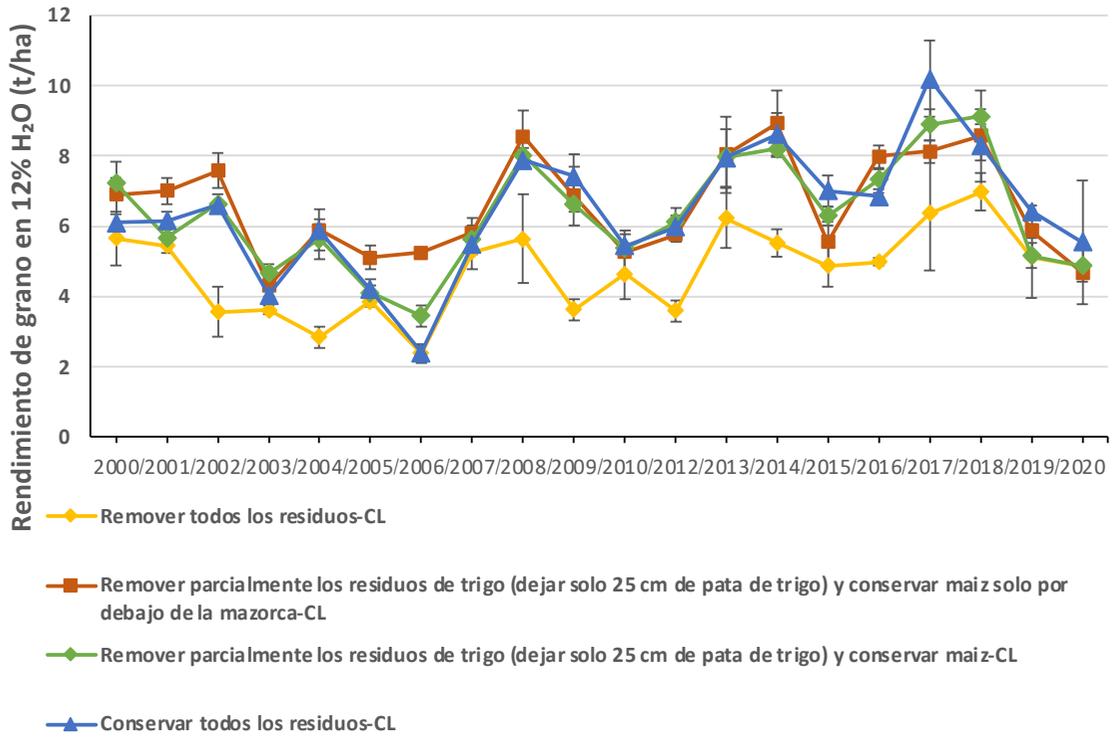


Figura 3. Efecto de rastrojo sobre el rendimiento de maíz en rotación con trigo cultivado en cero labranza (CL) a través de los años 2000 al 2020, en la plataforma Texcoco I, Estado de México.

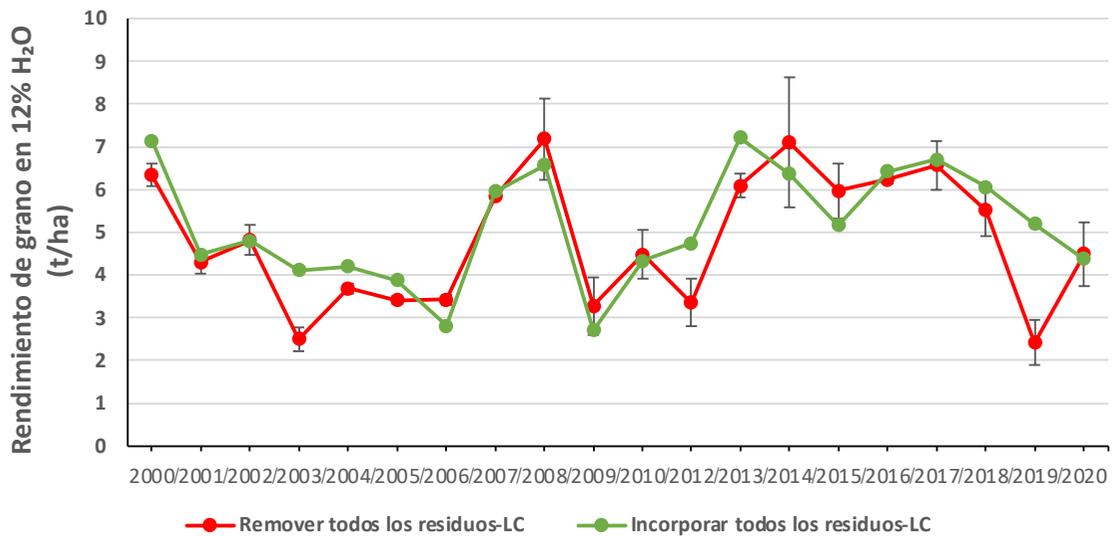


Figura 4. Efecto de rastrojo sobre el rendimiento de maíz en rotación con trigo cultivado en labranza convencional (LC) a través de los años 2000 al 2020, en la plataforma Texcoco I, Estado de México.

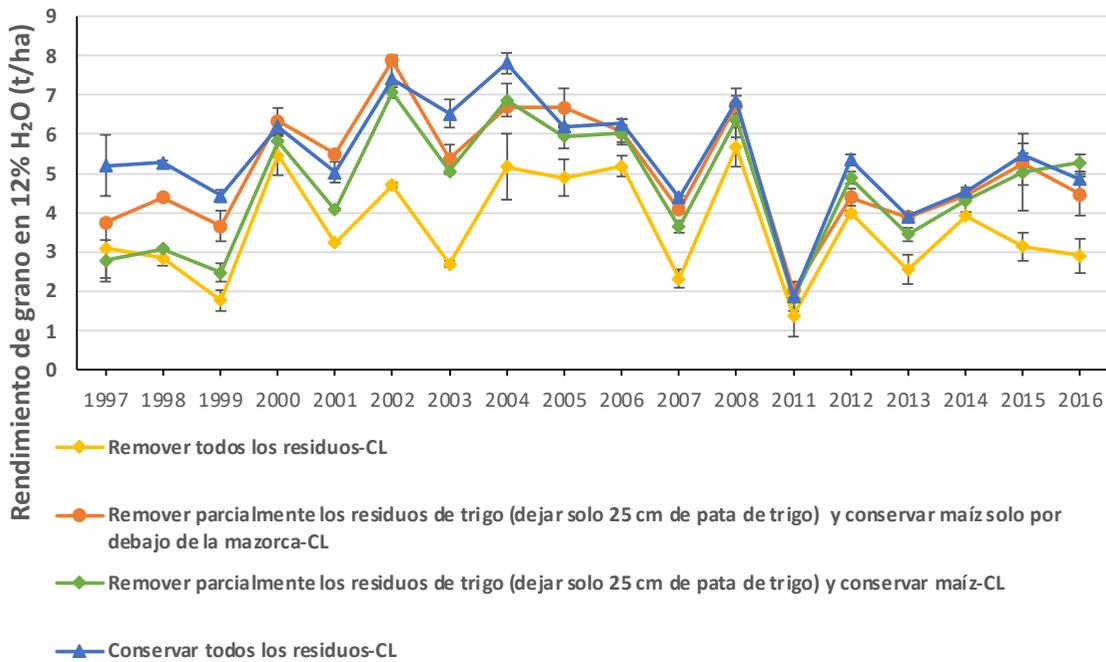


Figura 5. Efecto de rastrojo sobre el rendimiento de trigo en rotación con maíz cultivado en cero labranza (CL) a través de los años 1997 al 2016, en la plataforma Texcoco I, Estado de México.

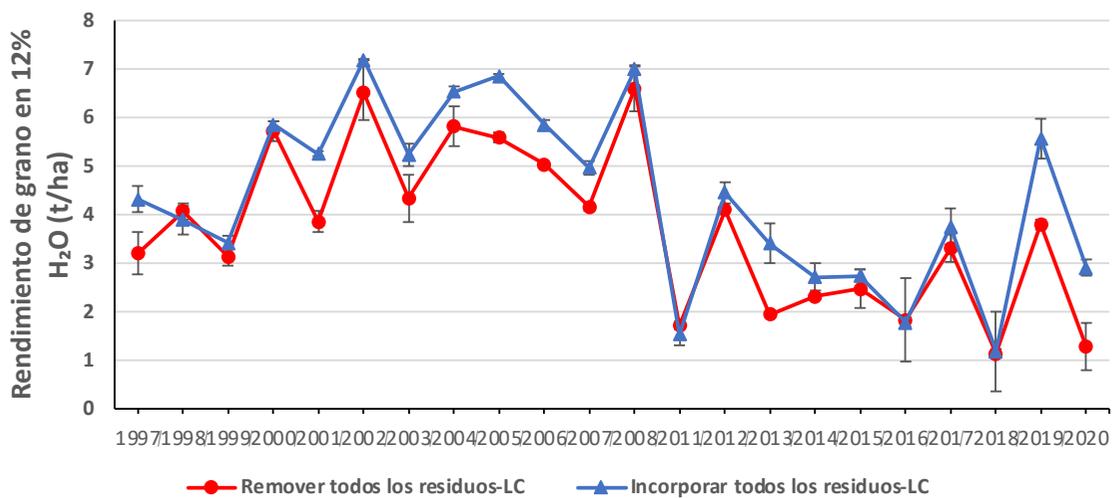


Figura 6. Efecto del manejo de rastrojo sobre el rendimiento de trigo en rotación con maíz cultivado en labranza convencional (LC) a través de los años 1997 al 2020, en la plataforma Texcoco I, Estado de México.



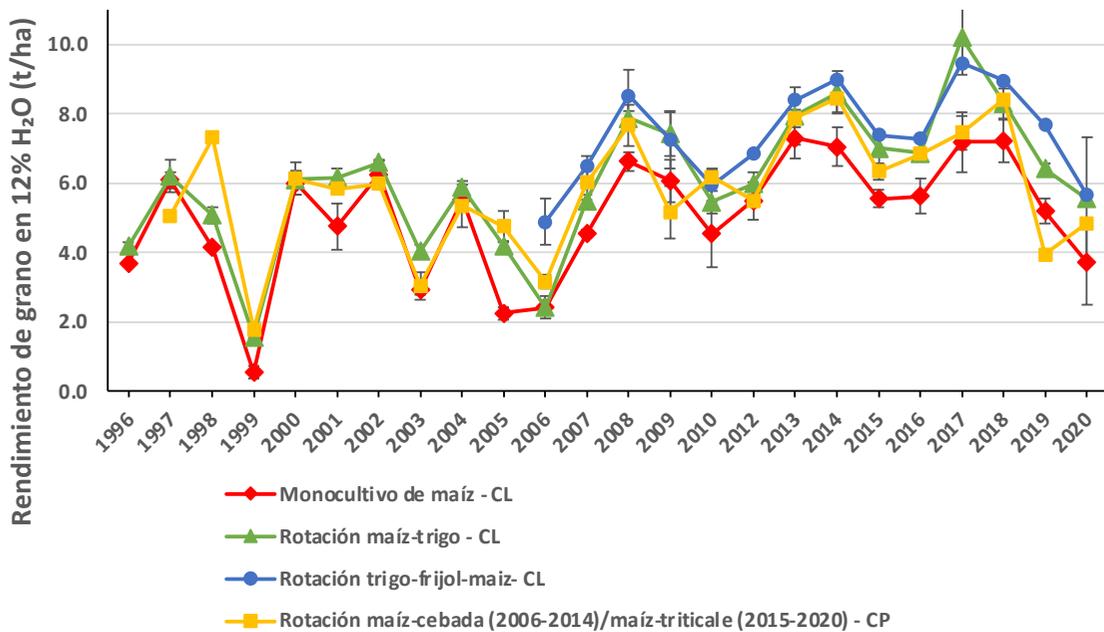
Rotación

Entre 2006 y 2020 el rendimiento promedio del maíz fue mayor en el tratamiento de rotación anual maíz-frijol-trigo (7.4 t/ha) y menor en el tratamiento de monocultivo de maíz (5.0 t/ha) (figura 7). El tratamiento de rotación anual maíz-trigo con cero labranza y retención de todos los residuos de cosecha en el terreno tuvo un rendimiento intermedio (6.1 t/ha).

De 1996 a 2014 y de 2015 a 2020, respectivamente, el rendimiento promedio del maíz fue de 6.3 t/ha al rotarlo con cebada o triticale en camas permanentes y dejando parcialmente el rastrojo (retirar la planta de maíz hasta debajo de la mazorca, cosechar cebada y retirar triticale para forraje) (figura 7). En algunos años el rendimiento de maíz en rotación

con triticale fue un poco más bajo, especialmente en años con estrés hídrico porque al retirar el triticale como forraje no deja mucho rastrojo en comparación con los otros tratamientos (figura 7).

El rendimiento de trigo no tuvo una tendencia clara por un tratamiento. El rendimiento promedio de 2001 a 2020 fue similar entre la rotación trigo-maíz, el monocultivo de trigo y la rotación trigo-frijol-maíz con cero labranza y los residuos de cosecha sobre la superficie del terreno (5.5 t/ha, 5.2 t/ha y 5.2 t/ha, respectivamente) (figura 8). Por su parte, el trigo en rotación con frijol en camas permanentes tuvo el rendimiento más bajo (4.1 t/ha) debido a la menor cantidad de rastrojo y mayor estrés hídrico durante los ciclos con sequía (figura 8).



■ **Figura 7.** Efecto de rotación sobre el rendimiento de maíz en cero labranza (CL), camas permanentes (CP) y todos los residuos de cosecha en la superficie del terreno a través de los años 1996 al 2020, en la plataforma Texcoco I, Estado de México.

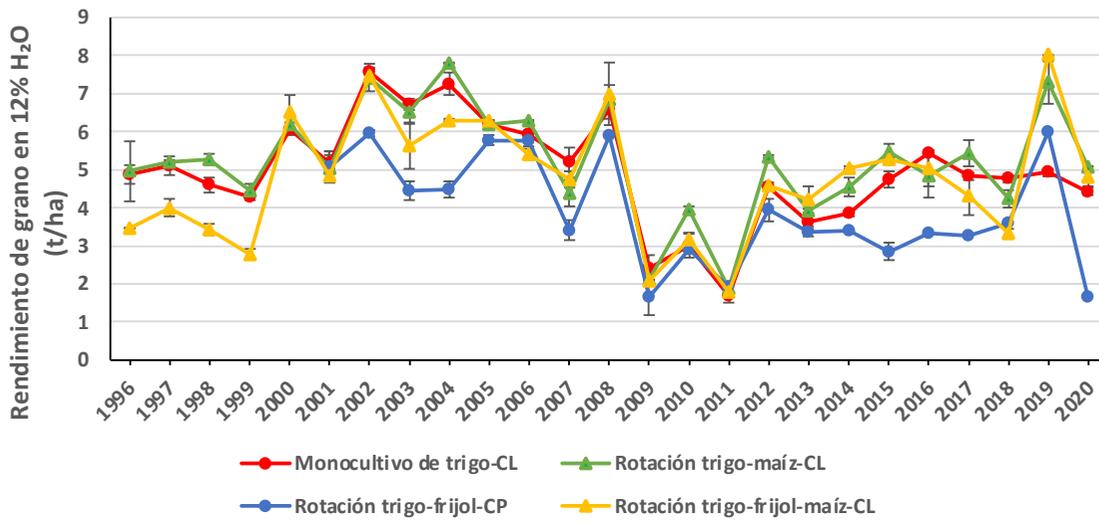


Figura 8. Efecto de rotación sobre el rendimiento de trigo en cero labranza (CL), camas permanentes (CP) y todos los residuos de cosecha en la superficie del terreno a través de los años 1996 al 2020, en la plataforma Texcoco I, Estado de México.

El rendimiento del frijol fue similar al cultivarlo en rotación anual con trigo y maíz con cero labranza y el rastrojo sobre la superficie del terreno (2.0 t/ha) que al cultivarlo en rotación anual con trigo en camas permanentes angostas (más diques para trigo) y con el rastrojo en la superficie del terreno (1.8 t/ha) (figura 9).

Entre 2010 y 2014 se sembró Flor de mayo y mostró en este periodo un menor potencial de rendimiento en comparación con Pinto saltillo en los siguientes años (2015-2020) cuando tuvo un mayor rendimiento en el tratamiento de rotación anual con trigo y maíz sembrado con cero labranza y con el rastrojo sobre la superficie del terreno.

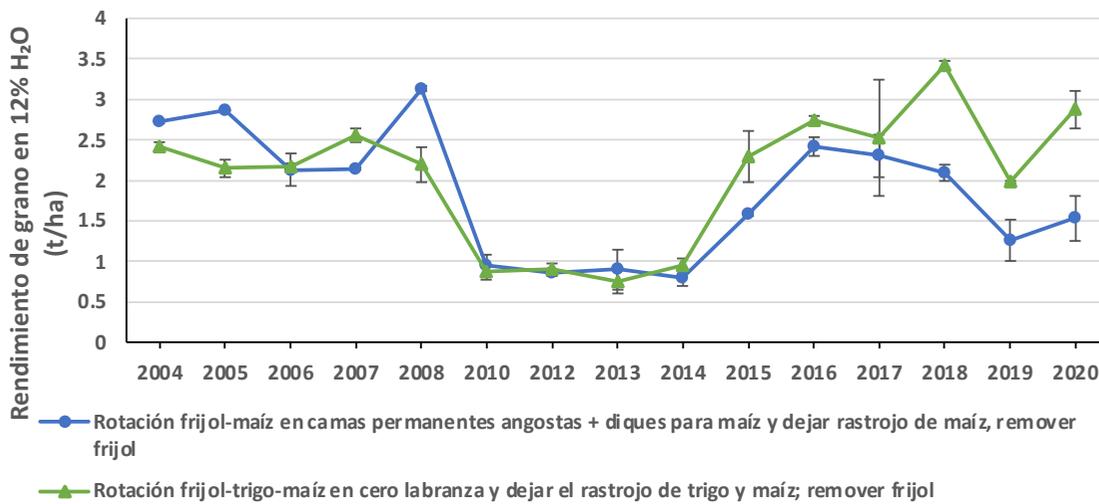


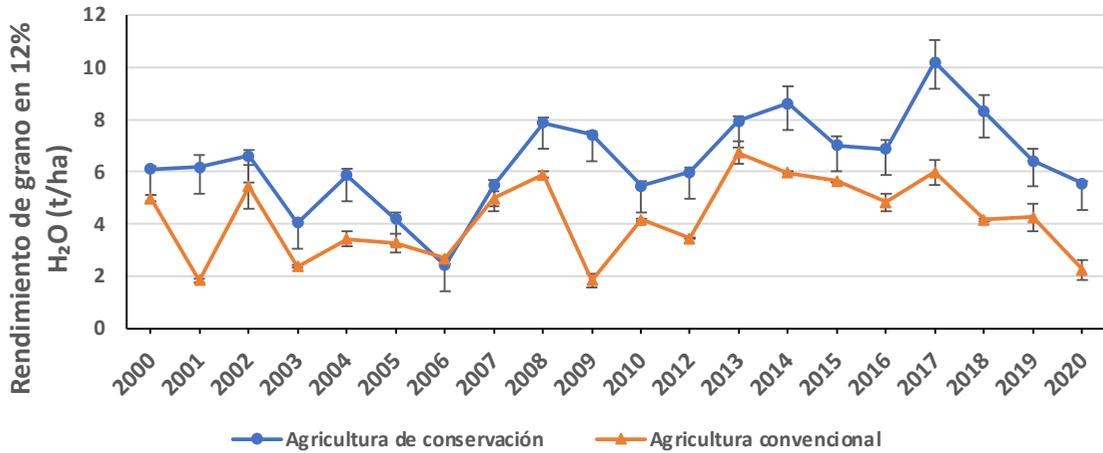
Figura 9. Rendimiento de frijol en rotación cultivado en cero labranza y camas permanentes, manejo de residuos y formación de diques a través de los años 2004 al 2020, en la plataforma Texcoco I, Estado de México.



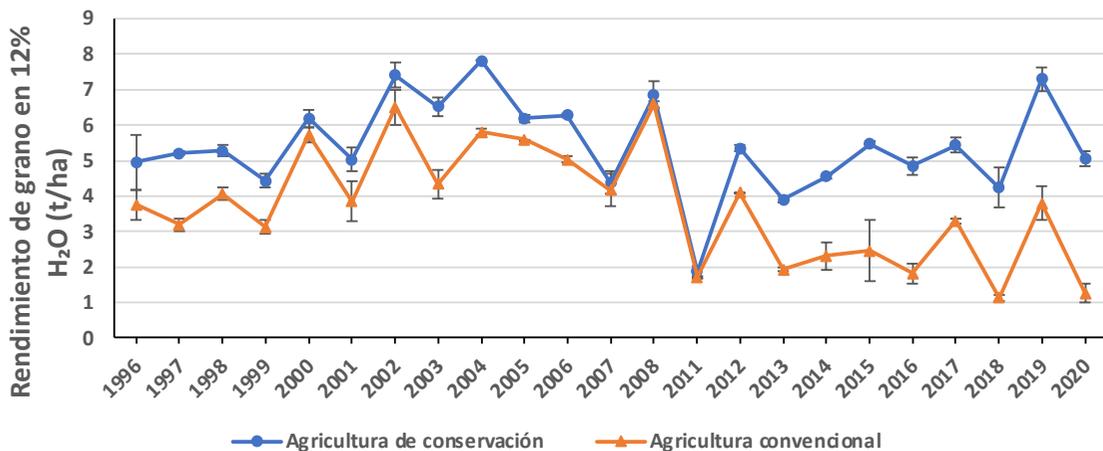
Agricultura de conservación

Comparando la interacción de los tres componentes de la agricultura de conservación —rotación maíz-trigo, cero labranza y dejar todo el rastrojo en el terreno— con el sistema convencional —monocultivo, preparación de suelo con rastra-fracturación de terrones y retirar el residuo de la cosecha—,

el rendimiento promedio de maíz y trigo fue mayor con agricultura de conservación (6.1 t/ha y 5.4 t/ha respectivamente) y menor con labranza convencional (4.0 t/ha y 3.7 t/ha respectivamente) del 2000 al 2020 en el caso del maíz (figura 10) y de 1996 al 2020 en el caso del trigo (figura 11).



■ **Figura 10.** Rendimiento de maíz en agricultura de conservación (rotación con trigo, cobertura en el terreno y cero labranza) y labranza convencional (monocultivo, movimiento de suelo y sin cobertura en el terreno) a través de los años 2000 al 2020, en la plataforma Texcoco I, Estado de México.



■ **Figura 11.** Rendimiento de trigo en agricultura de conservación (rotación con maíz, cobertura en el terreno y cero labranza) y labranza convencional (monocultivo, movimiento de suelo y sin cobertura en el terreno) a través de los años 1996 al 2020, en la plataforma Texcoco I, Estado de México.



■ **Figura 12.** Cultivo de maíz sembrado en dos sistemas de labranza (izquierda: labranza convencional —remoción de residuos y monocultivo—; derecha: agricultura de conservación —rotación maíz-trigo y retención de residuos—) en el ciclo primavera-verano 2018, en la plataforma Texcoco I, Estado de México.

En la región de Texcoco, en la mayoría de los años hay sequías durante el ciclo de cultivo. Para mejorar la producción es necesario encontrar sistemas que permitan que el agua se infiltre más rápido y pueda permanecer más tiempo en el suelo. La agricultura de conservación promueve el incremento de materia orgánica que mejora la estructura del suelo y guarda agua. Además, al evitar la labranza se mantienen los poros intactos, esto favorece una mejor infiltración del agua en el suelo para ser usada por los cultivos, reduciendo el estrés hídrico durante los periodos de sequía y resultando en rendimientos más altos y estables (figura 12).

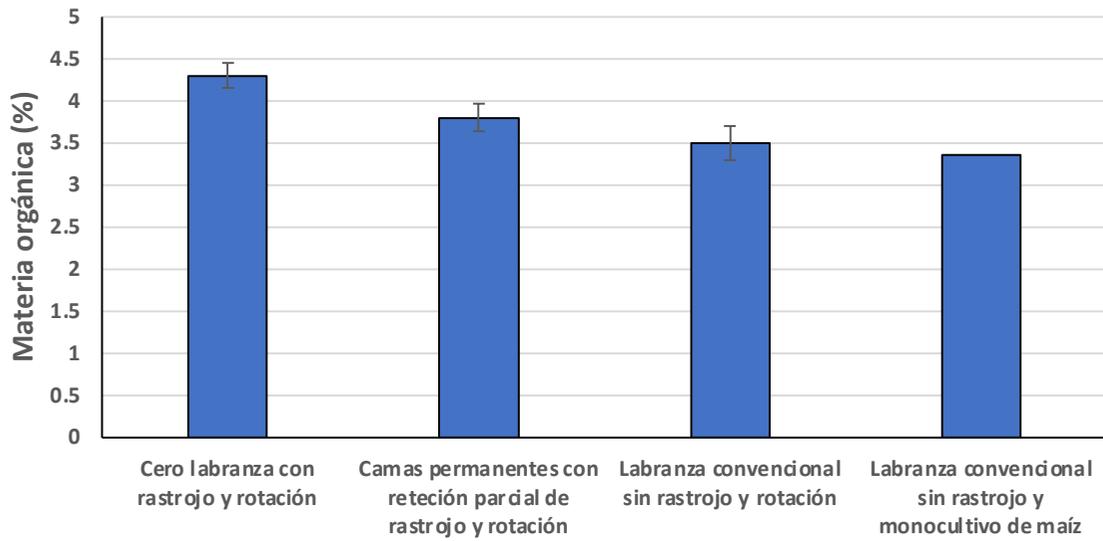
La materia orgánica fue mayor con cero labranza, dejando todos los residuos de cosecha y con rotación de maíz y trigo (4.3%), y menor con labranza convencional, tanto con monocultivo de maíz (3.4%), como en rotación maíz-trigo (3.5%). Las camas permanentes con retención parcial de rastrojo (remover los residuos de trigo y conservar los residuos de maíz solo por debajo de la mazorca) registró 3.8% de materia orgánica (figura 13).

La tasa de infiltración saturada después del cultivo de maíz fue mayor con cero labranza con rastrojo (40.2 cm/h) que con labranza convencional (26.2

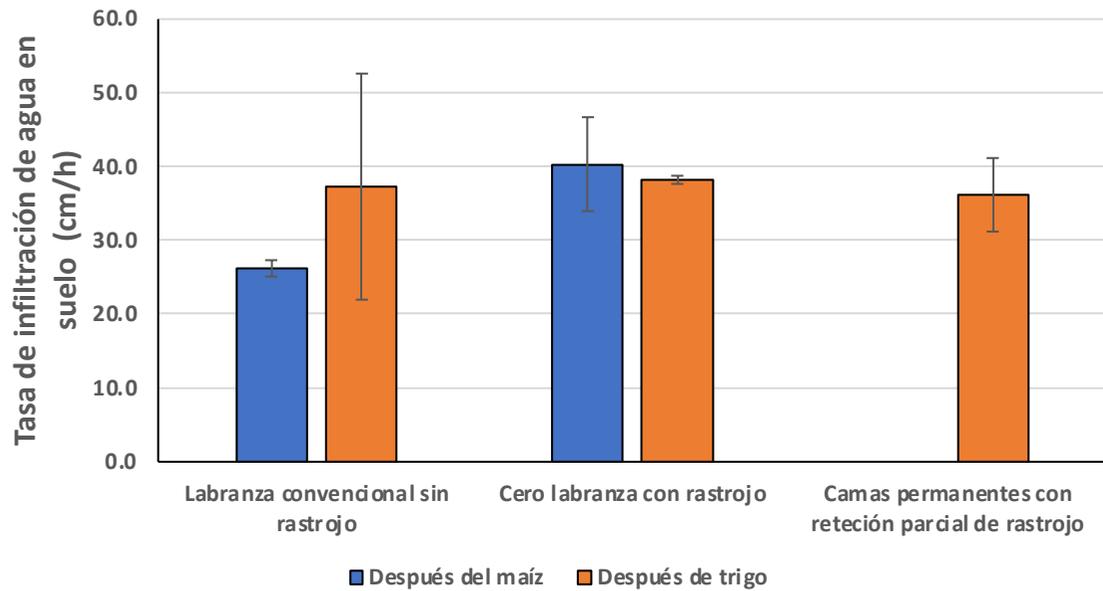
cm/h) (figura 14). En el caso del trigo, esta fue mayor con cero labranza con rastrojo (38.2 cm/h) y menor en camas permanentes con rastrojo de manera parcial (36.1 cm/h). En labranza convencional tuvo un valor similar al registrado en cero labranza (37.3 cm/h).

Usar los tres componentes de la agricultura de conservación —labranza cero, rotación y cobertura de suelo— también propicia un hábitat favorable para regular los organismos que habitan en el sistema: en estudios realizados en esta plataforma de investigación se observó que los residuos que permanecen en la superficie del suelo pueden influir en la dinámica de la comunidad de artrópodos que, a su vez, actúan como organismos depredadores de insectos plaga (Rivers et al., 2016).

También se confirmó que, mientras mayor es el periodo de tiempo usando agricultura de conservación con un buen manejo de malezas, menor es la densidad y biomasa de malezas que con labranza convencional (Fonteyne et al., 2020). Estos resultados derivan en manejos agroecológicos que regulan la disminución de plagas y pueden resultar en menor uso de insumos químicos.



■ **Figura 13.** Materia orgánica en la capa de 0-30 cm de profundidad en tres sistemas de labranza con rotación de cultivos (maíz-trigo), monocultivo de maíz y manejo de rastrojo en la superficie del terreno, en la plataforma Texcoco I, Estado de México, en 2018.



■ **Figura 14.** Tasa de infiltración de agua en el suelo en tres sistemas de labranza con rotación de cultivos (maíz-trigo) y manejo de rastrojo en la superficie del terreno en la plataforma Texcoco I, Estado de México, en 2018.



Conclusión

Limitante	Propuesta	Resultados
Rendimientos de maíz y trigo bajos y poco estables debido al temporal irregular y errático	Agricultura de conservación: cero labranza, camas permanentes, manejo de residuos de cosecha (dejar todo el rastrojo o de forma parcial) y rotación de cultivos	En la plataforma se registra un mayor rendimiento de maíz en camas permanentes y cero labranza con rastrojo (6.0 y 5.9 t/ha) en comparación con la labranza convencional con rastrojo (4.8 t/ha).
		Se observa un mayor rendimiento de trigo con cero labranza con rastrojo (5.2 t/ha) que en camas permanentes y labranza convencional con rastrojo (4.2 t/ha).
		Con cero labranza el rendimiento de maíz fue similar dejando parcialmente los residuos (entre 6.3 y 6.1 t/ha) o conservándolos (6.2 t/ha).
		Con labranza convencional se registró mayor rendimiento de maíz al incorporar todos los residuos (4.3 t/ha) que donde se removieron (4.0 t/ha).
		Con cero labranza hubo mayor rendimiento de trigo donde se conservaron todos los residuos en la superficie del terreno (5.2 t/ha) que donde se dejaron de forma intermedia o parcialmente (4.8 a 4.5 t/ha).
		Se observa un mayor rendimiento de maíz en rotación anual maíz-frijol-trigo (7.0 t/ha) que con monocultivo de maíz (4.8 t/ha). El rendimiento de la rotación maíz-trigo fue de 5.9 t/ha, el de maíz-cebada fue de 5.4 t/ha, y el de maíz triticales de 6.3 t/ha.
Altos costos de producción		El rendimiento del trigo fue similar entre la rotación trigo-maíz y el monocultivo (5.2 t/ha y 5.0 t/ha respectivamente). El de la rotación trigo-frijol-maíz fue de 4.8 t/ha, y el de la rotación anual de trigo y frijol fue de 3.9 t/ha.
		Se registra un mayor rendimiento de maíz y trigo con agricultura de conservación —rotación, dejar residuos y cero labranza— (5.9 t/ha y 5.2 t/ha, respectivamente) que en labranza convencional —monocultivo, retirar residuos y movimiento de suelo— (3.9 t/ha y 3.6 t/ha, respectivamente).
Suelos poco fértiles y degradados		El costo por la preparación del terreno con cero labranza fue de 2,200 MXN/ha menor que en la labranza convencional.
		El productor puede aprovechar la venta de parte del rastrojo con cero labranza sin que afecte el rendimiento del cultivo de maíz.
		La materia orgánica fue mayor con cero labranza dejando todos los residuos de cosecha y con rotación maíz-trigo (4.3%) y menor con labranza convencional tanto con monocultivo de maíz (3.4%) como en rotación maíz-trigo (3.5%) y sin residuos.



Metepec, Estado de México

Nombre plataforma	Metepec, Estado de México
Colaboradores	Nele Verhulst, Fabián Enyanche
Institución	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)
Ubicación	Calle Hidalgo s/n, Col. San Sebastián, Metepec, Estado de México, C. P. 52140. Coordenadas 19°13'37.64" N, 99°33'1.83" O
Altitud	2 640 metros sobre el nivel del mar (msnm)
Clima	Templado subhúmedo
Año de instalación	2014

Introducción

La plataforma de investigación está en la estación experimental del CIMMYT en el Valle de Toluca, al poniente del Estado de México. En esta región el principal cultivo producido es el maíz, del que anualmente se siembra en temporal una superficie de 80,700 hectáreas con un rendimiento promedio de 3.9 toneladas por hectárea (t/ha) (SIAP, 2021). El rendimiento, sin embargo, se limita por la presencia de heladas y el acame del cultivo debido a fuertes vientos y granizadas durante el periodo de lluvias.

En la región donde se encuentra la plataforma hay presencia de teocintle —los parientes silvestres del maíz (CONABIO, 2022)— considerado actualmente un tipo de maleza que reduce los rendimientos y es difícil de controlar por ser de la misma especie que el maíz. Otros problemas para los productores locales son los altos costos de producción por el incremento de los precios de insumos y mano de obra.

El sistema de producción en la zona se caracteriza principalmente por el uso de semilla criolla, seleccionada por los agricultores de su propia cosecha; en su mayoría, se siembra en monocultivo y, a veces, se rota con haba, chícharo y avena. La siembra se realiza de forma mecanizada o con tracción animal; la preparación de suelo consta de un paso de rastra para tumbar surcos, barbecho con arado de discos y, nuevamente, dos pasos de rastra después del barbecho para eliminar malezas y siembra.

La fertilización se realiza principalmente con DAP (18-46-00) en la siembra, el manejo de malezas y

enfermedades se hace mediante control químico. La cosecha se hace de forma mecanizada o manual y el rastrojo se usa principalmente para comercializarlo como forraje para el ganado ovino en forma de pacas debido a que en la zona la agricultura se complementa con la actividad pecuaria.

En general, la región del Valle de Toluca presenta un buen potencial productivo de sus suelos; sin embargo, prácticas intensivas de labranza y eliminación de coberturas —el rastrojo se pierde principalmente por el viento, quemadas y pastoreo en los meses de enero y febrero— han deteriorado su fertilidad. Esta pérdida de materia orgánica ha favorecido la erosión del suelo y, además, las quemadas agrícolas, accidentalmente, han sido causa de incendios forestales, afectando la recarga de acuíferos y los mantos superficiales. La falta de capacitación a los productores sobre el manejo de los residuos de agroquímicos también es otro factor que ha contribuido a la contaminación del agua (GEM, 2005).

En el diseño de la plataforma se consideraron las principales limitantes del rendimiento del cultivo del maíz en la región. Entre los problemas más relevantes a resolver se encuentran el acame de cultivos por viento y granizo, el deterioro de la fertilidad del suelo, la falta de forraje para ganado que complementa la actividad agrícola en la región, y los altos costos de producción. Entonces en la plataforma de investigación se estudian los efectos de diferentes prácticas agronómicas, incluyendo prácticas de labranza, rotación de cultivos y manejos de rastro-



jos sobre el comportamiento de maíz y triticale bajo condiciones de temporal.

Los factores de labranza que se evaluaron son labranza convencional —rastra, nivelación y siembra en plano, a porque en V5-V6—, camas con labranza convencional —rastra, nivelación y formación de camas—, camas permanentes y camas permanentes con labranza vertical —en presiembra la fertilización es en hilera de siembra a 15 centímetros (cm) de profundidad, en V2-3 se reforman fondos con un timón con alas de avión—.

Se estudia el monocultivo de maíz híbrido y la rotación de maíz con triticale como una alternativa para diversificar los sistemas tradicionales de producción, usando triticale por ser una opción de

cultivo forrajero de buena calidad y producción de biomasa seca en comparación con otros forrajes de grano pequeño —avena, cebada y trigo— en la región del Valle de Toluca (Álvarez, 2017).

También se analiza el manejo de rastrojo y las diferentes cantidades de estos residuos agrícolas que se dejan en el terreno para encontrar un equilibrio entre resguardar una cantidad suficiente que ayude a conservar la calidad del suelo y una cantidad disponible —de acuerdo con los requerimientos del productor— para el aprovechamiento en las actividades pecuarias. Por tanto, el manejo va desde remover todo el rastrojo, dejarlo todo o removerlo parcialmente —remover el rastrojo de maíz desde debajo de la mazorca, cortar triticale a 25 cm y remover paja suelta—.

■ **Cuadro 1:** Características del sistema de producción en torno a la plataforma Metepec, Estado de México.

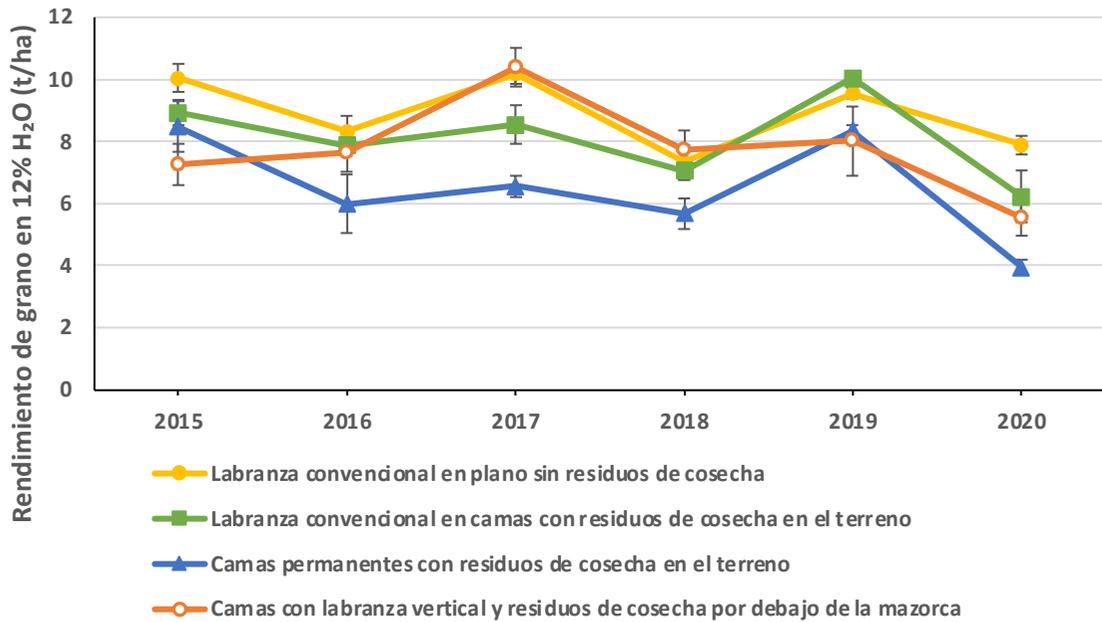
Condiciones agroecológicas	Características sistema de producción	Manejo agronómico	Aspectos socioeconómicos
Clima: Templado subhúmedo	Producción agrícola mecanizado	Labranza: convencional (rastra, barbecho y surcado)	Minifundistas (explotaciones pequeñas) y arrendamiento de tierras para la agricultura
Temperatura 10–14°C	Siembras en valles y planicies	Fertilización: química	Producción: autoconsumo, venta y alimento de ganado local
Precipitación anual: 700–1000 milímetros (mm)	Régimen hídrico de temporal	Manejo de malezas: manual y químico	Poca disponibilidad de mano de obra
Suelo: feozem y características aluvial y lacustre	Cultivo primario: maíz	Manejo de plagas: químico	Actividad pecuaria con ganado ovino, porcícola, bovino y aves
Vegetación: agrícola y pastizales	Semilla criolla		

Resultados y aprendizajes

Labranza y manejo de rastrojo

El rendimiento promedio de grano de maíz en monocultivo de 2015 a 2020 fue mayor en labranza convencional en plano sin residuos de cosecha (8.9 t/ha) y menor en camas permanentes con todos los residuos de cosecha sobre el terreno (6.5 t/ha). Se

obtuvo un rendimiento intermedio con labranza convencional en camas con rastrojo en el terreno (8.1 t/ha) y camas con labranza vertical y remoción de los residuos de cosecha únicamente por debajo de la mazorca (7.8 t/ha) (figura 1).

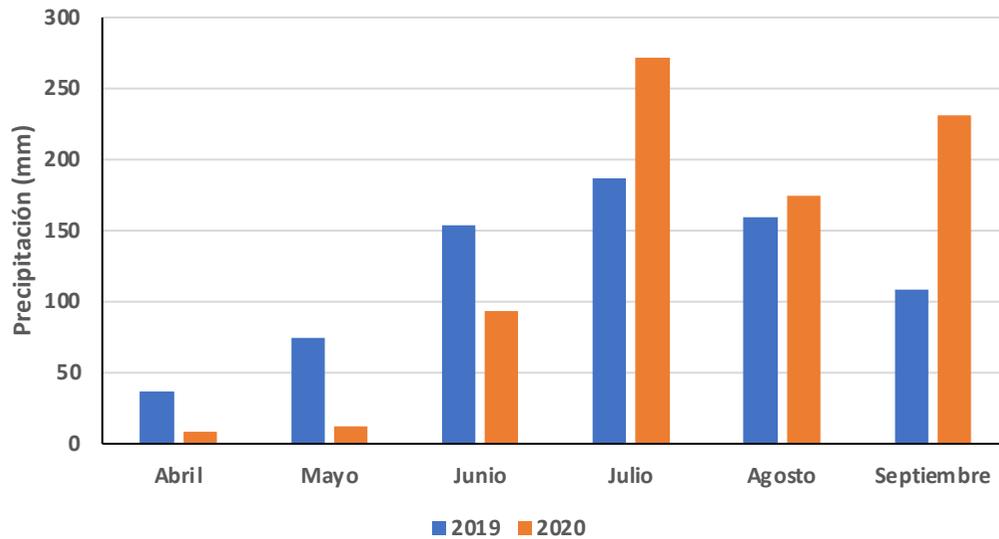


■ **Figura 1.** Efecto de labranza y manejo de rastrojo sobre el rendimiento de maíz en monocultivo a través de los años 2015 al 2020, en la plataforma Metepec, Estado de México.

Estos resultados se pueden explicar porque el suelo en la plataforma tiene alto contenido de limo y se vuelve muy duro al secarse. Esto hace que, aunque usar camas permanentes mejora la infiltración del agua en el suelo, en los ciclos donde la fecha de siembra —mediados de abril— corresponde a un temporal escaso —como 2020, con 8.3 mm (figura 2)— el suelo que no es labrado —en camas permanentes con todos los residuos de cosecha sobre la superficie del terreno— se tarde más en mojar que el suelo en los tratamientos con labranza convencional sin residuos de cosecha. Sin embargo, cuando la fecha de siembra corresponde a un inicio

de temporal con mayor cantidad de lluvia —como 2019, con 36.6 mm (figura 2)— el suelo húmedo se afloja y los rendimientos resultaron ser los mejores que se han presentado en los tratamientos de camas permanentes.

Por esta razón también el tratamiento con labranza vertical durante la fertilización en presiembra tenía mejor infiltración que las camas permanentes al romper la costra superficial del suelo al inicio de la temporada y, en ciclos con sequía inicial, resulta también en un mayor rendimiento que las camas permanentes.

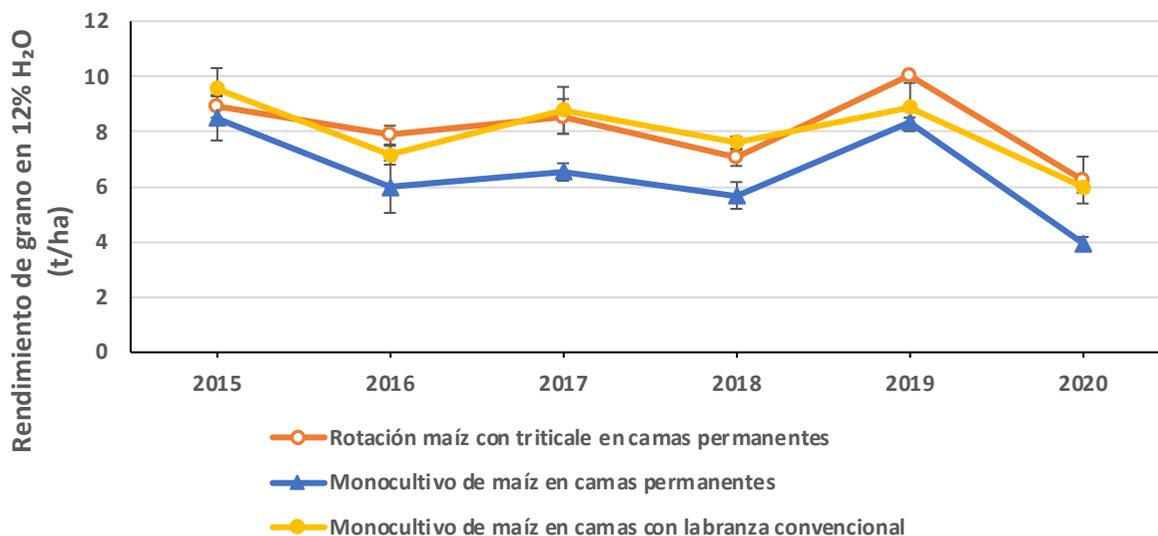


■ **Figura 2.** Contraste de dinámica de la precipitación media mensual en la estación climatológica de Metepec, Estado de México en 2019 y 2020 de abril a septiembre.

Rotación de cultivos

El rendimiento promedio de 2015 a 2020 de grano de maíz fue mayor en rotación con triticale (8.0 t/ha) que en el monocultivo de maíz (6.5 t/ha) cultivado en camas permanentes (figura 3). El rendimiento promedio del maíz en monocultivo sembrado en camas con labranza convencional fue de 8.1 t/ha, similar al rendimiento con agricultura de conservación. En general, se observó que la rotación limitó el desarrollo del teocintle. En el triticale se aplicó

un herbicida de control para pastos; glifosato en preemergencia y clodinafop propargil y paraquat —Dicloruro de 1, 1'-dimetil-4, 4'-bipiridinio— en posemergencia, lo que ayudó a bajar las poblaciones del teocintle. En el caso del monocultivo de maíz durante floración, el manejo del teocintle era manual, cortando la base y picando la planta, pero la población de teocintle no disminuía en cada ciclo (figura 4).



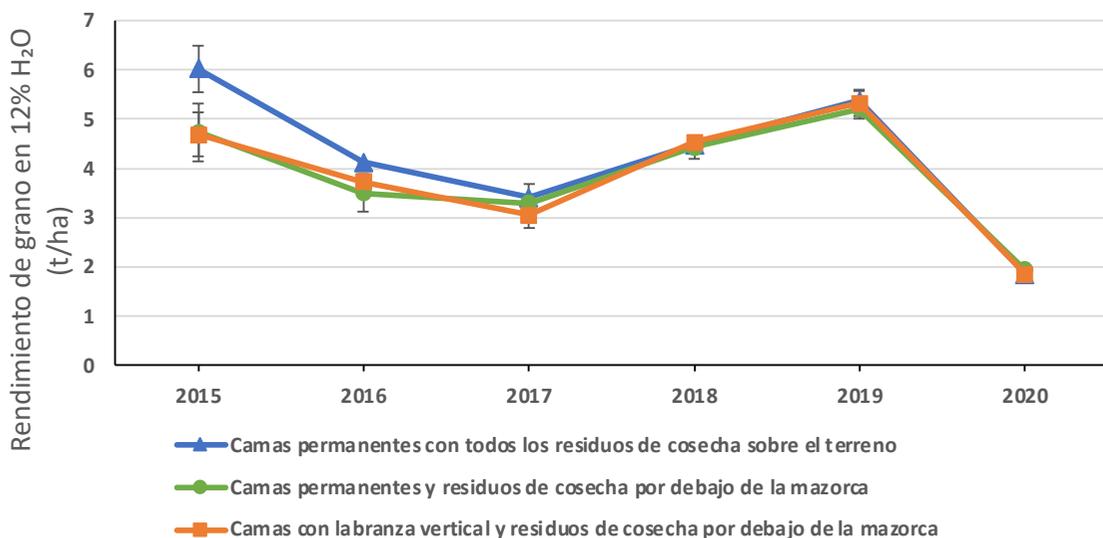
■ **Figura 3.** Efecto de rotación de cultivos sobre el rendimiento de maíz en camas permanentes a través de los años 2015 al 2020, en la plataforma Metepec, Estado de México.



■ **Figura 4.**
Planta de teocinte en el monocultivo de maíz híbrido durante floración en la plataforma de investigación Metepec, Estado de México.

El rendimiento del triticale fue similar al usar camas permanentes con todos los residuos de cosecha sobre el terreno (4.2 t/ha), camas permanentes y residuos de cosecha por debajo de la mazorca (3.9 t/ha) y camas con labranza vertical y residuos de cosecha solo por debajo de la mazorca (3.9 t/ha) (figura 5). El triticale se siembra a mediados de

mayo y para esas fechas la lluvia es abundante y suficiente para saturar el suelo y ablandarlo, permitiendo una mejor emergencia que en el cultivo de maíz y, por ello, no hay diferencia en el rendimiento del triticale con respecto al tipo de labranza usada para cultivarlo.

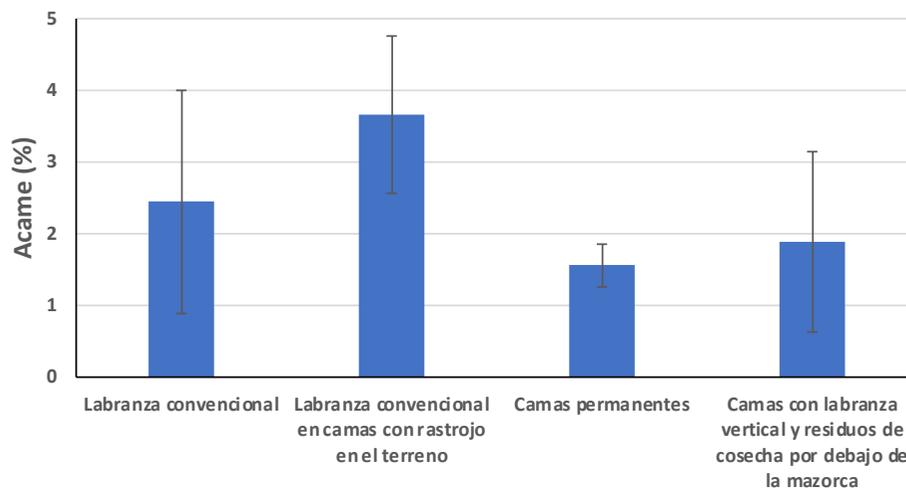


■ **Figura 5.** Efecto de labranza y manejo de rastrojo sobre el rendimiento del triticale en rotación con maíz a través de los años 2015 al 2020, en la plataforma Metepec, Estado de México.

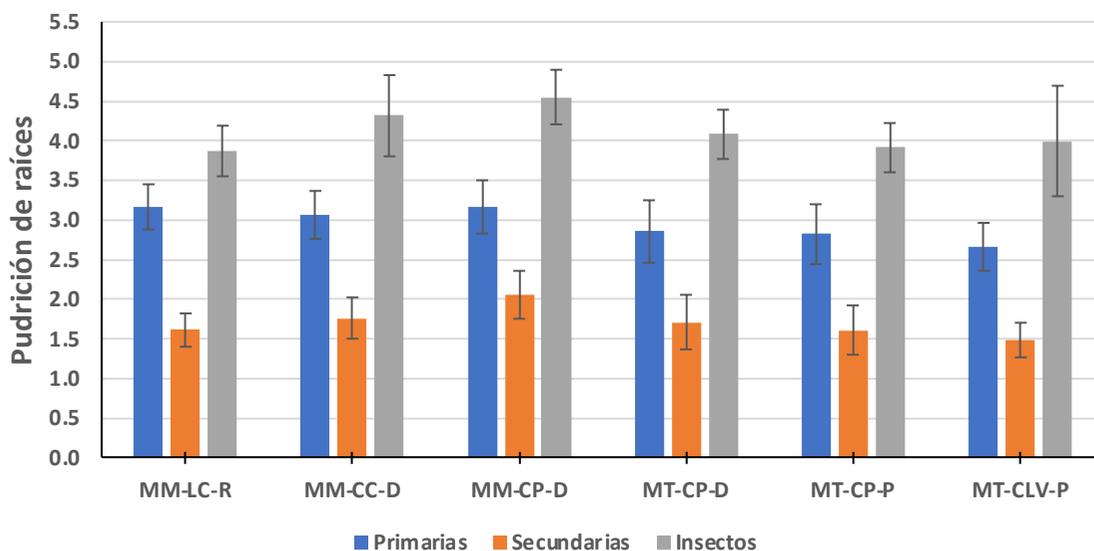


El acame en el cultivo de maíz fue mayor con labranza convencional en camas (3.6%) que en camas permanentes (1.5%) (figura 6). Con relación a la pudrición de raíces por daños de hongos e insectos, en general esta fue similar entre los tratamientos (figura 7). La pudrición de raíces primarias, en una escala de 0-4, fue menor en camas permanentes con labranza vertical y rotación maíz-triticale con retención parcial de rastrojo (MT-CLV-P) y mayor en los tratamientos de camas permanentes con monocultivo de maíz y retención total del rastrojo (MM-CP-D). Se observó pudrición intermedia

con labranza convencional con monocultivo de maíz y sin rastrojo en el terreno (MM-LC-R). Los daños en las raíces secundarias tuvieron la misma tendencia que las raíces primarias, pero fueron bajos, entre 1.5 y 2.1. Los daños por insectos en la raíz fueron mayores en camas permanentes con monocultivo de maíz y retención total del rastrojo (MM-CP-D) y menor en los tratamientos de labranza convencional con monocultivo de maíz sin rastrojo en el terreno (MM-LC-R) y camas permanentes con monocultivo de maíz y retención parcial del rastrojo (MT-CP-P).



■ **Figura 6.** Efecto de labranza y manejo de rastrojo sobre el porcentaje de acame de planta de maíz en monocultivo a través de los años 2015, 2016 y 2020, en la plataforma Metepec, Estado de México.



■ **Figura 7.** Daño de raíces en el cultivo de maíz (primarias, secundarias y por insectos) en la plataforma Metepec de 2015 a 2020. Donde: Práctica de labranza: LC= Labranza convencional, CC= Camas con labranza convencional, CP= Camas permanentes, CLV= Camas con paso de labranza vertical; Manejo de rastrojo: D= Dejar todo el rastrojo, R= Remover todo el rastrojo, P= Dejar parte del rastrojo; Cultivos: M= Maíz y T= Triticale.

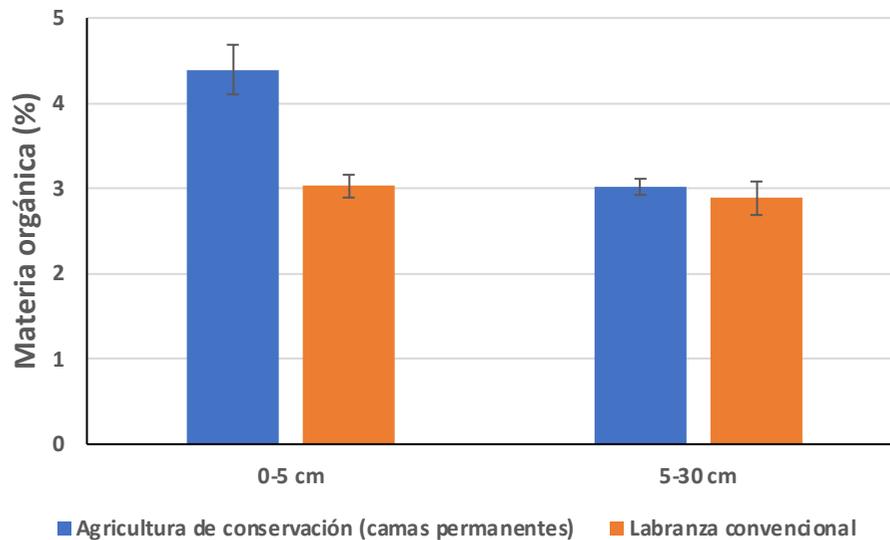


Calidad de suelo

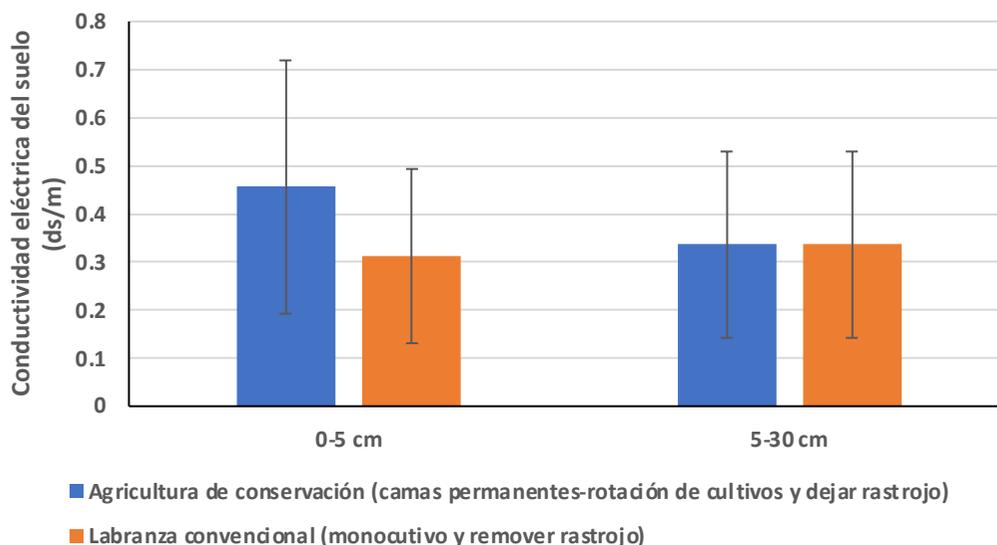
La labranza convencional es una de las principales causas de la degradación de los suelos. Barbechar o rastrear el suelo hace temporalmente más fácil sembrar, pero, a largo plazo y dependiendo de las condiciones agroecológicas de los sistemas de producción, puede causar graves efectos en la pérdida de la calidad del suelo.

En este ensayo se observó un contraste en la composición de las partículas del suelo entre tratamientos. Con labranza convencional hay más partículas de arena (32.9%) que con agricultura de conservación (29.9%) y, por el contrario, hay más arcillas con agricultura de conservación (45.0%) que con labranza convencional (41.0%), lo que refleja susceptibilidad de los suelos trabajados con labranza convencional a la erosión (Fonteyne *et al.*, 2021).

El contenido de materia orgánica en la primera capa de 0 a 5 cm del suelo fue mayor con agricultura de conservación (4.3%) y menor con labranza convencional (3.0%) (figura 7). También se observó que la conductividad eléctrica del suelo fue mayor con agricultura de conservación —0.39 decisiemens por metro (dS/m)— y menor con labranza convencional (0.32 dS/m), acentuándose la diferencia en la primera capa de 0 a 5 cm (figura 8). Sin embargo, los valores en este experimento no muestran niveles de riesgo (>4 ds/m) por salinidad y únicamente es el potasio el que tiene valores mayores con agricultura de conservación —194 partes por millón (ppm)— en comparación con la labranza convencional (117 ppm), que normalmente corresponde a la materia orgánica del suelo con agricultura de conservación.



■ **Figura 8.** Contenido de materia orgánica en las capas de 0-5 y 5-30 cm en dos sistemas de labranza en la plataforma Metepec, Estado de México (Fonteyne *et al.*, 2021).



■ **Figura 9.** Conductividad eléctrica del suelo en las capas de 0-5 y 5-30 cm en dos sistemas de labranza en la plataforma Metepec, Estado de México (Fonteyne et al., 2021).

Análisis de rentabilidad

El costo de producción promedio —medido en pesos mexicanos por hectárea (MXN/ha)— de 2017 a 2019 fue mayor con labranza convencional (18,300 MXN/ha) y menor en camas permanentes con todos los residuos de cosecha sobre el terreno (17,900 MXN/ha). Sin embargo, la utilidad fue 3,600 MXN/ha mayor con labranza convencional que con

agricultura de conservación con camas permanentes en rotación con triticale y el total de rastrojo sobre la superficie del terreno (cuadro 2). Además, el rastrojo en la región se vende en 6,000 MXN/ha, lo cual es un valor mayor a lo que se puede ahorrar en costos de producción con las camas permanentes.

■ **Cuadro 2:** Utilidad neta (MXN/ha) de sistemas de labranza y rotación de cultivos en la plataforma de Metepec, Estado de México, durante 2017-2019.

	MM, LC, R	MM, CC, D	MM, CP, D	MT, CP, D	MT, CP, P	MT, CLV, P
Costo de producción (MXN/ha)	18,300	18,200	17,900	17,900	18,000	18,400
Utilidad (MXN/ha)	19,100	16,000	8,400	15,500	15,578	18,200

Donde: MM: Monocultivo de maíz, MT: Rotación maíz-triticale, LC: Labranza convencional, CC: Camas con labranza convencional, CP: Camas permanentes, CLV: Camas con labranza vertical, R: Retirar los residuos de la cosecha (rastrojo) de la parcela, D: Dejar los residuos de la cosecha (se acaman) en la parcela, P: Dejar residuos de cosecha por debajo de la mazorca en la parcela.



Conclusión

Limitante	Propuesta	Resultados
Acame de cultivos por viento y granizo	Agricultura de conservación: camas permanentes con labranza vertical, con retención de rastrojo y rotación con triticale	En la plataforma se registró un mayor acame con labranza convencional (3.6%) que con camas permanentes (1.5%).
Deterioro de la fertilidad del suelo por pérdida de la materia orgánica		El rendimiento del maíz en monocultivo sembrado con labranza convencional (8.1 t/ha) fue similar al obtenido con agricultura de conservación (8.0 t/ha). La materia orgánica en la capa de 0 a 5 cm del suelo fue mayor con agricultura de conservación (4.3%) y menor con labranza convencional (3%). Con labranza convencional se observaron más partículas de arena (32.9%) y menos arcilla (41%) que con agricultura de conservación (29.9% arena y 45% arcilla), lo cual refleja susceptibilidad de los suelos a la erosión.
Altos costos de producción		Incluyendo la venta del rastrojo, la utilidad fue 9,600 MXN/ha mayor con labranza convencional que en camas permanentes con todos los residuos de cosecha.
Falta de forraje para ganado que complementa la actividad agrícola en la región	Rotación maíz triticale y retención parcial de rastrojo	El rendimiento del triticale fue similar entre tratamientos (de 3.2 a 3.4 t/ha).
Problemas de malezas (teocintle)		El rendimiento del maíz en camas permanentes fue mayor en rotación con triticale (8.0 t/ha) que en el monocultivo de maíz (6.5 t/ha). Para el caso del monocultivo con labranza convencional, el rendimiento fue de 8.1 t/ha. El triticale permite el uso de otros herbicidas lo que ayudó a bajar las poblaciones de teocintle.



Texcoco II, Estado de México

Nombre plataforma	Texcoco II, Estado de México
Colaboradores	Nele Verhulst, Fabián Enyanche
Institución	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)
Ubicación	CIMMYT, El Batán, Lote H9: Km. 45, Carretera México-Veracruz, El Batán, Texcoco, México, C. P. 56130 Coordenadas: 19°31'46.83"N 98°51'9.81"O
Altitud	2298 metros sobre el nivel del mar (msnm)
Clima	Templado semiseco
Año de instalación	1999

Introducción

La plataforma de investigación Texcoco II, Estado de México, se encuentra en la estación experimental El Batán del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), y es representativa del oriente del Estado de México y municipios colindantes de los estados de Tlaxcala e Hidalgo, donde los principales productos agrícolas son el maíz y granos pequeños como cebada, avena, trigo y alfalfa (SIAP, 2021) por su importancia como alimentos básicos y la interacción con el sector secundario y terciario para la obtención de productos derivados — harinas, aceites, malta, etcétera—.

La superficie sembrada con maíz en el territorio es de 35 mil hectáreas, lo que ubica al maíz como cultivo principal en la zona con un rendimiento promedio de 3.5 toneladas por hectárea (t/ha) en Texcoco, y 2.0 t/ha en Calpulalpan (Tlaxcala) y Apan (Hidalgo) (SIAP, 2021).

Los bajos rendimientos que se registran en la zona se deben a temporales irregulares y escasos en etapas fisiológicas críticas del cultivo de maíz, además de baja fertilidad del suelo. La ganadería complementa la actividad agrícola y se practica de manera extensiva en pequeñas parcelas (ejidos o tierras comunales de 1.5 a 3.0 ha) donde el ganado se alimenta con los residuos de cosecha y pastizales naturales.

En el diseño de la plataforma se consideraron las principales limitantes del rendimiento del cultivo del maíz en la región. Entre los problemas más relevan-

tes a resolver se encuentran el temporal irregular y errático, la falta de forraje para ganado que complementa la actividad agrícola en la región, la baja rentabilidad, y la necesidad de evaluar el uso de camas permanentes en temporal —originalmente se usaban en condiciones de riego y en México la agricultura de conservación se hacía en plano—.

La plataforma se implementó en el año 1999 y en ella se evalúan diferentes prácticas agronómicas para la rotación de maíz con trigo bajo condiciones de temporal. Las prácticas de labranza evaluadas incluyen camas con labranza convencional —cincel, rastra, danesa y formación de camas—, camas permanentes angostas de 0.75 metros (m) y, desde 2007, camas permanentes anchas de 1.50 m, en las que el único movimiento es durante la reformación de fondos en cada ciclo.

Los manejos de rastrojo van desde su retención total a la remoción total; además se incluye la retención parcial de rastrojo: en el caso del trigo se dejan 25 centímetros (cm) de paja parada y en el caso del maíz por debajo de la mazorca. También se emplea la técnica de pileteo, conocida como contreo o diques, que consiste en levantar pequeños bordos o montículos de tierra con el azadón o maquinaria en los fondos de los surcos cada 3.0 m alternados entre surcos (figura 1) para conservar suelo, ayudar a almacenar agua y evaluar si se puede compensar parte del efecto de la remoción del rastrojo de los cultivos sobre el aprovechamiento del agua y el rendimiento.



■ **Figura 1.**
Dique en tratamiento de cama permanente con retención parcial de rastrojo.

■ **Cuadro 1:** Características del sistema de producción en torno a la plataforma Texcoco II, Estado de México.

Condiciones agroecológicas	Características sistema de producción	Manejo agronómico	Aspectos socioeconómicos
Clima: Templado semiseco	Producción agrícola mecanizada	Labranza: convencional (rastra, barbecho y surcado)	Pequeña parcela ejidal, comunal (1.5–3.0 ha) y arrendamiento de tierras para la agricultura
Temperatura 10–16.2 C	Siembras en valles y planicies	Fertilización: química	Producción: venta local
Precipitación: 703 milímetros (mm)	Régimen hídrico de temporal (90%) y riego (10%)	Manejo de malezas: químico	Mano de obra por contrato de jornales
Suelo: Feozem háplico	Cultivo primario maíz (60%) y grano pequeño (cebada, avena, trigo y alfalfa)	Manejo de plagas: químico	Actividad pecuaria comercial de ganado caprino y bovino
Vegetación: agrícola y pastizales	Siembra en monocultivo		
	Uso de semilla mejorada		

Resultados y aprendizajes

Labranza

El rendimiento promedio de maíz de 2007 a 2019 fue mayor en camas permanentes angostas (7.0 t/ha) que en camas con labranza convencional (4.8 t/ha), dejando todos los residuos en el terreno y rotando con trigo en ambos tratamientos. Las camas permanentes anchas tuvieron un rendimiento intermedio (6.3 t/ha). Antes de 2007 el manejo era convencio-

nal en este tratamiento, por ello con más años de evaluación el rendimiento incrementó (figura 2). En septiembre del 2011 se presentó una helada que afectó el desarrollo de los cultivos, esto explica que no se observen diferencias en rendimiento entre tratamientos (figura 2).



El rendimiento promedio del trigo durante los ciclos 2013-2019 fue mayor en los tratamientos de camas permanentes angostas y anchas (4.0 t/ha) que en el tratamiento de camas con labranza convencional (3.1 t/ha) (figura 3).

Hacer siembra directa propició una mejor calidad física del suelo para el desarrollo de los cultivos: en camas permanentes se observó menor resistencia a la penetración (0.7 MPa) y mayor resistencia con

labranza convencional (1.3 MPa) en las capas de 15-60 cm (figura 4), además de un mayor diámetro medio de agregados en el suelo en camas permanentes (3.1 mm) que con labranza convencional (2.0 mm) (figura 5), favoreciendo la aireación, el flujo de agua, nutrientes y el crecimiento y desarrollo de raíces. Adicionalmente, al usar camas permanentes, los costos de producción en la preparación del terreno disminuyeron 800 pesos por hectárea (MXN/ha) al evitar la rastra.

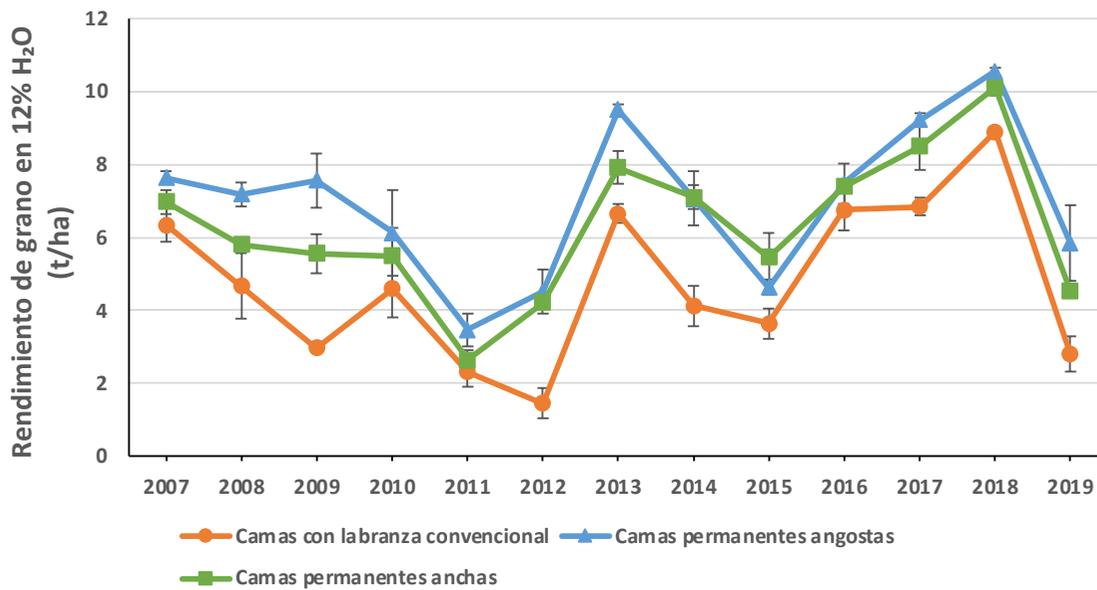


Figura 2. Efecto de labranza sobre el rendimiento de maíz en rotación con trigo y todos los residuos de cosecha en la superficie del terreno o incorporado a través de los años 2007 al 2019, en la plataforma Texcoco II, Estado de México.

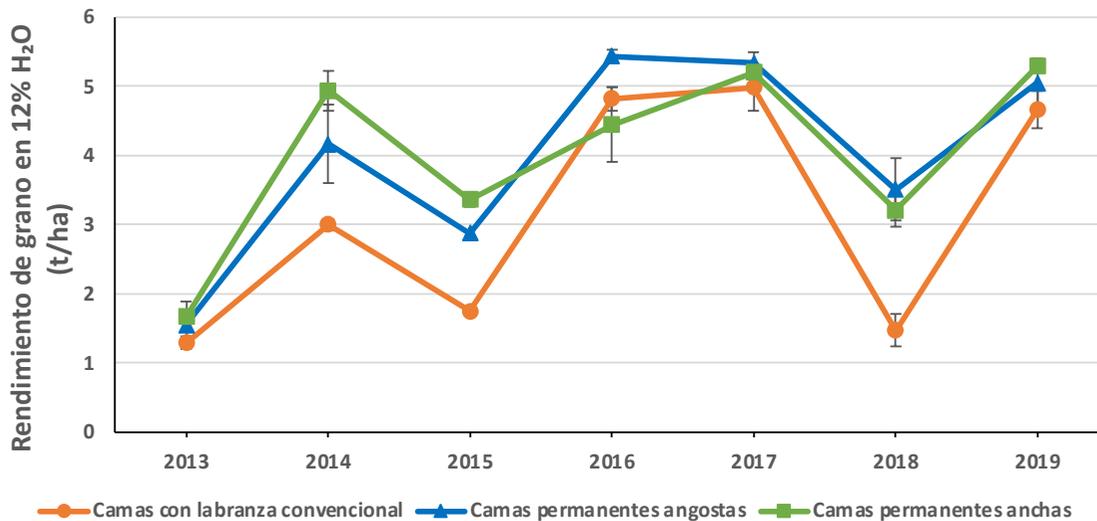
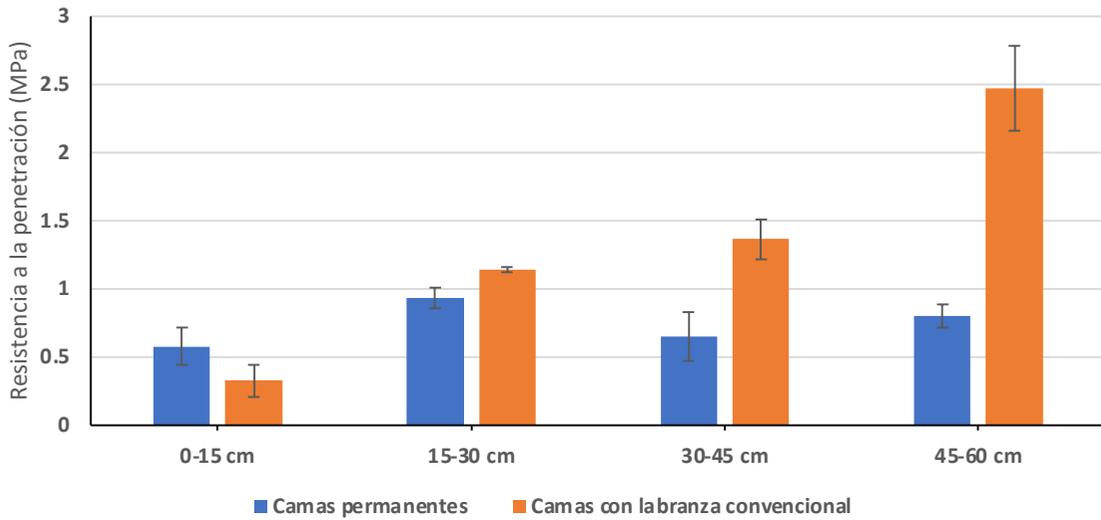
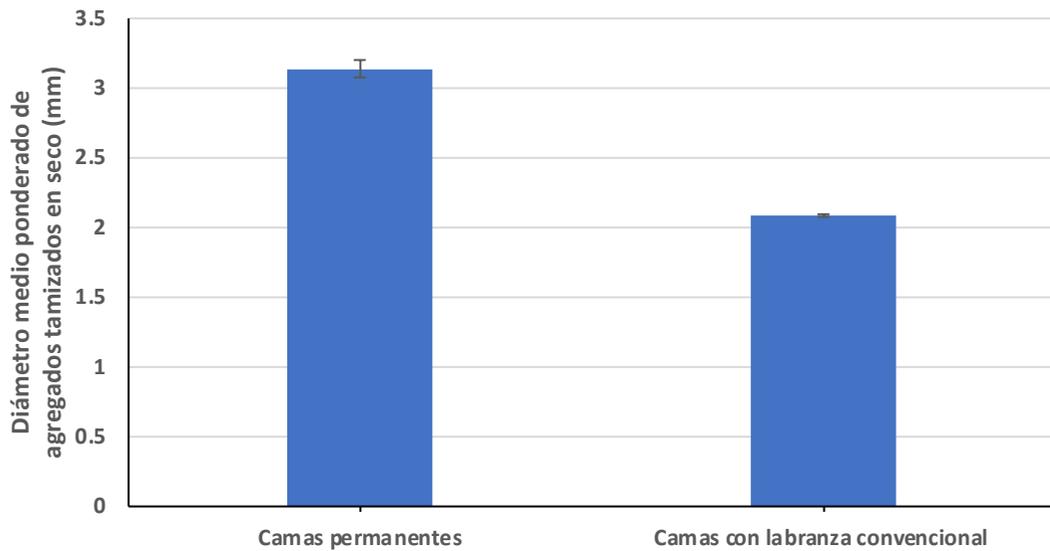


Figura 3. Efecto de labranza sobre el rendimiento de trigo en rotación con maíz y todos los residuos de cosecha en la superficie del terreno o incorporado a través de los años 2013 al 2019, en la plataforma Texcoco II, Estado de México.



■ **Figura 4.** Resistencia a la penetración del suelo en cuatro capas de dos sistemas de labranza con rotación de cultivos (maíz-trigo) y rastrojo en la superficie del terreno en la plataforma Texcoco II, Estado de México.



■ **Figura 5.** Diámetro medio ponderado de agregados después de tamizar en peso seco en dos sistemas de labranza con rotación de cultivos (maíz-trigo) y rastrojo en la superficie del terreno en la plataforma Texcoco II, Estado de México.

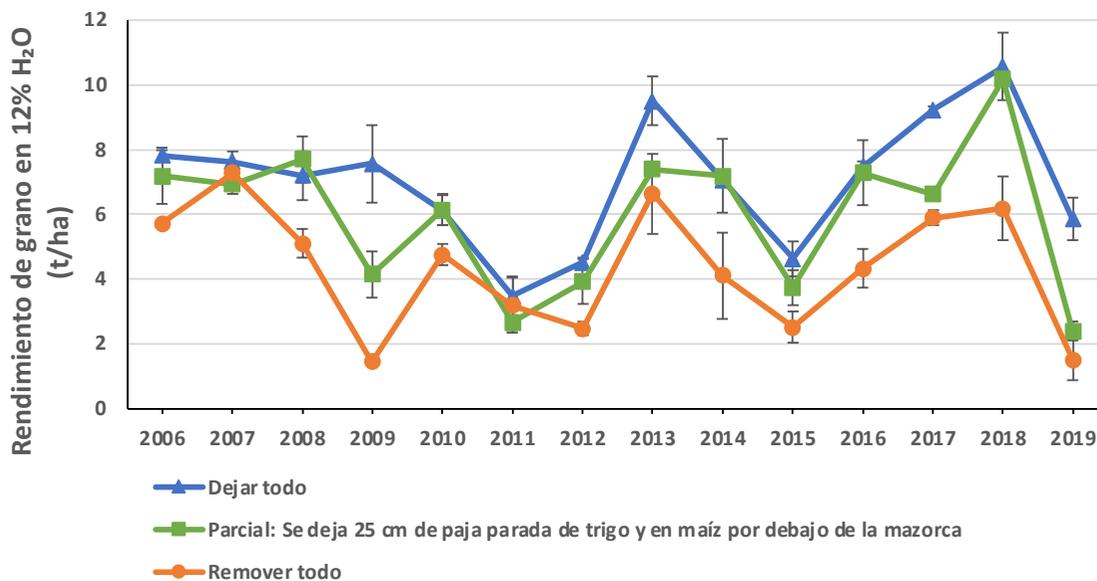


Rastrojo

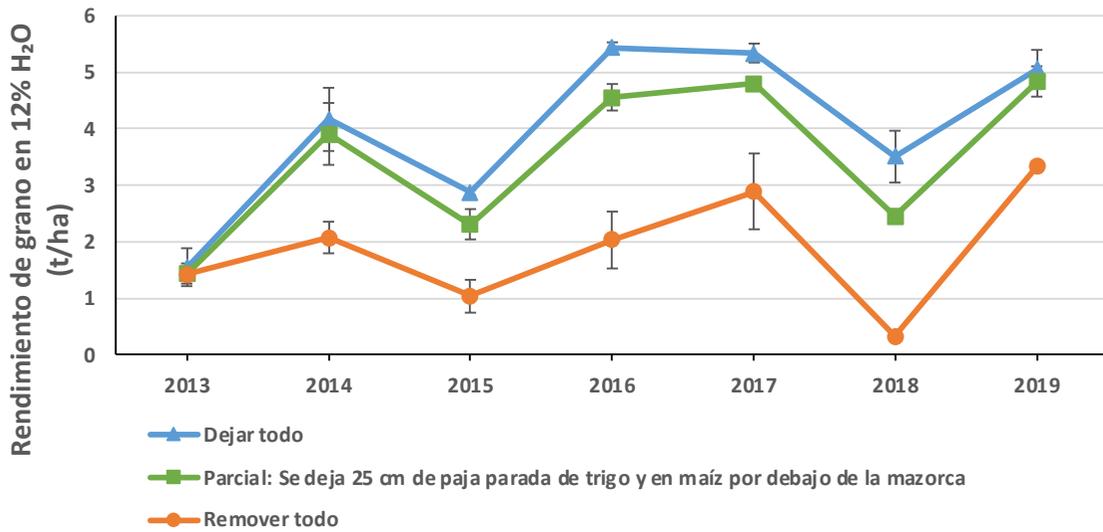
De 2006 a 2019 el rendimiento promedio del maíz cultivado en camas permanentes angostas fue mayor donde se dejó todo el rastrojo en el terreno (7.0 t/ha) que donde se removió (4.4 t/ha). Dejar parcialmente el rastrojo (se deja 25 cm de paja parada de trigo y en maíz por debajo de la mazorca) dio un rendimiento de 6.0 t/ha (figura 6). Cabe mencionar que los rendimientos similares en 2011 se deben a la helada de septiembre en ese año y no por efecto del tratamiento.

De 2013 a 2019 el rendimiento promedio del trigo cultivado en camas permanentes angostas fue más del doble donde se dejó todo el rastrojo en el terreno (4.0 t/ha) que donde se removió todo el rastrojo (1.9 t/ha). Dejar parcialmente el rastrojo —se dejan 25 cm de paja parada de trigo y en maíz por debajo de la mazorca— dio un rendimiento de 3.5 t/ha (figura 7).

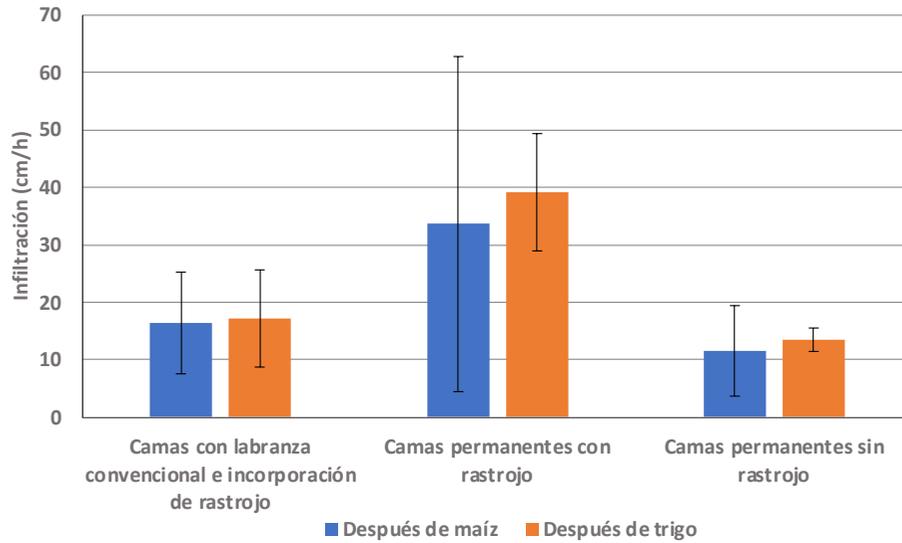
Usar camas permanentes con rastrojo incrementa la materia orgánica, favoreciendo la formación de agregados del suelo para la retención de agua. Además, la capa de rastrojo protege el suelo del impacto de agua y viento. Si estos se encuentran sin cobertura puede resultar en suelos secos que propician bajos rendimientos en comparación con los terrenos donde se deja el rastrojo en la superficie. Adicionalmente, la tasa de infiltración en camas permanentes con rastrojo fue mayor —36.3 centímetros por hectárea (cm/h)— que en camas permanentes sin rastrojo (12.4 cm/h) (figura 8), lo que ayudó a aprovechar al máximo la precipitación que ocurre dentro y fuera del ciclo, resultando en menor estrés hídrico y mejor desarrollo de los cultivos (figura 9).



■ **Figura 6.** Efecto de manejo de rastrojo sobre el rendimiento de maíz en rotación con trigo cultivado en camas permanentes angostas a través de los años 2006 al 2019, en la plataforma Texcoco II, Estado de México.



■ **Figura 7.** Efecto de manejo de rastrojo sobre el rendimiento de trigo en rotación con maíz cultivado en camas permanentes angostas a través de los años 2013 al 2019, en la plataforma Texcoco II, Estado de México.



■ **Figura 8.** Tasa de infiltración de agua en suelo saturado en tres tratamientos, después de trigo o maíz.



■ **Figura 9.** Cultivos al 8 de agosto de 2017: maíz en camas permanentes angostas con remoción (izquierda) y retención de rastrojo (derecha) y trigo en camas permanentes angostas con remoción (izquierda) y camas anchas con retención de rastrojo (derecha).

Diques

En la plataforma se evaluó el uso de diques entre las camas (contreo) para mejorar la retención de agua y así reducir la necesidad de dejar rastrojo en camas permanentes. En el cultivo del maíz el rendimiento promedio entre 2006 y 2019 fue similar donde se dejó todo el rastrojo en el terreno (7.1 t/ha) y donde se dejó parcialmente el rastrojo y se formaron diques (6.8 t/ha); mientras que el promedio en rendimiento donde se dejó parcialmente el rastrojo y no se formaron diques fue menor con 6.0 t/ha.

Por su parte, el tratamiento donde se removió todo el rastrojo del terreno y se formaron diques tuvo un rendimiento de 5.8 t/ha, mientras que el rendimiento más bajo fue 4.4 t/ha, correspondiente al tratamiento sin rastrojo y sin diques (figura 10). En el caso del maíz el uso de diques aumentó el ren-

dimiento en 0.6 t/ha cuando se dejó parcialmente el rastrojo y 1.4 t/ha cuando se retiró todo el rastrojo.

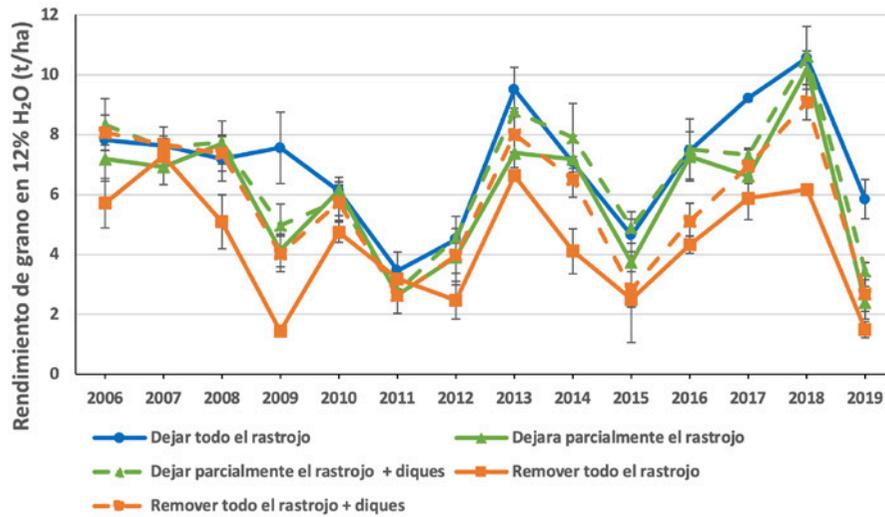
En el caso del trigo el rendimiento promedio entre 2013 y 2019 fue mayor en el tratamiento donde se dejó todo el rastrojo en el terreno (4.0 t/ha). Con 3.5 t/ha en promedio para ambos tratamientos, el rendimiento del trigo fue similar en donde se dejó parcialmente el rastrojo y se formaron diques y donde se dejó parcialmente el rastrojo sin diques. En los tratamientos donde se removió todo el rastrojo del terreno y se formaron diques, el rendimiento fue de 2.7 t/ha y de 1.9 t/ha donde no se formaron diques (figura 11). En el cultivo del trigo, el uso de diques entonces no generó un beneficio cuando se dejó parte del rastrojo del cultivo anterior, mientras que cuando se removió todo el rastrojo incrementó el rendimiento en 0.8 t/ha.



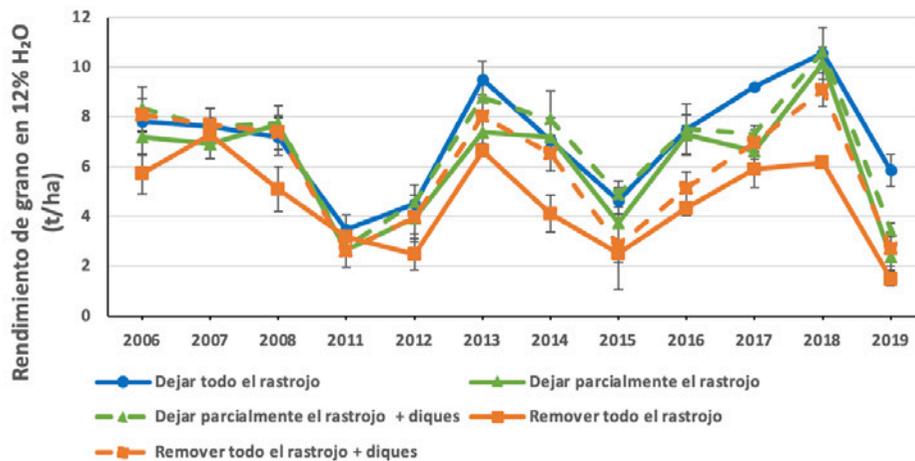
Cuando se retira el rastrojo de la parcela, el uso de diques ayuda a conservar la humedad del suelo y, bajo esta condición —camas permanentes sin rastrojo—, se favorece el incremento del rendimiento de grano. Sin embargo, el rendimiento no es igual al dejar todo el rastrojo en la superficie del suelo —camas permanentes con rastrojo—.

acostumbran a realizar labranza convencional y retirar el rastrojo, los resultados en la plataforma sugieren que podrían transitar hacia el uso de camas permanentes, retirar parcialmente el rastrojo y hacer diques, lo que les permitiría tener una mayor rentabilidad considerando la venta parcial del rastrojo, un mayor rendimiento de grano y el mejoramiento de la calidad del suelo.

Con respecto a la fuerte demanda de rastrojo que existe en la región y por la cual los productores



■ **Figura 10.** Efecto de manejo de rastrojo y uso de diques sobre el rendimiento de maíz en rotación con trigo cultivado en camas permanentes angostas a través de los años 2006 al 2019, en la plataforma Texcoco II, Estado de México.



■ **Figura 11.** Efecto de manejo de rastrojo y uso de diques sobre el rendimiento de trigo en rotación con maíz cultivado en camas permanentes angostas a través de los años 2013 al 2019, en la plataforma Texcoco II, Estado de México.



Conclusión

Limitante	Propuesta	Resultados
Temporal irregular y errático	Agricultura de conservación: camas permanentes, dejar rastrojo o retenerlo parcialmente, formación de diques y rotación maíz-trigo	En la plataforma se observa un mayor rendimiento en camas permanentes angostas con rastrojo (7.0 t/ha para maíz y 4.0 t/ha para trigo) que en camas con labranza convencional (5.0 t/ha para maíz y 3.1 t/ha para trigo).
Falta de forraje para ganado que complementa la actividad agrícola en la región		Las camas permanentes permiten una menor resistencia a la penetración y mejor estructura del suelo en comparación con la labranza convencional.
		Se registra un mayor rendimiento en camas permanentes con todo el rastrojo en el terreno (7.1 t/ha en maíz y 4.0 t/ha en trigo) y menor rendimiento en camas permanentes sin rastrojo (4.6 en maíz y 1.9 t/ha en trigo).
		La tasa de infiltración de agua en camas permanentes con todo el rastrojo en el terreno es mayor (36.3 cm/h) y menor en camas permanentes sin rastrojo (12.4 cm/h).
		Al dejar todo el rastrojo, el rendimiento de maíz y trigo es mayor (7.1 en maíz y 4.0 t/ha en trigo), a diferencia de retirarlo parcialmente en camas permanentes (6.1 en maíz y 3.5 t/ha en trigo).
Baja rentabilidad	Usar diques en camas permanentes sin rastrojo ayuda a conservar la humedad del suelo y se incrementa el rendimiento de maíz (de 4.6 a 5.9 t/ha) y trigo (de 1.9 a 2.7 t/ha).	
	El rendimiento de maíz y trigo fue similar donde se dejó todo el rastrojo en el terreno (7.1 t/ha en maíz y 4.0 t/ha en trigo) y donde se dejó parcialmente el rastrojo y se formaron diques (6.8 t/ha maíz y 3.5 trigo t/ha).	
	El tratamiento de camas permanentes donde se dejó parcialmente el rastrojo y se formaron diques es lo más rentable considerando el valor del rastrojo retirado parcialmente.	



Cuautempan, Puebla

Nombre plataforma	Cuautempan, Puebla
Colaboradores	Juan Espidio Balbuena, Fidelia González Galindo
Institución	Unión Rural de Productores de Cuautempan y Tetela S. P. R. de R.L.
Ubicación	Hueytenantan, municipio de Cuautempan, Puebla. Carretera federal Tetela-Cuautempan, Km 9.4. C. P. 73600. 19°53'16.27"N 97°49'5.41"W
Altitud	1613 metros sobre el nivel del mar (msnm)
Clima	Templado húmedo con lluvias todo el año (38%), templado húmedo con abundantes lluvias en verano (35%) y semicálido húmedo con lluvias todo el año (27%)
Año de instalación	2016

Introducción

La plataforma de investigación está en el municipio de Cuautempan, en la Sierra Norte del estado de Puebla, ubicada en la zona de transición entre el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental. Esta región se caracteriza por poseer un abrupto relieve (1-40% de pendiente), alta humedad relativa, con precipitación pluvial de 971 mm, temperatura de 12 a 20 °C y suelos de tipo Andosol (SMN, 2021).

Los habitantes de la Sierra Norte son, en su mayoría, indígenas nahuas y totonacos. Las principales actividades económicas son la agricultura, ganadería, silvicultura y turismo. Las actividades ganaderas principales son la crianza de bovinos, ovinos y animales de traspatio —aves, cerdos y equinos—, con una alimentación basada en pastos criollos, rastrojo de maíz y grano de maíz. El sistema agrícola es predominantemente de temporal para autoconsumo, y venta de excedentes en el mercado local (INEGI, 2021).

El cultivo de maíz criollo es el más importante en la región debido a que se siembran alrededor de 37,000 ha. Aunque los rendimientos son bajos —de 1 t/ha o menos (SIAP, 2021)— es común encontrar el cultivo de maíz asociado con especies como frijol, chile serrano, arvejón, haba, avena, ebo, calabaza, y una amplia variedad de quelites como quintonil, borraja o endivia y tomate criollo, lo que contribuye con la conservación y diversificación de cultivos (Espidio-Balbuena *et al.*, 2020). El manejo de cultivo es principalmente manual y con tracción animal. Las actividades agrícolas y pecuarias se realizan esencialmente con la participación familiar

y contrato de jornales para actividades específicas como la preparación del terreno, siembra, cosecha, deshierbe y en la ganadería esquila, castración y pastoreo (Alvarado *et al.*, 2006; INEGI, 2021), lo que aumenta los costos de producción. El manejo agrícola comienza con la roza del rastrojo, usando machete y gancho, seguida de la roturación del terreno con talacho o arado de tiro animal, para después sembrar de forma manual de 4 a 5 semillas de maíz por golpe, en algunos casos incluyen una semilla de frijol; el cultivo recibe una o dos escardas con azadón, se fertiliza con urea en la primera o segunda escarda. La cosecha se realiza de forma manual con un piscador (figura 1).

En el diseño de la plataforma se consideraron las principales limitantes del rendimiento del cultivo del maíz en la región. Entre los temas más relevantes para investigar se encuentra el deficiente manejo agronómico del cultivo de maíz —como densidad de población, fertilización, manejo de malezas e insectos— y los altos costos de producción.

La plataforma se estableció en 2016 con el objetivo de investigar prácticas que contribuyan a incrementar la productividad de los sistemas agrícolas y reducir los altos costos de producción en la región de la Sierra Norte de Puebla. Por ello se estableció un experimento con base en agricultura de conservación —cero labranza, manejo de rastrojo y rotación maíz-alverjón—, uso de semilla criolla e híbrida, dosis de fertilización (92-00-00, 124-32-32) y arreglo topológico (3,60,75 y 2,40,75).



■ **Figura 1.** Talacho para roturar el terreno: herramienta parecida al zapapico, pero más ligera (izquierda). Barbecho de suelo en los tratamientos con labranza convencional, 21 de abril de 2018 (centro). Siembra tradicional con “chuzo” (derecha). Control manual de malezas en tratamientos con labranza convencional, 20 de junio de 2017 (izquierda). Fertilización de tratamientos con urea en V6, 29 de julio de 2016 (centro). Cosecha manual de maíz (derecha). (Fotos: Juan Espidio).

■ **Cuadro 1:** Características del sistema de producción de la región en torno a la plataforma de investigación Cuautempan, Puebla.

Condiciones agroecológicas	Sistema de producción	Manejo agronómico	Aspectos socioeconómicos
Templado sub-húmedo	Producción agrícola manual y tracción animal	Labranza: convencional (barbecho y dobla)	Producción: autoconsumo
Temperatura promedio de 12 – 20°C	Siembras en ladera	Siembra: 4 a 5 semillas por mata con una distancia de un metro entre surcos y entre matas	Mercado local para excedentes de cosecha
Precipitación promedio 971 mm	Régimen hídrico de temporal y humedad invernal	Fertilización con urea	Trabajo con mano de obra familiar
Suelo franco arcilloso, con pH entre 5.8 y 6.4	Cultivo primario maíz criollo		Poca disponibilidad de tracción mecanizada

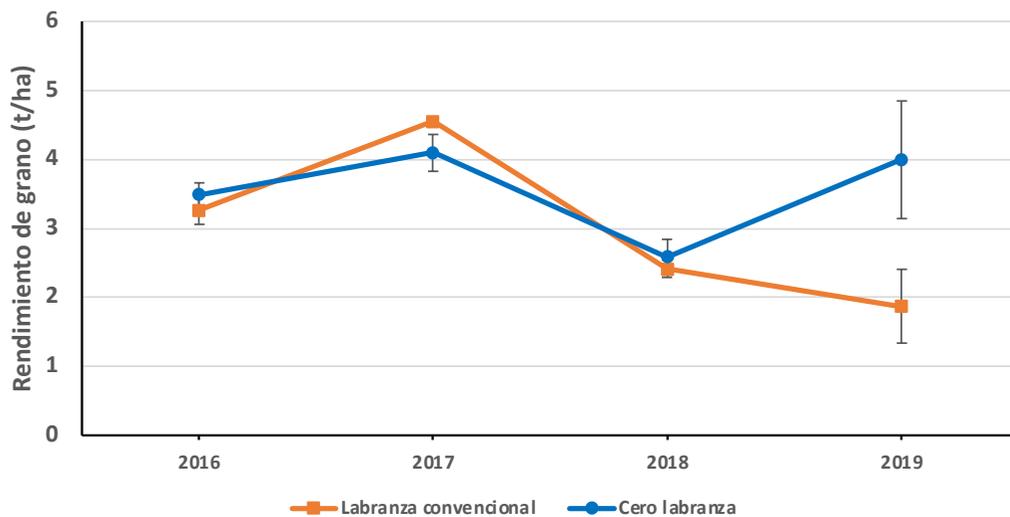


Resultados y aprendizajes

Labranza

Durante los tres primeros años de evaluación el rendimiento promedio del monocultivo de maíz fue similar entre la labranza convencional —remoción de rastrojo— y cero labranza —dejar el rastrojo en la superficie del terreno—. En 2019, un año donde se presentó un 30% menos de precipitación respecto a la normal (SMN, 2021) durante la etapa de floración, el rendimiento mejoró en 2.1 t/ha en cero

labranza con respecto a la labranza convencional (figura 2). Los costos de producción disminuyeron 3,975 MXN/ha en la preparación del suelo al realizar cero labranza donde se evitó hacer barbecho manual (4,200 MXN/ha) y surcado (900 MXN/ha). En cero labranza la preparación del suelo consistió en una aplicación de herbicida y los costos fueron de 1,125 MXN/ha.

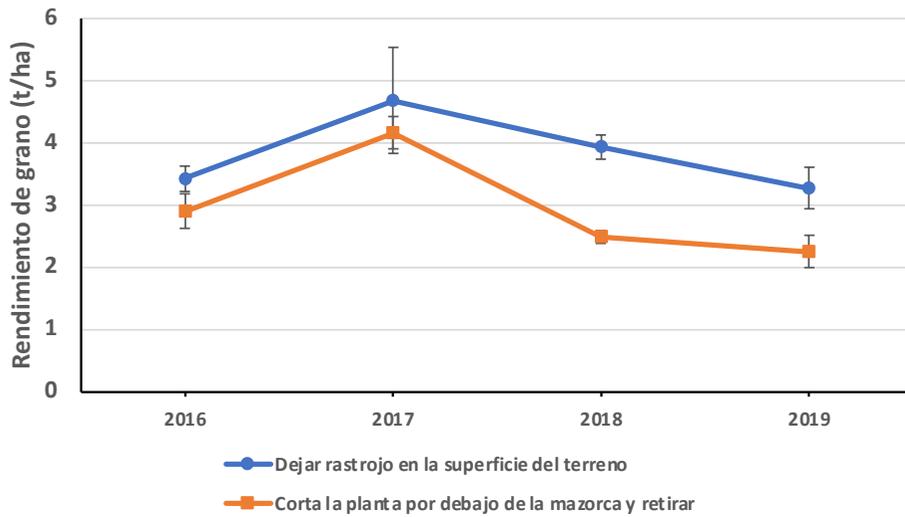


■ **Figura 2.** Efecto de labranza sobre el rendimiento del monocultivo de maíz durante cuatro años en la plataforma Cuautempan, Puebla. Donde: Labranza convencional incluye remoción de rastrojo y en cero labranza se dejó el rastrojo en la superficie del terreno después de la cosecha.

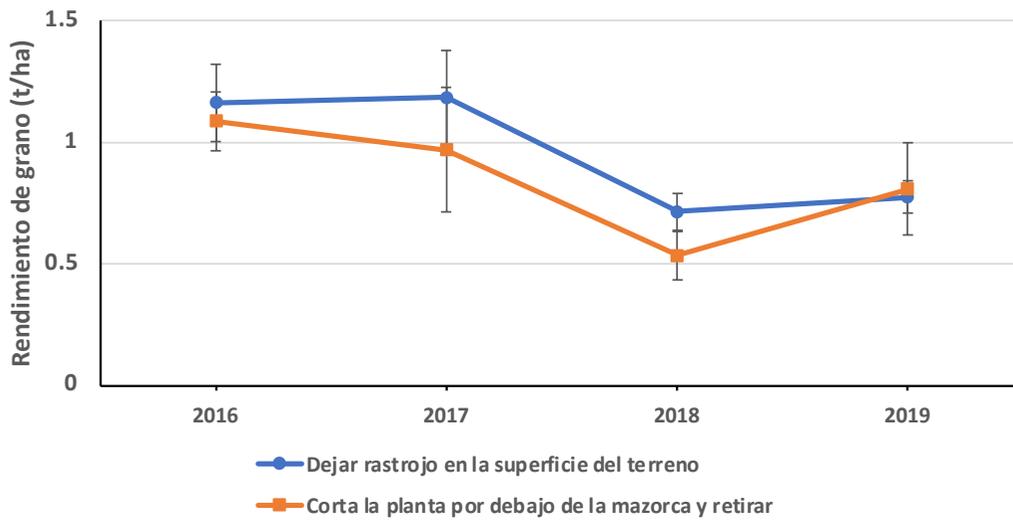
Manejo de rastrojo

El rendimiento promedio de maíz en rotación con arvejón fue mayor en los tratamientos con cero labranza cuando se dejó el total de los residuos de cosecha sobre la superficie del suelo (figura 3). Retirar parte del rastrojo (cortar la planta por debajo de la altura de la mazorca y retirar) disminuyó el rendimiento promedio en 900 kg/ha. En otros sistemas de producción muchas veces la retención parcial de rastrojo es suficiente, pero en este caso la biomasa generada no es suficiente para remover una parte y tener buen rendimiento en comparación cuando se deja el total de rastrojo.

El rendimiento promedio de arvejón fue mayor (0.95 t/ha) cuando se dejó el total de rastrojo de maíz que cuando se retiró parcialmente (0.85 t/ha) (figura 4). Considerando que el kilogramo de maíz está en 5 MXN y el de arvejón en 16 MXN, se tiene un ingreso extra promedio de 4,500 MXN y 1,600 MXN/ha, respectivamente, por dejar el rastrojo y esto es mayor al precio de venta del rastrojo en la región (1,000 MXN/ha).



■ **Figura 3.** Efecto del manejo de rastrojo en cero labranza sobre el rendimiento de maíz en rotación con arvejón durante cuatro años en la plataforma Cuautempan, Puebla.



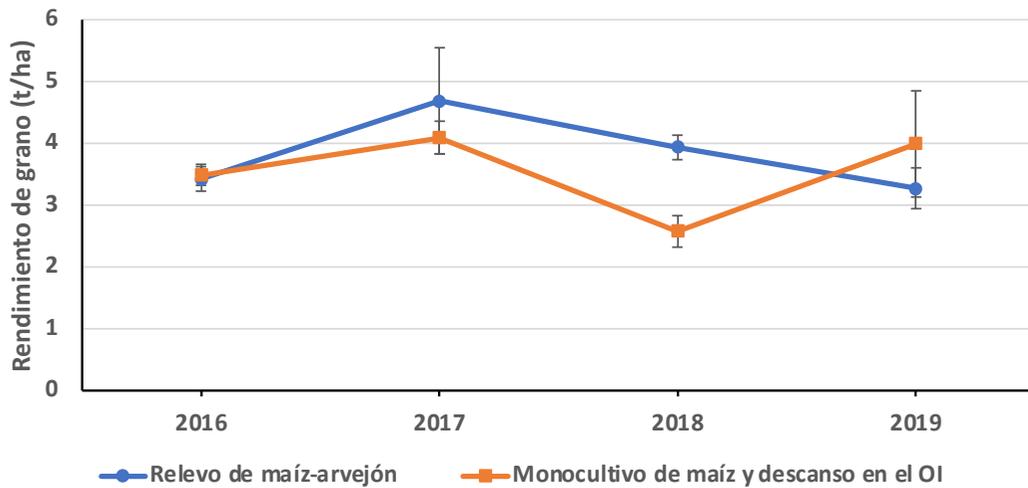
■ **Figura 4.** Efecto del manejo de rastrojo en cero labranza sobre el rendimiento de arvejón durante cuatro años en la plataforma Cuautempan, Puebla.



Relevo de arveji3n en el ciclo oto3o-invierno

Sembrar arveji3n en el ciclo oto3o-invierno en relevo entre los surcos de ma3z antes de la cosecha requiere de m3s a3os de evaluaci3n. En general, el rendimiento promedio de ma3z fue mayor (3.8 t/ha) que descansar el terreno en el ciclo oto3o-invierno (3.5 t/ha) (figura 5). Sin embargo, en el ciclo primavera-verano 2019 ocurri3 una tormenta que acam3 el cultivo de ma3z en el tratamiento de relevo, lo que

gener3 la reducci3n del rendimiento y podr3a no responder al efecto de la rotaci3n. En general, usar el relevo con arveji3n podr3a propiciar a las familias una cosecha adicional en el ciclo oto3o-invierno (figura 6) para contribuir con una mayor disponibilidad de granos, el incremento y la diversificaci3n de los ingresos y la dieta.



■ **Figura 5.** Efecto de relevo en el OI sobre el rendimiento de ma3z cultivado en cero labranza dejar los residuos de cosecha en el terreno durante cuatro a3os en la plataforma Cuautempan, Puebla.



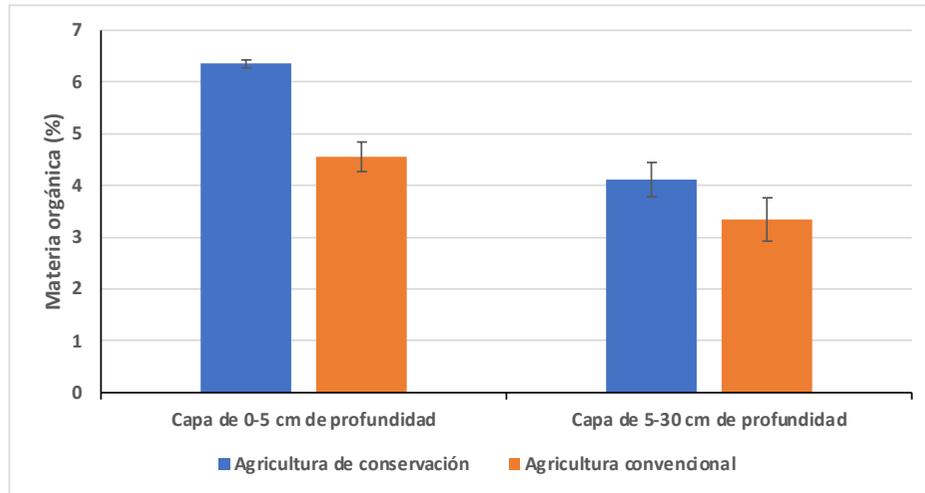
■ **Figura 6.** Cultivo de arveji3n en la plataforma de investigaci3n Cuautempan, Puebla el 10 de enero de 2017. (Foto: Juan Espidio).



Calidad de suelo

El tipo de prácticas realizadas durante el manejo agronómico tiene un efecto en el rendimiento del cultivo e impacto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La materia orgánica en las capas de 0-5 y 5-30 cm fue mayor con agricultura de conservación —cero labranza, rotación maíz-arve-

jón y dejar los residuos de cosecha en el terreno— (6.4 y 4.1%, respectivamente) y menor con labranza convencional —barbecho, escarda, monocultivo de maíz y retirar los residuos de cosecha— (4.6 y 3.3% respectivamente) (figura 7).

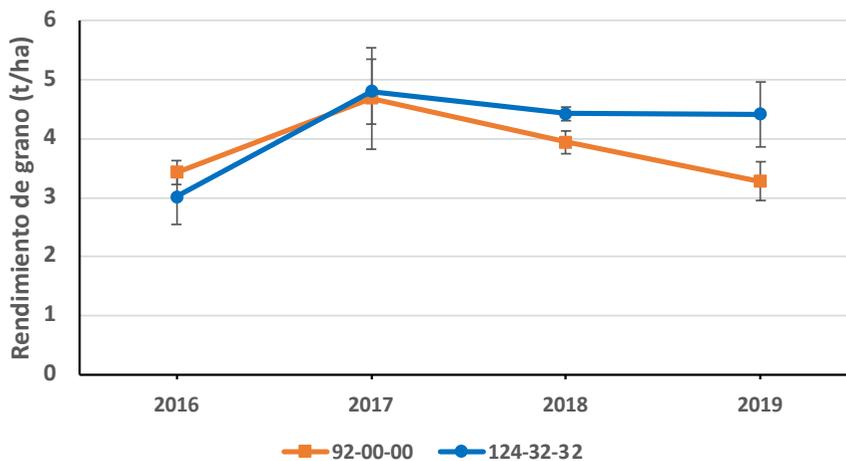


■ **Figura 7.** Contenido de materia orgánica en la capa de 0-5 y 5-30cm en sistemas de labranza en la plataforma Cuautempan, Puebla. Datos generados por Fonteyne et al., 2021.

Fertilización

Usar una dosis de fertilización 92-00-00 o 124-32-32 parece aumentar la brecha en el rendimiento durante el tiempo, pero se requieren más años de evaluación para tener una conclusión robusta. Solo en 2019 hubo una diferencia clara en el rendimiento (figura 8), siendo este de 4.1 t/ha al usar una dosis

de fertilización de 124-32-32 y de 3.8 t/ha con una dosis de 92-00-00 —siendo esta última la práctica común entre los productores de la región—; sin embargo, la utilidad fue menor (5,722 MXN/ha) con la dosis de 124-32-32 que con la de 92-00-00 (6,180.9 MXN/ha).



■ **Figura 8.** Efecto de dosis de fertilización en cero labranza sobre el rendimiento de maíz durante cuatro años en la plataforma Cuautempan, Puebla.



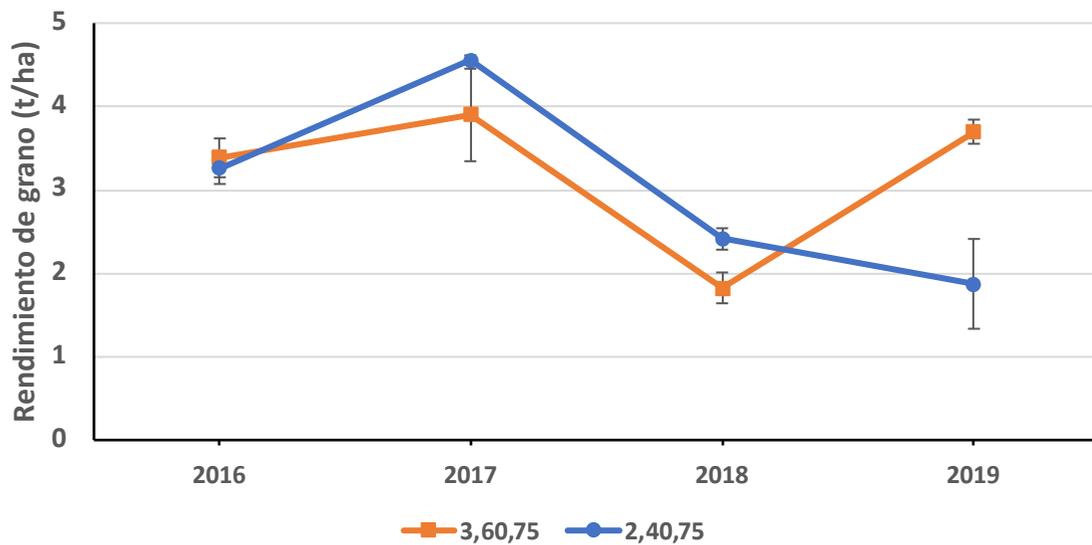
Arreglo topológico

El rendimiento promedio de maíz fue similar al usar tres semillas por golpe a una distancia de 0.60 m con un ancho de surco de 0.75 m (3,60,75) 3.2 y 3.0 t/ha y 2 semillas por golpe a una distancia de 0.40 m con el mismo ancho de surco (2,40,75) (figura 9). En 2019 el rendimiento fue mayor al usar 3 semillas por golpe a una distancia de 0.60 m con un ancho de surco de 0.75 m. La sequía durante los primeros meses ocasionó una disminución en la densidad de población en el arreglo topológico de 2,40,75 que a su vez impactó en la disminución de 1.8 t/ha del rendimiento de maíz respecto a usar 3,60,75.

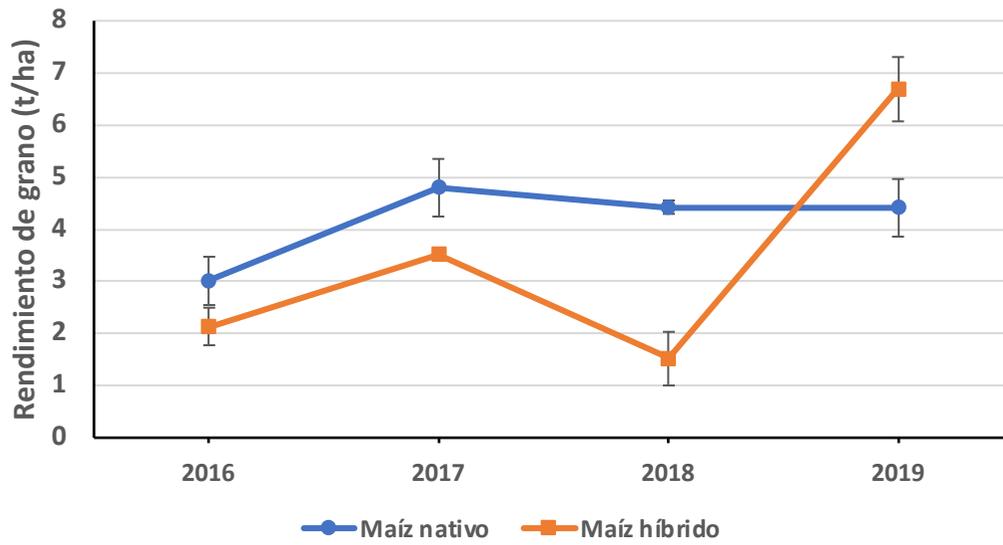
Varietades de maíz

En un clima templado húmedo con abundantes lluvias en verano, el maíz criollo mostró, de 2016

a 2018, un mayor rendimiento promedio (4.0 t/ha) que los maíces híbridos (2.3 t/ha) (figura 10). Los maíces híbridos usados fueron CSTHW10002 en 2016, CRM-52 en 2017, Z-60 de Asgrow en 2018 y DK 2037 en 2019. Es posible que el rendimiento de estos maíces se deba a la poca adaptación a los problemas por complejo de mancha de asfalto en la planta y *Fusarium* spp. en mazorca durante el periodo de secado de grano (Hock et al., 1989). En 2019, un año con sequía y donde se realizó la dobla en los maíces híbridos (figura 11), estos mostraron un rendimiento de 2.2 t/ha mayor con respecto a los maíces criollos. En los siguientes ciclos se probará la dobla para estudiar esta práctica en la adaptación a los materiales híbridos y el efecto en enfermedades.



■ Figura 9. Efecto del arreglo topológico en cero labranza sobre el rendimiento de maíz durante cuatro años en la plataforma Cuautempan, Puebla.



■ **Figura 10.** Efecto de dos tipos de maíz en cero labranza sobre el rendimiento durante cuatro años en la plataforma Cuautempan, Puebla.



■ **Figura 11.** Doble de maíces híbridos durante secado de grano en la plataforma Cuautempan, Puebla.



Conclusión

Limitante	Propuesta	Resultados
Deficiente manejo agronómico del cultivo de maíz en cuanto a densidad de población, fertilización, manejo de malezas e insectos	Dosis de fertilización	El rendimiento de grano de maíz fue similar con las dosis de fertilización de 124-32-32 y 92-00-00.
	Arreglo topológico	El rendimiento de grano de maíz fue similar con el arreglo topológico de tres semillas por golpe a una distancia de 0.60 m con un ancho de surco de 0.75 m y dos semillas por golpe a una distancia de 0.40 m con el mismo ancho de surco.
	Varietades mejoradas	Los maíces criollos tienen un rendimiento mayor de 1.7 t/ha respecto a los maíces híbridos.
	Cero labranza	Usar cero labranza mejoró el rendimiento en 500 kg/ha respecto a la labranza convencional.
	Manejo de residuos	Dejar el rastrojo en cero labranza en la superficie del terreno aumentó el rendimiento en 900 kg/ha respecto a quitarlo parcialmente.
	Relevo de arvejión	Sembrar arvejión en el ciclo otoño-invierno en relevo con maíz requiere más años de evaluación.
Altos costos de producción	Calidad de suelo	Mayor materia orgánica en las capas de 0-5 y 5-30 cm en agricultura de conservación (6.4 y 4.1% respectivamente) y menor en labranza convencional (4.6 y 3.3% respectivamente).
	Cero labranza	Los costos de producción disminuyeron 3,975 MXN/ha en la preparación del suelo al realizar cero labranza.
	Fertilización	Una mayor fertilización (124-32-32) no aumenta la rentabilidad respecto a la fertilización convencional (92-00-00).
	Rastrojo	Dejar el rastrojo en maíz y arvejión aumenta el rendimiento y se tiene un ingreso extra promedio de 4,500 MXN/ha y 1,600 MXN/ha, respectivamente, mayor al precio de venta del rastrojo en la región (1,000 MXN/ha).
	Relevo de arvejión	Incrementa y diversifica los ingresos y la dieta.



Molcaxac, Puebla

Nombre plataforma	Molcaxac, Puebla
Colaboradores	Antonio López Ramírez y Arturo Nieves Navarro
Institución	Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario 305
Ubicación	Km. 1, Carretera Molcaxac-Huatlatlauca, Rancho el Tecorral, Molcaxac, Puebla, C. P. 75650, 18°43.590'N 97°55.630'W
Altitud	1860 metros sobre el nivel del mar (msnm)
Clima	Templado subhúmedo con lluvias en verano
Año de instalación	2011

Introducción

La plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, está localizada en la región Mixteca Poblana, donde la mayoría de los productores siembran maíces y frijoles criollos para el autoconsumo. El rendimiento promedio de maíz es bajo —de 0.8 a 1.3 t/ha— y, adicionalmente, se reporta que cada ciclo aproximadamente el 50% de la superficie sembrada termina en siniestro (SIAP, 2021).

Los bajos rendimientos se deben principalmente a la escasez de lluvia (562 mm por año) y un régimen de lluvias mal distribuido, a menudo, concentrado a inicios del temporal (SMN, 2021). Los suelos son de tipo Leptosol, calcáreos y, en su mayoría, degradados por erosión que afecta las capas superficiales, originando suelos someros (profundidades menores a 30 cm), a menudo con pérdidas del horizonte A y partes del B (Domínguez, 2015). Las actividades agrícolas convencionales contribuyen a la degradación de los suelos debido a excesivas prácticas de labranza, la remoción del rastrojo de las parcelas y la falta de prácticas de conservación de suelo y agua.

Como actividad complementaria a la agricultura se práctica el pastoreo de ganado caprino. Las familias tienen en promedio 50 cabezas y la mayor parte del año los animales se alimentan en los terrenos agrícolas y colinas. De febrero a mayo, cuando el forraje es escaso, el ganado se alimenta

del rastrojo de maíz, por pastoreo o con el reservado en corrales.

La práctica común de manejo de suelo —labranza convencional— consiste en barbecho, dos pasos de rastra, surcado y aporque. La siembra se hace al “tapa pie”, es decir, se hace un surco con el tractor y después los jornales siembran a mano y tapan la semilla con el pie. La fertilización del cultivo se da en un primer momento antes de la preparación del terreno, extendiendo el estiércol acumulado de su ganado sobre sus parcelas, después en el aporque algunos productores también hacen alguna aplicación química.

La plataforma de investigación de Molcaxac busca generar opciones para incrementar el rendimiento y la rentabilidad del maíz y el frijol y, al mismo tiempo, conservar y mejorar el suelo mediante la evaluación de tipos de labranza, manejos de residuos y métodos de fertilización en condiciones de temporal.

En el diseño de la plataforma se consideraron las principales limitantes del rendimiento del cultivo del maíz en la región. Entre los problemas más relevantes a resolver se encuentran la escasez y mala distribución de la precipitación, los suelos delgados, pedregosos y calcáreos, y la falta de forraje para ganado.



■ Cuadro 1: Características del sistema de producción entorno a la plataforma Molcaxac, Puebla

Condiciones agroecológicas	Características sistema de producción	Manejo agronómico	Aspectos socioeconómicos
Clima: Templado subhúmedo	Producción agrícola manual	Labranza: convencional (barbecho, rastra, surcado y aporque)	Producción: autoconsumo y venta de excedentes
Temperatura promedio de 14–20 °C	Siembras en valles y planicies	Fertilización: orgánica y química	Mercado local
Precipitación: 600-700 mm, errática	Régimen hídrico de temporal	Manejo de malezas: manual y químico	Trabajo familiar
Suelo: Leptosol derivado de roca caliza y somero	Cultivo primario maíz y rotación con frijol	Manejo de plagas: químico	Poca disponibilidad de mano de obra
Vegetación: matorral crasicáule, y selva baja caducifolia	Semilla criolla		Animales de pastoreo ganado caprino, ovino y bovino

Resultados y aprendizajes

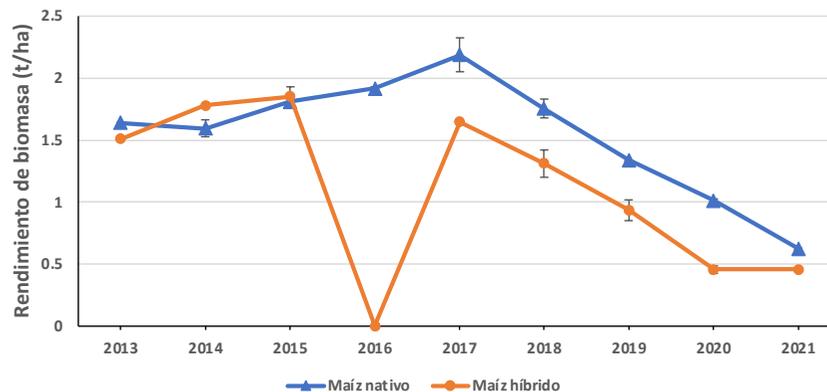
Variedades adecuadas

El rendimiento promedio de 2013 a 2019 fue mayor en el maíz criollo (1.7 t/ha) que en el maíz híbrido (1.2 t/ha) cultivado en rotación con frijol y camas permanentes (figura 1). En los otros tratamientos los rendimientos fueron menores, pero el maíz criollo siempre rindo más que el híbrido bajo un manejo similar.

El rendimiento del maíz criollo fue notablemente constante durante los años bajo agricultura de conservación. En 2016 el maíz híbrido fue siniestrado completamente debido a sequía y no se obtuvo grano, mientras que el maíz criollo sí produjo. En 2014 y 2015, bajo condiciones de buena humedad durante el ciclo, el maíz híbrido produjo un ren-

dimiento similar que el maíz criollo (figura 1). En general, los cultivares locales presentan un rendimiento más alto que los maíces híbridos debido a su mayor adaptación a las condiciones climáticas y edáficas de Molcaxac. Los maíces híbridos presentan deficiencia de hierro en etapa vegetativa, afectando el desarrollo de la planta (figura 2).

El uso de los maíces híbridos en temporal no aumentó los rendimientos, pero sí aumentó los costos de producción y el riesgo de pérdida de la cosecha, por lo que en la región es más aconsejable sembrar maíz criollo.



■ Figura 1. Rendimiento de maíz criollo e híbrido en rotación con frijol cultivado en camas permanentes a través de los años 2013 al 2021 en la plataforma de investigación Molcaxac, Puebla.



■ **Figura 2.** Comportamiento de maíz híbrido (frente) y maíz criollo (fondo) en la plataforma de Molcaxac, Puebla.

En 2013 y 2014 se usó el híbrido H-318, en 2015 H-1503, en 2016 una variedad Sintética VS 535, en 2017 Aspros 948, en 2018 y en 2019 Ocelote. Solo cinco híbridos fueron evaluados en este periodo, por lo tanto, es posible que haya materiales disponibles de ciclo intermedio o precoz que darían mejor rendimiento en la región que aún no han sido probados o podrían sembrarse en las tierras de riego donde la siembra es en marzo y hay menor riesgo de sequía. Además, en la zona el maíz híbrido tiene un valor superior de 4,500 pesos por hectárea (MXN/t) que el maíz criollo con 4,300 MXN/t, ya que en la comercialización de la tortilla local se obtiene mejor calidad de grano del maíz híbrido que con grano del maíz criollo debido a un mayor rendimiento de grano convertido a masa nixtamalizada.

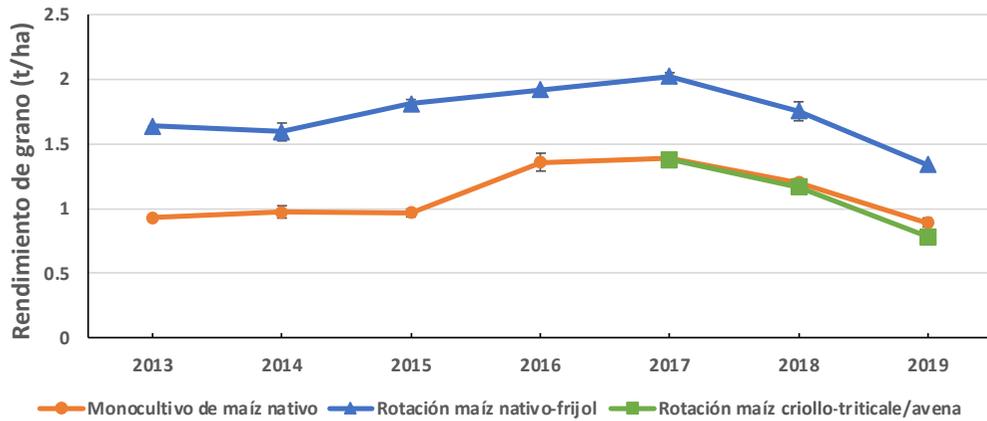
Rotación de cultivos

El rendimiento promedio de maíz criollo entre 2013 a 2019 fue mayor en la rotación maíz con frijol (1.7

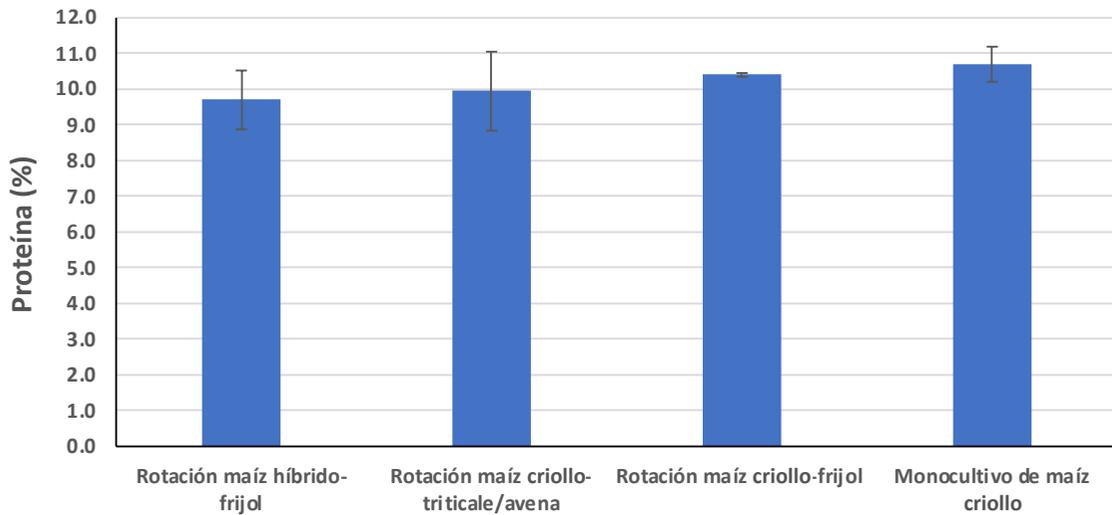
t/ha) que en el monocultivo de maíz (1.1 t/ha) en camas permanentes y con todos los residuos de cosecha sobre el terreno. De 2017 a 2018 el rendimiento de maíz fue similar entre hacer monocultivo y rotar con forraje (triticale, avena/ebo) (figura 3).

El contenido de proteína en el grano de maíz en ciclo de primavera-verano 2018 fue mayor en el maíz criollo (10.4%) que en el híbrido (9.7%). El contenido de proteína en el grano de maíz criollo fue similar entre el monocultivo (10.6%), la rotación de maíz con frijol (10.4%) y en rotación con forrajes (9.9%) (figura 4).

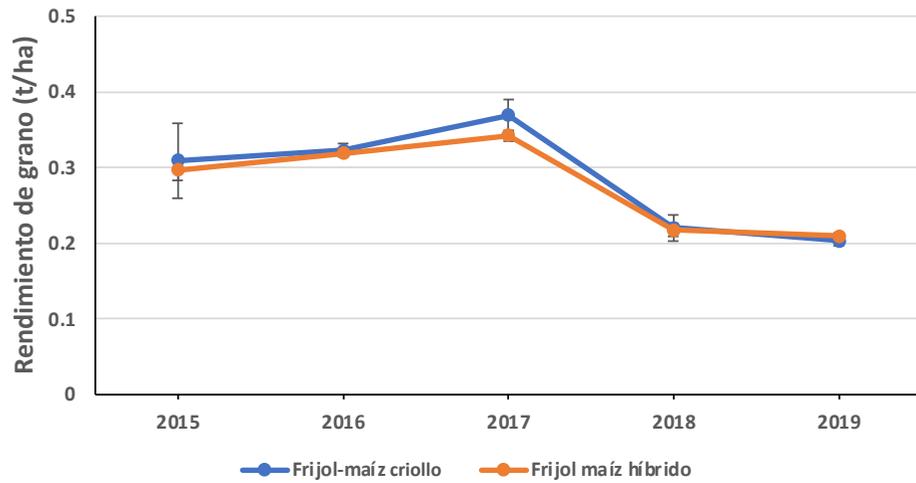
El rendimiento de frijol fue similar al sembrarlo en rotación con maíz criollo o híbrido en labranza mínima (2015 y 2016) y camas permanentes (2017 a 2019) (figura 5). La biomasa de avena y ebo fue mayor (2.6 t/ha) que la mezcla con triticale y ebo (2.3 t/ha) (figura 6) en rotación con maíz criollo en camas permanentes de 2017 a 2019.



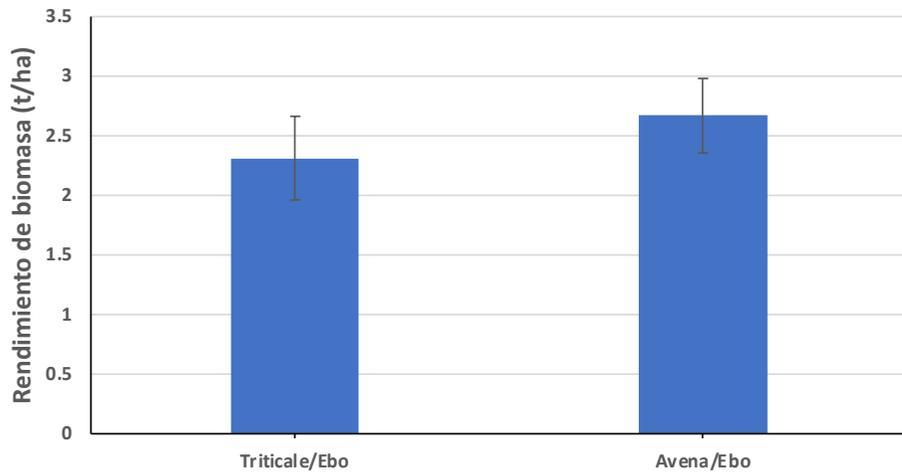
■ **Figura 3.** Efecto de rotación de cultivos sobre el rendimiento de maíz en camas permanentes a través de los años 2013 al 2019 de la plataforma Molcaxac, Puebla.



■ **Figura 4.** Contenido de proteína en el grano de maíz en ciclo de primavera-verano 2018, en sistemas de monocultivo y rotación cultivado en camas permanentes en la plataforma de Molcaxac, Puebla.



■ **Figura 5.** Rendimiento de frijol en rotación con maíz criollo e híbrido en labranza mínima a través de los años 2015 y 2016 y camas permanentes de 2017 a 2019 en la plataforma Molcaxac, Puebla.



■ **Figura 6.** Rendimiento promedio de forraje (mezcla triticale/ebo y avena/ebo) en rotación con maíz criollo en camas permanentes de 2017 a 2019 en la plataforma Molcaxac, Puebla.

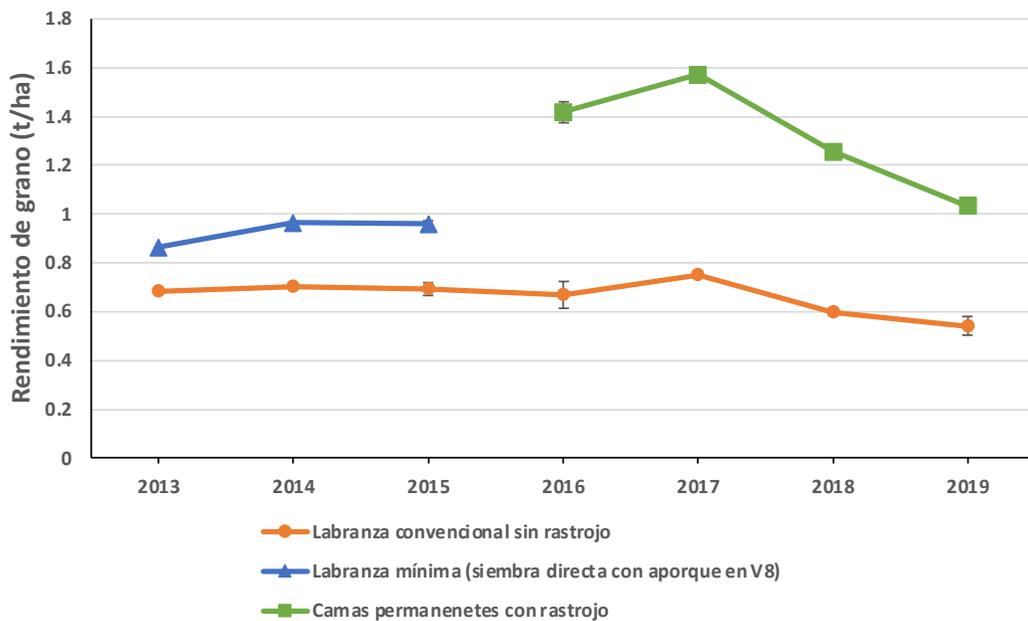


Labranza y manejo de rastrojo

El rendimiento promedio de grano de maíz entre 2013 y 2015 fue mayor (0.92 t/ha) con labranza mínima (siembra directa con aporque en V8) que en el tratamiento con labranza convencional (0.69 t/ha). De 2016 a 2019 el rendimiento fue mayor en camas permanentes (1.31 t/ha) que en el tratamiento convencional (0.64 t/ha) (figura 7).

Sembrar en camas permanentes dejando el rastrojo sobre la superficie del terreno resultó en un

incremento en el rendimiento y, por tanto, de los ingresos en el orden de los 2,924 MXN/ha. Además, los costos de producción disminuyen 2,950 MXN/ha al evitar dos pasos de rastra (1,400 MXN/ha), barbecho (1,300 MXN/ha), surcado (700 MXN/ha), primera labor (700 MXN/ha) y solo hacer reforestación de camas (800 MXN/ha) y manejo de rastrojo (350 MXN/ha), lo cual hace que, en promedio, los tratamientos con camas permanentes sean 5,900 MXN/ha más rentables que la práctica convencional.

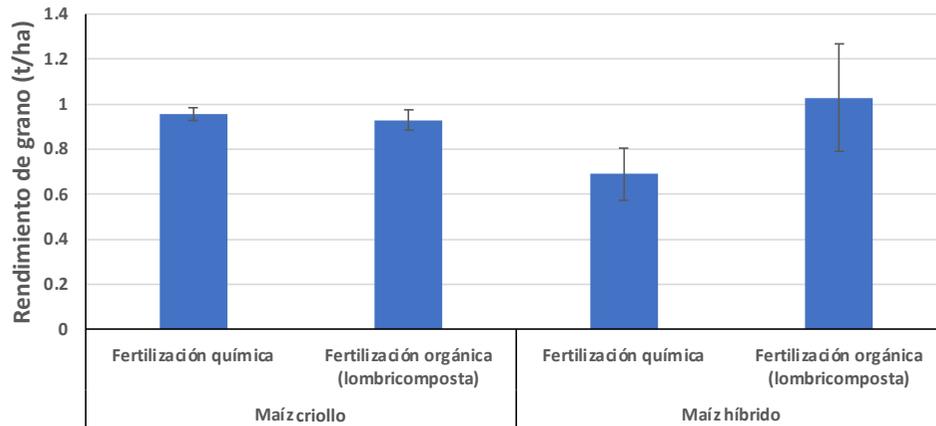


■ **Figura 7.** Efecto de labranza y manejo de rastrojo sobre el rendimiento de maíz criollo en monocultivo a través de los años 2013 al 2019 en la plataforma de investigación Molcaxac, Puebla.

Fertilización

El rendimiento de maíz criollo fue similar entre usar fertilización orgánica (0.92 t/ha) y química (0.95 t/ha). Por el contrario, el rendimiento de maíz híbrido fue mayor con fertilización orgánica (1.0 t/ha) que con la fertilización química (0.6 t/ha) (figura 8). En

este caso la inversión por fertilizante puede no ser económicamente interesante para el productor por el riesgo que representa la poca precipitación (650 mm), los suelos y los bajos rendimientos.

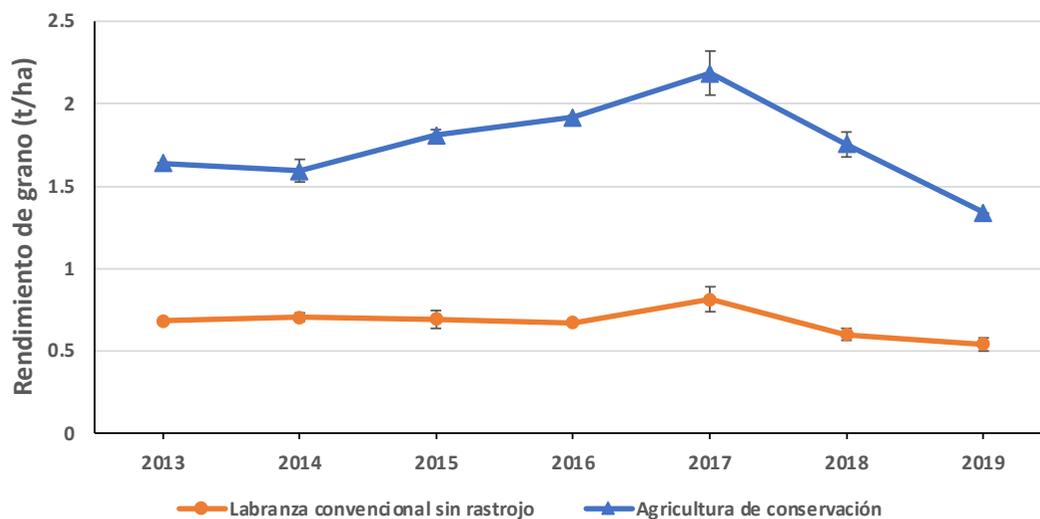


■ **Figura 8.** Rendimiento de maíz criollo e híbrido usando fertilización química y orgánica en camas permanentes en la plataforma de investigación Molcaxac, Puebla.

Agricultura de conservación

Usando en conjunto los tres componentes básicos de la agricultura de conservación el rendimiento promedio de maíz criollo fue mayor (1.7 t/ha) que con labranza convencional (0.7 t/ha) durante el periodo de evaluación de 2013 a 2019 (figura 9). El contenido de materia orgánica fue similar con

labranza convencional (3.9%) y agricultura de conservación (3.6%), por tanto, se continuará con aplicaciones de estiércol, rotación de cultivos y dejar los residuos de la cosecha sobre el terreno para mejorar la fertilidad de suelo.



■ **Figura 9.** Rendimiento de maíz criollo en agricultura de conservación y labranza convencional de 2013 a 2019 en la plataforma de investigación Molcaxac, Puebla.



Conclusión

Limitante	Propuesta	Resultados
Escasez y mala distribución de la precipitación.	Variedades adecuadas	El rendimiento fue mayor con maíz criollo (1.7 t/ha) que con maíz híbrido (1.2 t/ha) con agricultura de conservación de 2013 a 2019.
	Labranza mínima, camas permanentes y retención de rastrojo	<p>El rendimiento de grano de maíz criollo fue mayor con labranza mínima, (0.92 t/ha) que con labranza convencional (0.69 t/ha).</p> <p>El rendimiento fue mayor en camas permanentes (1.31 t/ha) que en el tratamiento convencional (0.64 t/ha).</p>
Suelos delgados, pedregosos y calcáreos.	Fertilización orgánica	<p>El rendimiento del maíz criollo fue similar entre usar fertilización orgánica (0.92 t/ha) y química (0.95 t/ha).</p> <p>El rendimiento del maíz híbrido fue mayor con fertilización orgánica (1.0 t/ha) que con la fertilización química (0.6 t/ha)</p> <p>Mejorar la fertilidad de suelo con rotación de cultivos y dejar los residuos de la cosecha sobre el terreno.</p>
	Rotación de cultivos	<p>El rendimiento del maíz fue mayor en rotación con frijol (1.7 t/ha) que en el monocultivo de maíz (1.1 t/ha).</p> <p>El rendimiento del maíz fue similar entre hacer monocultivo y rotar con forraje (triticale, avena/ebo).</p> <p>El productor puede diversificar su producción con una cosecha de frijol de 0.3 t/ha</p>
Falta de forraje para ganado	Mezcla de triticale/ebo o avena/ebo	<p>El productor diversifica su producción con una cosecha de mezcla de triticale y ebo de 2.3 t/ha de biomasa.</p> <p>Una rotación de maíz con mezcla de avena y ebo da una producción de biomasa de 2.6 t/ha.</p>



Francisco I. Madero, Hidalgo

Nombre plataforma	Francisco I. Madero, Hidalgo
Colaboradores	Brenda Ponce Lira, Julio César Nieto Aquino
Institución	Universidad Politécnica de Francisco I. Madero
Ubicación	Carretera Tepatepec-San Juan Tepatepec. Km. 2, Francisco I. Madero, Hidalgo. C. P. 42660, 20°13'46.9"N 99°05'21.23"W
Altitud	2300 metros sobre el nivel del mar (msnm)
Clima	Semiseco templado
Año de instalación	2011

Introducción

La plataforma de investigación está ubicada en el municipio de Francisco I. Madero, en la región del Valle del Mezquital del estado de Hidalgo. Esta región se localiza a 60 kilómetros de la Ciudad de México y el relieve generalmente se compone de valles y planicies. El uso de suelo para la agricultura es del 56% y está basada en la siembra de hortalizas, monocultivo de granos como maíz, trigo, frijol y alfalfa como forraje. El 47% del territorio de uso agrícola se encuentra en zonas con alto potencial productivo que cuenta con equipo de mecanización y riego por inundación de aguas negras provenientes de la Ciudad de México.

El maíz es el cultivo principal de la base económica agrícola en la región y el rendimiento promedio es mayor —10 toneladas por hectárea (t/ha)— respecto al resto de las regiones del estado (2 a 6 t/ha) (SIAP, 2021), por ser un sistema altamente tecnificado donde se usan insumos como semilla mejorada, insecticidas, herbicidas, fungicidas, fertilizantes y maquinaria que es suministrada por proveedores locales.

Los productores de esta región generan excedentes y generalmente venden su producción por sí mismos a través de intermediarios o proveedores de insumos. Los problemas son los altos costos de producción por insumos y baja organización de los productores para poder comprar insumos

en volumen y abaratar los costos, así como buscar mejores vías de comercialización de su grano.

El clima semiárido y la baja precipitación pluvial que prevalece en el Valle del Mezquital limitaría la actividad agrícola, por lo que el uso de aguas residuales ha favorecido el desarrollo de los cultivos en la región; sin embargo, hay contaminantes biológicos y químicos en estas aguas que pueden tener un impacto en la salud pública y la inocuidad de la producción en el Valle del Mezquital.

En el diseño de la plataforma se consideraron las principales limitantes del sistema del cultivo del maíz en la región. Entre los temas más relevantes para investigar se encuentran los altos costos de producción y la degradación del suelo por movimiento excesivo y monocultivo

La plataforma de investigación se estableció en la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero en 2011, actualmente lleva diez ciclos de evaluación en cultivo de primavera-verano (PV) y diez en otoño-invierno (OI). Se evalúan seis tratamientos relacionados con la rotación de cultivo maíz-avena y maíz-trigo en sistemas de labranza convencional —subsuelo y dos pasos de rastra—, camas permanentes, cero labranza y labranza mínima —*strip till*—, con diferentes niveles de cobertura de suelo: dejar rastrojo sobre la superficie del suelo, incorporar el rastrojo y retirar el rastrojo.



■ **Cuadro 1:** Características del sistema de producción de la región en torno a la plataforma de investigación
Francisco I. Madero, Hidalgo.

Condiciones agroecológicas	Sistema de producción	Manejo agronómico	Aspectos socioeconómicos
Semiseco templado	Siembras en valles y planicies	Labranza: convencional (subsoleo y dos pasos de rastra)	Producción comercial
Temperatura promedio de 12–18°C	Cultivo primario maíz, alfalfa y hortalizas	Siembra de maíz en PV y forraje en OI	Altos costos de producción por insumos para semilla, fertilizantes, herbicidas e insecticidas
Precipitación anual promedio 540 mm	Régimen hídrico de riego con aguas residuales	Monocultivo y semilla híbrida	Trabajo con jornales
Suelo Vertisol y Leptosol arcilloso	Producción agrícola mecanizada	Altas densidades de siembra: 80-90 mil plantas por hectárea	

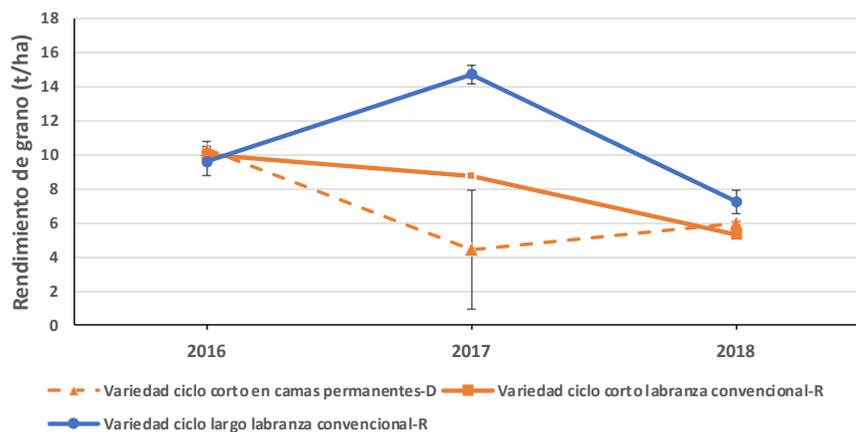
Resultados y aprendizajes

Variedades adecuadas

La plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, cuenta con disponibilidad de riego para el establecimiento de cultivos en primavera-verano y otoño-invierno. En la plataforma se evaluó maíz en primavera-verano y avena y trigo en el ciclo otoño-invierno.

De 2016 a 2018 se usó una variedad de maíz de ciclo largo después de la cosecha de avena y una variedad de maíz de ciclo corto después de la cosecha de trigo bajo diferentes sistemas de labranza: convencional, camas permanentes y cero labranza.

El mayor rendimiento promedio de maíz fue con las variedades de ciclo largo (10.5 t/ha) y menor con las de ciclo precoz (8.0 t/ha) (figura 1). En 2017, un ciclo con mucha humedad, se redujo el rendimiento de las variedades precoces cultivadas en camas permanentes con todos los residuos. Se observó una mayor cantidad de grano podrido en ese ciclo (0.83 t/ha) en comparación con el sistema de labranza convencional donde se retiró el rastrojo (0.6 t/ha), además de encostramiento del suelo durante la emergencia del cultivo, efecto que se redujo con la labranza y no en camas permanentes.



■ **Figura 1.** Rendimiento de grano de maíz de variedades de ciclo corto y largo bajo dos sistemas de labranza de suelo y manejo de rastrojo durante 2016 a 2018 en la plataforma de Francisco I. Madero, Hidalgo. Donde D: dejar todos los residuos de la planta de maíz después de la cosecha, R: retirar el total del rastrojo de maíz después de la cosecha.



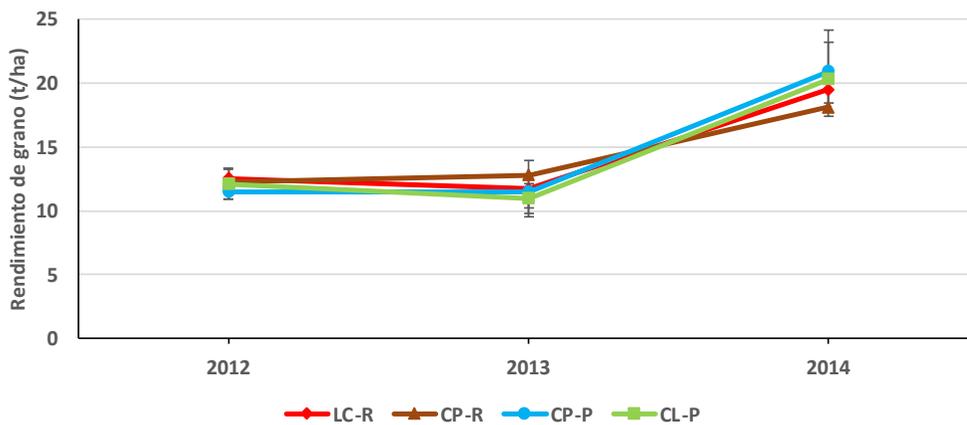
Labranza y manejo de rastrojo

Durante tres ciclos de evaluación (2012, 2013 y 2014) se usaron camas permanentes y se dejó parcialmente el rastrojo de maíz —la planta de maíz por debajo de la mazorca—. Después de la cosecha se registró un rendimiento promedio de grano de maíz similar al obtenido en labranza convencional sin rastrojo, con 14.7 y 14.6 t/ha, respectivamente. Al usar cero labranza también se obtuvo un rendimiento promedio semejante (14.5 t/ha) (figura 2).

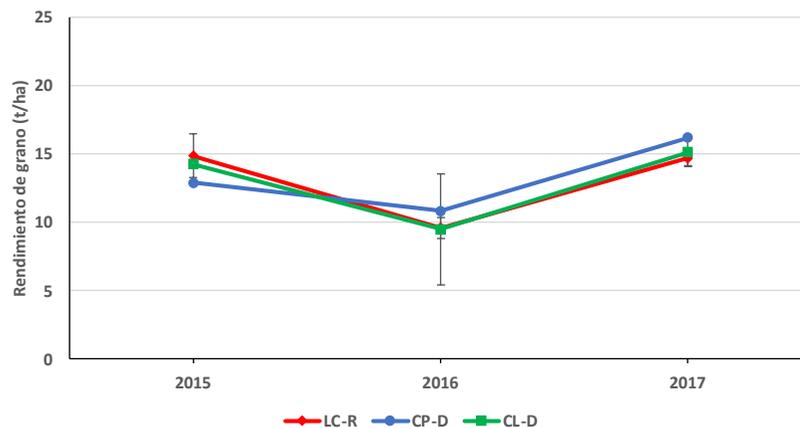
En 2015, para promover la mejora de las condiciones del suelo y valorar el efecto en rendimiento, se implementaron camas permanentes dejando el total del rastrojo. El rendimiento de grano de maíz de 2015 a 2017, al usar camas permanentes y

dejar todo el rastrojo después de la cosecha, fue solo 0.3 t/ha mayor en promedio que usar labranza convencional sin rastrojo. Usar cero labranza mostró un rendimiento similar que con la labranza convencional: 13.1 y 13.0 t/ha, respectivamente (figura 3).

Adicionalmente, los costos de producción se redujeron en la preparación del suelo antes de la siembra al evitar hacer el subsuelo —1,200 pesos por hectárea (MXN/ha)—, dos pasos de rastra (1,400 MXN/ha) y solo hacer la reformatión de camas (700 MXN/ha). Con lo anterior, se destaca un elemento económico para sensibilizar a los productores sobre la adopción de tecnologías sustentables que les permiten reducir sus costos de inversión.



■ **Figura 2.** Efecto de labranza y manejo de rastrojo sobre el rendimiento de maíz de 2012 a 2014 en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo. Donde LC: labranza convencional, CP: Camas permanentes, CL: cero labranza, R: retirar el total del rastrojo de maíz después de la cosecha, P: Dejar la parte de maíz abajo de la mazorca en la parcela.



■ **Figura 3.** Efecto de labranza y manejo de rastrojo sobre el rendimiento de maíz de 2015 a 2017 en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo. Donde LC: labranza convencional, CP: camas permanentes, CL: cero labranza, R: retirar el total del rastrojo de maíz después de la cosecha, D: dejar todos los residuos de la planta de maíz después de la cosecha.



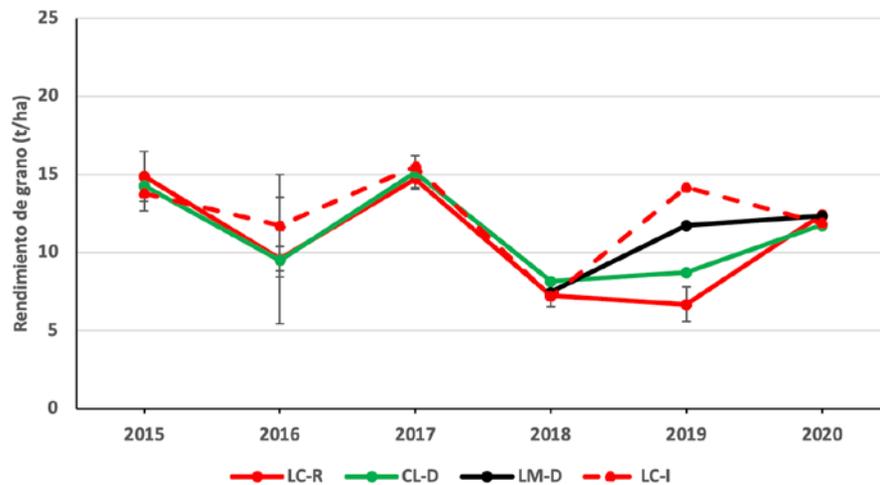
El rendimiento de grano de maíz es similar en labranza convencional cuando se incorpora o se retira el rastrojo. Sin embargo, en ciclos con sequía, como 2016 y 2019, usar labranza convencional e incorporar el rastrojo al terreno incrementó el rendimiento promedio del grano de maíz en 1.4 t/ha con respecto a quitar el rastrojo después de la cosecha (figura 4). En este caso, el productor puede obtener 6,300 MXN/ha adicionales por el excedente de grano (vendiendo a 4.5 MXN/kg) si deja el rastrojo. Si la venta de rastrojo es de 2,100 MXN/ha, el productor gana más dinero por dejar el rastrojo.

Para las condiciones del Valle del Mezquital es importante dejar el rastrojo en la superficie del terreno cuando se usa cero labranza o camas permanentes (figura 2); sin embargo, ya que la producción de biomasa de las variedades de maíz es alta —se tienen alturas de planta entre 3.19 y 3.25 m, y grosor de tallo entre 8.4 a 8.9 cm (Lira et al., 2016)—, frecuentemente se dificulta el establecimiento del cultivo porque la cantidad de rastrojo no permite la profundidad adecuada de siembra que la semilla requiere para la germinación y emergencia. Además, los terrenos en la zona frecuentemente presentan encostramiento, lo que puede impedir que las semillas germinen. Por tal motivo, para asegurar la densidad de población deseada, a partir de 2018 se usó la labranza en líneas de siembra con el *striptill*, que consiste en realizar una labranza mínima para remover el suelo de la línea de siembra a fin de quitar el rastrojo de esa área y profundizar de 20 a 25 cm en el suelo para depositar la semilla (figura 5).

Los equipos para el *striptill* que se utilizan son implementos originales que vienen adaptados a las condiciones de la región o equipos armados con los materiales que tiene el productor. El equipo original consiste en un disco cortador, sistema limpia paja, cincel que ayuda para hacer la labranza dentro de la línea de siembra, discos que regulan el ancho de labranza de la línea, y aditamentos que sirven para desmoronar los terrones que se encuentran en la línea de siembra.

Dentro de la zona también se utiliza otro tipo de equipos ensamblados con los implementos que tiene el productor, por ejemplo, con barras tipo diamante, con cindeles de las mismas cultivadoras, y con discos cortadores. Se procura mantener esta opción por ser más barata, pero ambas opciones dan la funcionalidad para trabajar bajo la labranza en línea de siembra.

De 2018 a 2020, en general, los tratamientos mostraron el mismo desempeño en rendimiento; sin embargo, en periodos de sequía —como en 2019, donde la precipitación disminuyó hasta 20% en los meses de mayo a agosto (SMN, 2021) — los tratamientos con rastrojo y mínimo o cero movimiento de suelo amortiguaron el estrés hídrico y proporcionaron un mayor rendimiento respecto a usar labranza convencional y remover el rastrojo después de la cosecha. Así, se obtuvieron 14.1 t/ha con labranza convencional y remover el rastrojo después de la cosecha. Así, se obtuvieron 14.1 t/ha con labranza convencional donde se incorporó el rastrojo, 11.7 t/ha con labranza mínima (uso de *striptill*), 8.7 t/ha con cero labranza y 6.7 t/ha con la labranza convencional donde se retiró el rastrojo (figura 4).



■ **Figura 4.** Efecto de la branza y manejo de rastrojo sobre el rendimiento de maíz de 2015 a 2020 en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo. Donde LC: labranza convencional, CL: cero labranza, LM: labranza mínima (uso de *striptill*), R: retirar el total del rastrojo de maíz después de la cosecha, D: dejar todos los residuos de la planta de maíz después de la cosecha, I: incorporar el rastrojo en el terreno.

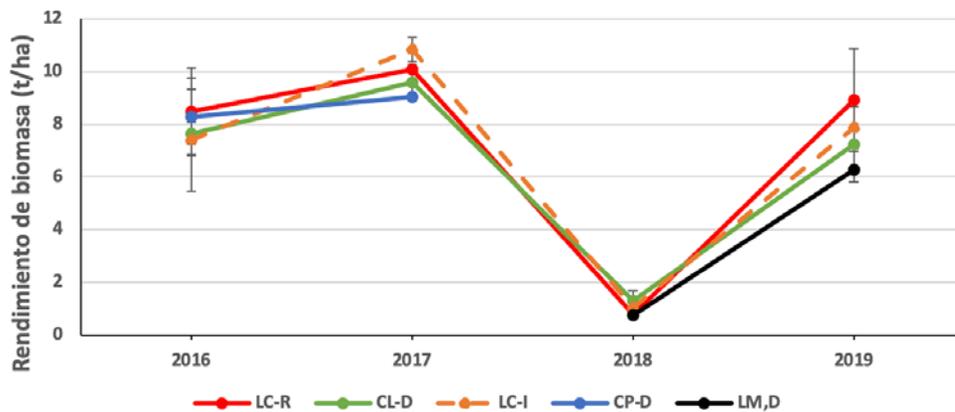


■ **Figura 5.** Tractorista haciendo labranza en líneas de siembra con el uso de strip-till, previo a la siembra del cultivo de maíz, en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, 23 de abril 2018.

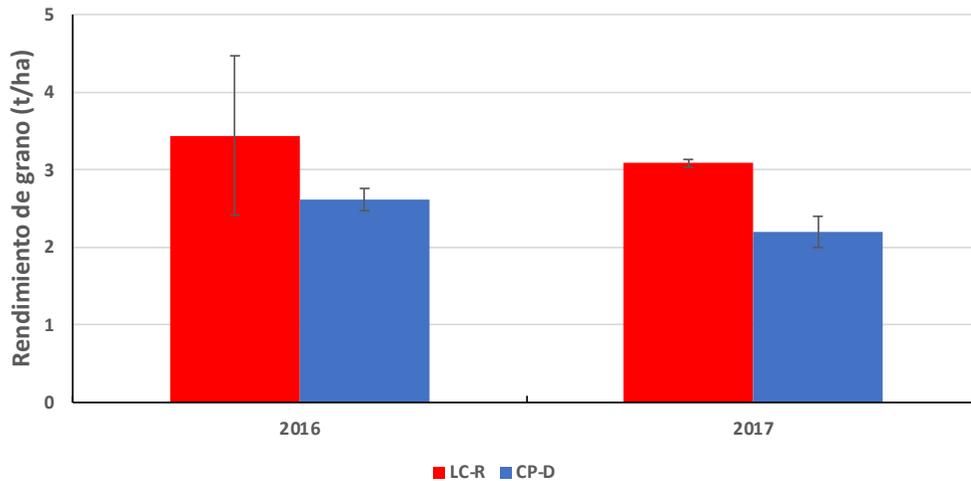
Rotación de cultivos

De 2016 a 2019, en el ciclo otoño-invierno, el rendimiento promedio de biomasa de avena fue mayor en el tratamiento de labranza convencional donde se incorporó el rastrojo (7.1 t/ha) —retirar el rastrojo en esta labranza disminuyó el rendimiento 0.3 t/ha—. En este periodo, usar cero labranza y dejar el rastrojo en la superficie del terreno tuvo un rendimiento pro-

medio de 6.4 t/ha. Por otro lado, usar camas permanentes (en 2016 y 2017) y labranza mínima (en 2018 y 2019) reportó un rendimiento promedio de 0.6 y 1.3 t/ha menor que la labranza convencional (figura 6). Con respecto al rendimiento promedio de grano de trigo, este fue de 3.2 t/ha con labranza convencional y de 2.4 t/ha en camas permanentes (figura 7).



■ **Figura 6.** Efecto de la labranza y manejo de rastrojo sobre el rendimiento de biomasa de avena, en el otoño-invierno de 2016 a 2019, en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo. Donde LC: labranza convencional, CP: Camas permanentes, CL: cero labranza, LM: labranza mínima, R: retirar el total del rastrojo de maíz después de la cosecha, D: dejar todos los residuos de la planta de maíz después de la cosecha, I: incorporar el rastrojo en el terreno.

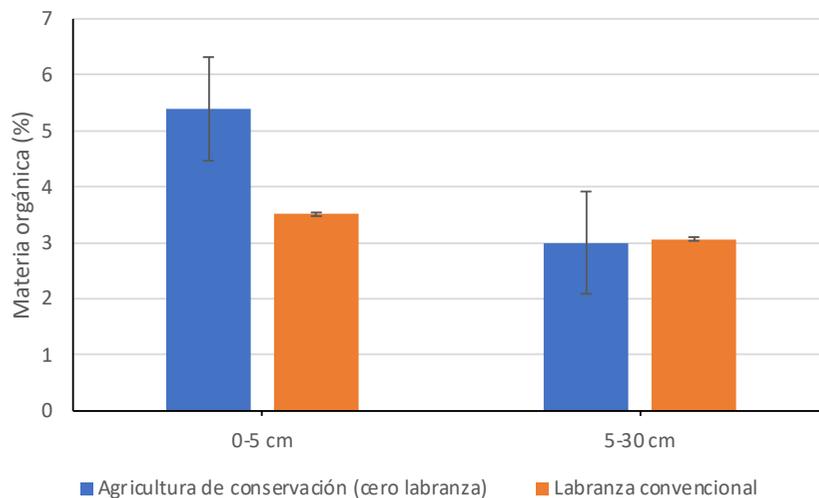


■ **Figura 7.** Efecto de la labranza y manejo de rastrojo sobre el rendimiento de grano de trigo en el ciclo otoño-invierno de 2016 y 2017, en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo. Donde: LC: labranza convencional, CP: camas permanentes, R: retirar el total del rastrojo de maíz después de la cosecha, D: dejar todos los residuos de la planta de maíz después de la cosecha.

Calidad de suelo

El contenido de la materia orgánica en la capa de 0 a 5 cm fue mayor en el sistema de cero labranza con rastrojo (5.4%) y menor en el sistema de labranza convencional donde se remueven los residuos (3.5%) (figura 8). Esto se asocia a una mejor calidad de suelo, por ejemplo, a un mayor porcentaje de estabilidad de agregados (1-2 mm) en los tratamientos donde se deja o incorpora el rastrojo en el terreno con 77.1% y 76.0%, respectivamente, en comparación con el 67.0% en el tratamiento donde se retiró

el rastrojo (figura 9). Esto contribuyó, a su vez, con una mayor tasa de infiltración de agua (0.025-0.020 cm/s) en el suelo saturado de los tratamientos con labranza mínima (*striptill*) y cero labranza, respecto a los tratamientos con labranza convencional y sin rastrojo (0.013 cm/s) (figura 10), lo cual puede tener un efecto en la eficiencia de riego de esos tratamientos y puede ser un factor que explique el menor estrés hídrico en 2019, donde resultaron con un mayor rendimiento.

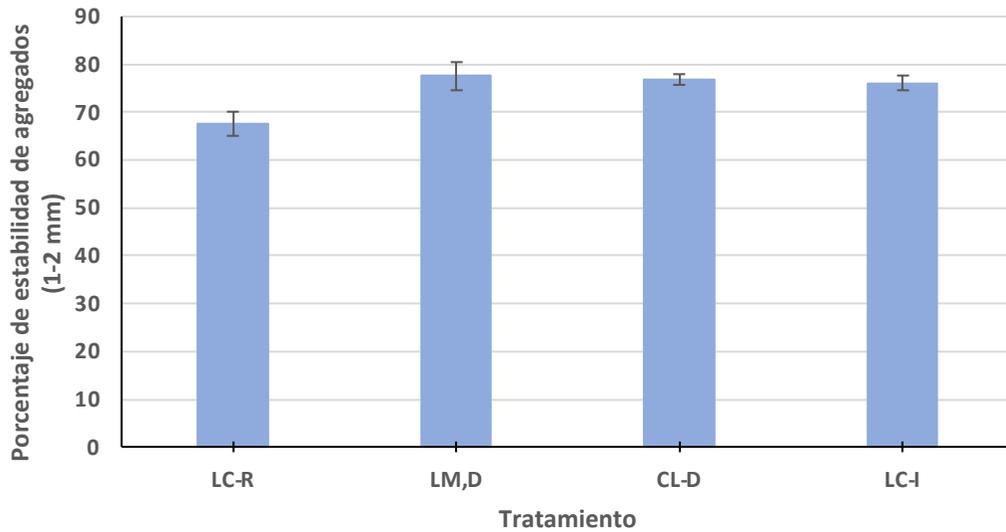


■ **Figura 8.** Contenido de materia orgánica en las capas de 0-5 y 5-30 cm en sistemas de labranza en la plataforma Francisco I. Madero, Hidalgo (Fonteyne *et al.*, 2021).

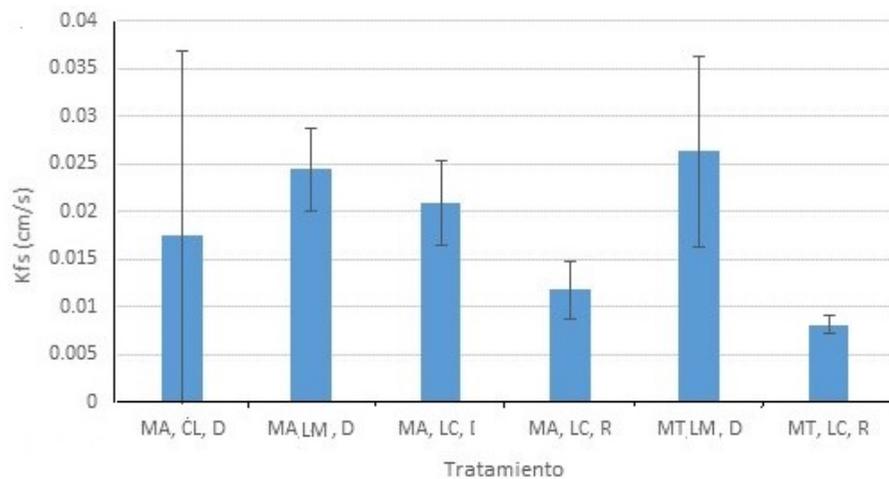


En general, el contenido de metales pesados en los sistemas de labranza se encontró en niveles por debajo de la norma mexicana para uso agrícola (SEMARNAT, 2004). El contenido de arsénico osciló entre los 0.18 y 0.16 miligramos por kilogramo (mg/

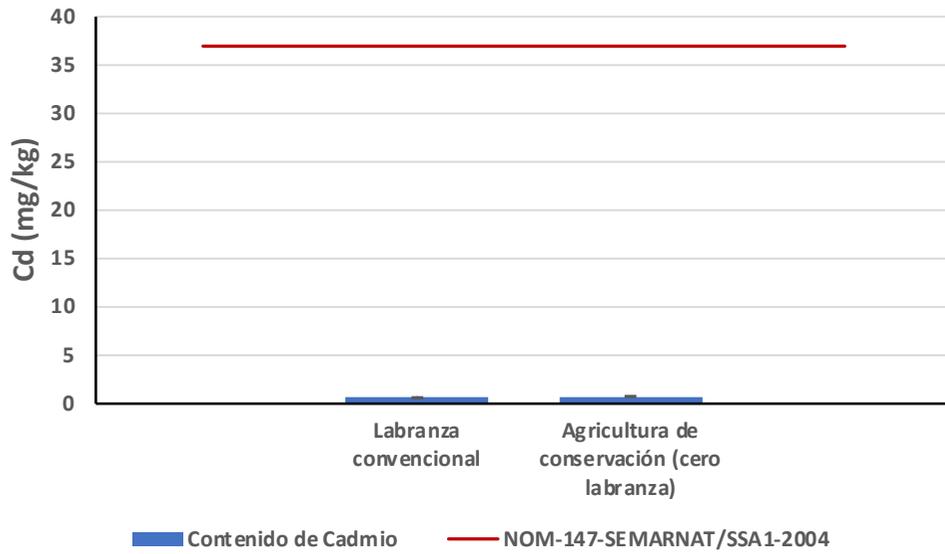
kg), el de cadmio entre 0.65 y 0.68 mg/kg, el de plomo entre 12 y 13 mg/kg, y el de bario entre 46.9 y 49.6 con agricultura convencional y agricultura de conservación, respectivamente (figuras 11 y 12).



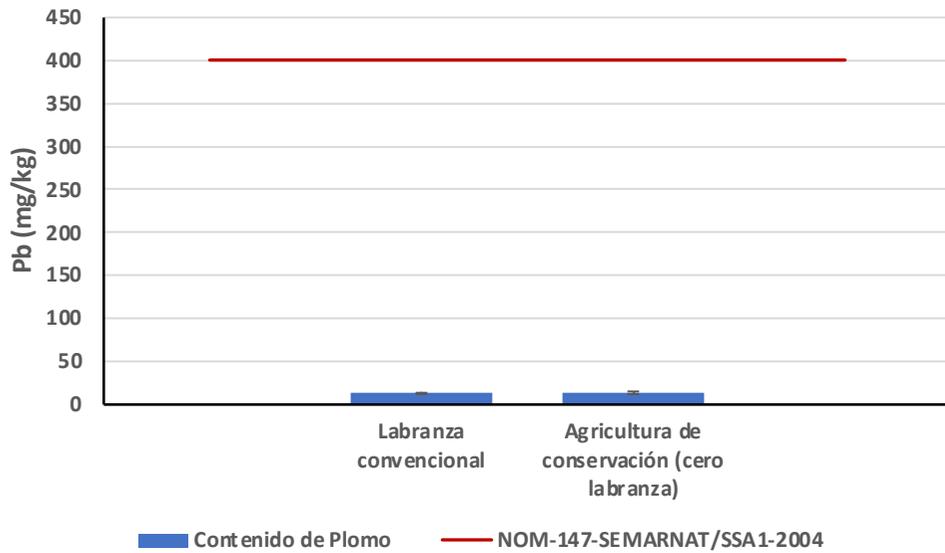
■ **Figura 9.** Porcentaje de estabilidad de agregados (1-2 mm) en sistemas de labranza en la plataforma Francisco I. Madero, Hidalgo. Donde LC: labranza convencional, LM: labranza mínima (striptill), CL: cero labranza, R: retirar el total del rastrojo de maíz después de la cosecha, D: dejar todos los residuos de la planta de maíz después de la cosecha, I: incorporar el rastrojo en el terreno. Datos generados por Fonteyne *et al.* (2021).



■ **Figura 10.** Tasa de infiltración en el suelo saturado en la plataforma de Francisco I. Madero, Hidalgo. Donde MA: rotación maíz-avena, MT: rotación maíz-trigo, CL: cero labranza, LM: labranza mínima (striptill) LC: labranza convencional, R: retirar el total del rastrojo de maíz después de la cosecha, D: dejar todos los residuos de la planta de maíz después de la cosecha, I: incorporar el rastrojo en el terreno. Datos generados por Fonteyne *et al.* (2021).



■ **Figura 11.** Contenido de cadmio en el suelo en sistemas de labranza en la plataforma Francisco I. Madero, Hidalgo (Fonteyne *et al.*, 2021).



■ **Figura 12.** Contenido de plomo en el suelo en sistemas de labranza en la plataforma Francisco I. Madero, Hidalgo (Fonteyne *et al.*, 2021).



Conclusión

Limitante	Propuesta	Resultados
Altos costos de producción	Cero labranza, camas permanentes	En la plataforma se registra un ahorro de 2,600 MXN/ha al usar cero labranza y de 1,600 MXN/ha con camas permanentes respecto a la labranza convencional.
	Manejo de rastrojo	Incorporar el rastrojo dio mayor rendimiento de maíz (12.4 t/ha) que quitarlo del terreno en labranza convencional (10.9 t/ha). Mientras que el valor del rastrojo es de 2,100 MXN/ha, el productor puede obtener 6,300 MXN/ha adicionales por el excedente de grano de maíz si deja el rastrojo.
	Rotación de cultivos	El rendimiento de grano de trigo fue de 3.2 t/ha en labranza convencional y de 2.4 t/ha en camas permanentes. La biomasa de avena fue 0.3 t/ha mayor al incorporar el rastrojo al suelo que retirándolo de la parcela.
Degradación del suelo por movimiento de suelo excesivo y monocultivo	Manejo de rastrojo	La materia orgánica en la capa de 0 a 5 cm fue mayor en cero labranza con rastrojo (5.4%) y menor en labranza convencional con remoción de rastrojo (3.5%). Se registra un mayor estabilidad de agregados (1-2 mm) donde se deja o incorpora el rastrojo (77% y 76%, respectivamente) y menor porcentaje donde se retira el rastrojo (67%).
	Cero labranza, camas permanentes	La tasa de infiltración de agua en el suelo es mayor con labranza mínima (striptill) y cero labranza (0.025-0.020 cm/s) y menor con labranza convencional (0.013 cm/s)



Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo

Nombre plataforma	Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo
Colaboradores	Jaime Ortega Bernal, Yazmín Azucena Mayorga Pérez
Institución	Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico Valle del Mezquital en Mixquiahuala, Hidalgo
Ubicación	Carretera Mixquiahuala Tezontepec, Km 3.5, Mixquiahuala, Hidalgo. (Lote 19674). Coordenadas: 20°11'26.31"N 99°14'30.40"O
Altitud	2012 metros sobre el nivel del mar (msnm)
Clima	Semiseco templado
Año de instalación	2011

Introducción

La plataforma de investigación Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, se encuentra en el Valle del Mezquital, región semiárida del estado de Hidalgo donde se practica la agricultura mecanizada y hay disponibilidad de riego con las aguas residuales del Valle de México. Los principales cultivos sembrados son el maíz (se siembran alrededor de 35,806 hectáreas), alfalfa verde (41,923 hectáreas), frijol, avena forrajera y hortalizas (coliflor, calabacita y chile verde).

En la región, la agricultura en general es una actividad altamente tecnificada con el uso de semillas mejoradas, fertilizantes, pesticidas para el control de plagas, enfermedades y malezas, maquinaria e infraestructura que se utiliza en las zonas de riego de alto potencial para el maíz (cuadro 1). Además, los cultivos pueden lograr altos rendimientos —en maíz más de 10 toneladas por hectárea (t/ha) (SIAP, 2021)— por la disponibilidad de aguas negras para el riego fuera de la estación de lluvias, con un gran potencial de aprovechamiento de nutrientes y de bajo costo —10 pesos por hectárea (MXN/ha)—; sin embargo, tal práctica representa también un importante riesgo de salud pública, por ejemplo, de infecciones intestinales.

La agricultura en el Valle de Mezquital enfrenta varios retos. Los problemas se relacionan con los altos costos de producción —alrededor de los 7,500-10,000 MXN/ha—, especialmente por la compra de insumos. Además, el suministro de aguas negras disminuyó en los últimos años debido a la

disminución de precipitación y a iniciativas dirigidas a purificar las aguas negras de la Ciudad de México y reutilizarlas dentro de los límites de la urbe.

En algunos años eventos de sequía durante el ciclo primavera-verano han provocado la disminución de la capacidad de aforo de las presas de riego en la región. En 2019, por ejemplo, entre los meses de mayo a octubre llegaron a 67.4% de su capacidad (CONAGUA, 2022); por tal motivo la cantidad de agua y nutrientes que llegan a los campos de cultivo del Valle del Mezquital también disminuye y los productores se ven obligados a restringir el uso de agua en las actividades agrícolas, por ejemplo, eligiendo entre siembras en otoño-invierno y el segundo cultivo de primavera-verano hasta que se establezcan las lluvias; o bien, siembras en primavera-verano a partir de marzo. Otras medidas son realizar el riego de presiembra cuando el terreno tenga el surcado o rayado, para que el agua fluya más rápido y tarde menos tiempo en el terreno, aunque esto genera una actividad más para el productor.

En la región, el cultivo de maíz se siembra en monocultivo año tras año, lo que ha generado un incremento de problemas de plagas y enfermedades, principalmente con el carbón de la espiga (*Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*) y picudo (*Geraeus senilis*, *Nicentrites testaceipes*). Además, los suelos en la región presentan pH alcalino debido a más de cien años realizando riegos por inundación que propician un mal drenaje y la acumulación de sales,



por lo que la disponibilidad de nutrientes puede limitar el desarrollo de los cultivos.

En el diseño de la plataforma, en 2011, se consideraron las problemáticas de la producción de granos básicos y cereales en la región. Entre los temas relevantes para investigar está la búsqueda de soluciones para suelos degradados, el uso de variedades adecuadas —a las condiciones climáticas de la zona y para comercialización— y la identificación de prácticas y tecnologías para bajar los costos de producción.

A partir de la problemática se evalúan innovaciones agronómicas como: 1) arreglo topológico de alfalfa en agricultura de conservación, 2) ensayos de híbridos de maíz, 3) uso de mejoradores de suelo, biofertilizantes y fertilizantes sintéticos, 4)

evaluación de cultivos alternativos y 5) reducción de labranza con el uso del *striptill* (labranza en líneas de siembra).

El *striptill* es un implemento usado en el Valle del Mezquital como una alternativa para limpiar y hacer labranza mínima en la línea de siembra y así favorecer la emergencia de plántulas al remover el rastrojo y romper el encostramiento del suelo.

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

■ **Cuadro 1:** Características del sistema de producción en torno a la plataforma Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo

Condiciones agroecológicas	Características sistema de producción	Manejo agronómico	Aspectos socioeconómicos
Clima: Semiseco templado	Producción agrícola mecanizado; con tractor de cuatro ruedas y sembradoras.	Labranza: convencional (rastra, barbecho y surcado)	Pequeña propiedad y arrendamiento de tierras para la agricultura
Temperatura media anual 14 – 18°C	Siembras en valles y planicies	Fertilización: química	Producción: venta y alimento de ganado local
Precipitación media anual: 400–600 mm	Régimen hídrico de aguas residuales	Manejo de malezas: manual y químico	Poca disponibilidad de mano de obra
Suelo: Franco arenoso, pH de 8	Cultivos primarios maíz y alfalfa	Manejo de plagas: químico	Actividad pecuaria con bovinos
Vegetación: agrícola y pastizales	Semilla híbrida		



Resultados y aprendizajes

Variedades de alfalfa en agricultura de conservación

La alfalfa es un cultivo importante para la región, con mayor superficie sembrada que el maíz y una producción anual de 880 mil toneladas, con rendimiento de 9.6 t/ha de forraje verde/corte (SIAP, 2021). Además, es un cultivo que por ser semipermanente y leguminosa mejora la calidad del suelo, por lo que es ideal para empezar con la práctica de la agricultura de conservación en un terreno.

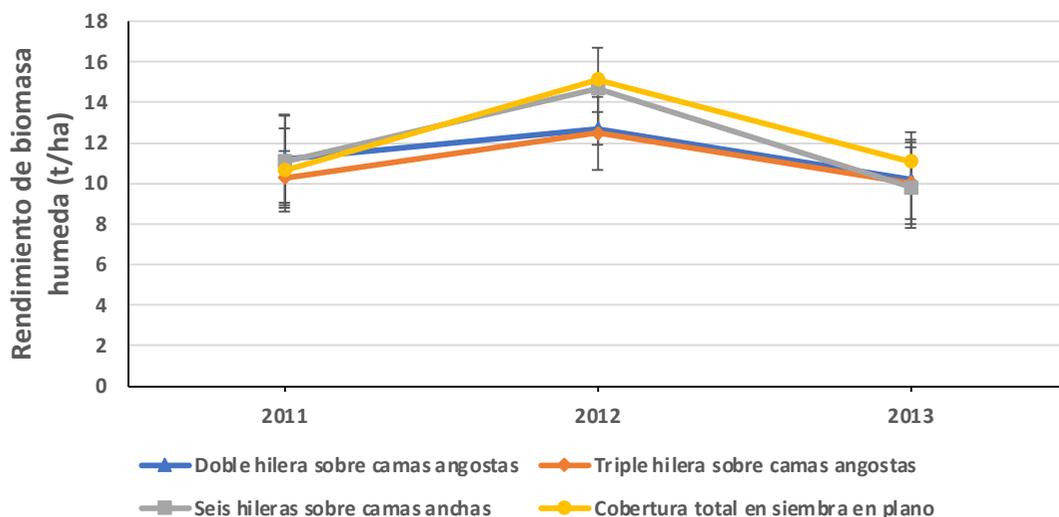
Los factores que influyen para mejorar el rendimiento de este cultivo es la falta de variedades adaptadas a las condiciones agroecológicas de la región, además de la falta de semilla de buena calidad y aspectos fitosanitarios y agronómicos. Para ayudar a resolver esta problemática se inició la plataforma con un ensayo para encontrar el mejor manejo agronómico de alfalfa, buscando la mejor variedad, densidad de siembra y método de siembra para obtener altos rendimientos y utilidades.

En un ensayo durante los ciclos otoño-invierno de 2011 a 2013 se estudiaron tres diferentes métodos de siembra: camas anchas (1.60 m entre surcos), camas angostas (0.80 m entre surcos), y siembra en plano. En camas angostas se sembró en dos y tres hileras (24 y 17 cm entre hileras, respectivamente), en camas anchas en seis hileras (20 cm entre hileras), y en plano se usó cobertura total. Se incluyeron tres

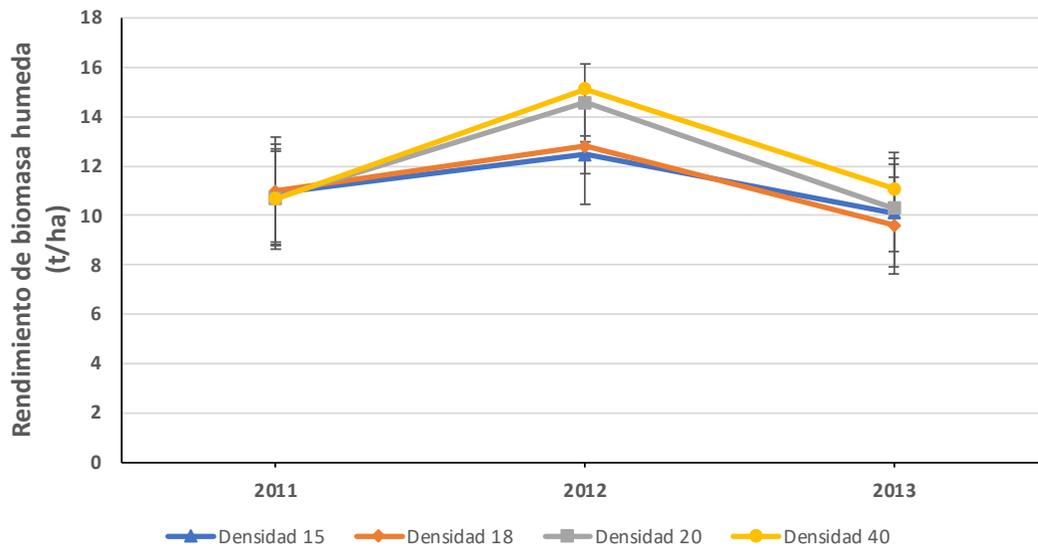
densidades de siembra (15, 18 y 20 kilogramos de grano por hectárea) para labranza en camas anchas y angostas, y en plano se usaron solo 40 kg/ha. En cada sistema de siembra se incluyeron diez variedades de alfalfa (Genex, Excelente, Gigante, WL-625, Victoria, WL-721, San Miguelito, Júpiter, WL-711 y WL9-Multifoliar).

El método de siembra con mayor rendimiento promedio de biomasa en fresco de alfalfa fue con la siembra en plano con cobertura total (12.3 t/ha) y el menor se obtuvo en camas angostas con triple hilera (10.9 t/ha). Usar camas angostas con doble hilera dio un rendimiento de 11.4 t/ha y las camas anchas con seis hileras dieron 11.9 t/ha (figura 1). Las densidades de siembra de 40 y 20 kilogramos/hectárea dieron un mayor rendimiento promedio (12.3 y 11.9 t/ha, respectivamente) que las densidades de 15 y 18 kilogramos/hectárea (11.2 y 11.1 t/ha) (figura 2).

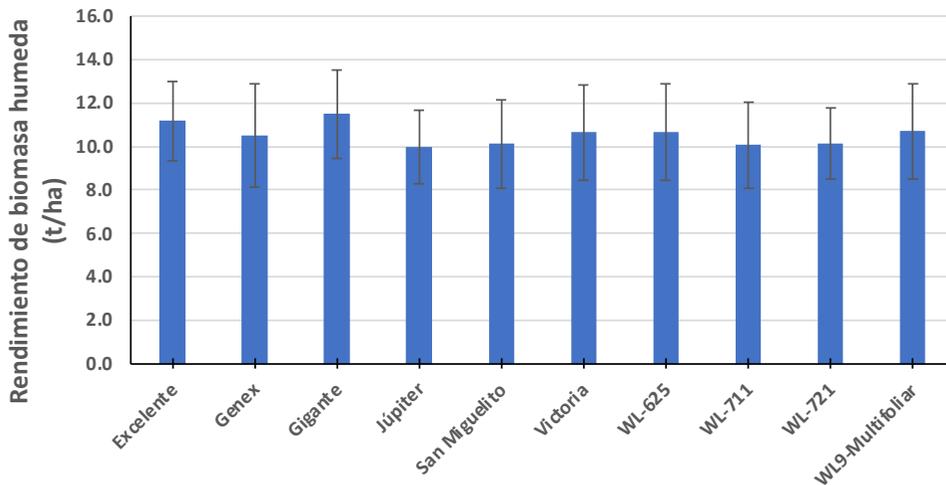
Las variedades de alfalfa Gigante y Excelente dieron mayor rendimiento promedio (11.5 y 11.2 t/ha, respectivamente) que las variedades Júpiter, San Miguelito, WL-711 y WL-721 (10.0 t/ha) al sembrarlas en tres métodos de siembra (camas angostas, camas anchas y siembra en plano) y cuatro densidades de siembra de 2011 a 2013 (figura 3).



■ **Figura 1.** Rendimiento de biomasa de alfalfa cultivada en diferentes métodos de siembra de 2011 a 2013 en Mixquiahuala, Hidalgo.



■ **Figura 2.** Rendimiento de biomasa de alfalfa cultivada en cuatro densidades de siembra en camas angostas, anchas y siembra en plano de 2011 a 2013 en Mixquiahuala, Hidalgo.



■ **Figura 3.** Rendimiento promedio de biomasa de diez cultivares de alfalfa sembradas en tres método de siembra (camas angostas, camas anchas y siembra en plano) y cuatro densidades de siembra de 2011 a 2013 en Mixquiahuala, Hidalgo.



Evaluación de mejoradores de suelo en dos sistemas de labranza

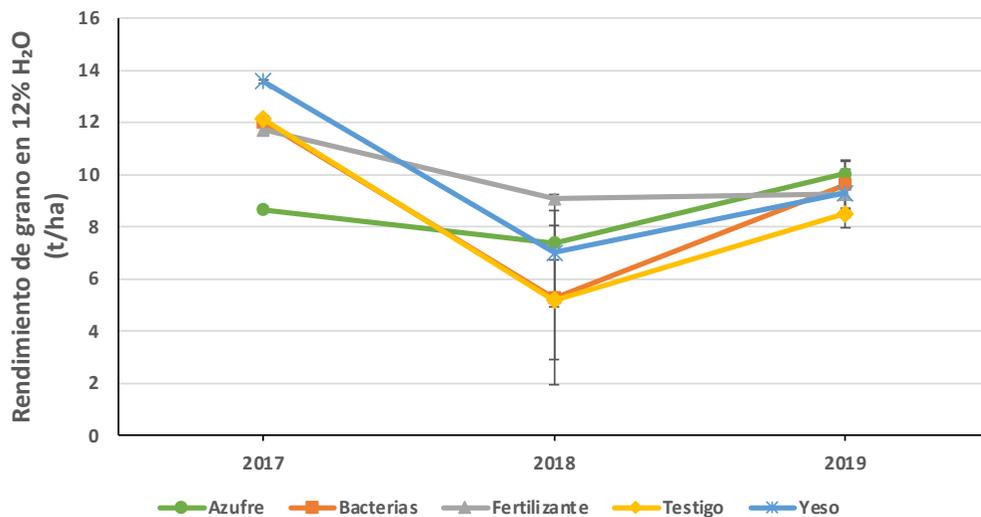
Los suelos en el Valle de Mezquital tienen un pH alto y salinidad, lo cual puede reducir el rendimiento del maíz. Existen varias enmiendas que podrían reducir esos problemas, sin embargo, no se sabe cuál es su efectividad en la región. Con la finalidad de identificar si la aplicación de mejoradores de suelo, fertilizantes y complejos bacterianos mejoran la calidad del suelo y el rendimiento de maíz, de 2017 a 2020 se evaluó la aplicación de yeso, azufre, fertilizante —bioquimax: fertilizante químico-orgánico enriquecido con micronutrientes y micorrizas— y un consorcio bacteriano. La evaluación se hizo en dos sistemas de labranza —labranza convencional y camas permanentes con labranza en franjas— porque las mejores condiciones de suelo que generan las camas permanentes podrían cambiar el efecto de los tratamientos.

La aplicación del fertilizante y mejoradores de suelo se realizó al momento de la preparación del terreno, las fuentes para los tratamientos fueron las siguientes: 200 kg/ha de bioquimax, 500 kg/ha de yeso agrícola, 800 kg/ha de azufre. Para el tratamiento de bacterias se utilizó un consorcio bacteriano —

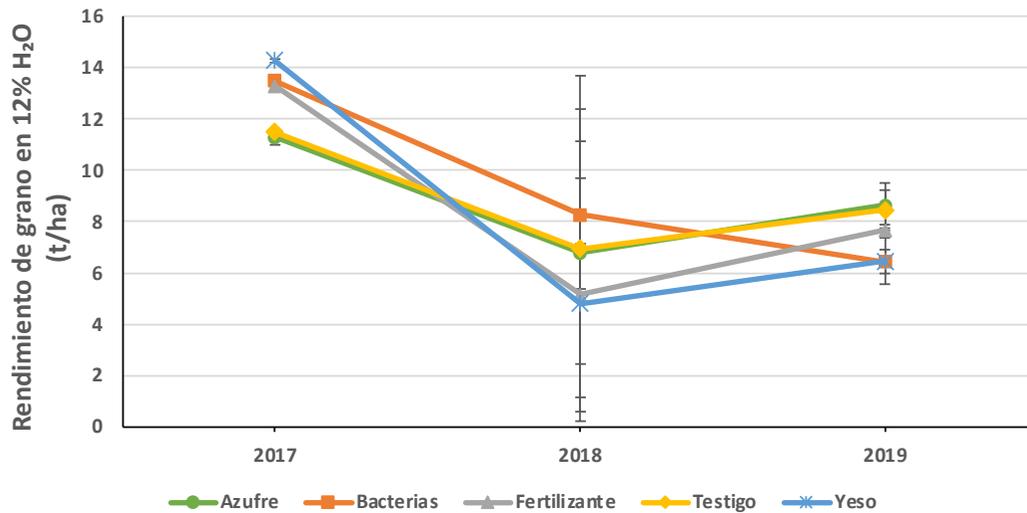
producto de fabricación local en el mercado— y se aplicó en *drench* después de la siembra y dos aplicaciones más, a partir de V6 hasta R1.

Los resultados mostraron que no hay una tendencia clara en el tiempo sobre el efecto de los tratamientos en el rendimiento de grano de maíz (figuras 4 y 5), posiblemente debido a la variabilidad de la cantidad de aguas negras y la heterogeneidad de nutrientes que llegan a las parcelas. Con más tiempo de evaluación será posible dar recomendaciones generales a los productores de la región, pero por el momento el ensayo no generó una recomendación clara.

En labranza mínima —uso de *striptill*— el rendimiento promedio de grano de maíz con el uso de yeso y fertilizante fue de 10.0 t/ha, con el consorcio bacteriano, testigo y azufre fue de 9.0, 8.6 y 8.7 t/ha, respectivamente (figura 4). Con labranza convencional —subsuelo y rastra— el rendimiento promedio de grano de maíz con el uso de bacterias, testigo, azufre, fertilizante y yeso fue de 9.4, 9.0, 8.9, 8.7 y 8.5 t/ha, respectivamente (figura 5).



■ **Figura 4.** Rendimiento de maíz usando mejoradores de suelo cultivado en labranza en líneas de siembra (*striptill*) a través de los años 2017 al 2019 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.



■ **Figura 5.** Rendimiento de maíz usando mejoradores de suelo cultivado en labranza convencional a través de los años 2017 al 2019 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.

Usar labranza mínima redujo los costos de producción 1,000 MXN/ha al evitar el subsuelo, la rastra y solo usar el *striptill*. La utilidad fue mayor (20,134

MXN/ha) con el uso de yeso y menor con el uso de bacterias (13,297 MXN/ha) ambos en labranza mínima (cuadro 2).

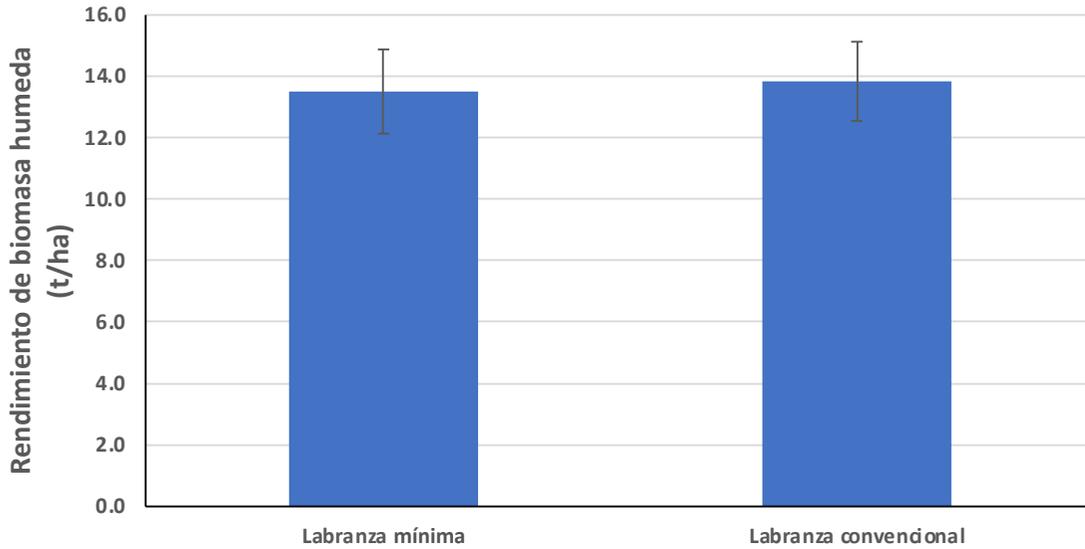
■ **Cuadro 2:** Costos de producción y utilidad (MXN/ha) de maíz en dos sistemas de labranza y uso de mejoradores de suelo, fertilizante y complejo bacteriano.

Labranza de mínima (striptill)						
		Azufre	Yeso	Bacterias	Fertilizante	Sin aplicaciones
Rendimiento	t/ha	8.7	10.0	9.0	10.0	8.6
Costo de producción total	(MXN/ha)	18,679	17,912	20,926	18,839	17,196
Utilidad neta	(MXN/ha)	15,136	20,134	13,297	19,846	15,564
Labranza convencional (barbecho y rastra)						
Rendimiento	t/ha	8.9	8.5	9.4	8.7	9.0
Costo de producción total	(MXN/ha)	19,346	18,579	21,593	19,505	17,862
Utilidad neta	(MXN/ha)	14,819	13,399	14,266	13,389	16,542

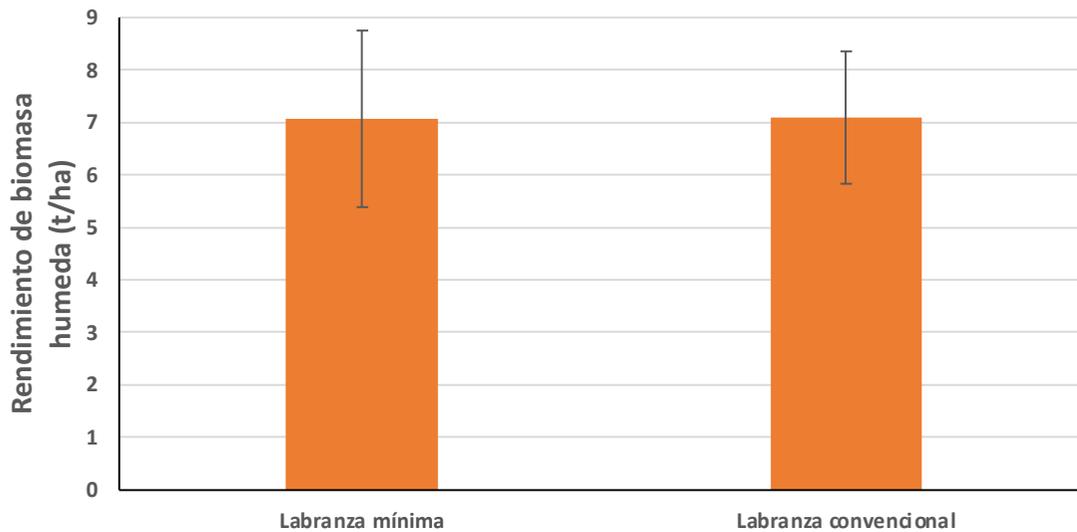


En el ciclo otoño-invierno de 2017 se sembró triticale como cultivo de rotación y avena en 2018 y 2019. El manejo agronómico para el cultivo fue el mismo, no se aplicaron mejoradores en este ciclo,

pero se conservó el tratamiento de tipo de labranza. El rendimiento fue similar con labranza convencional y labranza mínima para triticale (13.8 y 13.5 t/ha) y avena (7.0 t/ha) (figuras 6 y 7).



■ **Figura 6.** Rendimiento promedio de biomasa de triticale sembradas en dos métodos de siembra (labranza mínima y labranza convencional) en 2017 en Mixquiahuala, Hidalgo.

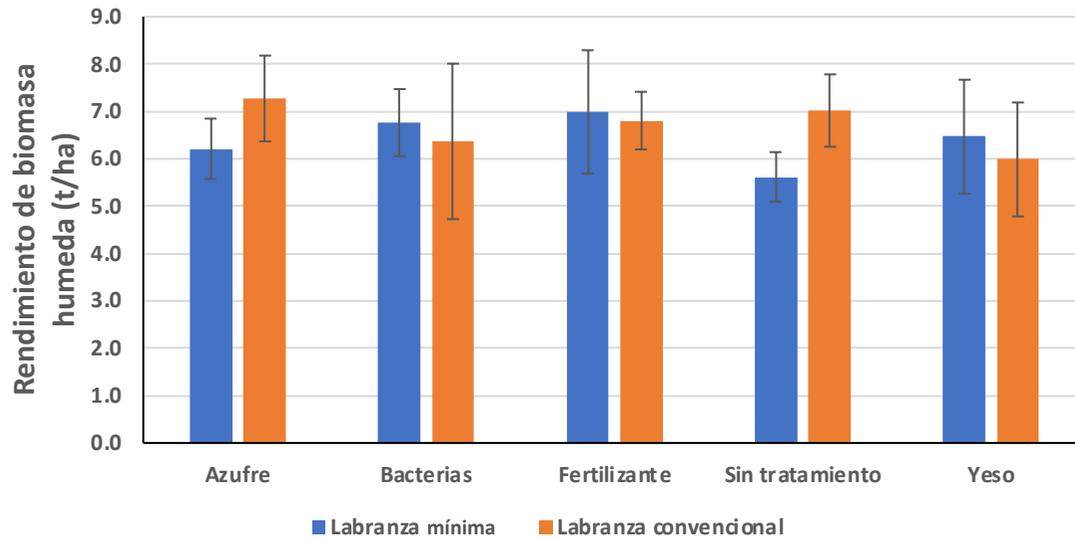


■ **Figura 7.** Rendimiento promedio de biomasa de avena sembrada en dos métodos de siembra (labranza mínima y labranza convencional) en 2018 y 2019 en Mixquiahuala, Hidalgo.



Durante el ciclo otoño-invierno el efecto residual de los mejoradores de suelo —aplicados en el cultivo de maíz— dio rendimiento promedio similar en la biomasa de avena. En labranza mínima, este fue de 7.0 t/ha con fertilizante bioquimax, 6.8 t/ha con el consorcio bacteriano, 6.5 t/ha con yeso, 6.2 t/ha

con azufre y 5.6 sin tratamiento. En labranza convencional el rendimiento fue de 7.3 t/ha con azufre, 7.0 t/ha sin tratamiento, 6.8 t/ha con fertilizante bioquimax, 6.4 t/ha con el consorcio bacteriano y 6.0 t/ha con yeso (figura 8).



■ **Figura 8.** Rendimiento de biomasa de avena sembrada en el ciclo otoño-invierno con efecto residual de mejoradores de suelo aplicados en primavera-verano a maíz en dos métodos de siembra durante 2018 y 2019 en Mixquiahuala, Hidalgo.

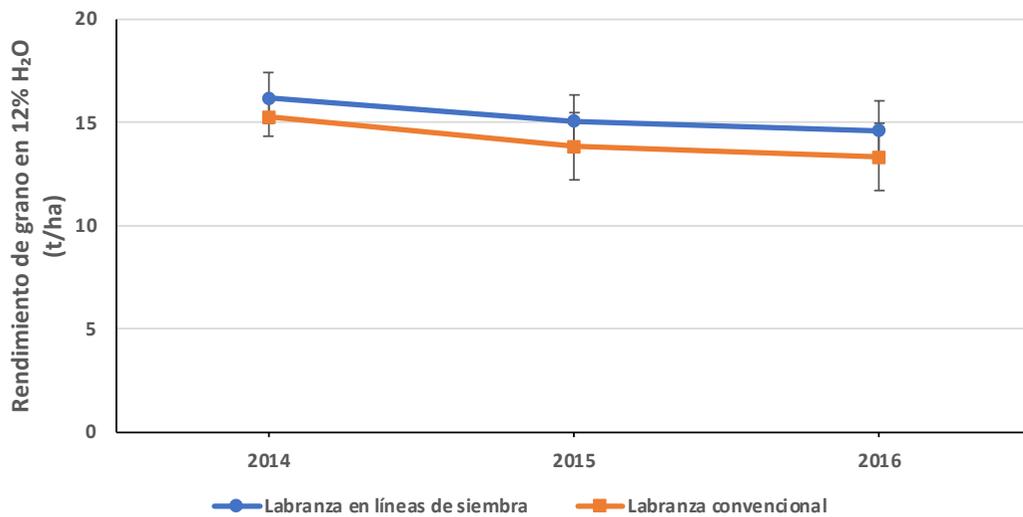


Evaluación de híbridos de maíz en dos sistemas de labranza

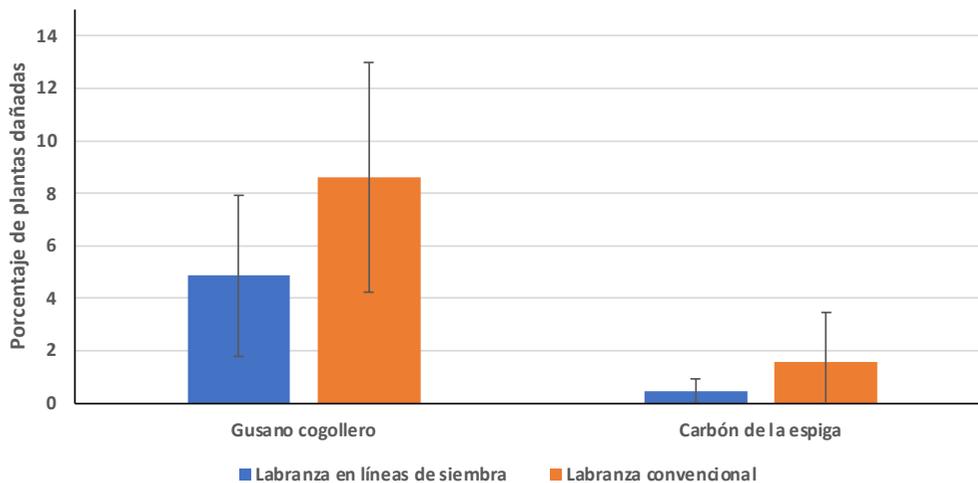
En el periodo primavera-verano del 2014 a 2016 se evaluaron 46 híbridos comerciales. Por la disponibilidad, no todos se incluyeron cada ciclo y únicamente cinco híbridos fueron consistentes en los tres años en ambos sistemas de labranza: DK-2069 (Dekalb), Euros (Unisem), P3055W (Pioneer), SB-352 (Berentsen) y XR-21 (Ceres).

El rendimiento promedio de los cinco híbridos fue mayor (15.3 t/ha) en camas permanentes angostas con labranza en líneas de siembra y menor (14.1 t/

ha) en camas angostas con labranza convencional (figura 9). El daño por gusano cogollero y carbón de la espiga fue mayor (9.0 y 2.0%, respectivamente) en labranza convencional, y menor en labranza en líneas de siembra (5.0 y 0.5%, respectivamente) (figura 10). Usar labranza mínima en líneas de siembra favorece un mayor rendimiento y la producción de plantas con mejor calidad fitosanitaria en el cultivo de maíz, lo cual contribuye a bajar los costos de producción por la compra de insumos químicos y los impactos negativos al agroecosistema.



■ **Figura 9.** Rendimiento promedio de maíz cultivados en dos sistemas de labranza del 2014 al 2016 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.



■ **Figura 10.** Porcentaje de daño por gusano cogollero y carbón de la espiga de maíz cultivados en dos sistemas de labranza del 2014 al 2016 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.



En 2014, en camas permanentes angostas con labranza en líneas de siembra el rendimiento promedio fue de 14.4 t/ha. El mayor rendimiento se obtuvo con los híbridos DK-2069 (Dekalb) (18.5 t/ha), Euros (UniseM) (17.4 t/ha) y AZ-41801 (Prosema) (17.3 t/ha). En camas angostas con labranza convencional el rendimiento promedio fue de 14.3 t/ha. El mayor rendimiento se tuvo con XR-21 (Ceres) (16.7 t/ha), CMT-106001 (CIMMYT) (16.6 t/ha) y DK-2069 (Dekalb) (16.5 t/ha) (figura 11).

En 2015, en camas permanentes angostas con labranza en líneas de siembra el rendimiento promedio fue de 14.3 t/ha. El mayor rendimiento se obtuvo con los híbridos Berrendo (Asgrow) (19.7 t/ha), DK-2069 (Dekalb) (18.6 t/ha) y Boa (Monsanto) (18.2 t/ha) (figura 12). En camas angostas con labranza convencional el rendimiento promedio fue de 13.5 t/ha. El mayor rendimiento se tuvo con Berrendo (Asgrow) (17.9 t/ha), Boa (Monsanto) (17.4 t/ha) y DK-2069 (Dekalb) (17.2 t/ha) (figura 12).

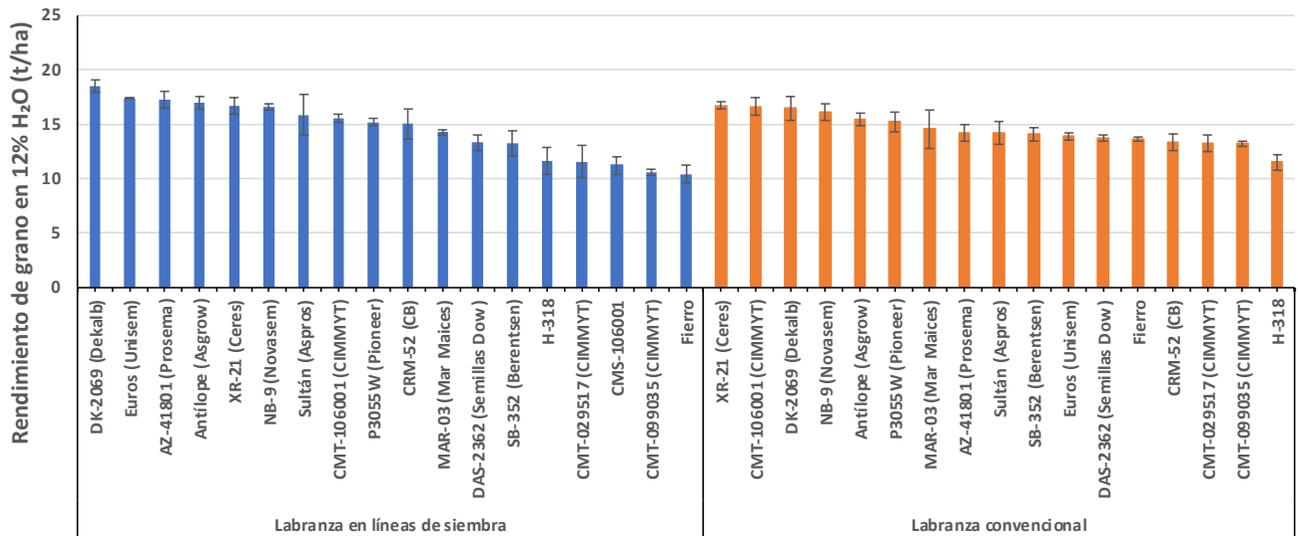


Figura 11. Rendimiento de maíces híbridos cultivados en dos sistemas de labranza durante 2014 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.

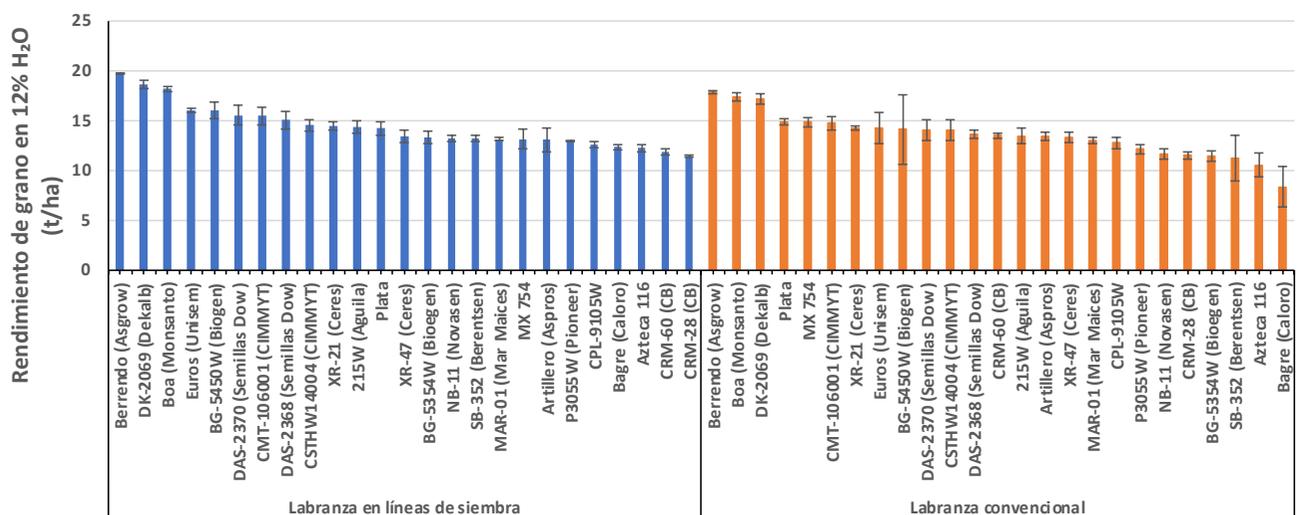
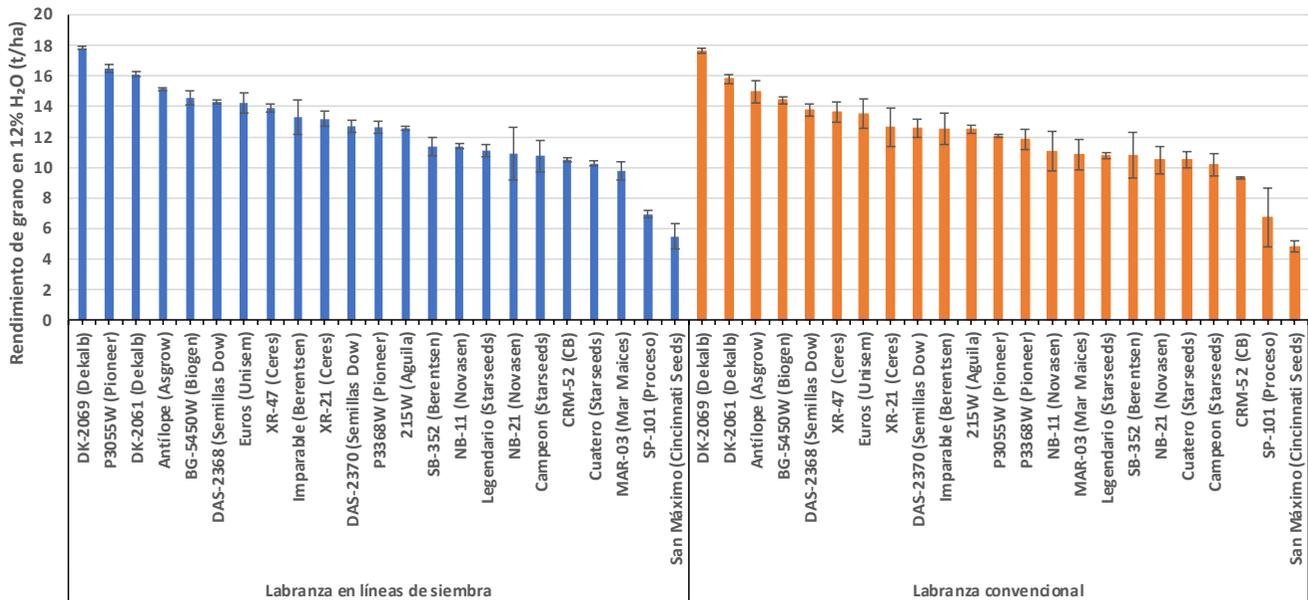


Figura 12. Rendimiento de maíces híbridos cultivados en dos sistemas de labranza durante 2015 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.

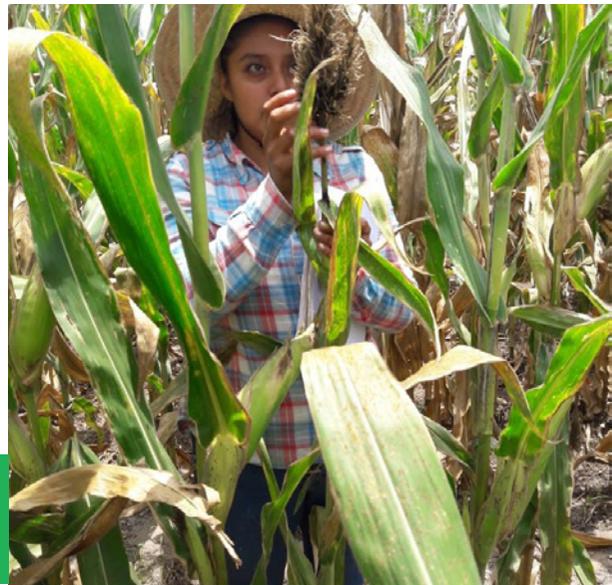


En 2016, en camas permanentes angostas con labranza en líneas de siembra el rendimiento promedio fue de 12.4 t/ha. El mayor rendimiento se obtuvo con los híbridos DK-2069 (Dekalb) (17.8 t/ha), P3055W (Pioneer) (16.5 t/ha) y DK-2061 (Dekalb) (16.1 t/ha). En camas angostas con labranza convencional el rendimiento promedio fue de 11.9 t/ha. El mayor rendimiento se tuvo con DK-2069 (Dekalb) (17.6 t/ha), DK-2061 (Dekalb) (15.8 t/ha) y Antílope (Asgrow) (14.9 t/ha) (figura 13).

Por otro lado, con respecto a las plagas y enfermedades, estas son cada vez más frecuentes y resistentes en monocultivos de maíz. Normalmente el manejo para su control es químico, pero presenta mayor dificultad para emplearse por los altos costos de insumos y el impacto ambiental. Por eso se identificaron los híbridos con mayor rendimiento y resistencia a plagas y enfermedades (figura 14).



■ **Figura 13.** Rendimiento de maíces híbridos cultivados en dos sistemas de labranza durante 2016 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.

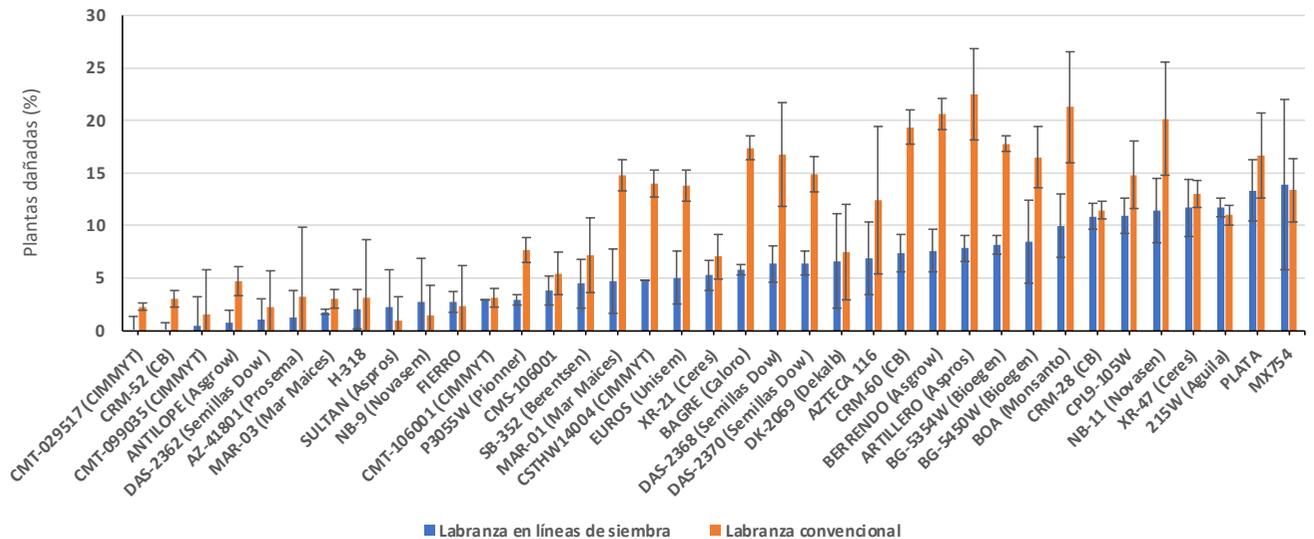


■ **Figura 14.** Técnica de campo identificando la incidencia de carbón de la espiga en maíces híbridos cultivados en la plataforma de investigación Mixquiahuala, Hidalgo.



El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) es la principal plaga de maíz en la zona, si el porcentaje de plantas infestadas con larvas es mayor a 20% es necesario una aplicación de insecticida para evitar daños económicos. Los híbridos con menor porcentaje de daño por gusano cogollero en ambos sistemas fueron CMT-029517 (CIMMYT), CRM-52 (CB), CMT-099035 (CIMMYT), Antílope (Asgrow),

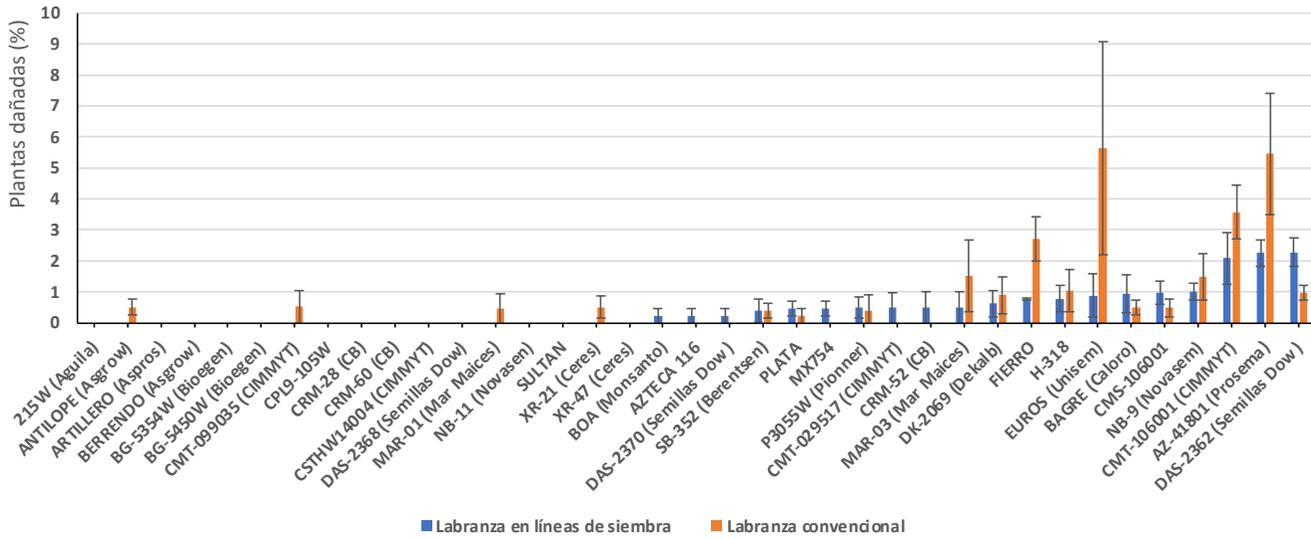
DAS-2362 (Semillas Dow), AZ-41801 (Prosema), MAR-03 (Mar Maíces), H-318, Sultán (Aspros), NB-9 (Novasem), Fierro y CMT-106001 (CIMMYT) (figura 15). Se observó una gran diferencia de la incidencia entre los híbridos, lo cual indica que la selección del híbrido a sembrar es un factor importante que se debe tomar en cuenta para reducir la necesidad de aplicar plaguicidas.



■ **Figura 15.** Porcentaje de plantas de maíces híbridos con daño por gusano cogollero cultivadas en dos sistemas de labranza a través de los años 2014 al 2016 en la plataforma Mixquihuala, Hidalgo.

El carbón de la espiga, por su parte, es una enfermedad causada por un hongo que produce esporas que pueden permanecer por muchos años en el suelo. Para evitar que reduzca el rendimiento y que se acumulen altas cantidades de inoculo en el suelo es necesario sembrar las variedades resistentes a la enfermedad. El porcentaje de daño por carbón

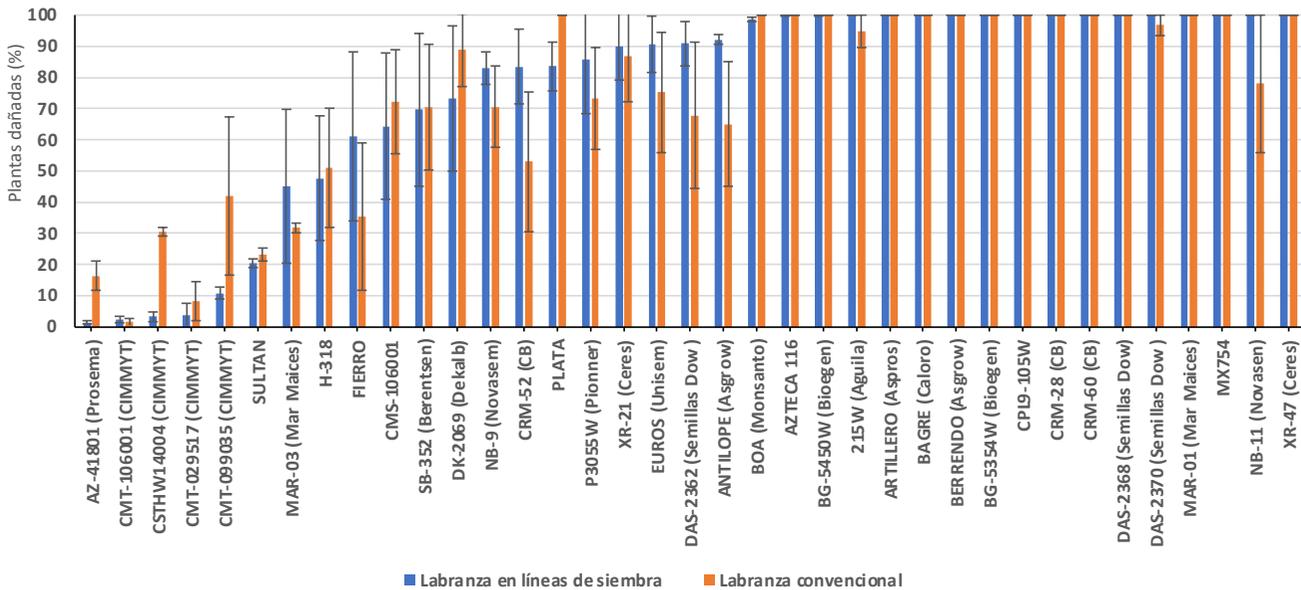
de la espiga en general fue bajo, e incluso nulo en algunos cultivares, pero algunos cultivares fueron muy susceptibles por lo que no son recomendables. Los híbridos con mayor daño por carbón de la espiga fueron Euros (Unisem), CMT-106001 (CIMMYT), AZ-41801 (Prosema), Fierro y MAR-03 (figura 16).



■ Figura 16. Porcentaje de plantas de maíces híbridos con daño por carbón de la espiga cultivadas en dos sistemas de labranza a través de los años 2014 al 2016 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.

La roya, en tanto, es una enfermedad que puede reducir el área foliar de las plantas y por ende reducir el rendimiento. El porcentaje de daño por roya en general fue alto en la mayoría de los cultivares, pero también había algunos híbridos tolerantes

a la enfermedad. Los híbridos con menor porcentaje de daño por roya fueron AZ-41801 (Prosema), CMT-106001 (CIMMYT), CSTHW14004 (CIMMYT), CSTHW14004 (CIMMYT) y Sultán (figura 17).



■ Figura 17. Porcentaje de plantas de maíces híbridos con daño por roya cultivadas en dos sistemas de labranza a través de los años 2014 al 2016 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.



Evaluación de híbridos de maíz en labranza en líneas de siembra

La plataforma de investigación es un vínculo entre los productores y la industria de la transformación de los productos del campo para crear nuevos esquemas de comercialización más seguros y mejor pagados para los productores, al proveer volúmenes altos de materia prima y con calidad para las empresas comercializadoras. Por esto, de 2017 a 2021, se evaluaron 91 híbridos de maíz en labranza en líneas de siembra —uso de *striptill*— para monitorear y mostrar el desempeño de adaptación a las condiciones agroclimáticas anuales en la región. Además, en 2017 se identificaron los materiales híbridos con mejor rendimiento de transformación de grano de maíz a masa y tortilla para la comercialización.

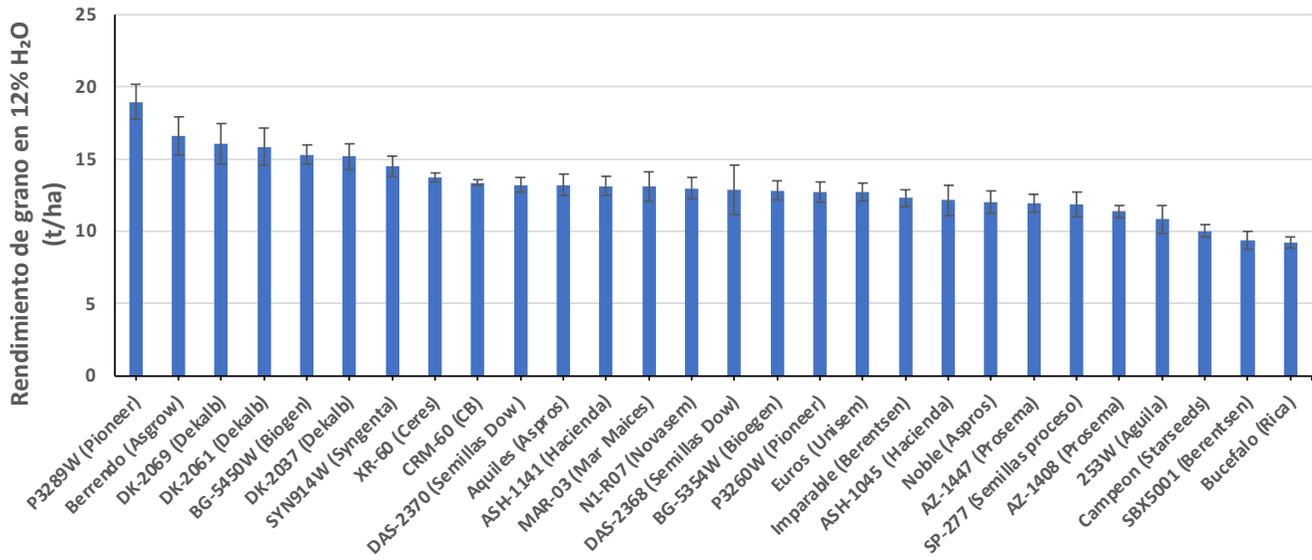
Varios híbridos tuvieron rendimientos superiores de grano respecto a la media de producción en la región en este periodo, que es de 10 t/ha (SIAP, 2021). Los mayores rendimientos se obtuvieron con los materiales: P3274W (Pioneer) (20.4 t/ha), DK-4018 (Dekalb) (20.2 t/ha), MH-2105W y Ma-Hai (19.0 t/ha) (figuras 18.a, 18.b, 18.c, 18.d y 18.e).

Para conocer la calidad del grano de los híbridos más comunes y mayor rendimiento, se evaluó la calidad para hacer tortilla de cinco híbridos. Los híbridos evaluados tuvieron rendimientos de transformación de masa y tortilla similares a otros cultivares criollos del altiplano y Valle del Mezquital, México (Carrillo et al., 2010). El mayor rendimiento de tortilla lo tuvo Berrendo (Asgrow) y el menor BG-5450W (cuadro 3).

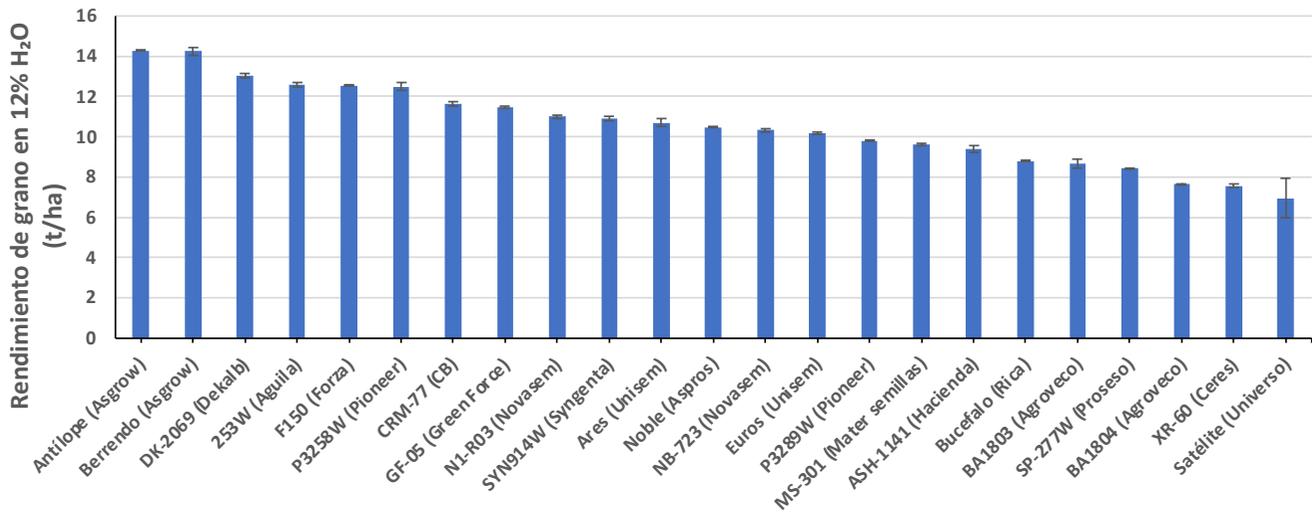
■ **Cuadro 3:** Rendimiento de transformación de grano a nixtamal, masa y tortilla de diferentes híbridos comerciales cultivados en la plataforma de investigación Mixquiahuala, Hidalgo, en el ciclo primavera-verano de 2017.

Híbrido	Nixtamal (kg)*	Masa (kg)*	Tortilla (kg)*
Berrendo	1.7	2.1	1.7
DK-2061	1.7	2.0	1.6
P-3289W	1.7	2.0	1.6
EUROS	1.7	2.0	1.6
DK-2069	1.5	2.0	1.5
BG-5450W	1.5	1.8	1.4

*Kilogramos de cantidad de nixtamal, masa y tortilla por kilogramo de grano de maíz.



■ **Figura 18a.** Rendimiento de maíces híbridos cultivados en agricultura de conservación (labranza de líneas de siembra con striptill y rotación con triticale en el ciclo otoño-invierno) durante 2017 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.



■ **Figura 18b.** Rendimiento de maíces híbridos cultivados en agricultura de conservación (labranza de líneas de siembra con striptill y rotación con triticale en el ciclo otoño-invierno) durante 2018 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.

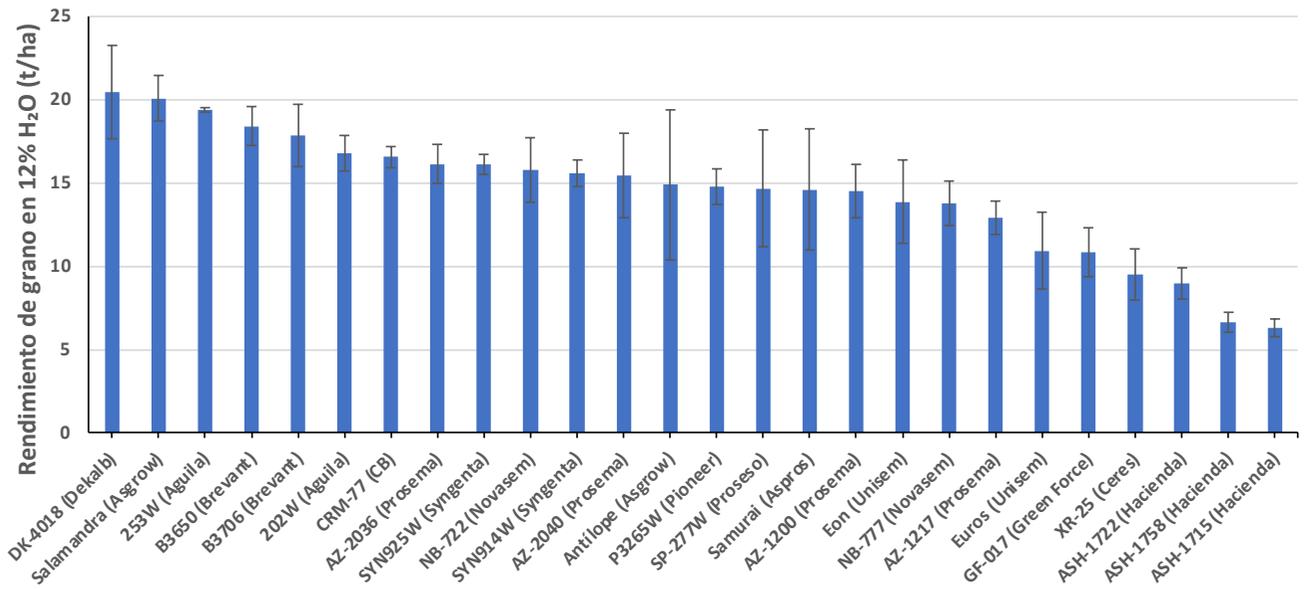


Figura 18c. Rendimiento de maíces híbridos cultivados en agricultura de conservación (labranza de líneas de siembra con striptill y rotación con avena en el ciclo otoño-invierno) durante 2019 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.

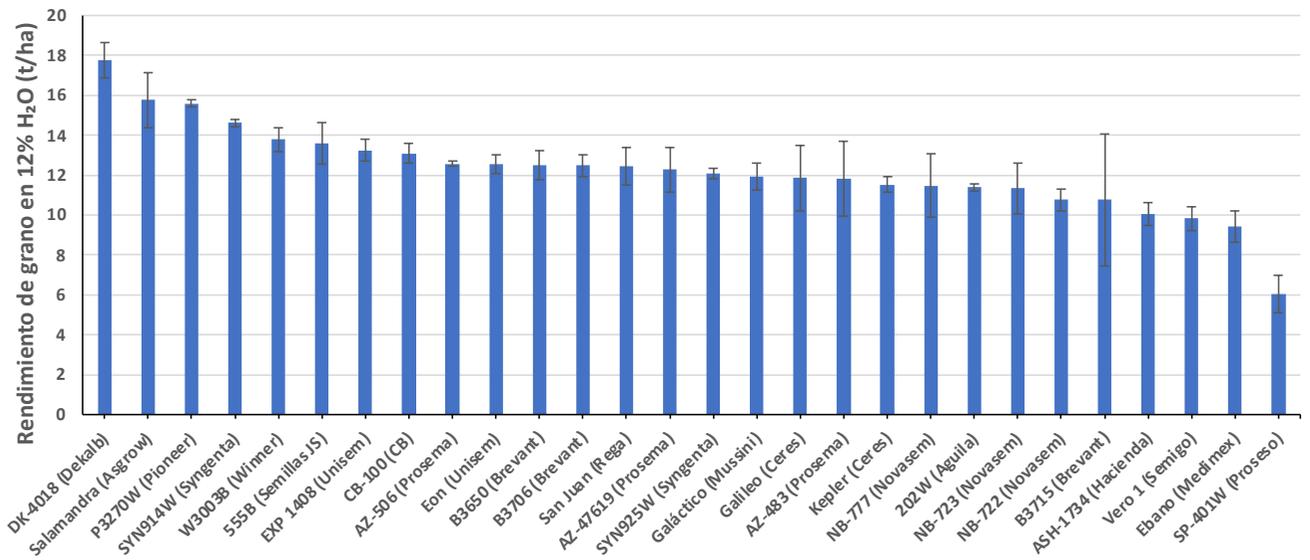
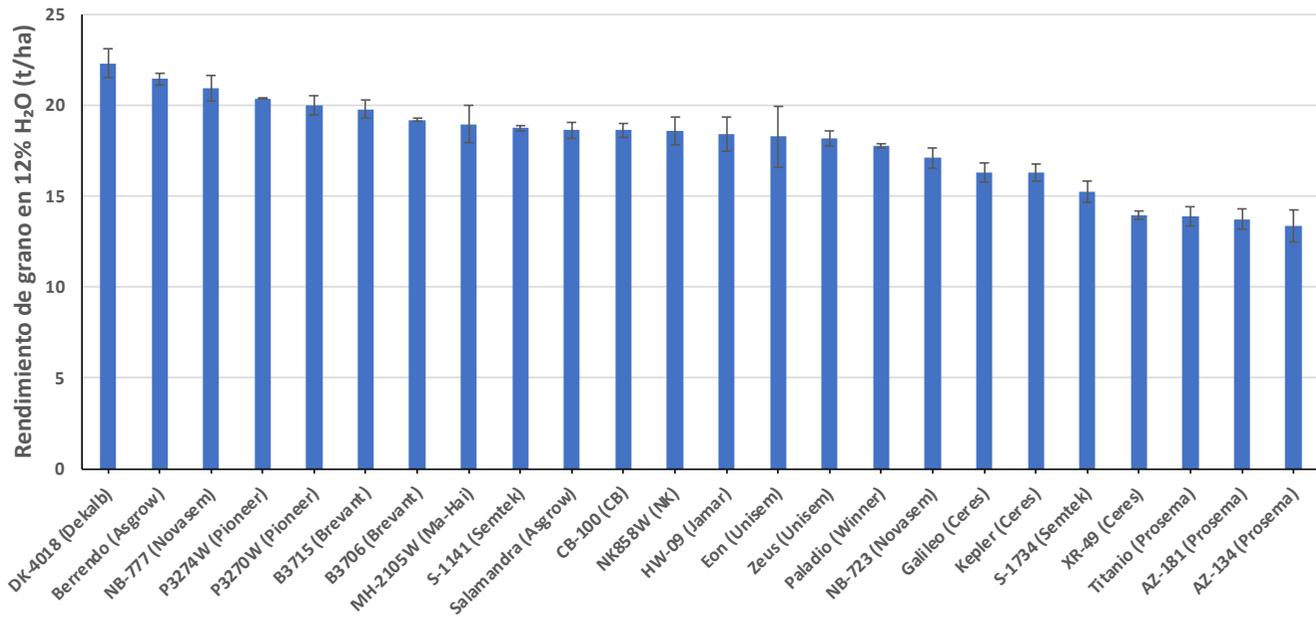


Figura 18d. Rendimiento de maíces híbridos cultivados en agricultura de conservación (labranza de líneas de siembra con striptill y rotación con triticale en el ciclo otoño-invierno) durante 2020 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.



■ **Figura 18e.** Rendimiento de maíces híbridos cultivados en labranza de líneas de siembra con striptill durante 2021 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.

Manejo agroecológico y cultivos alternativos

En la plataforma se han desarrollado prácticas complementarias al sistema de agricultura de conservación que contribuyen con la sustentabilidad y resiliencia de las áreas intensivas de producción ante los inestables patrones de precipitación y temperatura. En algunos años, se ha disminuido hasta

el 50% de la cantidad del agua disponible de riego (CONAGUA, 2022) o se han presentado severas tormentas (figura 19), además del incremento en la presión de plagas y enfermedades (figura 20), lo cual reduce la disponibilidad de granos para la venta en el mercado.



■ **Figura 19.** Plantas de maíz siniestradas por granizo, en plataforma de investigación Mixquiahuala, Hidalgo, el 27 de agosto de 2020.



■ **Figura 20.** Plantas de maíz secas durante floración afectadas por picudo de maíz en Mixquiahuala, Hidalgo, el 26 de julio de 2018.



Para regular las poblaciones de insectos plaga en la plataforma se usan feromonas sintéticas para el control del gusano cogollero del maíz (figura 21), así como trampas monocromáticas para el monitoreo de plagas como áfidos y pulgones en cultivos como alfalfa, frijol y girasol (figura 22). Así mismo, se cultivan camellones de plantas como flor de cempasúchil, lavanda y romero para refugio de insectos benéficos o como repelentes de insectos plaga (figura 23).

La vulnerabilidad de los cultivos de maíz a las problemáticas climáticas en la región ha motivado la

valoración de otros cultivos como el sorgo, girasol y amaranto (figura 23) por la menor necesidad de agua que tienen en comparación con el maíz, el menor uso de insumos para el control de plagas y enfermedades y el alto potencial para la comercialización. Los tres cultivos se adaptan bien a las condiciones de la zona con rendimientos de 4 a 5 t/ha en el caso del girasol, 3 t/ha para el caso del amaranto y, para el sorgo forrajero con 3 cortes al año, 70 t/ha al año. Por estos resultados se concluyó que son alternativas viables para la región.



■ **Figura 21.** Técnico de campo instalando trampas con feromona sintética para el monitoreo de gusano cogollero en la Plataforma de investigación Mixquiahuala, Hidalgo.



■ **Figura 22.** Trampas monocromáticas para el muestreo de plagas en el cultivo de alfalfa, 11 de septiembre de 2018.



■ **Figura 23.** Cultivos alternativos, girasol, sorgo y camellón de plantas con flor de cempasúchil



La plataforma en el nodo de innovación de Valles Altos Maíz en el CIMMYT

Las actividades para extender la investigación y acompañar a los productores para promover la adopción de las tecnologías estudiadas en la plataforma de investigación se hace a través de eventos demostrativos de los ensayos evaluados en la plataforma, recorridos de campo, participaciones en reuniones y congresos, establecimiento de módulos, áreas de extensión y áreas de impacto. Además, se elaboran infografías y se publican los resultados en los canales de comunicación de la red.

Durante eventos demostrativos y de capacitación se ha compartido con los productores temas de su interés; que incluye saber sobre variedades de girasol y su manejo en el sistema de agricultura de conservación, uso de drones en la agricultura (figura 24), agricultura por contrato, e incluso manejo de picudo en agave. En los siete años recientes se ha contado con una asistencia registrada de 7,492 personas que visitaron la plataforma (cuadro 4), lo cual la hace una de las más visitadas de la red nacional de plataformas.

Se cuenta con un padrón de 55 colaboradores de la plataforma, entre empresas semilleras, empresas de agroquímicos, empresas comercializadoras de maíz, trigo y girasol, todas bajo el portafolio de agricultura por contrato.

Se ha generado colaboración con investigadores del Colegio de Postgraduados, la Universidad Autónoma Chapingo, la Universidad Politécnica de

Pachuca, la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero (UPFIM), el Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo, la Universidad Tecnológica Tula Tepeji (UTTT) Plantel Tepetitlán, la Universidad Tecnológica de la Zona Metropolitana del Valle de México, así como el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No.179 y la Red de Innovación en Agroecosistemas Productivos Sostenibles.

Se tuvo la participación de 11 estudiantes en residencias profesionales; cuatro alumnos de estancias profesionales, un alumno de servicio social y seis alumnos de estadías profesionales de la UPFIM, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, la UTTT y el Instituto Tecnológico Superior Huichapan.

La vinculación con los actores y la alta asistencia de productores en los eventos ha generado un impacto considerable de la plataforma en la región. Entre 2014 y 2020 se han replicado las tecnologías, dependiendo del año, entre 264.8 a 49.1 hectáreas en áreas de extensión —terrenos en donde los productores innovadores ponen en práctica a escala comercial las nuevas tecnologías sustentables y las divulgan a sus compañeros— y se han registrado, dependiendo del año, de entre 442.6 a 73.9 hectáreas como áreas de impacto al año —terrenos donde los agricultores adoptaron alguna de las tecnologías evaluadas en la plataforma hay poco o nulo seguimiento técnico—.



■ **Figura 24.** Productores en demostración sobre uso de drones para la aplicación de fertilizante en el cultivo de girasol.



■ **Cuadro 4:** Asistentes a plataforma de investigación y áreas de extensión e impactos derivadas de la plataforma de investigación Mixquiahuala, Hidalgo, de 2014 a 2020.

Año	Número de asistentes a plataforma	Áreas de extensión (ha)	Áreas de impacto (ha)
2014	1,279	265	
2015	747	185	74
2016	1,886	185	74
2017	1,057	185	443
2018	1,210	133	335
2019	865	103	341
2020	448	49	138

Conclusión

Limitante	Propuesta	Resultados
Suelos degradados	Evaluación de mejoradores de suelo en dos sistemas de labranza	Se requiere más tiempo de evaluación ya que no hay una tendencia clara del efecto de los mejoradores de suelo.
Usar variedades adecuadas (a las condiciones climáticas de la zona y para comercialización)	Evaluación de híbridos de maíz en dos sistemas de labranza	Se registra un mayor rendimiento de maíz en camas permanentes angostas con labranza en líneas de siembra (15.3 t/ha) y un menor rendimiento en camas angostas con labranza convencional (14.1 t/ha). Se registra mayor daño por gusano cogollero y carbón de la espiga (9.0 y 2.0%, respectivamente) en labranza convencional y menor daño de estas dos plagas (5.0 y 0.5%, respectivamente) en labranza en líneas de siembra.
	Evaluación de híbridos de maíz en labranza en líneas de siembra	Del 2017 al 2021 los mayores rendimientos se obtuvieron con los materiales P3274W (Pioneer) (20.4 t/ha), DK-4018 (Dekalb) (20.2 t/ha), MH-2105W (Ma-Hai) (19.0 t/ha) respecto a la media de producción en la región en este periodo (10.0 t/ha). Se observa mayor cantidad de tortilla con la variedad Berrendo, cuya relación grano/masa fue de 1:1.7, similar a la de materiales criollos de la región (1.4:1.1).
	Variedades adecuadas de alfalfa en agricultura de conservación	De 2011 a 2013 las variedades de alfalfa Gigante y Excelente dieron el mayor rendimiento (11.5 y 11.2 t/ha, respectivamente) en comparación con las variedades Júpiter, San Miguelito, WL-711 y WL-721 (10 t/ha). Se registra mayor rendimiento con siembra en plano con cobertura total (12.3 t/ha) y menor rendimiento en camas angostas con triple hilera (10.9 t/ha). Se registra mayor rendimiento con densidades de siembra de 40 y 20 kg/ha (12.3 y 11.9 t/ha, respectivamente) que con 15 y 18 kg/ha (11.2 y 11.1 t/ha, respectivamente).
Altos costos de producción	Agricultura de conservación	Usar labranza mínima redujo los costos de producción 1,000 MXN/ha.
	Variedades adecuadas	Se registra menor costo de producción para control de carbón de la espiga y gusano cogollero en maíz cultivado en labranza en líneas de siembra. Cultivos alternativos como girasol, amaranto y sorgo permitieron usar menos agroquímicos y agua que el cultivo de maíz.
Cambios en clima y disponibilidad de agua	Cultivos alternativos	Se registraron rendimientos de girasol de 4 a 5 t/ha, 3 t/ha para el amaranto y para el sorgo forrajero 3 cortes con 70 t/ha al año.



Huichapan, Hidalgo

Nombre plataforma	Huichapan, Hidalgo
Colaboradores	Raúl Olvera García
Institución	Instituto Tecnológico Superior de Huichapan
Ubicación	Domicilio conocido, s/n, El Saucillo, Huichapan, Hidalgo. C. P. 42411 20°19'20.72" N y 99°42'14.59" O
Altitud	2 157 metros sobre el nivel del mar (msnm)
Clima	Semiárido templado
Año de instalación	2016

Introducción

La plataforma de investigación Huichapan, Hidalgo, se ubica en el occidente del estado de Hidalgo, en la región del Valle del Mezquital donde predominan lomeríos, sierras y llanuras (INEGI, 2009). En el distrito de Huichapan la agricultura es principalmente de temporal (80%) y de autoconsumo. Los cultivos producidos son maíz, frijol, jitomate, hortalizas y forrajes como avena y cebada. El maíz es el cultivo principal, anualmente se siembra en temporal una superficie de 29,134 hectáreas de las cuales se cosecha un rendimiento promedio de 1.3 toneladas por hectárea (t/ha) (SIAP, 2021). En general, la cosecha de grano de maíz es para la alimentación de la familia y el rastrojo para forraje del ganado — vacas, puercos, cabras, gallinas, borregos, conejos y caballos—. La poca biomasa, sumada a los bajos rendimientos, disminuye la disponibilidad de alimentos e ingresos.

El rendimiento de maíz se limita especialmente por el temporal, es decir, si la precipitación es abundante al inicio del ciclo provoca la pudrición de plantas o evita la siembra de maíz en fechas adecuadas, dejando expuesto al cultivo a las heladas antes de madurez fisiológica. Adicionalmente, el exceso de humedad favorece la presencia de malezas que incrementan los costos de producción (Ceballos y Nopal, 2021). Si la fecha de siembra es adecuada,

el cultivo puede enfrentarse al periodo de canícula exponiendo a estrés hídrico a las plantas en estados fisiológicos como floración o polinización.

Hay, sin embargo, una porción del 20% de agricultura de riego (SIAP, 2021) derivado de afluentes como el arroyo Hondo y la Presa Francisco I. Madero donde se puede sembrar bajo mejores condiciones que los agricultores de temporal; no obstante en este caso el bajo acceso a maquinaria para actividades de siembra y cosecha limita la cantidad de tierras cultivadas (Ceballos y Nopal, 2021).

Por lo anterior, en el diseño de la plataforma se consideraron las principales limitantes del rendimiento del cultivo del maíz en la región. Entre los temas más relevantes para investigar se encuentran la incertidumbre en la precipitación del ciclo agrícola, el forraje para ganado y los altos costos de producción.

La plataforma de investigación Huichapan, Hidalgo, se estableció en el Instituto Tecnológico de Huichapan en 2016, con el fin de identificar alternativas de manejo agrícola y forraje para animales. Se evaluó la siembra de maíz criollo e híbrido y triticale con base en los componentes básicos de la agricultura de conservación.



■ **Cuadro 1:** Características del sistema de producción entorno a la plataforma Huichapan, Hidalgo

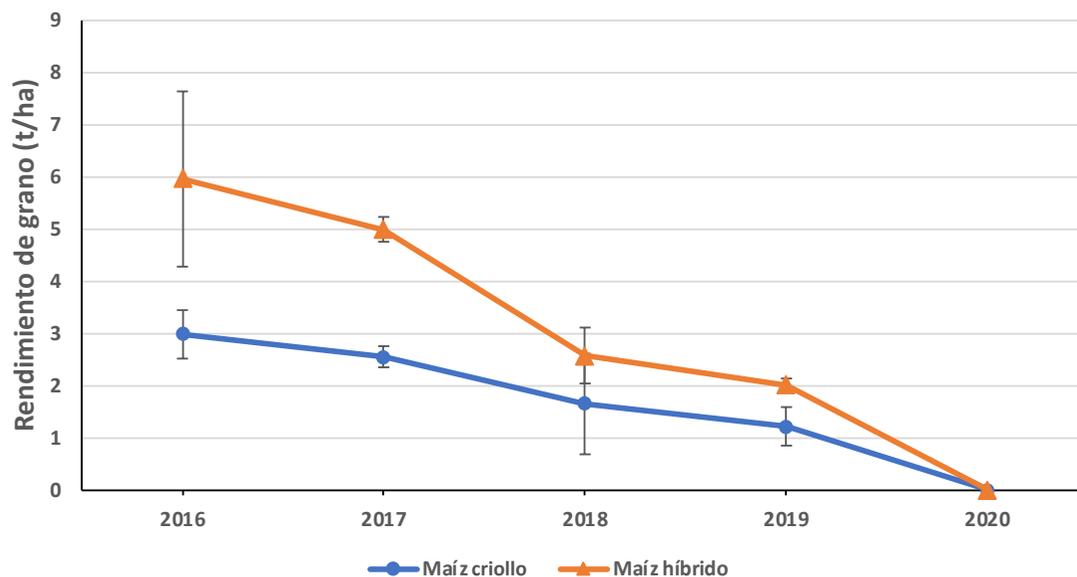
Condiciones agroecológicas	Características sistema de producción	Manejo agronómico	Aspectos socioeconómicos
Clima: Semiseco templado	Producción agrícola mecanizada y manual	Labranza: convencional (barbecho y dos pasos de rastra)	Índice de desarrollo alto y marginación media
Temperatura promedio de 12 – 18°C	Siembras en valles y planicies	Siembra de maíz en primavera-verano	Producción: autoconsumo y excedentes para la venta
Precipitación: 500-700 mm	Régimen hídrico de temporal	Monocultivo	Trabajo con jornales y familiar
Suelo: Phaeozem y Vertisol	Cultivo primario maíz y rotación con frijol	Semilla criolla	
Vegetación: matorral, bosque y pastizal			

Resultados y aprendizajes

Variedades adecuadas.

En 2016 y 2017 se usó el híbrido Diamante; y en 2018 y 2019 los híbridos 24 Kilates y AZ-25 de grano amarillo y blanco, respectivamente. En 2016 y 2017 las lluvias se establecieron temprano (en mayo), por lo que resultó en mejores rendimientos —5.9 y 4.9 t/ha en el maíz híbrido y 2.9 y 2.5 en el maíz criollo— (figura 1). Por el contrario, en los últimos tres años

(2018, 2019 y 2020) las lluvias han sido escasas y la sequía se acentúa en floración, limitando la polinización y el llenado de grano. Adicionalmente, en el ciclo primavera-verano 2020 los cultivos se sinietaron por una helada en el mes de octubre, por lo que se podría considerar sembrar híbridos solo cuando las lluvias se establecen en mayo.



■ **Figura 1.** Rendimiento de maíz criollo e híbrido en monocultivo y labranza convencional a través de los años 2016 al 2019 de la plataforma Huichapan, Hidalgo.



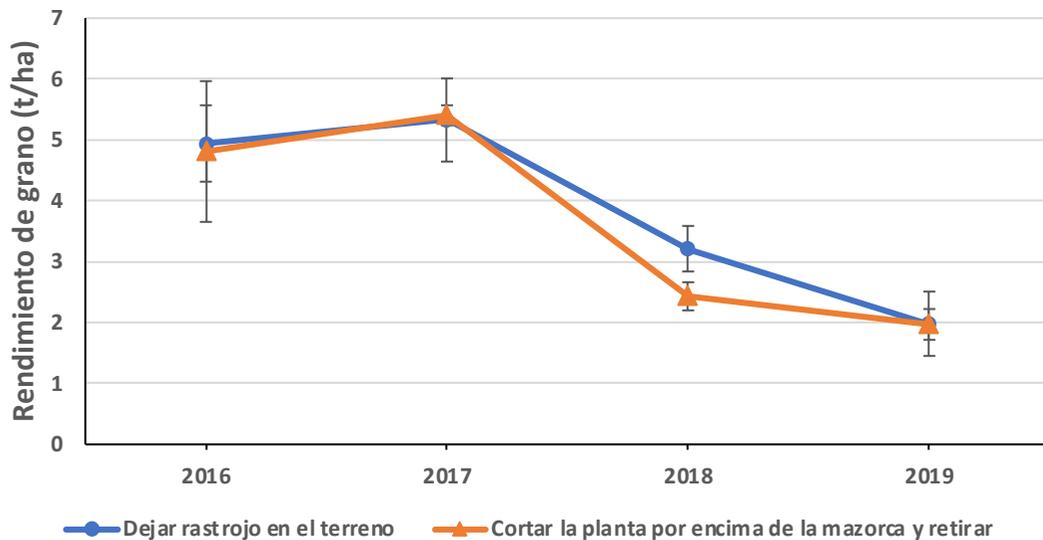
Manejo de residuos

El rendimiento promedio de maíz híbrido entre 2016 y 2019 fue similar con retención parcial y completa del rastrojo de maíz sobre el terreno en camas permanentes anchas (figura 2). Solamente en 2018, cuando el inicio tardío del periodo de lluvias retrasó la siembra y la canícula se presentó durante el estado vegetativo de las plantas, el rendimiento del maíz híbrido fue 700 kg/ha mayor que cuando se dejó todo el rastrojo (figura 2). Por el contrario, el rendimiento promedio de maíz criollo siempre fue mayor cuando se dejó el rastrojo con 2.3 t/ha que cuando se quitó parcialmente con 1.9 t/ha (figura 3), aunque la diferencia en rendimiento no compensa el valor del rastrojo como forraje.

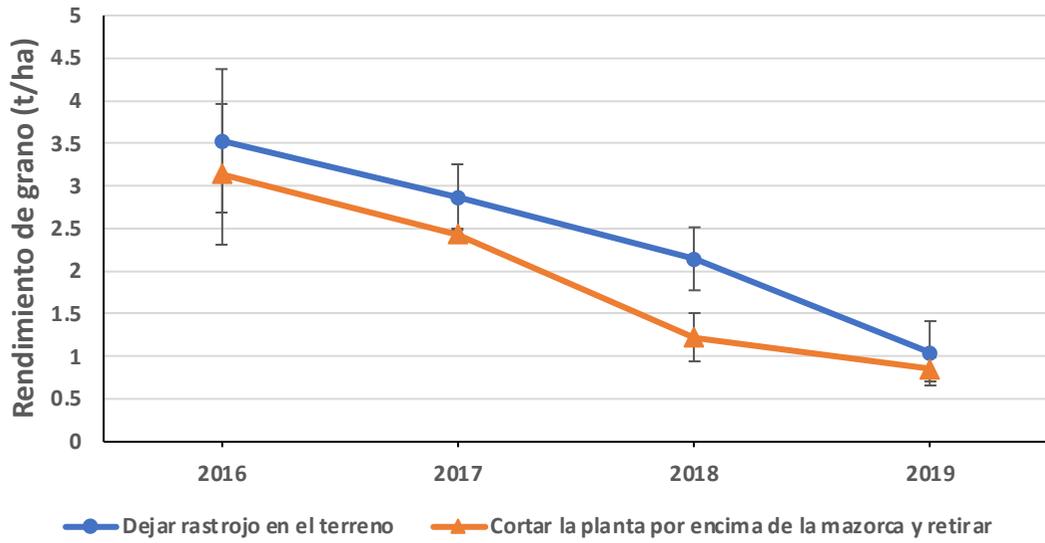
El rendimiento de biomasa de triticale en el primer año fue similar al dejar o retirar parcialmente el

rastrojo y, en 2018, fue 600 kg/ha mayor cuando se dejó el rastrojo (figura 4).

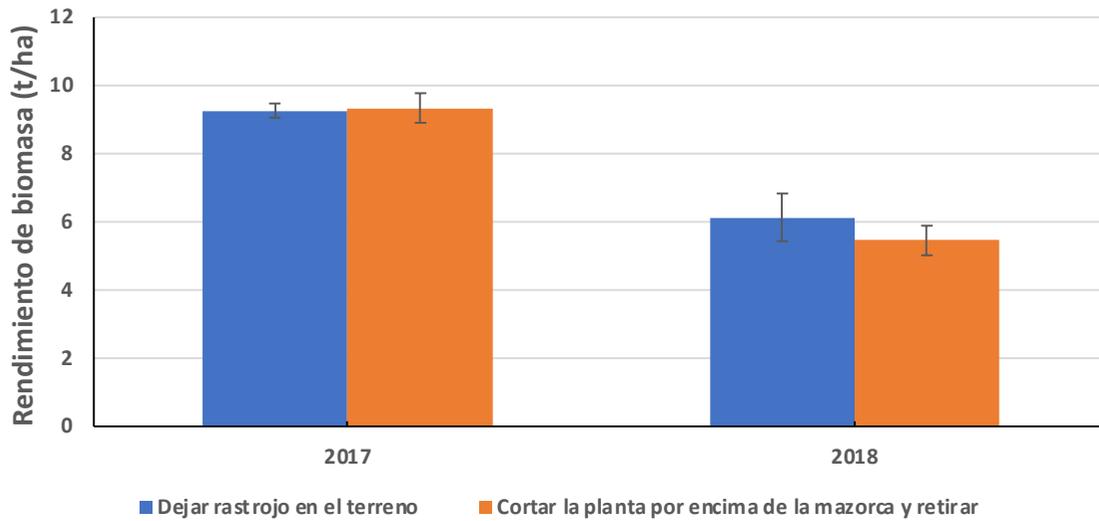
En general, bajo condiciones de buen temporal, o en caso de que haya suficiente producción de biomasa, se puede usar parte del rastrojo para alimentar a los animales. Sin embargo, en periodos de sequía el efecto de la cobertura de rastrojo conserva más humedad en el suelo por esto el rendimiento será mejor en estos ciclos con sequía. El productor tendrá que considerar si para su sistema de producción es más valioso el rendimiento de grano o la disponibilidad de forraje y así decidir si dejará los residuos en el terreno como cobertura o los cosecha como forraje. Es importante resaltar que la remoción continua del rastrojo generará degradación del suelo y la diferencia en rendimiento se incrementará con el tiempo.



■ **Figura 2.** Efecto del manejo de rastrojo sobre el rendimiento de maíz híbrido en rotación con triticale y camas permanentes anchas a través de los años 2016 al 2019, en la plataforma Huichapan, Hidalgo.



■ **Figura 3.** Efecto del manejo de rastrojo sobre el rendimiento de maíz criollo en rotación con triticale y camas permanentes anchas a través de los años 2016 al 2019, en la plataforma Huichapan, Hidalgo.



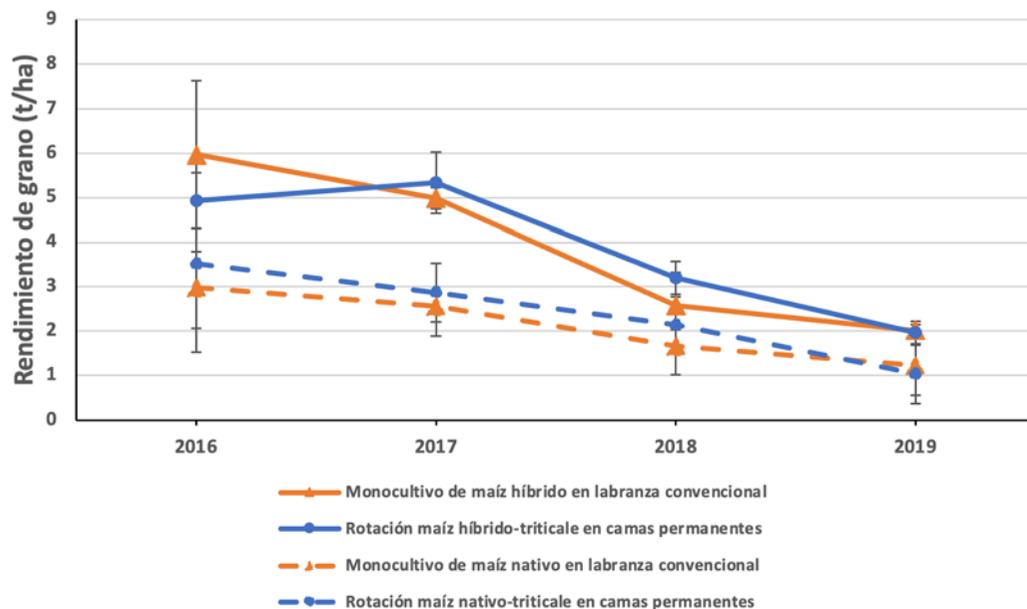
■ **Figura 4.** Efecto del manejo de rastrojo sobre el rendimiento de triticale en rotación con maíz híbrido y camas permanentes anchas a través de los años 2017 y 2018, en la plataforma Huichapan, Hidalgo.



Labranza y rotación de cultivos.

El rendimiento de maíz híbrido y maíz criollo fue similar entre rotación con triticale en camas permanentes que el monocultivo en labranza convencional (figura 5). Sin embargo, al tener parcelas diversificadas en rotación con triticale el productor podrá compensar el bajo rendimiento del maíz con forraje de triticale en los ciclos de sequía o heladas, lo que implica reducir el riesgo de perder el total de su cosecha v el alimento para el ganado.

Adicionalmente, cuando se siembra sobre camas permanentes, los costos de producción se reducen al evitar el barbecho (1,400 MXN/ha), subsuelo (1,100 MXN/ha) y rastra (700 MXN/ha) y solo hacer la formación de camas (700 MXN/ha) y manejo de rastrojo (750 MXN/ha). El mayor rendimiento y menor costo de producción con agricultura de conservación puede permitir al productor tener mayor disponibilidad de alimentos e ingresos.



■ **Figura 5.** Efecto del manejo de rotación de cultivos y tipo de labranza sobre el rendimiento de maíz híbrido y criollo en rotación con triticale y camas permanentes anchas a través de los años 2016 al 2019, en la plataforma Huichapan, Hidalgo.

Fertilización Integral

En este experimento se mostró que la fertilización integral no fue suficiente para incrementar el rendimiento de los maíces criollos en esta región. La fertilización se debe ajustar a su potencial de rendimiento de máximo 3 t/ha para evitar altos costos de producción. Para obtener un alto rendimiento se requiere la combinación de usar maíces híbridos —cultivados en fechas de siembra adecuadas—, fertilización integral y un buen temporal. Al establecer un cultivo usando tecnologías como la fertilización los costos pueden ser altos (6,000 MXN/ha). Por su parte, el uso de híbridos mostró ingresos netos de 4,100 pesos por hectárea (MXN/ha) y en los maíces criollos los ingresos netos fueron nulos o negativos (-2,300 MXN/ha).

Cultivos alternativos.

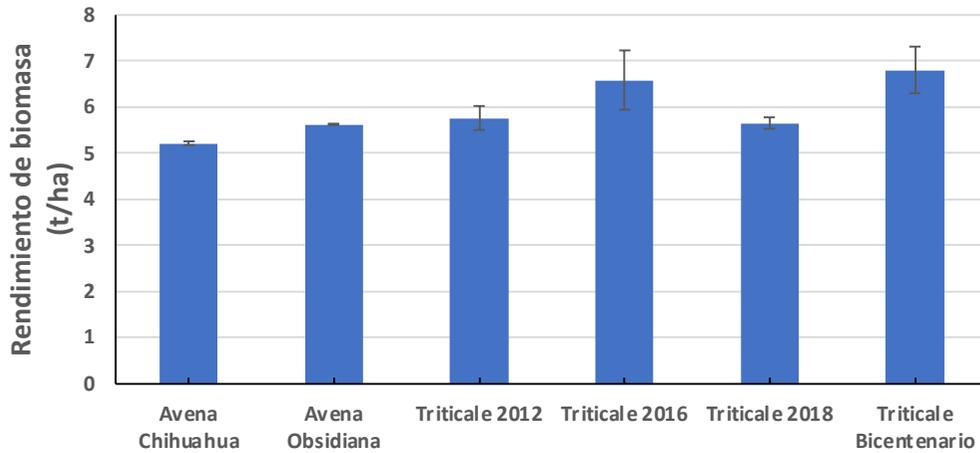
En 2018 en una área de validación —ensayo a corto

plazo colindante al terreno de la plataforma de investigación— se evaluó e identificó un grupo de variedades de avena —con rendimientos de 5.2 a 5.6 t/ha de biomasa— y triticale —con rendimientos de 5.6 a 6.8 t/ha— como alternativas de forraje (figura 6). Cualitativamente también se observó que buena adaptación se logró con variedades de amaranto (Nutrisol y Benito), girasol (Cobalt/Dayton), haba (San Isidro), chícharo (Early perfection) y linaza (Omega) (figura. 7). Todos estos cultivos tienen un buen potencial de establecimiento y desarrollo que podrían complementar la agricultura tradicional en la región occidente del estado de Hidalgo debido a las oportunidades en el mercado que podrían representar mejores ingresos a los productores, proveer resiliencia a los sistemas de producción en años de siniestro de maíz y fortalecer el agroecosistema, diversificando el manejo de plagas y enfermedades.



Cultivos como la lenteja (nativa de Michoacán), grasspea y cártamo (CIANO oleico) tuvieron una adaptación intermedia, aunque falta más información para entender plenamente su desempeño. Los cultivos de amaranto (variedad Esmeralda), quínoa (15101), veza y canola (Western Canola)

tuvieron una baja emergencia debido a las lluvias erráticas posteriores a la siembra y a la elevada tasa de evaporación de la humedad del suelo. Los cultivos que menos se adaptaron fueron el garbanzo blanco (Sinaloa banca) y el garbanzo rojo (El Patrón).



■ **Figura 6.** Rendimiento de biomasa en variedades de avena y triticale en 2018 en el área de validación de la plataforma Huichapan, Hidalgo.



■ **Figura 7.** Girasol (arriba izquierda), haba (arriba derecha), amaranto (abajo izquierda con variedad Esmeralda a la izquierda y a la derecha variedad Nutrisol), grasspea (abajo centro) y canola (abajo derecha).



Conclusión

Limitante	Propuesta	Resultados
Incertidumbre en la precipitación del ciclo agrícola	Uso de variedades adecuadas	Al sembrar híbridos cuando las lluvias se establecen en mayo permitieron que el híbrido tuviera un rendimiento mayor (5.4 t/ha) que el maíz criollo (2.7 t/ha).
	Retención parcial de rastrojo	En el cultivo de maíz híbrido, dejar o quitar parcialmente el rastrojo da un rendimiento similar cuando hay menor incertidumbre del temporal.
		Al retirar parcialmente el rastrojo en el cultivo de maíz híbrido en un mal temporal redujo el rendimiento 700 kg/ha. El rendimiento de maíz criollo fue mayor cuando se dejó el rastrojo con 2.3 t/ha que cuando se quitó parcialmente con 1.9 t/ha.
Forraje para ganado	Siembra de triticale	El rendimiento de biomasa de triticale en el primer año fue similar (9.3 t/ha) entre dejar y retirar parcialmente el rastrojo y, en 2018, fue mayor cuando se dejó el rastrojo. Diversificar las parcelas con triticale reduce el riesgo de perder el total de la cosecha si solo se hace monocultivo de maíz.
Altos costos de producción	Camas permanentes	Tanto las camas permanentes como la labranza convencional tuvieron un rendimiento similar. El ahorro por evitar la labranza convencional fue de 1,750 MXN/ha.
	Fertilización integral	La fertilización integral no incrementó el rendimiento de maíz criollo. Los mayores ingresos se obtuvieron con maíces híbridos (4,100 MXN/ha) y los menores con maíces criollos (-2,300 MXN/ha).



Tlaltizapán, Morelos

Nombre plataforma	Tlaltizapán, Morelos
Colaboradores	Óscar Bañuelos Tavárez
Institución	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)
Ubicación	Calle Amador Salazar No. 35, Col. Centro, Tlaltizapán, Morelos Sobre carretera Tlaltizapán-Zacatepec, a 750 m del Excuartel de Zapata.
Altitud	940 metros sobre el nivel del mar (msnm)
Clima	Cálido subhúmedo con lluvias en verano
Tipo de producción	Temporal-mecanizada
Año de instalación	2012

Introducción

La plataforma de investigación Tlaltizapán, Morelos, se encuentra en la estación del CIMMYT en el municipio de Tlaltizapán de Zapata, al suroccidente del estado de Morelos, dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur (INEGI, 2007). La agricultura de temporal y de riego ocupa casi la mitad del uso del suelo (49%). La agricultura de temporal se practica principalmente sobre suelos de roca caliza y la agricultura de riego sobre planicies aluviales (SEDESOL, 2011).

El cultivo de maíz se siembra en el 62% de la superficie destinada a la siembra y se obtienen rendimientos promedio de 2.9 t/ha (SIAP, 2021). Por sus procesos naturales de agrietamientos, los tipos de suelo presentes —como el Vertisol pélico y Feozem calcárico— son propensos a la erosión que, aunada al mal uso del riego y manejo del suelo, aumenta este peligro (Geissen *et al.*, 2008) la cual es necesaria para los programas de conservación de suelos. Por ello, se estudió la cantidad y ubicación de las diferentes formas de pérdida de suelos por erosión hídrica y por formaciones tipo Karst (carstificación).

La estación de Tlaltizapán del CIMMYT comenzó sus operaciones en 1969 y, 20 años después, se identificaron problemas de erosión del suelo provocados por el movimiento excesivo de la capa arable y los riegos. Al perderse parte de la capa fértil del suelo

se comenzó a sembrar en la capa baja lo cual es rico en carbonatos, generando otros problemas en los cultivos como clorosis férrica por la baja asimilación del hierro.

Para contrarrestar estos problemas, desde 2009 se tomaron medidas para conservar el suelo y mejorar su fertilidad mediante ensayos con diferente grado de movimiento de suelo, relevo de cultivos y manejo de rastrojo. Estos trabajos derivaron en la conformación de la plataforma de investigación donde, además de buscar mejorar la calidad del suelo, se busca una alternativa para producir forraje y sustituir el uso de los residuos de maíz para evitar que estos sean removidos de las parcelas o quemados. En la plataforma también se tiene el cultivo del maíz durante el ciclo primavera-verano (PV) y en dos tratamientos de cobertura en el otoño-invierno (OI) con humedad residual.

En el diseño de la plataforma, en 2011, se consideraron la problemáticas de la producción de granos básicos en la estación y la región. Entre los temas más relevantes para investigar se encuentra la degradación de la calidad de los suelos, las pocas alternativas a la falta de forraje —por lo que los productores usan los residuos del maíz— y la poca ganancia de los sistemas agrícolas en la zona.



■ Cuadro 1: Características del sistema de producción de la región en torno a la plataforma de investigación Tlaltizapán, Morelos.

Condiciones agroecológicas	Sistema de producción	Manejo agronómico	Aspectos socioeconómicos
Clima: semicálido subhúmedo	Producción agrícola mecanizada	Labranza: convencional (barbecho, rastreo y surcado)	Producción: comercial y autoconsumo
Temperatura anual promedio: 24°C	Régimen hídrico: temporal y riego	Fertilización: altas dosis de nitrógeno	Mercado: acopiadores (maíz y sorgo)
Precipitación: 840 mm de junio a octubre	Cultivos principales: caña de azúcar, maíz, sorgo y cacahuate	Manejo de malezas: químico	Baja asociatividad
Suelos dominantes: Vertisol y Feozem	Semilla: híbridos y variedades de maíz, híbridos de sorgo	Manejo de plagas: químico	Poca disponibilidad de mano de obra

Resultados y aprendizajes

Labranza y manejo de rastrojo

El rendimiento promedio de maíz de 2012 a 2017 fue mayor con labranza mínima —sin rastra después de la cosecha y con labranza antes de las lluvias— y con los residuos sobre la superficie del terreno (5.1 t/ha) y menor con labranza convencional y los rastrojos incorporados al terreno (4.7 t/ha) (figura 1). Usar camas permanentes y dejar los residuos dio un rendimiento promedio de 5.0 t/ha, sin embargo, en ciclos con alta humedad el cultivo presentó problemas con clorosis férrica y esto tiene un impacto en la disminución del rendimiento. De 2018 a 2020 el rendimiento fue mayor en camas permanentes y con los residuos sobre la superficie del terreno (6.2 t/ha) y menor con labranza convencional y remoción de los residuos después de la cosecha (5.2t/ha). Usar labranza mínima y dejar los residuos en la superficie del terreno dio un rendimiento de 5.7 t/ha.

En la plataforma también se observó que dejar los residuos de cosecha en suelos vertisoles propicia la formación de macro agregados (>2 mm) que mejoran la estructura del suelo, facilitando la infiltración del agua, aire y desarrollo de raíces; además, siendo menos susceptibles a la degradación física por los procesos de humedad y secado (Bravo-Garza et al., 2009) que expanden y contraen las arcillas de los suelos vertisoles.

Como en la región los productores venden el rastrojo por 2,000 MXN/ha, pero este precio es menor que el valor del rendimiento de grano perdido por la remoción de los residuos, se deben buscar

opciones de forraje para la zona y asegurar que se pueda dejar el rastrojo para mejorar la calidad del suelo. Adicionalmente, es importante compartir con los productores de la región que al usar camas permanentes los costos de producción en la preparación del terreno disminuyen. En el caso de la plataforma, estos disminuyeron en promedio hasta 4,000 MXN/ha al evitar el barbecho, dos pasos de rastra y el surcado.

La rotación y el relevo de cultivos de maíz con crotalaria no aumentó el rendimiento del grano de maíz, cuyo rendimiento promedio de 2012 a 2018 fue similar al monocultivo de maíz y la rotación maíz-crotalaria: 5.7 y 5.5 t/ha, respectivamente (figura 2). En el ciclo otoño-invierno del 2019 se cambió la siembra de crotalaria por una mezcla de cultivos de cobertura —rábano, girasol, mucuna, crotalaria— en relevo con el cultivo de maíz y el rendimiento de maíz mejoró solo 100 kg/ha a favor de los tratamientos en rotación.

En 2019 se midió la tasa de infiltración de agua en el suelo saturado. La labranza mínima con residuos de cosecha tuvo la mayor tasa de infiltración de agua en el suelo —0,007 centímetros por segundo (cm/s)— y las camas permanentes la menor tasa (0,005 cm/s). No obstante, en los tratamientos de rotación con crotalaria hubo menor infiltración (0,0015-0.0022 cm/s) (figura 3), lo cual podría ser uno de los factores que explica el rendimiento similar del maíz al cultivarlo en monocultivo y en rotación.



Algunos estudios indican que, en ciertas condiciones agroclimáticas y suelos con poca fertilidad, el uso de algunas coberturas de suelo, incluyendo crotalaria, forman un sello superficial que afecta la tasa de infiltración (Farfán y Jaramillo, 2008) y

el bajo aporte de nitrógeno por leguminosas no es suficiente para mejorar los rendimientos en el cultivo de maíz si el agua es la principal limitante (Martínez-Mera et al., 2016) L.

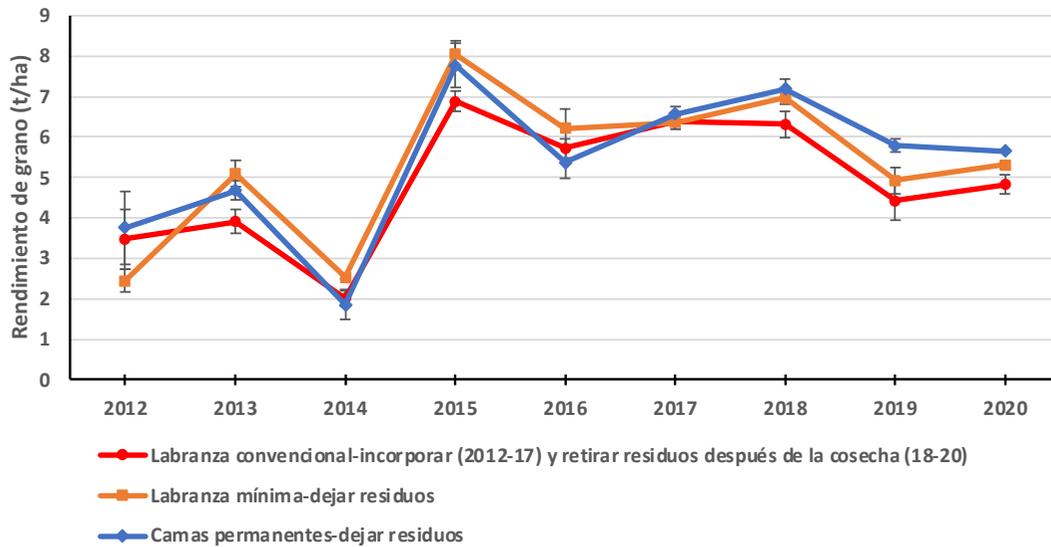


Figura 1. Efecto de labranza y manejo de rastrojo sobre el rendimiento de maíz en la plataforma Tlaltizapán, Morelos.

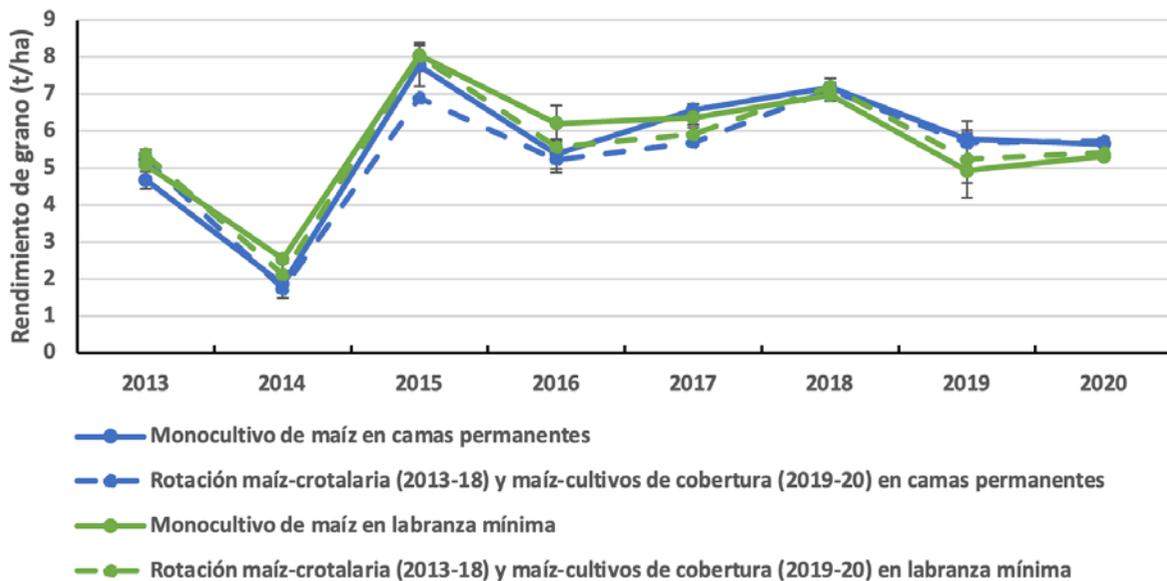
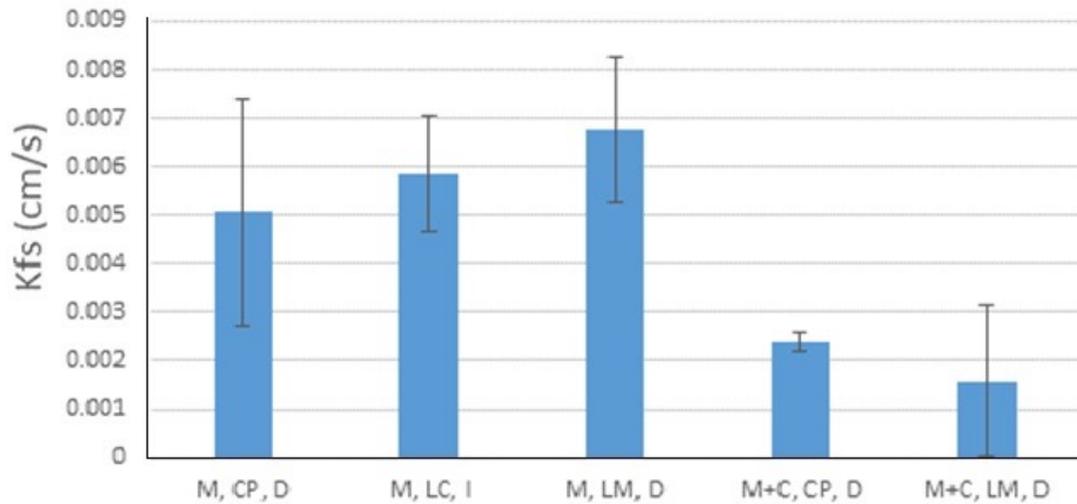


Figura 2. Efecto de rotación sobre el rendimiento de maíz en la plataforma Tlaltizapán, Morelos.



■ **Figura 3.** Tasa de infiltración en el suelo saturado en la plataforma de Tlaltizapán, Morelos. Donde M: monocultivo de maíz, M+C: rotación maíz-crotalaria, CP: camas permanentes, LC: labranza convencional, LM: labranza mínima, D: dejar rastrojo sobre el terreno después de la cosecha, I: incorporar el rastrojo al suelo. Datos generados por Norris et al., 2020.

Producción de forraje

La producción de forraje de crotalaria en rotación y relevo con maíz en el ciclo otoño-invierno con humedad residual no se logró establecer con éxito debido, por un lado, a que las lluvias se retiraban desde mediados de octubre —o la cantidad era baja— y a menudo continuó la sequía. Y, por otro lado, al sembrar la crotalaria en relevo —para establecer el cultivo con la humedad residual y aprovechar las últimas lluvias de octubre—, el maíz le proporcionó sombra después de la emergencia, evitando su desarrollo.

En el ciclo otoño-invierno de 2016, cuando se presentaron lluvias hasta mediados de noviembre y lluvias ocasionales en enero, se produjo una mayor producción de biomasa (2 t/ha) e incluso en el tratamiento con camas permanentes la crotalaria logró rebrotar con lluvias de abril y mayo, produciéndose un segundo corte de forraje que se reflejó en 4 t/ha. Por lo tanto, es posible que si los productores cuentan con disponibilidad de agua de riego el establecimiento de cultivos de invierno puede ser una opción para obtener un forraje de mejor calidad que los residuos de maíz. Adicionalmente, se observó que sembrar crotalaria en el ciclo otoño-invierno como cultivo de cobertura contribuyó a fortalecer el agroecosistema al reducir la erosión del

suelo, estimular el desarrollo de insectos benéficos y limitar el desarrollo de pastos (figura 4).



■ **Figura 4.** Cultivo de crotalaria en floración que atrae insectos benéficos, como abejorros y avispas, 07 de diciembre de 2018, en la plataforma de investigación de Tlaltizapán, Morelos.



Conclusión

Limitante	Propuesta	Resultados
Degradación de la calidad de los suelos	Camas permanentes y dejar residuos de cosecha en la parcela	De 2018 a 2020 hubo mayor rendimiento en camas permanentes con residuos sobre la superficie (6.2 t/ha) y menor rendimiento en labranza convencional y sin residuos (5.2 t/ha).
		En ciclos con alta humedad el rendimiento fue similar en camas permanentes (3.6 t/ha) y labranza convencional (3.9 t/ha).
		La tasa de infiltración de agua en el suelo fue similar con labranza convencional (0.0058 cm/s) y camas permanentes (0.005 cm/s).
	Rotación de cultivos	El rendimiento fue similar con monocultivo (5.7 t/ha) y rotación con crotalaria (5.5 t/ha). Se registró mayor tasa de infiltración en monocultivo (0.005 cm/s) que en rotación con crotalaria (0.001 cm/s).
	Manejo de residuos	El rendimiento con rastrojo fue de 0.8 hasta 1.3 t/ha mayor que donde se retiró el rastrojo.
Forraje de baja calidad	Crotalaria en otoño-invierno	No se logró el establecimiento para forraje, pero tiene un papel ecológico importante.
Poca ganancia de los sistemas agrícolas en la zona	Camas permanentes	Los costos de producción en la preparación del terreno disminuyeron hasta 4,000 MXN/ha al evitar el barbecho, dos pasos de rastra y el surcado.



Zacatepec, Morelos

Nombre plataforma	Zacatepec, Morelos
Colaboradores	Alberto Trujillo Campos
Institución	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)
Ubicación	INIFAP-CIRPAS, Campo Experimental "Zacatepec", Km 0.5 Carretera Zacatepec-Galeana
Altitud	917 metros sobre el nivel del mar (msnm)
Clima	Trópico seco-cálido subhúmedo
Año de instalación	2012

Introducción

La plataforma de investigación está ubicada en la región sur del estado de Morelos, caracterizada por suelos tipo Vertisol con 40% o más de arcilla, difíciles de labrar, de drenaje interno un tanto deficiente y con tendencia a la salinidad; sin embargo, presentan buenos niveles de fertilidad; cuando están secos se agrietan y cuando están húmedos son plásticos y pegajosos, lo cual representa ciertos problemas para el manejo agrícola.

Los principales cultivos producidos son caña de azúcar, maíz y sorgo. Con respecto al maíz, anualmente se cultiva en temporal una superficie de 15 mil a 18 mil hectáreas con un rendimiento promedio de 3.2 toneladas por hectárea (t/ha) (SIAP, 2021). Se usan principalmente genotipos mejorados y generaciones avanzadas de estos. En su mayoría se siembra en monocultivo, a veces, en la zona alta, se intercala con frijol y se hace la rotación con jitomate o, en la zona baja, se intercala con calabaza y se hace la rotación con sorgo. La siembra se realiza de forma mecanizada o manual. La preparación de suelo es el barbecho, cruza, surcado y siembra. La fertilización con nitrógeno se realiza principalmente durante la siembra, el manejo de malezas y plagas se hace mediante control químico, la cosecha se realiza de forma mecanizada o manual y el rastrojo se utiliza para la venta en pacas y el pastoreo.

Por lo anterior, en el diseño de la plataforma se consideraron las principales limitantes del rendimiento del cultivo del maíz en la región. Entre los temas

más relevantes para investigar se encuentran el bajo uso de semilla certificada; los suelos delgados, pedregosos y de lomerío, con tendencia a la erosión eólica e hídrica; y el deficiente manejo agronómico del cultivo como sistemas de labranza, densidades de población, fertilización, manejo de rastrojos, de malezas y de insectos.

La plataforma atiende el sistema de producción de maíz, sorgo y cacahuate puesto que en la región son los cultivos que ocupan mayor superficie cultivada bajo condiciones de temporal —por lo que el cacahuate y el sorgo se consideraron en el sistema de rotación con maíz—. El objetivo de la plataforma es determinar la mejor combinación de intensidad de labranza, manejo de rastrojo y rotación de cultivos que resulten en el mayor rendimiento y rentabilidad de maíz, sorgo y cacahuate.

Por lo anterior, se evaluaron 12 tratamientos donde se compara la aplicación del sistema de cero labranza y labranza mínima; manejo de rastrojo, densidades de población de 60 mil y 80 mil plantas por hectárea; así como la siembra en rotación del cultivo de maíz, después de maíz (monocultivo), sorgo y cacahuate. En 2012, 2014, 2016 y 2018 se cultivó maíz en toda la plataforma (12 tratamientos); en 2013, 2015 y 2017 una tercera parte (4 tratamientos) se cultivó con maíz, una tercera parte (4 tratamientos) se cultivó con sorgo y la otra tercera parte (4 tratamientos) se cultivó con cacahuate para evaluar el efecto de la rotación de cultivos.



■ **Cuadro 1:** Características del sistema de producción de la región en torno a la plataforma de investigación Zacatepec, Morelos.

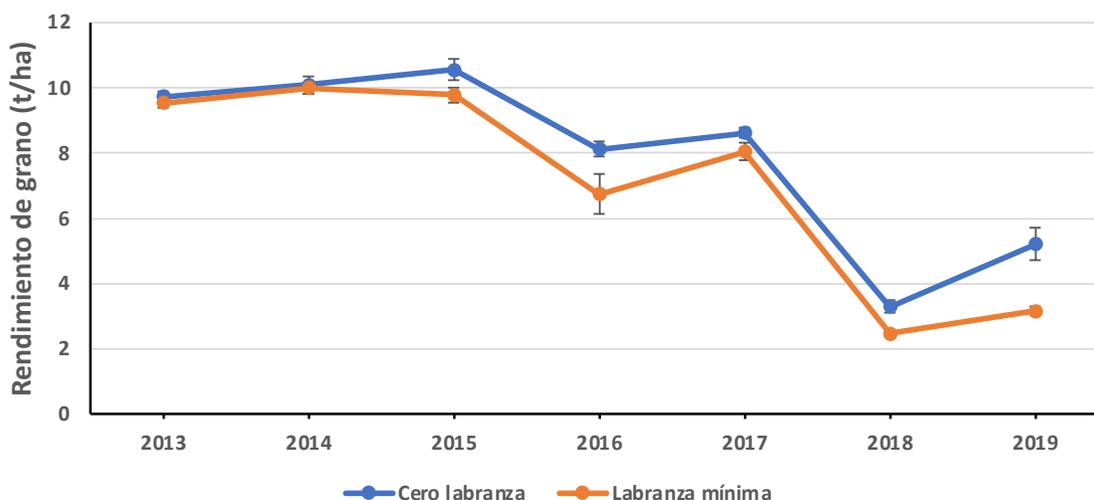
Condiciones agroecológicas	Sistema de producción	Manejo agronómico	Aspectos socioeconómicos
Clima: cálido subhúmedo	Producción agrícola mecanizada	Labranza: convencional (barbecho, cruza y surcado)	Producción: comercial y autoconsumo
Precipitación: 850 mm	Régimen hídrico: temporal	Fertilización: altas dosis de nitrógeno	Mercado: acopiadores (maíz y sorgo)
Suelos dominantes: Vertisol pélico	Cultivos principales: caña de azúcar, maíz, sorgo y cacahuete	Manejo de malezas: químico	Baja asociatividad
	Semilla: híbridos y variedades de maíz, híbridos de sorgo, poblaciones criollas de cacahuete	Manejo de plagas: químico	Poca disponibilidad de mano de obra

Resultados y aprendizajes

Labranza

El rendimiento promedio de maíz de 2013 a 2019 fue mayor (7.9 t/ha) en los tratamientos de cero labranza en comparación con los tratamientos con labranza mínima — con barbecho y surcado, sin rastra o cruza— (7.1 t/ha) t/ha) (figura 1). Los suelos tipo Vertisol se expanden y contraen de forma natural y, en general, son difíciles de labrar debido a que cuando están secos son extremadamente duros y en húmedo son demasiado plásticos, por lo que

realizar la siembra directa ayuda con un mejor establecimiento del cultivo. Además, en ciclos donde la precipitación es escasa en la siembra, como en 2019, evitar mover el suelo reduce la pérdida de humedad en el suelo y acentúa las diferencias en el rendimiento (figura 1). Al usar cero labranza, los costos de producción en la preparación del terreno disminuyeron en promedio hasta el 57% al evitar el barbecho, la rastra y el surcado.



■ **Figura 1.** Efecto de labranza sobre el rendimiento de maíz en monocultivo a través de los años 2013 al 2019 de la plataforma Zacatepec, Morelos.



Manejo de residuos

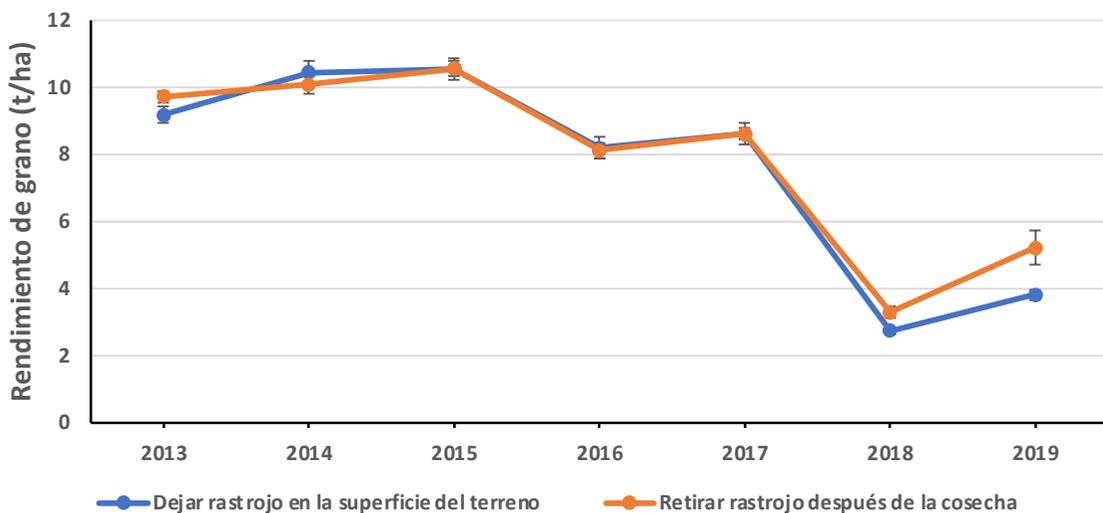
Entre 2013 y 2019 el rendimiento promedio de maíz fue similar al dejar o remover el rastrojo de la superficie del terreno (8.0 y 7.9 t/ha, respectivamente) en los tratamientos con cero labranza (figura 2). En general, las condiciones de precipitación en la región son suficientes para el desarrollo del cultivo, sin embargo, en años donde la distribución no es buena y hay poca humedad al inicio del ciclo, la falta de humedad puede ocasionar problemas en el establecimiento del cultivo.

En años como 2018 y 2019, en los tratamientos donde se dejó el rastrojo sobre la superficie del terreno, la poca humedad que se presentó por el inicio del temporal favoreció la germinación de la semilla y después, por falta de humedad, la plántula murió, por lo que se hizo una segunda siembra y este desfase en la fecha de siembra limitó la expresión del potencial de rendimiento. Además, en la siembra incrementaron los costos de producción, que fueron en promedio de 2,400 pesos por hectárea (MXN/ha) donde se dejó el rastrojo y se realizó una segunda de siembra, y de 1,230 MXN/ha en

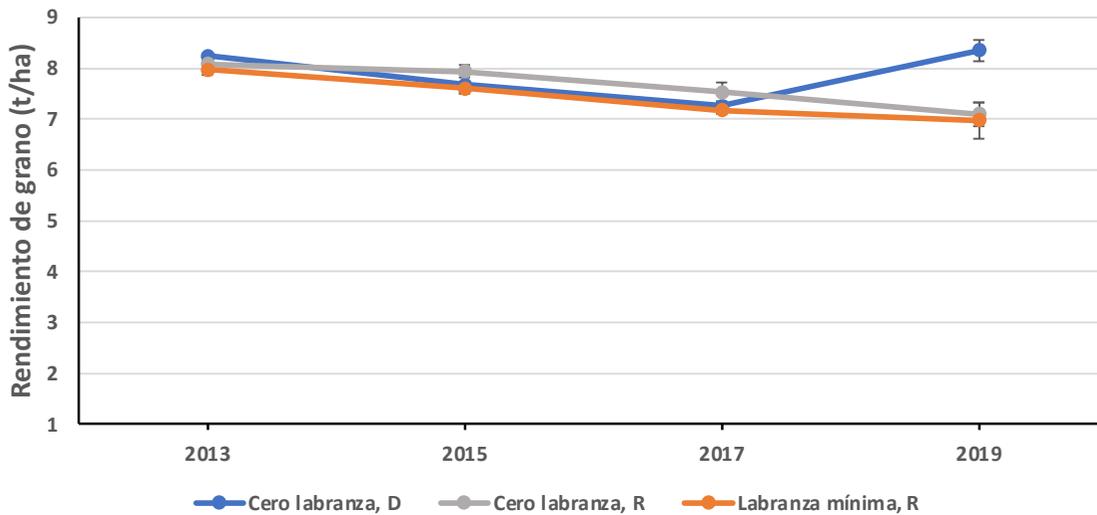
promedio donde se removió el rastrojo y solo se resembró. Estas reducciones en los rendimientos e incrementos en los costos de producción incidieron en la baja de la utilidad, especialmente en los tratamientos con monocultivo de maíz.

En el caso del sorgo el rendimiento promedio fue similar entre tratamientos, sin embargo, en 2019, cuando se presentaron lluvias abundantes antes del ciclo y escasez durante este, dejar el rastrojo y realizar cero labranza logró mitigar el estrés hídrico, resultando en el mayor rendimiento (8.3 t/ha), respecto a la labranza mínima donde se retiró el rastrojo (6.9 t/ha) (figura 3).

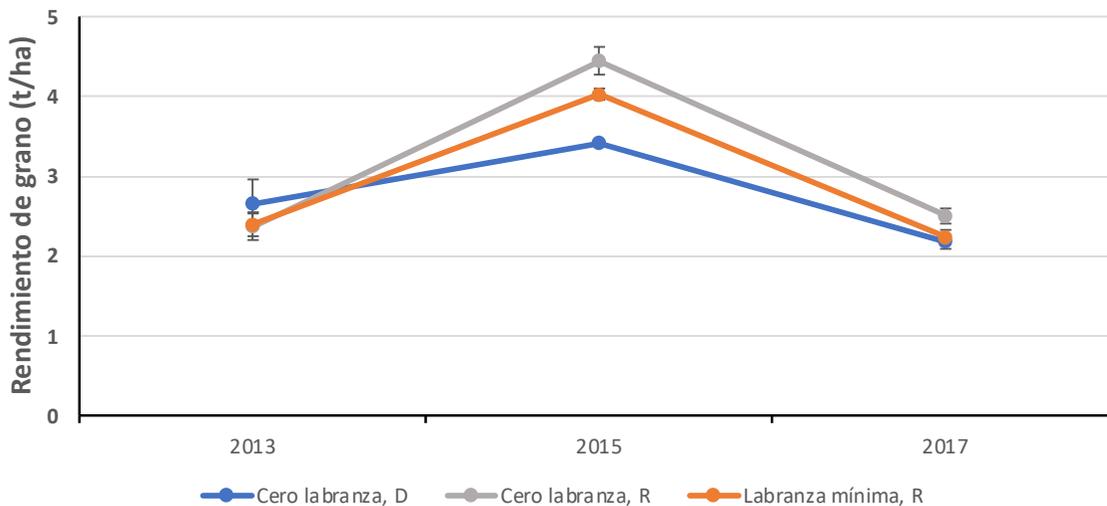
Con el cacahuate, el mayor rendimiento promedio fue de 3.1 t/ha en el tratamiento de cero labranza y remoción de rastrojo de maíz. El menor rendimiento fue de 2.7 t/ha en el tratamiento de cero labranza dejando el rastrojo de maíz (figura 4); por lo tanto, el rastrojo tuvo un efecto en la disminución del rendimiento del cacahuate.



■ **Figura 2.** Efecto del manejo de rastrojo en cero labranza sobre el rendimiento de maíz a través de los años 2013 al 2019 en la plataforma Zacatepec, Morelos.



■ **Figura 3.** Efecto de labranza y manejo de rastrojo sobre el rendimiento de sorgo en la plataforma Zacatepec, Morelos. Donde D: dejar rastrojo de maíz del ciclo anterior en la superficie del terreno, R: retirar rastrojo de maíz del ciclo anterior después de la cosecha.

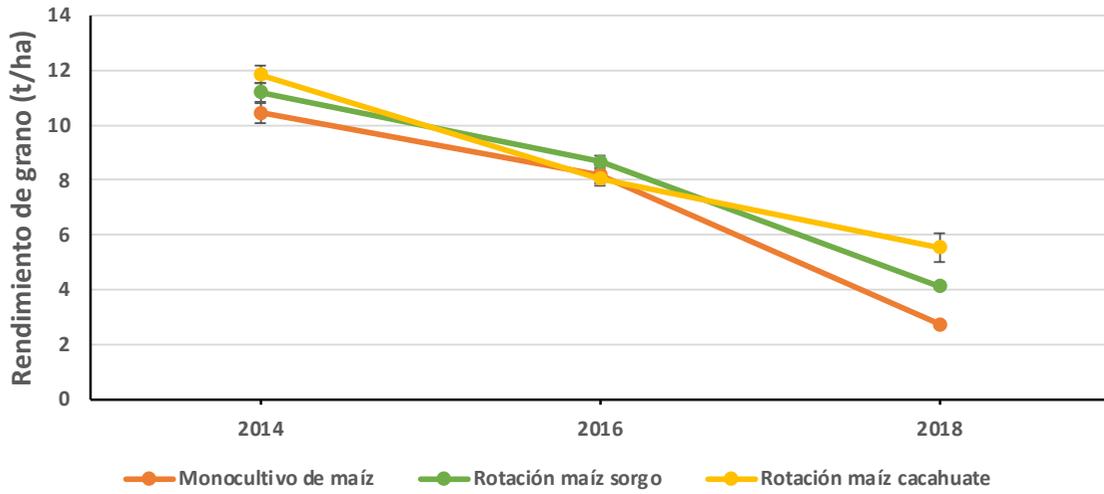


■ **Figura 4.** Efecto de labranza y manejo de rastrojo sobre el rendimiento de cacahuete en la plataforma Zacatepec, Morelos. Donde D: dejar rastrojo de maíz del ciclo anterior en la superficie del terreno, R: retirar rastrojo de maíz del ciclo anterior después de la cosecha.

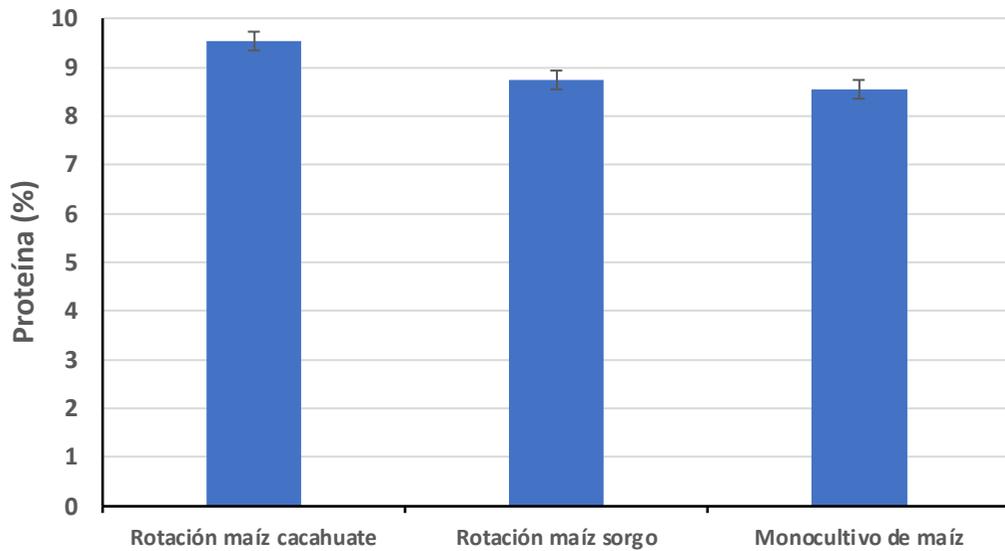
Rotación

La rotación de maíz con cacahuete promovió el incremento del rendimiento, el contenido de proteína en el grano y una mayor utilidad con respecto al monocultivo de maíz. Este incremento fue mayor en el sistema de cero labranza. De 2013 a 2017 el mayor rendimiento promedio (8.4 t/ha) fue en rotación con cacahuete y el menor rendimiento (7.6 t/ha) en monocultivo de maíz. La rotación maíz-

sorgo resultó en un rendimiento intermedio con 7.9 t/ha en promedio (figura 5). En la rotación con cacahuete el contenido de proteína en el grano de maíz fue mayor (9.5%) y menor en el monocultivo (8.5%) (figura 6). Estos resultados pueden explicarse porque el cacahuete fijó nitrógeno al suelo, dejándolo disponible para el maíz.



■ **Figura 5.** Efecto de la rotación de cultivos sobre el rendimiento del maíz con cero labranza en 2014, 2016 y 2018, en la plataforma Zacatepec, Morelos.



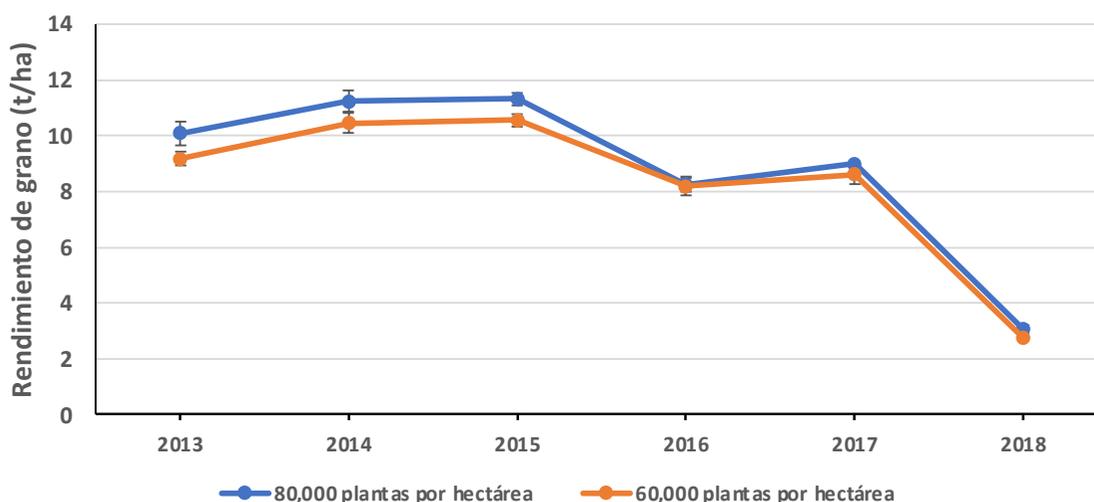
■ **Figura 6.** Contenido de proteína en grano de maíz en sistema de monocultivo y rotación en la plataforma de Zacatepec, Morelos en ciclo primavera-verano de 2018.



Densidad de siembra

Una mayor densidad de población (80 mil plantas por hectárea) presentó un incremento en el rendimiento en el periodo de 2013 a 2015; esto es, que no se presentaron efectos adversos por la competencia de luz, agua, nutrientes y contenido de proteína en el grano en comparación con la densidad de población que convencionalmente usan los productores de la región. El rendimiento

promedio de maíz fue mayor (8.8 t/ha) con la densidad de 80 mil plantas por hectárea, en comparación con la densidad de siembra de 60 mil plantas por hectárea, con la cual se obtuvo un rendimiento promedio de 8.2 t/ha (figura 7). El porcentaje de proteína fue similar entre densidades: de 8.5% para 60 mil plantas por hectárea y 8.3% con 80 mil plantas por hectárea.

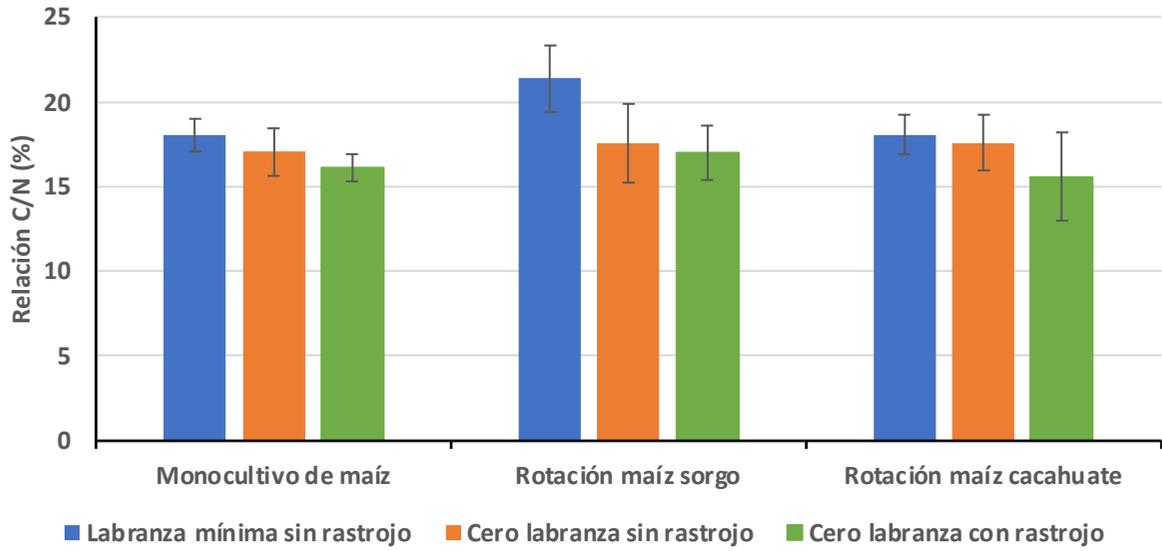


■ **Figura 7.** Efecto de la densidad de población sobre el rendimiento de maíz a través de los años 2013 al 2018, en la plataforma Zacatepec, Morelos.

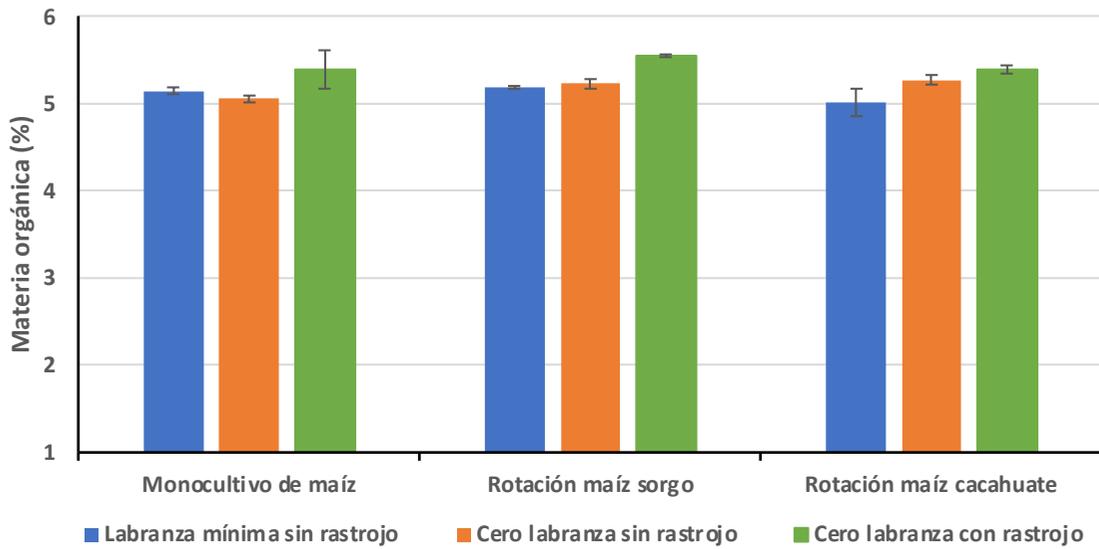
Calidad del suelo

El manejo agrícola puede modificar la calidad del suelo; sin embargo, los cambios en la calidad del suelo no solo se asocian con el manejo, sino con las condiciones del ambiente, como la temperatura y la precipitación. En esta región agroecológica de trópico seco, prácticas de agricultura de conservación como la rotación maíz-cacahuete, cero labranza y dejar residuos en la superficie del terreno contribuyen al mejoramiento de la calidad del suelo con respecto a la labranza mínima —barbecho y surcado—. La relación carbono-nitrógeno es mayor en el sistema de labranza mínima donde se remueve el rastrojo con rotación maíz-sorgo (presentando un valor de 21.3%) y menor en cero labranza con rastrojo en rotación maíz-cacahuete (15.5%) (figura 8).

Al tener una relación carbono-nitrógeno mayor, los microorganismos del suelo requieren más nitrógeno para descomponer el carbono en suelo, generando competencia de nitrógeno con la planta. Usar una leguminosa como cacahuete ayuda a fijar nitrógeno en el suelo, permitiendo mayor disponibilidad de este nutriente para la planta. Esto explica por qué la rotación con cacahuete es uno de los factores que influye en el incremento del rendimiento. El contenido de la materia orgánica en el suelo fue en promedio mayor en el sistema de cero labranza con rastrojo y rotación maíz-sorgo (con 5.7%) que en el sistema de labranza mínima donde se remueven los residuos y se rota con cacahuete (3.6%) (figura 9).



■ Figura 8. Relación carbono-nitrógeno en la capa de 0-15 cm en sistemas de labranza en la plataforma Zacatepec, Morelos. Datos generados por Fonteyne *et al.*, 2021.



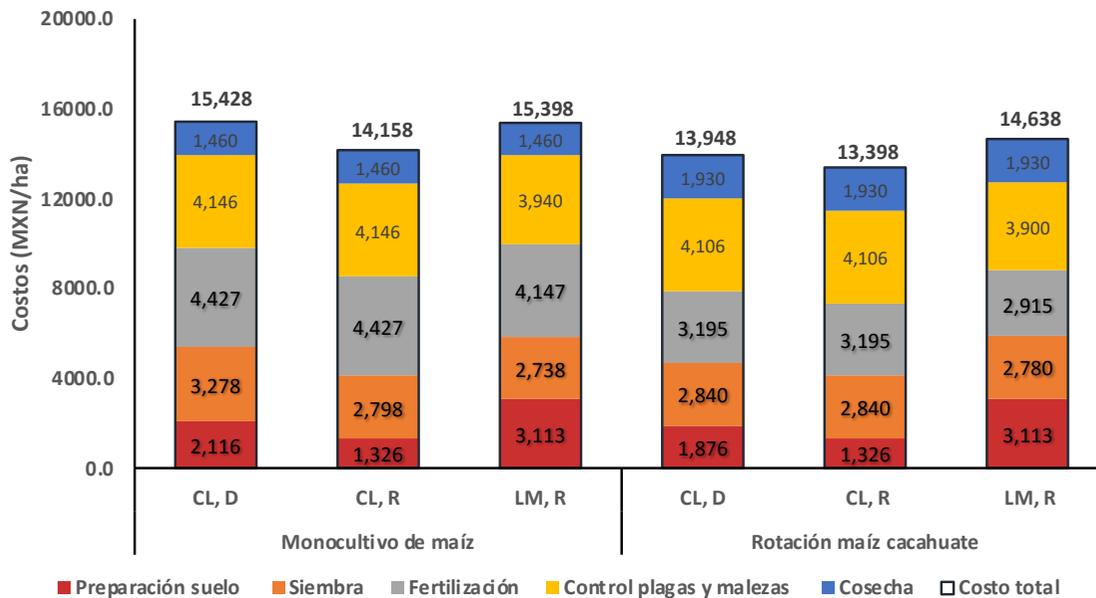
■ Figura 9. Contenido de materia orgánica en la capa de 0-15 cm en sistemas de labranza en la plataforma Zacatepec, Morelos. Datos generados por Fonteyne *et al.*, 2021.



Análisis de la utilidad

La mayor utilidad promedio fue de 16,490 MXN/ha en el tratamiento con rotación maíz-cacahuete en cero labranza y con el rastrojo como cobertura. La menor utilidad (7,397 MXN/ha) se registró en el tratamiento testigo, es decir, el de monocultivo de maíz con labranza mínima y sin cobertura de rastrojo (cuadro 2). La rotación de maíz con cacahuete

en cero labranza y con el rastrojo como cobertura tuvo una utilidad de 16,395 MXN/ha, sin considerar la venta del rastrojo (1,500 MXN/ha), por lo que este tratamiento en el trópico seco resulta una alternativa rentable, productiva y con los mejores valores de calidad de suelo con respecto a la labranza mínima y el monocultivo de maíz.



■ **Figura 10.** Costos de producción (MXN/ha) en el sistema de monocultivo y rotación maíz-cacahuete en la plataforma de Zacatepec, Morelos, del 2014 al 2019. Donde CL: Cero labranza, LM: Labranza mínima, D: Dejar rastrojo en la superficie del terreno, R: Retirar rastrojo después de la cosecha.

■ **Cuadro 2:** Utilidad neta (MXN/ha) promedio de sistemas de labranza y manejo de rastrojo en la plataforma Zacatepec, Morelos., en 2014, 2016 y 2018.

Tratamiento	Monocultivo de maíz			Rotación maíz-cacahuete		
	CL, D	CL, R	LM, R	CL, D	CL, R	LM, R
Costo total (MXN/ha)	18,644	16,244	17,077	16,843	16,243	17,077
Utilidad neta (MXN/ha)	9,435	11,474	7,397	16,490	16,395	12,664

Donde CL: Cero labranza y LM: Labranza mínima, D: Dejar rastrojo sobre la superficie del terreno, R: remover rastrojo.



Conclusión

Limitante	Propuesta	Resultados
Suelos delgados, pedregosos y de lomerío, con tendencia a la erosión eólica e hídrica.	Cero labranza.	<p>Mayor rendimiento de maíz (8.0 t/ha) con cero labranza que con labranza mínima (7.5 t/ha).</p> <p>En el cultivo del sorgo el rendimiento promedio fue similar entre tratamientos, sin embargo, en ciclos con sequía, dejar el rastrojo y hacer cero labranza ayuda a mitigar el estrés hídrico.</p>
	Manejo de residuos.	<p>Se registró un rendimiento similar al dejar o remover el rastrojo (8.0 t/ha y 7.9 t/ha).</p> <p>En el caso del cacahuate, hubo un mayor rendimiento (3.1 t/ha) al remover el rastrojo, que al dejarlo (2.7 t/ha).</p> <p>La materia orgánica en la capa de 0 a 15 cm fue mayor con cero labranza y dejando los residuos de cosecha (5.7%) que, con labranza mínima, remoción de residuos y rotación con cacahuate (3.6%)</p>
	Rotación de cultivos.	<p>El mayor rendimiento (8.4 t/ha) y contenido de proteína en el grano (9.5%) se registró en la rotación maíz-cacahuate. En el monocultivo de maíz estos valores fueron de 7.6 t/ha y 8.5%, respectivamente.</p>
	Deficiente manejo agronómico del cultivo como densidades de población, fertilización, control de malezas y control de insectos.	Densidades de población.
<p>El porcentaje de proteína fue similar entre densidades de siembra: 8.5% para 60 mil y 8.3% con 80 mil.</p>		



Iguala, Guerrero

Nombre plataforma	Iguala, Guerrero
Colaboradores	Rocío Toledo Aguilar y Mariano González Camarillo
Institución	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)
Ubicación	Campo Experimental Iguala. Km 2.5, carretera Iguala-Tuxpan, Iguala de la Independencia, Guerrero, CP. 40000
Altitud	770 metros sobre el nivel del mar (msnm)
Clima	Cálido subhúmedo
Año de instalación	2012

Introducción

La plataforma de investigación en agricultura de conservación de Iguala, Guerrero, se encuentra en el INIFAP - Campo Experimental Iguala, en la región Norte del estado de Guerrero. En esta región, el 24% de la población se dedica a actividades agrícolas y pecuarias, que generalmente usan para la venta. Los principales cultivos son maíz y sorgo, de los cuales el rendimiento no es muy alto, para el maíz criollo en promedio se obtienen 2.4 t/ha y de maíz mejorado 4.8 t/ha.

Se estima que 74,256 hectáreas se destinan para la agricultura, donde 72,832 se cultivan en temporal y el resto en riego (SIAP, 2021). La agricultura de temporal se caracteriza por presentar lluvias irregulares, siembras en laderas, sobre suelos con poca fertilidad (regosoles y litosoles con bajo espesor y susceptibles a erosión hídrica) y erosionados por el manejo. En las tierras de riego se puede encontrar infraestructura de riego subutilizada, mal conservada, mecanización concentrada en zonas urbanas, escasa asesoría técnica para el cultivo de maíz, deficiente infraestructura de acopio y almacenamiento y elevado intermediarismo. La actividad ganadera es importante en la región, las especies que se explotan son bovino, ovinos, porcino, caprinos y aves, la mayoría con manejo de libre pastoreo y bajo porcentaje de manejo intensivo, el principal alimento proporcionado es el forraje de maíz.

La plataforma de investigación se estableció en 2012 y en el diseño se consideraron las principales limitantes del rendimiento del cultivo del maíz en la región. Entre los problemas más relevantes a resolver se encuentran:

- Baja fertilidad y erosión del suelo.
- Falta de alternativas de forraje para ganado de pequeños y medianos productores agropecuarios.

En esta plataforma de investigación se evaluó el efecto de labranza, manejo de residuos de rastrojo y rotación de cultivos sobre el rendimiento y rentabilidad de maíz. Se consideraron tres niveles de labranza: 1) cero labranza, sin remoción o roturación del suelo, 2) labranza mínima que incluye un paso de rastra (15 cm) y surcado antes de la siembra y 3) labranza convencional con la implementación de un barbecho con arado reversible de discos (30 cm) y surcado antes de la siembra. Se evaluaron dos manejos de rastrojo: retirarlo todo y parcialmente, con la remoción de las hojas por arriba de la mazorca. En la rotación de cultivos con maíz, se consideró a cacahuate y soya, y a mucuna asociado en el mismo ciclo. Esta plataforma operó de 2013 a 2016.

En 2017 se restructuro la plataforma y se incluyeron cultivos forrajeros en el ensayo. La identificación de necesidades se hizo a través de un taller con actores de la red a la plataforma de Iguala (productores agropecuarios, técnicos y productores de semilla del estado de Guerrero, principalmente de la zona Norte), se destacó la importancia de evaluar dos cultivos forrajeros: soya (ciclo PV) y crotalaria (ciclo OI), insumo que podría ser usado para la alimentación de ganado, como alternativa al uso de residuos de maíz y alimento de mayor valor nutricional, lo que puede permitir que el rastrojo de maíz quede en las parcelas como cobertura.



■ Cuadro 1: Características del sistema de producción entorno a la plataforma Iguala, Guerrero.

Condiciones agroecológicas	Características sistema de producción	Manejo agronómico	Aspectos socioeconómicos
Clima: Cálido subhúmedo	Producción agrícola manual y mecanizada	Labranza: convencional (rastra, barbecho y surcado)	Minifundistas (explotaciones pequeñas) y arrendamiento de tierras para agricultura
Temperatura 28 °C	Siembras en valles y planicies	Fertilización: química subsidiada	Producción: autoconsumo, venta y alimento de ganado local
Precipitación: 800-1100 mm	Régimen hídrico de temporal en 95% y riego 5%	Manejo de malezas: manual y químico	Poca disponibilidad de mano de obra
Suelo: regosoles y litosoles	Cultivo primario maíz y frijol	Manejo de plagas: químico	Actividad pecuaria con ovinos, aves, cerdos y bovinos
Vegetación: selva baja caducifolia y matorral crasicaule con paisaje agrícola y pastizales	Semilla criolla y mejorada		

Derivado del taller, se establecieron las rotaciones de maíz/soya en primavera-verano, maíz/crotalaria en otoño-invierno, remoción total del rastrojo y permanencia de rastrojo en la parcela; así como labranza mínima contrastada con la labranza convencional de la zona. Así, se obtuvieron datos de rendimiento de grano y forraje de 2017 a 2019.

Resultados y aprendizajes

Rotación de cultivos en dos periodos de evaluación (2013 a 2016 y 2017 a 2019)

El rendimiento promedio de grano de maíz de 2013 a 2016 fue mayor en la asociación con mucuna que en monocultivo de maíz en tres tipos de labranza; en labranza convencional con remoción de residuos de cosecha, el rendimiento en monocultivo fue de 3.4 t/ha, y en la asociación maíz con mucuna de 4.5 t/ha (figura 1). En labranza mínima donde se removieron los residuos de cosecha se obtuvo en monocultivo 4.0 t/ha, y 4.6 t/ha en la asociación con mucuna (figura 2). En labranza mínima, pero con incorporación de los residuos de cosecha el rendimiento fue similar en monocultivo de maíz (4.6 t/ha) y maíz asociado con mucuna (4.4 t/ha) (figura 3). En cero labranza donde se dejaron los residuos de cosecha se obtuvo 3.4 t/ha en monocultivo y 4.4 t/ha en la asociación con mucuna (figura 4).

La rotación entre cultivos es una alternativa que pretende romper con los monocultivos por los ben-

eficios que conlleva en la disminución de plagas y enfermedades, y en la fertilidad del suelo. En este caso, el rendimiento promedio de grano de maíz fue mayor en la rotación de maíz con cacahuate, que, con la rotación con soya, en los tres tipos de labranza.

En labranza convencional con remoción de todos los residuos de cosecha, el rendimiento fue mayor con cacahuate (3.6 t/ha) que con soya (3.0 t/ha) (figura 1). En labranza mínima con remoción de residuos de cosecha, el rendimiento de grano de maíz fue mayor en rotación con soya (4.7 t/ha) que con cacahuate (3.7 t/ha) (figura 2). En labranza mínima con incorporación de los residuos de cosecha, el rendimiento fue mayor con cacahuate (4.2 t/ha) que con soya (3.5 t/ha) (figura 3). En cero labranza con residuos de cosecha el rendimiento fue mayor con cacahuate (4.6 t/ha) que con soya (3.7 t/ha) (figura 4) (figura 5).

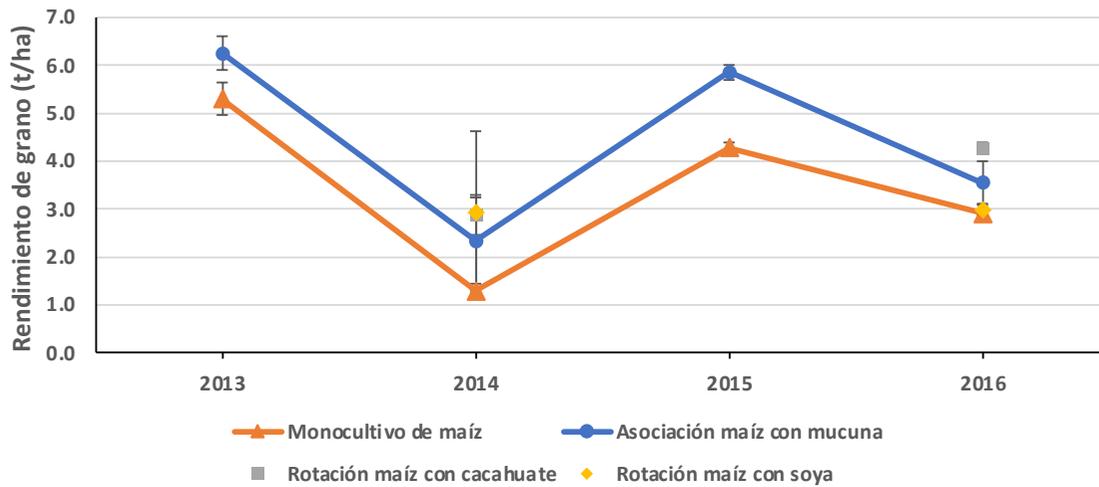


Figura 1. Rendimiento de grano maíz en monocultivo, asociado con mucuna y rotación con cacahuete y soya cultivado en labranza convencional, donde se removieron los residuos de cosecha a través de los años 2013 al 2016, en la plataforma Iguala, Guerrero.

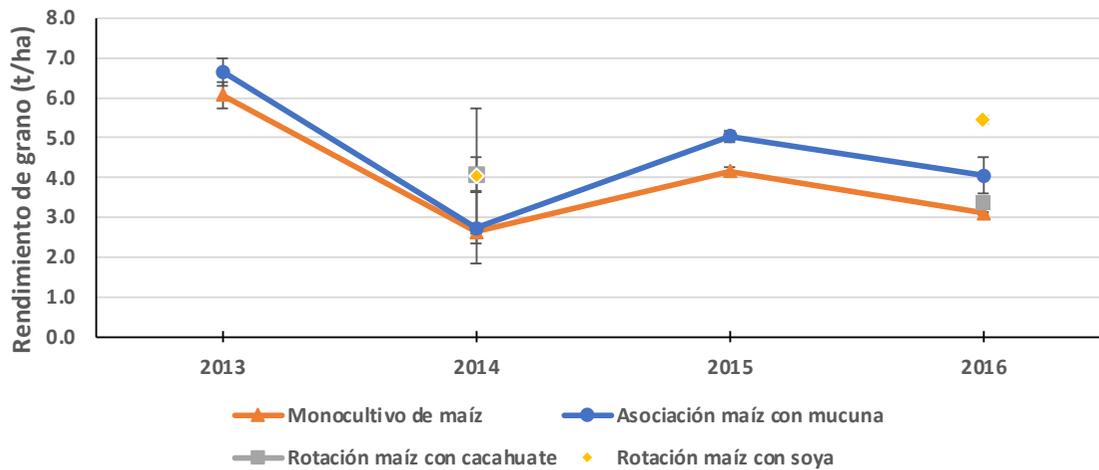
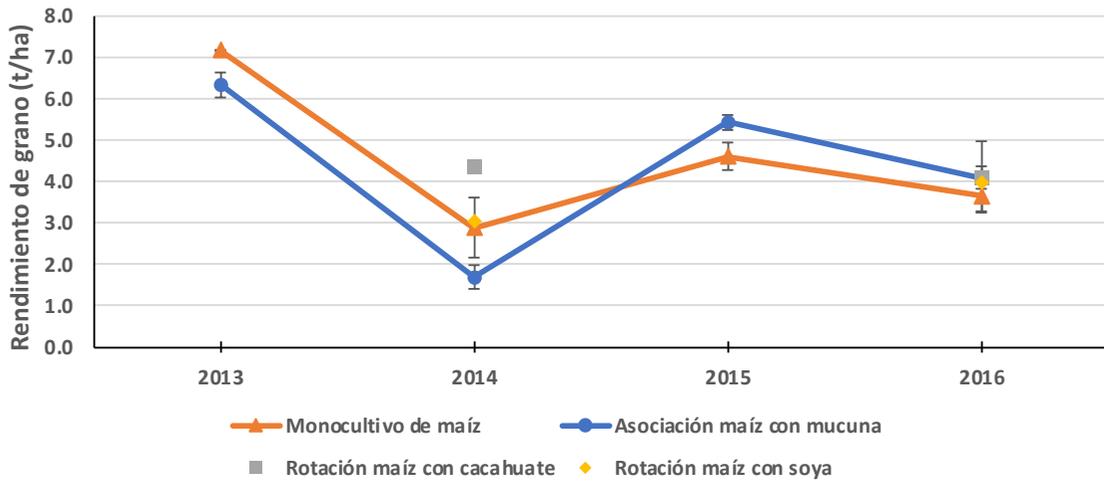
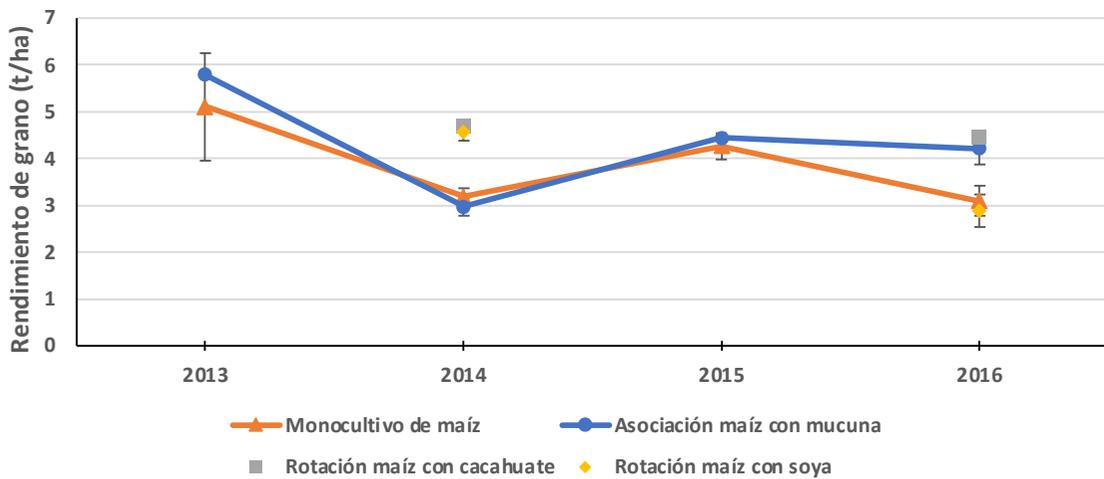


Figura 2. Rendimiento de grano maíz en monocultivo, asociado con mucuna y rotación con cacahuete y soya cultivado en labranza mínima, donde se removieron los residuos de cosecha durante 2013 al 2016, en la plataforma de Iguala, Guerrero.



■ **Figura 3.** Rendimiento de grano maíz en monocultivo, asociado con mucuna y rotación con cacahuate y soya cultivado en labranza mínima, donde se incorporaron los residuos de cosecha a través de los años 2013 al 2016, en la plataforma Iguala, Guerrero.



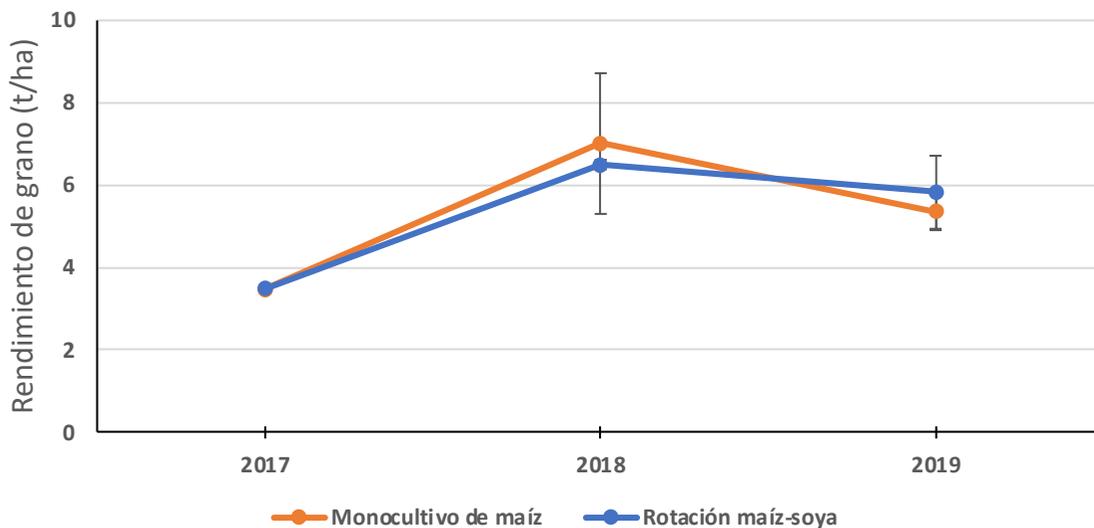
■ **Figura 4.** Rendimiento de grano maíz en monocultivo, asociado con mucuna y rotación con cacahuate y soya cultivado en cero labranza, donde se dejaron los residuos de cosecha durante 2013 al 2016, en la plataforma Iguala, Guerrero.



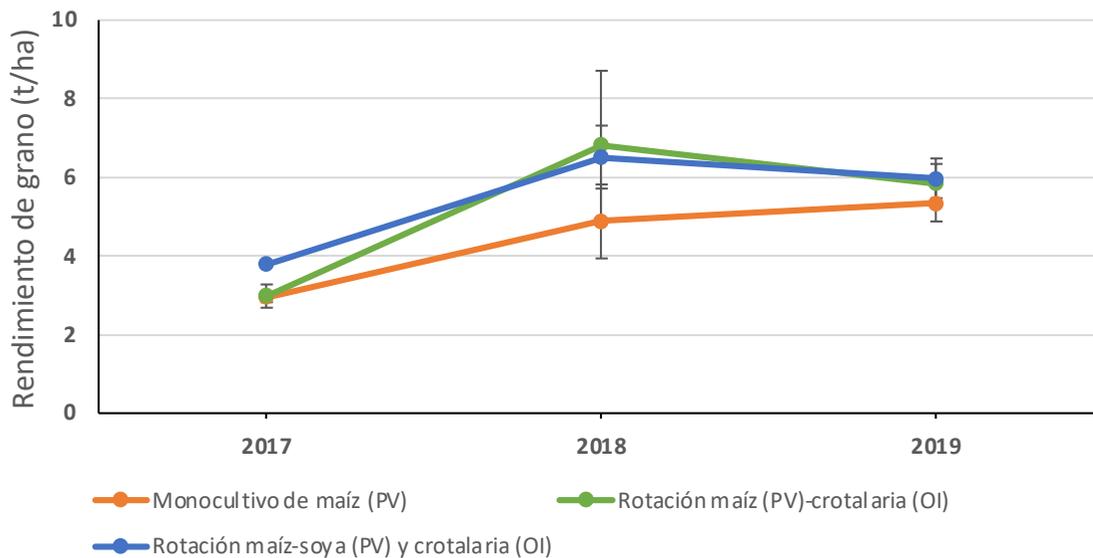
■ **Figura 5.** Maíz cultivado en labranza cero, con rastrojo y rotación con soya el 17 de julio de 2016 en la plataforma de Iguala, Guerrero.

De los años 2017 al 2019, el rendimiento promedio de grano de maíz fue igual en la rotación con soya (5.3 t/ha) que en monocultivo de maíz (5.3 t/ha), en labranza convencional con remoción de los residuos de cosecha (figura 6). El rendimiento de grano de

maíz fue mayor en la rotación maíz-crotalaria-soya (5.4 t/ha), que en el monocultivo de maíz (4.4 t/ha). La rotación maíz-crotalaria tuvo un rendimiento de 5.2 t/ha en camas permanentes angostas y con los residuos de cosecha (figura 7).



■ **Figura 6.** Rendimiento de grano maíz en monocultivo y rotación con soya, cultivado en labranza convencional con remoción de los residuos de cosecha, a través de los años 2017 al 2019 de la plataforma Iguala, Guerrero.



■ **Figura 7.** Rendimiento de grano maíz en monocultivo, maíz en rotación con crotalaria y rotación anual de maíz con soya y crotalaria en cada OI, cultivados en camas permanentes y residuos de cosecha, a través de los años 2017 al 2019 de la plataforma Iguala, Guerrero.

Labranza

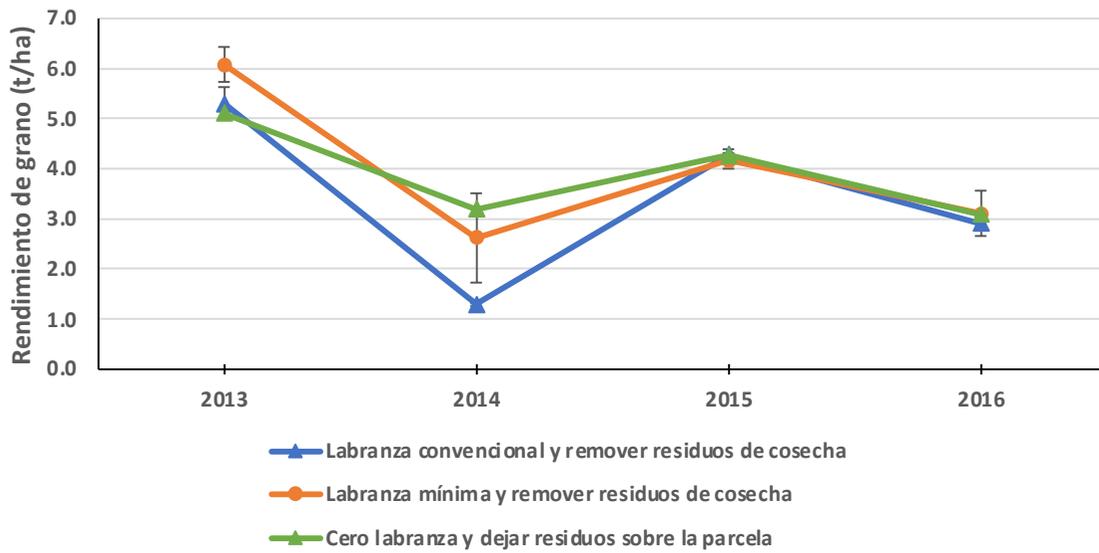
El rendimiento de grano de maíz fue similar con el tipo de labranza, pero la disminución de la labranza redujo los costos de producción y aumentó la rentabilidad por quitar el paso de barbecho y el arado reversible de discos (figura 8). El rendimiento promedio de grano de maíz en monocultivo de 2013 a 2016 fue mayor en labranza mínima (4.0 t/ha) que en labranza convencional con remoción de todos los residuos de cosecha (3.4 t/ha). El rendimiento de

monocultivo de maíz en cero labranza, con residuos sobre la parcela fue de 3.9 t/ha (figura 9).

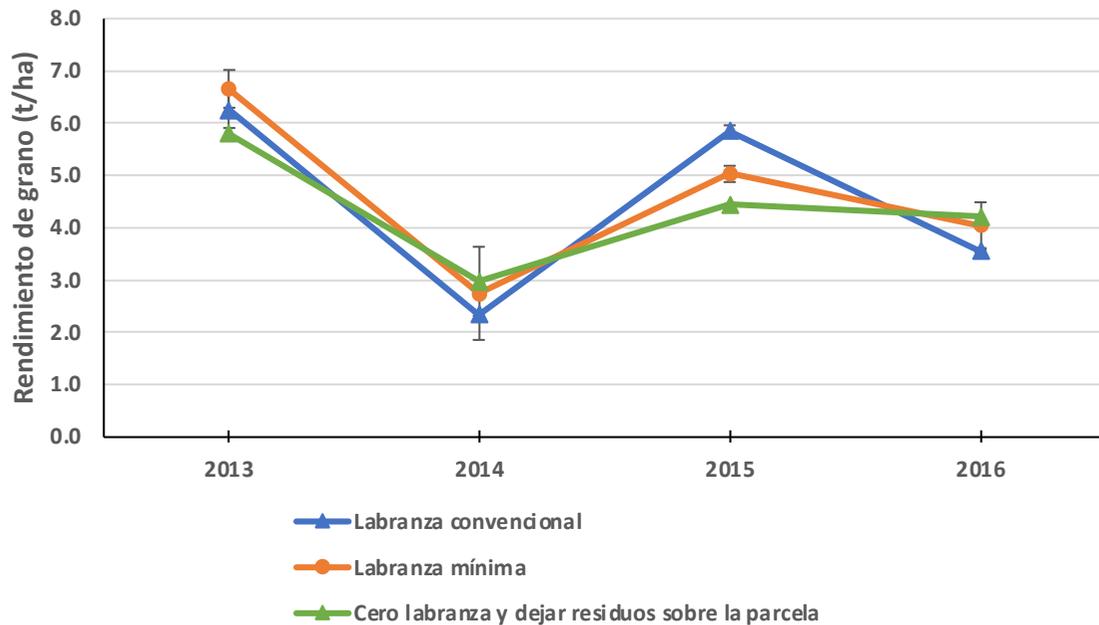
Por el efecto de la labranza, el rendimiento de maíz asociado con mucuna fue similar en labranza mínima (4.6 t/ha), labranza convencional sin residuos de cosecha (4.5 t/ha) y cero labranza con residuos sobre la parcela (4.4 t/ha) (figura 10).



■ **Figura 8.** Siembra directa de maíz en cero labranza, el 8 de julio de 2016 en la plataforma de Iguala, Guerrero.



■ **Figura 9.** Rendimiento de grano maíz en monocultivo en labranza convencional y labranza mínima, con remoción de los residuos de cosecha, y cero labranza con residuos de cosecha en la superficie de la parcela, durante 2013 a 2016 en la plataforma Iguala, Guerrero.



■ **Figura 10.** Rendimiento de grano maíz asociado con mucuna en labranza convencional y labranza mínima sin residuos de cosecha y cero labranza con residuos de cosecha en la superficie de la parcela, durante 2013 a 2016 en la plataforma Iguala, Guerrero.

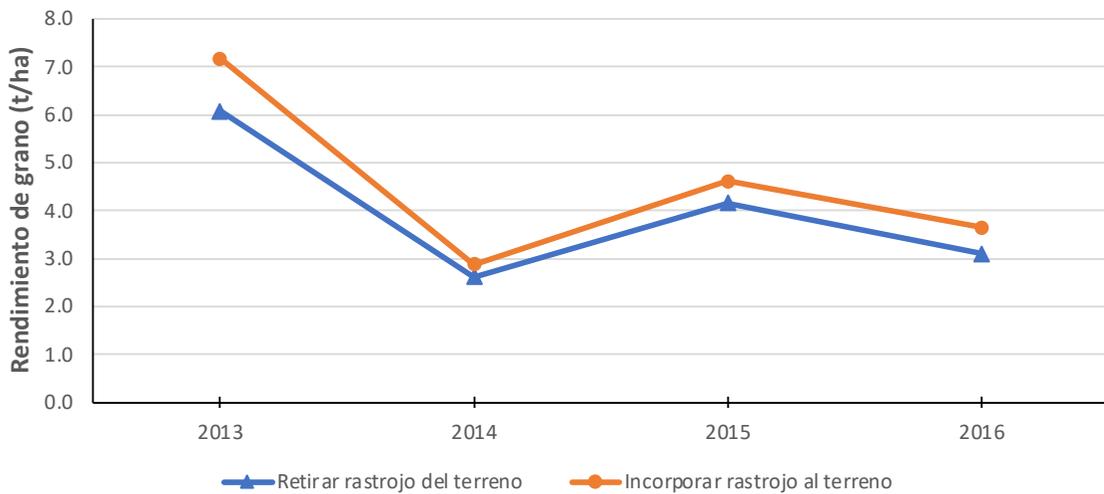


Manejo de residuos de cosecha

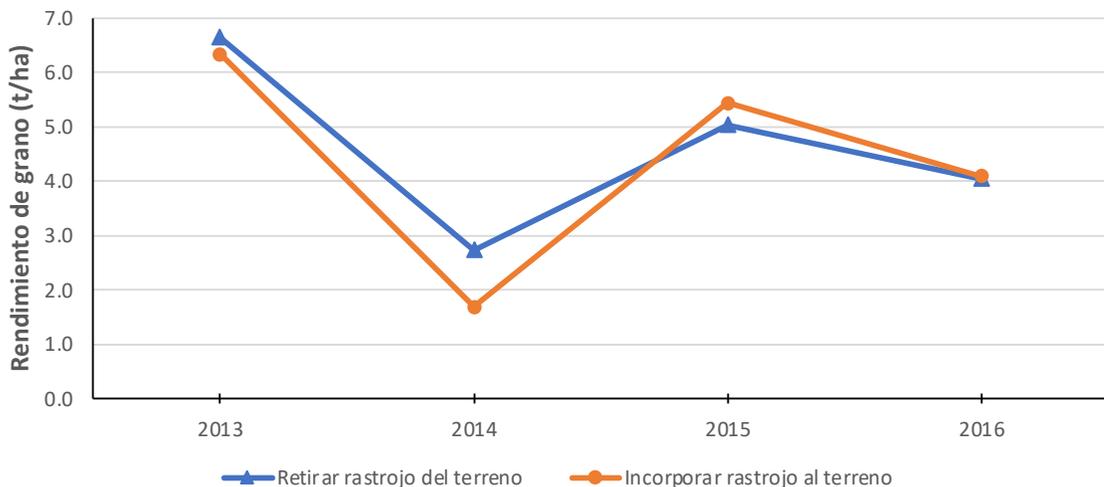
El rendimiento de grano de maíz en monocultivo fue mayor con la incorporación de rastrojo en la parcela (4.6 t/ha), que si se retira (4.0 t/ha) (figura 11). En labranza mínima, en la asociación de maíz y mucuna, el rendimiento de maíz fue similar, con la incorporación de rastrojo se obtuvo 4.4 t/ha, y si se retira se obtuvo un poco más de rendimiento con 4.6 t/ha (figura 12 y 13).

Para el caso de cacahuate, en labranza mínima, el rendimiento promedio de dos ciclos de cultivo fue mayor donde el rastrojo se retiró de la parcela (1.6 t/

ha) que donde fue incorporado (1.2 t/ha) (figura 14). El rendimiento en cero labranza con los residuos de cosecha fue de 1.8 t/ha. El rendimiento promedio de grano de soja en dos ciclos de cultivo, en labranza mínima, fue mayor donde el rastrojo se incorporó al terreno (2.5 t/ha), donde fue retirados los residuos se obtuvo un rendimiento de 1.5 t/ha (figura 15). En cero labranza con residuos de cosecha, el rendimiento de grano de soja fue de 2.3 t/ha, con un mejor rendimiento durante 2015 que en 2013, por efecto de las condiciones climáticas.



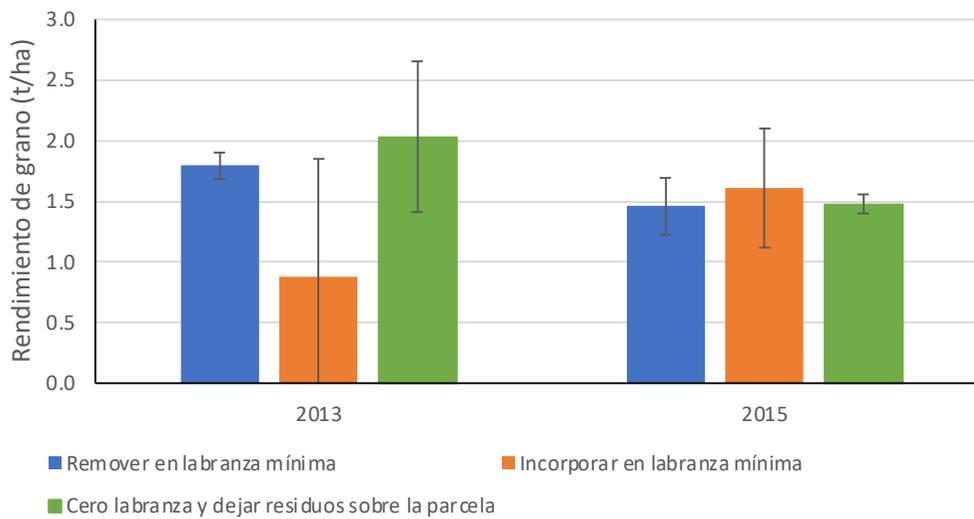
■ **Figura 11.** Rendimiento de grano maíz en monocultivo con incorporación y retiro de rastrojo de la parcela, en labranza mínima, durante 2013 al 2016 en la plataforma Iguala, Guerrero.



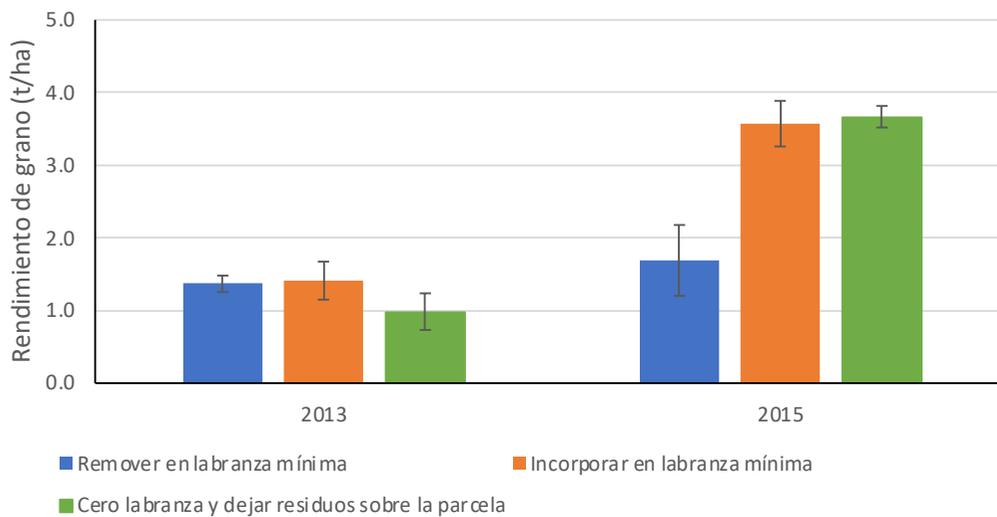
■ **Figura 12.** Rendimiento de grano maíz asociado con mucuna con incorporación y retiro del rastrojo de la parcela, en labranza mínima durante 2013 a 2016 en la plataforma Iguala, Guerrero.



■ **Figura 13.** Maíz y mucuna asociados (izquierda) y rastrojo en la superficie del terreno, con cero labranza. El 5 de diciembre de 2015 en la plataforma de investigación Iguala, Guerrero.



■ **Figura 14.** Rendimiento de grano cacahuete con tres manejos de labranza, durante 2013 a 2016 en la plataforma Iguala, Guerrero.



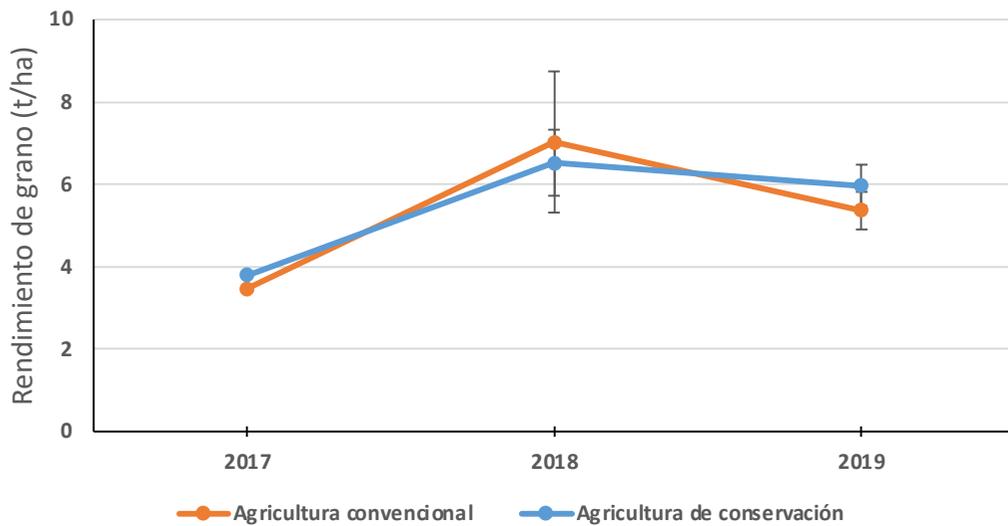
■ **Figura 15.** Rendimiento de grano soya con tres manejos de labranza, durante 2013 a 2016 en la plataforma Iguala, Guerrero.



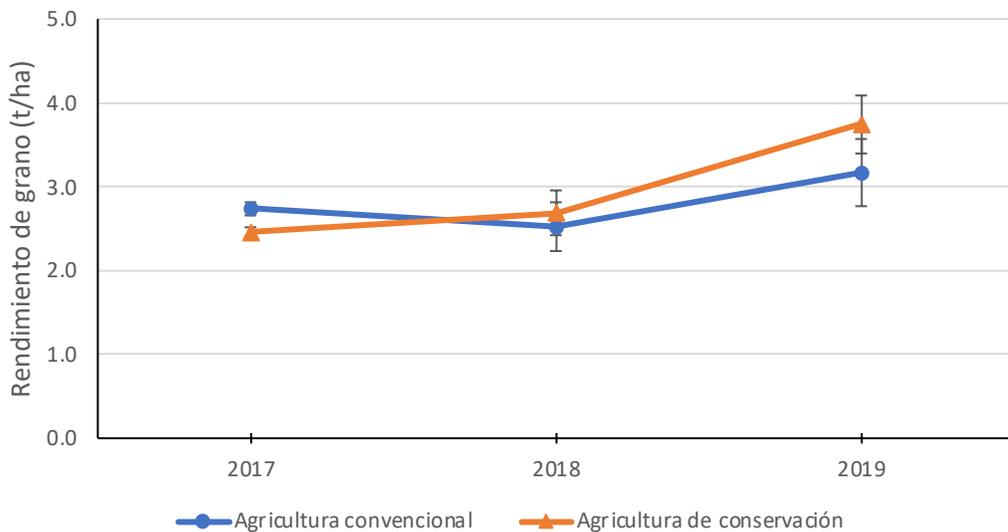
Agricultura de conservación de 2017 a 2019

El rendimiento de grano de maíz no tuvo una tendencia clara durante los años de evaluación y en promedio fue similar en agricultura de conservación 5.4 t/ha (rotación maíz, soya, crotalaria, camas permanentes angostas y dejar los residuos de cosecha) y labranza convencional (monocultivo de maíz, labranza convencional y retirar los residuos de cosecha) 5.3 t/ha (figura 16).

El rendimiento de grano de soya fue similar al sembrarlo en labranza convencional donde se removieron los residuos de cosecha y en camas angostas con rastrojo en la superficie del terreno (2.8 y 3.0 t/ha). En 2019 se presentaron periodos de sequía largos, que limitaron el desarrollo del cultivo de soya bajo las condiciones de labranza convencional, y por el contrario con agricultura de conservación, el cultivo llegó a cosecha con un mayor rendimiento (figura 17).



■ **Figura 16.** Rendimiento de grano maíz en monocultivo en dos sistemas de manejo, durante 2017 a 2019 en la plataforma Iguala, Guerrero.



■ **Figura 17.** Rendimiento de grano soya en dos sistemas de manejo, durante 2017 a 2019 en la plataforma Iguala, Guerrero.



Conclusión

Limitante	Propuesta	Resultados
Deterioro de la fertilidad del suelo por pérdida de la materia orgánica del suelo	Agricultura de conservación: Camas permanentes angostas, con retención de rastrojo y rotación con soya y cacahuate	Mayor rendimiento de maíz asociado con mucuna que en el monocultivo de maíz en tres tipos de labranza.
		Similar rendimiento en el monocultivo de maíz (4.6 t/ha) y maíz asociado con mucuna, (4.4 t/ha) en labranza mínima con incorporación de residuos de cosecha.
		Mayor rendimiento de maíz cuando se rota con cacahuate, que cuando se hace rotación con soya.
		En la labranza mínima con residuos de cosecha, el rendimiento de maíz fue mayor en la rotación con soya (4.7 t/ha) que con cacahuate (3.7 t/ha).
		De 2017 a 2019, similar rendimiento de maíz en rotación con soya (5.3 t/ha) que en monocultivo de maíz en labranza convencional.
		De 2017 a 2019, mayor rendimiento de maíz en rotación (5.4 t/ha) con soya que en monocultivo (4.4 t/ha) en camas permanentes con residuos de cosecha.
		El rendimiento promedio de grano de maíz en monocultivo de 2013 a 2016 fue mayor en labranza mínima (4.0 t/ha) que en labranza convencional (3.4 t/ha) con remoción de los residuos de cosecha.
Altos costos de producción		El rendimiento de maíz asociado con mucuna fue similar en labranza mínima (4.6 t/ha), labranza convencional sin residuos de cosecha (4.5 t/ha) y en cero labranza con residuos sobre la parcela (4.4 t/ha).
		Mayor rendimiento de cacahuate donde el rastrojo se retiró de la parcela (1.6 t/ha), que donde se incorporó (1.2 t/ha) en labranza mínima.
		Los costos de producción disminuyeron en cero labranza al eliminar el paso de barbecho, arado reversible de discos y solo hacer siembra directa.
Falta de forraje para ganado que complementa la actividad agrícola en la región	Rotación maíz crotalaria y soya	Mayor rendimiento de soya, donde el rastrojo se incorporó al terreno (2.5 t/ha) que donde se retiró de la parcela (1.5 t/ha) en labranza mínima.
		De 2017 a 2019 similar rendimiento de grano de soya en labranza convencional y agricultura de conservación.



Dinámica ecológica de comunidades de malezas y su manejo en agricultura de conservación y agricultura convencional en los Valles Altos de México

Introducción

La producción agrícola es afectada por factores bióticos como malezas, plagas y enfermedades. Las malezas afectan los cultivos porque ocupan el mismo nivel trófico, por lo que compiten por agua, nutrientes, luz y espacio. Además, pueden ser huéspedes de plagas y enfermedades. De esta forma las malezas pueden reducir los rendimientos de maíz de 90 a 60% (Fonteyne *et al.*, 2022). Sin embargo, algunos productores y sus familias las valoran por sus beneficios al ser fuentes adicionales de alimentos —como en el caso de los quelites—, forraje para sus animales, medicina, biocidas e ingresos por la comercialización (Vieyra-Odilon y Vibrans, 2001). Además, pueden servir de abono, prevenir la erosión y favorecer la fauna del suelo, incrementando el número de insectos predadores, parasitoides y polinizadores que benefician mecanismos de autorregulación derivando en sistemas equilibrados y resilientes.

Cada ciclo los productores buscan reducir las malezas de los campos de cultivo a través de métodos de control manual, mecánico o químico. Los métodos químicos son preferentemente usados en la agricultura comercial por su efectividad y bajo costo que contribuyen a la rentabilidad del cultivo.

El sector agrícola de pequeña escala también tiene fácilmente acceso a diferentes herbicidas; sin embargo, pocos son los esfuerzos de capacitación para el uso y manejo de estos productos. Además, el uso de determinados herbicidas está asociado con problemas ambientales y de salud, siendo esta una de las razones por la cual se ha promovido el manejo integrado de las malezas el cual las considera parte del agroecosistema, por lo que promueve el conocimiento de su biología y ecología para que se acepte la presencia de las malezas hasta niveles tolerables para los cultivos.

Usar agricultura de conservación —labranza mínima, diversificación de cultivos y cobertura permanente del suelo— favorece el crecimiento y desarrollo del cultivo y con ello una mejor competencia con las malezas. Además, al implementar los tres componentes se puede reducir la densidad y biomasa de las malezas (Fonteyne *et al.*, 2020). Es posible que por sí solas estas prácticas no sean suficientes para reducir la incidencia de malezas y evitar la competencia con el cultivo, pero potencializarán el efecto de otras estrategias como fecha de siembra, siembras falsas, tipo y tratamiento de semilla, densidad de siembra, arreglo topológico, buena fertilidad, buen drenaje de terrenos, limpieza de canales de riego e implementos agrícolas, etcétera.

En este capítulo se muestran los resultados y experiencia sobre el efecto del uso de prácticas de agricultura de conservación y agricultura convencional en las comunidades de malezas en diferentes regiones agroecológicas que comprenden los estados de Puebla, Hidalgo y Estado de México. En estos sistemas se incluye el manejo del cultivo de maíz criollo e híbrido en sistemas intensivos de riego y agricultura de temporal para el autoconsumo.

Se identificaron las especies presentes en cada agroecosistema y fueron estudiadas en función a su riqueza —número total de especies: S —, dominancia —índice con valor de 0 a 1 que indica la probabilidad de que dos individuos de la población seleccionados al azar sean de la misma especie: D_{Si} —, es decir, la especie más numerosa—, diversidad —distribución de las especies en porcentajes similares usando el índice de Shannon-Weaver—, porcentaje de la cobertura de malezas en la parcela y biomasa para cada componente del tipo de sistema de cultivo —agricultura de conservación y agricultura convencional—.



Resultados

Cuautempan, Puebla

En la región norte del estado de Puebla los sistemas de cultivo son diversos, sin embargo, predomina el monocultivo de maíz con la recolección de arvenses que complementan la alimentación: quintonil (*Amaranthus* spp.), endivia (*Chondrilla juncea*), tomate criollo (*Physalis* spp.), chilacayota (*Cucurbita ficifolia*), calabaza (*Cucurbita* spp.), chayote (*Sechium edule*), entre otras (Espidio-Balbuena *et al.*, 2020).

En la plataforma de investigación Cuautempan, Puebla, desde el año 2016 se estudia la agricultura de conservación —cero labranza, rotación de cultivos con maíz criollo e híbrido en primavera-verano y arvejo en otoño-invierno, dejando total y parcialmente el rastrojo— en comparación con la labranza convencional —roza del rastrojo y retiro, roturación del terreno con talacho o arado de tiro animal y monocultivo de maíz criollo—.

El manejo de malezas solo se realiza al cultivo de maíz en primavera-verano; en los tratamientos con labranza convencional el control es mecánico con azadón en tres momentos: 1) durante el barbecho antes de la siembra, 2) en la labra que se realiza aproximadamente a los treinta días después de la emergencia del cultivo y 3) durante el aterrado a los

setenta días luego de la emergencia que consiste en eliminar las malezas y arrimar tierra a la base de las plantas con el objetivo de dar sostén (figura 1). En los tratamientos de cero labranza el control es químico en preemergencia al cultivo (figura 1) con aplicación de cuatro litros de glifosato más dos litros de 2-4D Ester, 250 mililitros de adherente y cuatro kilogramos de sulfato de amonio por hectárea. Posteriormente, si se presentan malezas en el desarrollo del cultivo, se realiza la aplicación dirigida a las malezas que consiste en dos litros de Finale (glufosinato de amonio), 0.25 litros de adherente y dos kilogramos de sulfato de amonio en una mezcla con 300 litros de agua por hectárea.

Los costos de jornales por el manejo de malezas de forma manual pueden ser de 8,400 pesos por hectárea (MXN/ha) y con el control químico de 2,040 MXN/ha. El uso de herbicidas es implementado por los productores de la región, sin embargo, no hay suficiente capacitación sobre su uso adecuado —dosis apropiadas, clasificación de herbicidas, equipo y tecnología para aplicaciones— y manejo de residuos —envases, líquido, etc.— para cuidar la salud de la persona que aplica los productos y evitar problemas ambientales (figuras 1 y 2).



■ **Figura 1.** Control manual de malezas en tratamientos con labranza convencional el 20 de junio de 2017 en Cuautempan Puebla (izquierda). Control químico de malezas en tratamientos con cero labranza en preemergencia al cultivo de maíz el 25 de mayo de 2016.



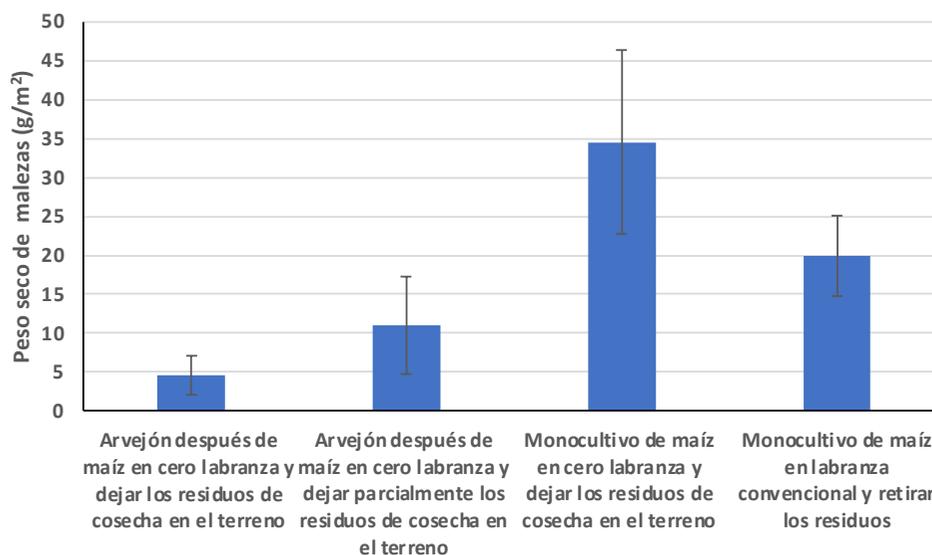
■ **Figura 2.** Acumulación de residuos de agroquímicos, una práctica común en comunidades rurales de Cuautempan, Puebla, que incluye envases de herbicidas usados para el control de malezas.



En el ciclo otoño-invierno del 2018, durante el desarrollo vegetativo del cultivo de arvejón, se realizó un muestreo de malezas en los tratamientos. Se identificaron 38 especies en este agroecosistema, las cuales se estudiaron en función a su biomasa, el porcentaje de la cobertura del suelo, la riqueza, dominancia y diversidad, para cada componente del tipo de sistema de cultivo —agricultura de conservación y agricultura convencional—.

La biomasa de malezas fue mayor en el monocultivo de maíz sembrado con cero labranza y con los resi-

duos de cosecha sobre el terreno —34.6 gramos por metro cuadrado (g/m^2)— y fue menor en el cultivo de arvejón después de maíz, con cero labranza y los residuos de cosecha sobre el terreno ($4.6 \text{ g}/\text{m}^2$). En el monocultivo de maíz sembrado con labranza convencional retirando los residuos la biomasa fue de $19.9 \text{ g}/\text{m}^2$ (figura 3). La cobertura de malezas sobre el terreno fue mayor en el monocultivo de maíz con labranza convencional y sin residuos (entre 0 y 25% de cobertura) y menor en cero labranza con rotación de maíz-arvejón y con residuos (<10% de cobertura) (figuras 4 y 5).



■ **Figura 3.** Peso seco de malezas en tres tratamientos de maíz en monocultivo y en rotación con arvejón, cultivados en cero labranza y labranza convencional con y sin los residuos de cosecha en la plataforma de investigación de Cuautempan, Puebla, el 14 de febrero de 2018.



■ **Figura 4.** Arvejón sembrado en el otoño invierno como cultivo de rotación en cero labranza y los residuos de cosecha en el terreno con cobertura baja de malezas en la plataforma de investigación de Cuautempan, Puebla, el 14 de febrero de 2018.

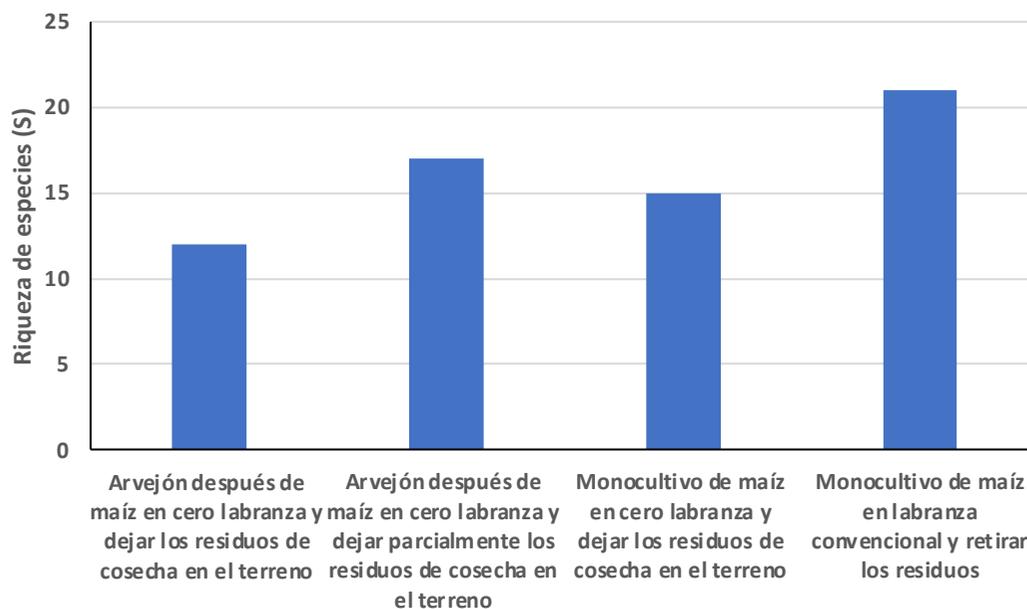


Con respecto a la riqueza de especies, esta fue mayor en el monocultivo de maíz con labranza convencional y sin residuos (S=21 especies) y menor en el cultivo de arveji3n despu3s de ma3z con cero labranza y con los residuos de cosecha en el terreno (S=12 especies) (figura 6).

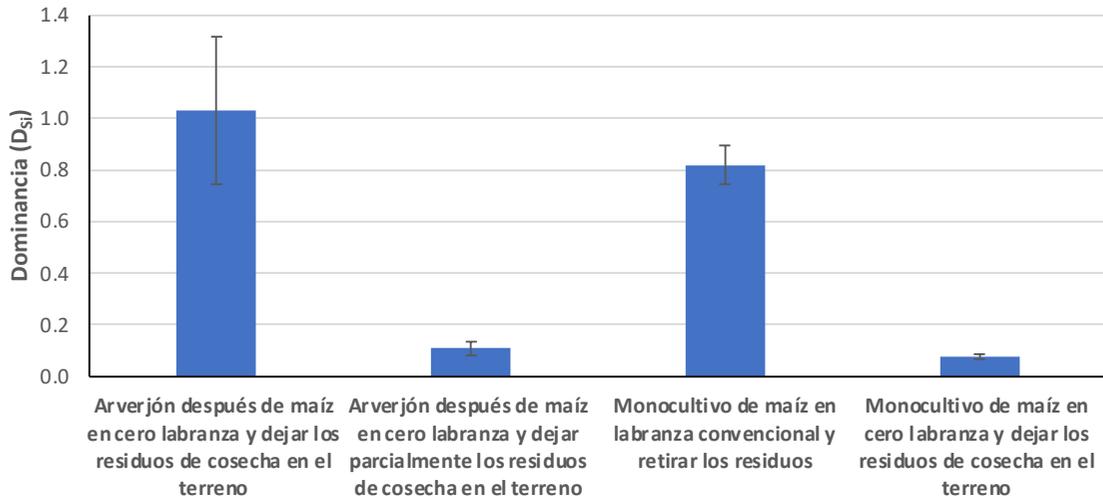
La especie con m3s individuos en los sistemas de cultivo fue ver3nica (*Veronica persica* Poir), una planta anual com3n en el oto3o-invierno que suele encontrarse en las milpas cosechadas y se usa como forraje y como planta ornamental (CONABIO, 2009). Su dominancia (3ndice con valor de 0 a 1 que indica la probabilidad de que dos individuos de la poblaci3n seleccionados al azar sean de la misma especie) fue mayor con la rotaci3n ma3z- arveji3n en cero labranza y con todos los residuos de cosecha en la superficie del suelo —1 en el 3ndice de dominancia de Simpson (D_{si})— y menor en labranza convencional con monocultivo de ma3z y sin los residuos de cosecha (0.07 D_{si}) (figura 7).



■ **Figura 5.** Malezas de oto3o-invierno en el tratamiento de labranza convencional, monocultivo de ma3z (sembrado en PV) y eliminaci3n de residuos de ma3z en la plataforma de investigaci3n de Cuautempan, Puebla, el 14 de febrero de 2018.



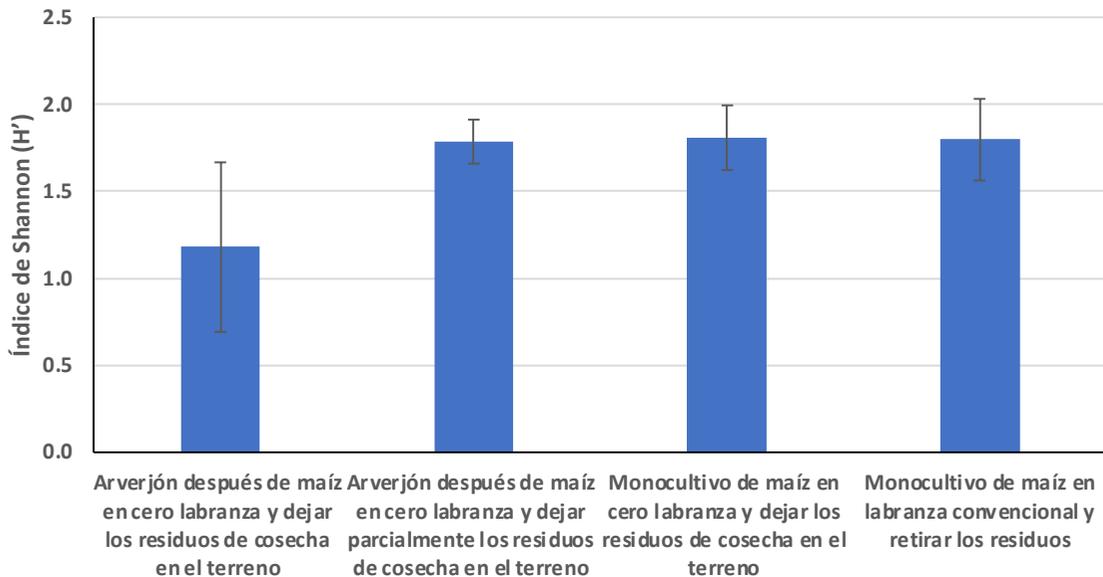
■ **Figura 6.** Riqueza de especies en cuatro sistemas de cultivo que incluye labranza, rotaci3n ma3z-arveji3n y manejo de rastrojo en Cuautempan, Puebla, el 14 de febrero de 2018.



■ **Figura 7.** Dominancia de *Veronica persica* Poir en cuatro sistemas de cultivo que incluye el monocultivo de maíz, rotación maíz-arvejón, labranza, y manejo de rastrojo en Cuautempan, Puebla el 14 de febrero de 2018.

La diversidad —distribución de las especies en porcentajes similares— fue similar en los tratamientos con monocultivo de maíz y la rotación de arvejón después de maíz en cero labranza y dejando parcialmente los residuos de cosecha en el terreno —1.8

en el índice de Shannon (H')—. La menor diversidad fue en la rotación de arvejón después de maíz en cero labranza y con los residuos de cosecha en el terreno (1.2 H') (figura 8)



■ **Figura 8.** Diversidad de especies de malezas en cuatro sistemas de cultivo que incluye el monocultivo de maíz, rotación maíz-arvejón, dos tipos de labranza, y tres manejos de rastrojo en Cuautempan, Puebla, el 14 de febrero de 2018.



En el agroecosistema de la Sierra Norte de Puebla donde se sitúa la plataforma de investigación resultó que usar agricultura de conservación —rotación maíz-arvejón, cero labranza y dejar los residuos de cosecha sobre el terreno— incide en la dinámica de la población de malezas al propiciar menor cobertura de estas, peso seco de biomasa, riqueza de especies y diversidad en comparación con la agricultura convencional —monocultivo de maíz, labranza convencional y quitar los residuos de la parcela—. Pero verónica, una planta postrada al suelo que forma una cubierta, es la especie dominante en el agroecosistema y su presencia es mayor con agricultura de conservación.

Entonces, usar agricultura de conservación limita la presencia de malezas y además reduce 75% los costos de producción por pago de jornales al evitar prácticas de movimiento de suelo, para la preparación del terreno y manejo de malezas; sin embargo, el área de oportunidad es la falta de capacitación de los productores de pequeña escala sobre el uso y manejo de herbicidas. Eventualmente, es posible que con más tiempo de implementación de agricultura de conservación en los campos agrícolas las aplicaciones de herbicidas puedan reducirse.

Molcaxac, Puebla

En la región Mixteca de Puebla la mayoría de los productores siembran en temporal maíces y frijoles criollos para el autoconsumo y algunos cuentan con ganado caprino. Se cultiva en suelos de tipo Leptosol, calcáreos, caracterizados por una fase lítica en su mayoría degradados por la erosión, originando suelos someros —profundidades menores a 30 cm—.

En la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, se evalúan prácticas de agricultura convencional —monocultivo de maíz, retirar los residuos de cosecha y labranza: barbecho, rastra, surcado y aporque— en comparación con prácticas de agricultura de conservación —camas permanentes angostas, dejar los residuos de cosecha y rotación anual de maíz con frijol—. Adicionalmente se realiza fertilización química —72-23-00, con sulfato de amonio y DAP aplicado a la siembra y en V6— y fertilización combinada química/orgánica —1,500 kg/ha de estiércol de ganado, aplicado antes de la siembra más la aplicación química—.

El manejo de malezas es químico en ambos sistemas de cultivo. Se realiza la aplicación en presiembrado de dos litros de glifosato, cinco kilogramos de sulfato de amonio y un litro de 2-4 D Ester/ha. En los tratamientos con maíz después de la segunda fertilización se realiza la aplicación de 1.5 kg/ha de atrazina dirigida a la maleza. En frijol se hace manejo manual a los 60 días.

En el ciclo primavera-verano del 2018, durante el desarrollo vegetativo del cultivo de maíz y frijol, se realizó un muestreo de malezas en los tratamientos (figura 9). En este agroecosistema se identificaron 28 especies que se estudiaron en función de la biomasa, el porcentaje de la cobertura del suelo, la riqueza, dominancia y diversidad, para cada componente del tipo de sistema de cultivo.

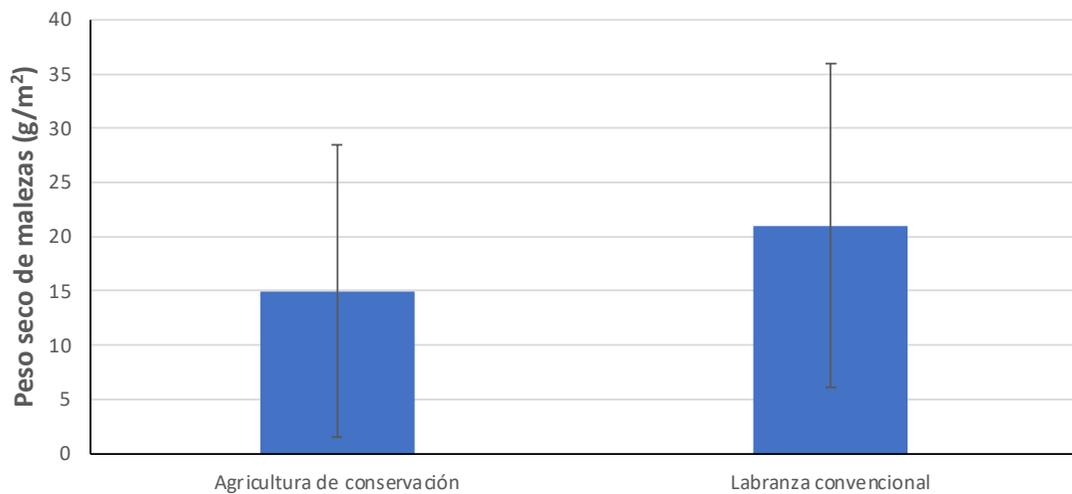


■ **Figura 9.** Antonio López y Arturo Nieves, responsable científico y responsable técnico de la plataforma de investigación Molcaxac, Puebla, respectivamente, identificando poblaciones de malezas en los tratamientos con maíz, el 3 de agosto del 2018.

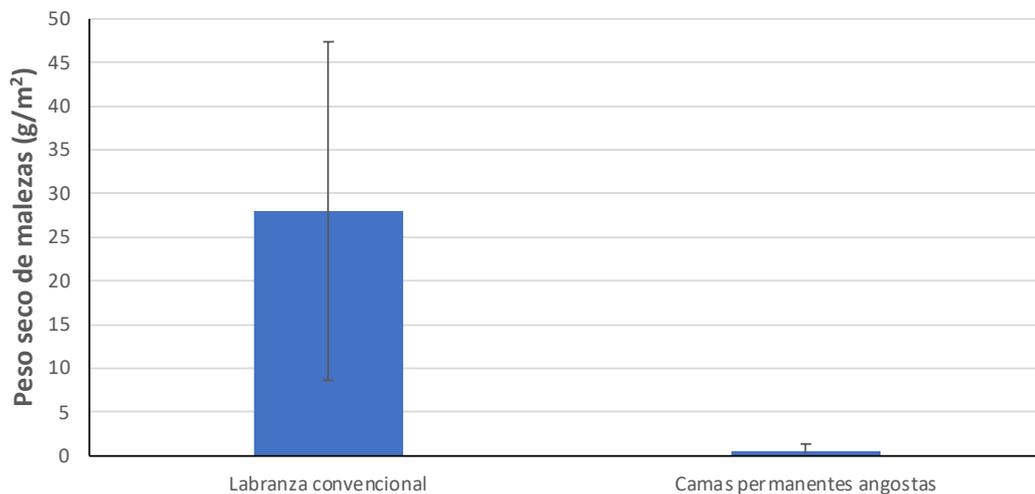


El peso seco de las malezas fue mayor con labranza convencional —monocultivo de maíz, labranza convencional y retirar rastrojo— (21.0 g/m²) y menor con agricultura de conservación —rotación maíz-frijol, camas permanentes y dejar el rastrojo— (15.0 g/m²) (figura 10). El peso seco de las malezas fue mayor con labranza convencional (28.0 g/m²) que en camas permanentes usando monocultivo de maíz y dejando el rastrojo (0.5 g/m²) (figura 11). El peso seco de las malezas fue mayor al dejar el rastrojo en la superficie del terreo (28.0 g/m²) y menor al remover el rastrojo en el monocultivo de maíz con

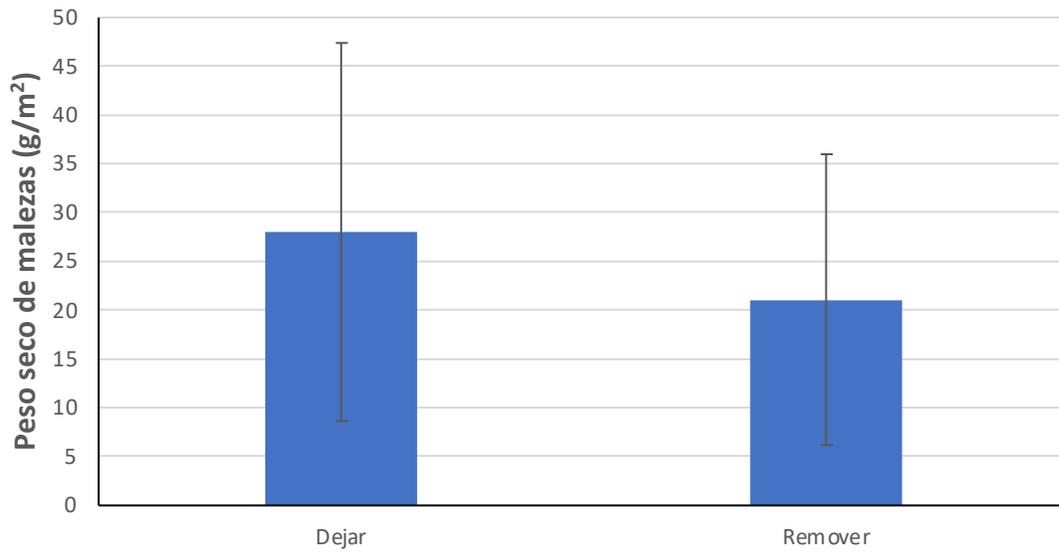
labranza convencional (21.0 g/m²) (figura 12). El peso seco de las malezas fue mayor en la rotación de maíz después de frijol (15.0 g/m²) y menor en el monocultivo de maíz en camas permanentes y con rastrojo como cobertura (0.5 g/m²). El peso seco en la rotación de frijol después de maíz fue de 5.2 g/m² en camas permanentes con rastrojo (figura 13). El peso seco de las malezas fue similar con fertilización química (25.5 g/m²) y química/orgánica (21.0 g/m²) en el monocultivo de maíz, labranza convencional y remoción de rastrojo (figura 14).



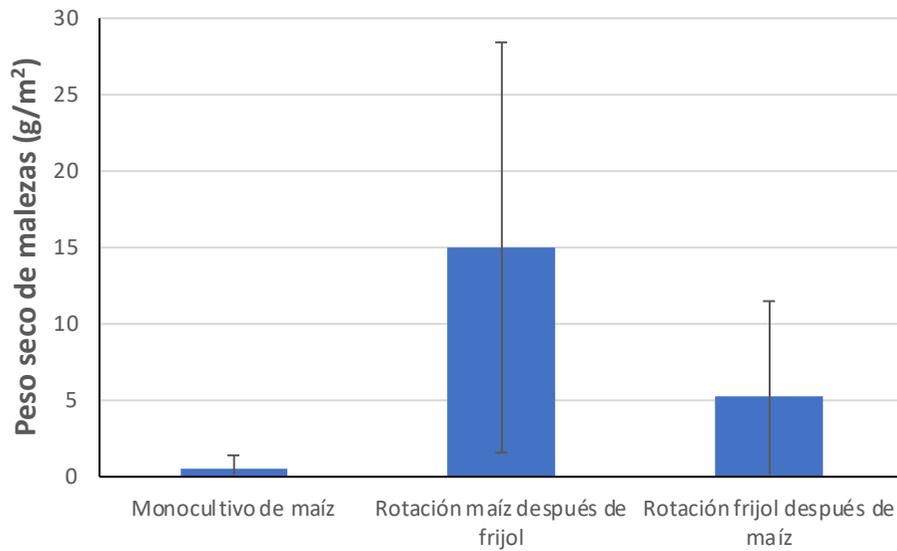
■ **Figura 10.** Peso seco de malezas con agricultura de conservación (rotación maíz-frijol, camas permanentes y rastrojo sobre la superficie) y labranza convencional (monocultivo de maíz, labranza convencional y remoción del rastrojo) en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.



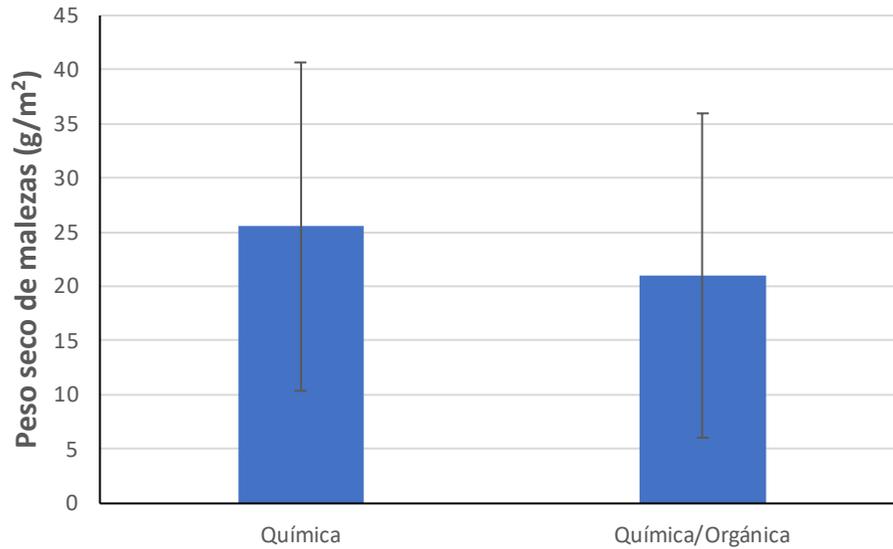
■ **Figura 11.** Peso seco de malezas con labranza convencional y camas permanentes en monocultivo de maíz y rastrojo como cobertura en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.



■ **Figura 12.** Peso seco de malezas al dejar el rastrojo en la superficie del terreno y al remover el rastrojo en el monocultivo de maíz y labranza convencional en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.



■ **Figura 13.** Peso seco de malezas en el monocultivo de maíz y rotación maíz-frijol cultivado en camas permanentes y dejando el rastrojo en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.



■ **Figura 14.** Peso seco de malezas con fertilización química y química/orgánica con monocultivo de maíz, labranza convencional y remoción del rastrojo en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.

La cobertura de malezas en el cultivo de maíz fue mayor con agricultura convencional (monocultivo de maíz, labranza convencional y retirar el rastrojo) (25 al 50% de cobertura) y menor con agricultura de conservación (rotación maíz después de frijol,

camas permanentes angostas y dejar el rastrojo) (10 al 25% de cobertura) (figuras 15 y 16). En el cultivo del frijol después de maíz con camas permanentes y rastrojo sobre la superficie se tuvo una cobertura de malezas en el terreno menor del 10% (figura 17).

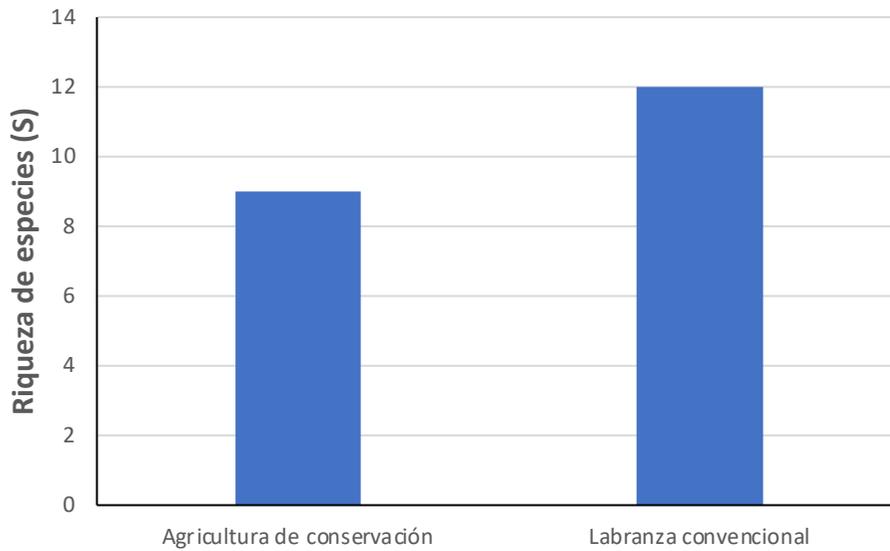


- **Figura 15.** Cobertura de malezas en el tratamiento de maíz cultivado con agricultura convencional (monocultivo de maíz, labranza convencional y remoción del rastrojo de la parcela) en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.
- **Figura 16.** Cobertura de malezas en el tratamiento de maíz cultivado con agricultura de conservación (rotación maíz-frijol, camas permanentes angostas y dejando el rastrojo en la parcela) en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.
- **Figura 17.** Cobertura de malezas en el tratamiento de frijol cultivado con agricultura de conservación (rotación maíz-frijol, camas permanentes angostas y dejando el rastrojo en la parcela) en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.

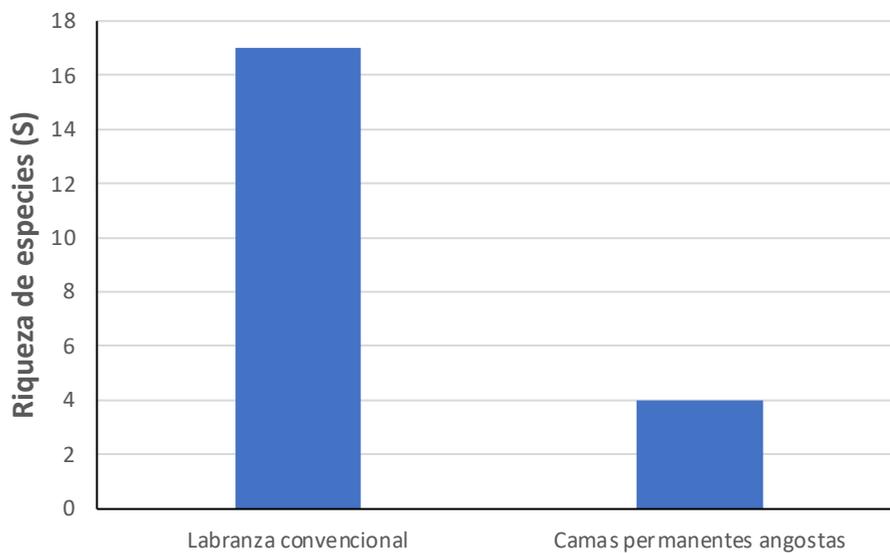


Con respecto a la riqueza de especies, esta fue mayor con labranza convencional (S=12 especies) y menor con agricultura de conservación (S= 09 especies) (figura 18); en el caso del monocultivo de maíz con rastrojo en la superficie, la riqueza de especies fue mayor con labranza convencional (S=17 especies) y menor con camas permanentes (S=04 especies) (figura 19); para el monocultivo de maíz y labranza convencional fue mayor al remover

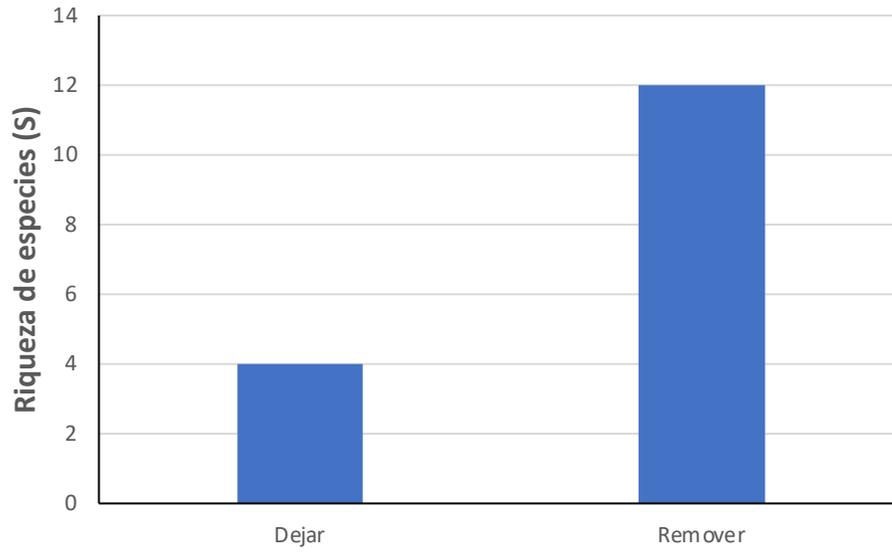
el rastrojo (S=12 especies) y menor al dejarlo (S=04 especies) (figura 20); en el caso de las camas permanentes y con rastrojo en el terreno, la riqueza de especies fue mayor en la rotación de maíz después de frijol (S=09 especies) y menor en el monocultivo de maíz (S=04 especies) (figura 21); y, finalmente, fue similar con fertilización química y química/orgánica en monocultivo de maíz, labranza convencional y remoción del rastrojo (S=12 especies) (figura 22).



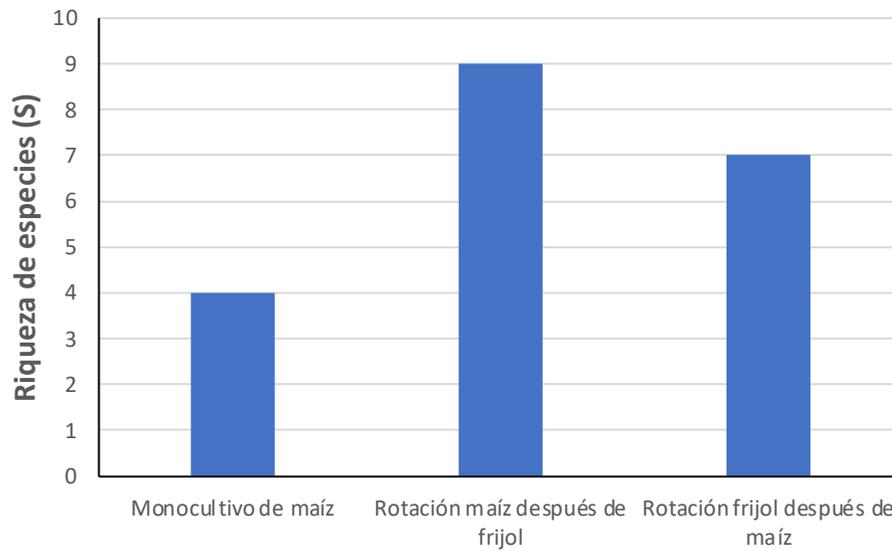
■ **Figura 18.** Riqueza de especies en agricultura de conservación (rotación maíz-frijol, camas permanentes y rastrojo sobre la superficie) y labranza convencional (monocultivo de maíz, labranza convencional y remoción del rastrojo) en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.



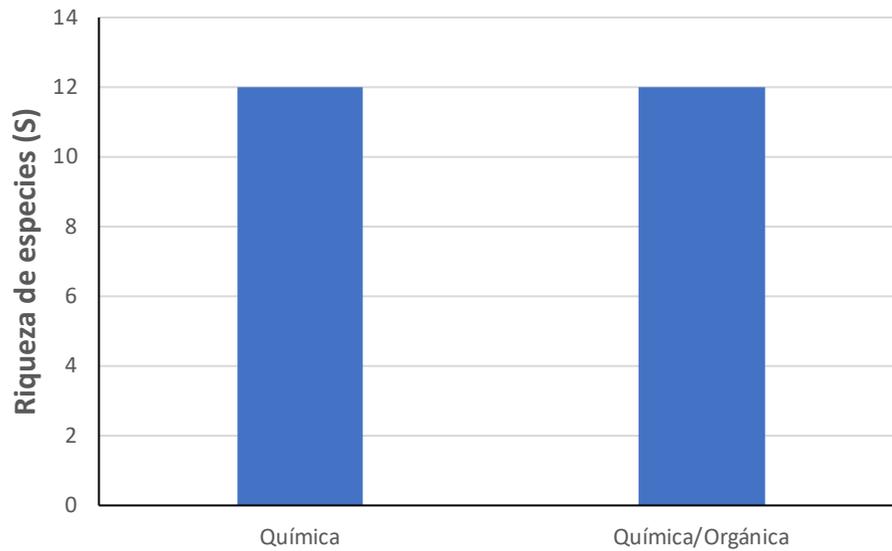
■ **Figura 19.** Riqueza de especies con labranza convencional y camas permanentes en monocultivo de maíz y con el rastrojo como cobertura en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.



■ **Figura 20.** Riqueza de especies al dejar el rastrojo en la superficie del terreno y al remover el rastrojo en el monocultivo de maíz y labranza convencional en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.



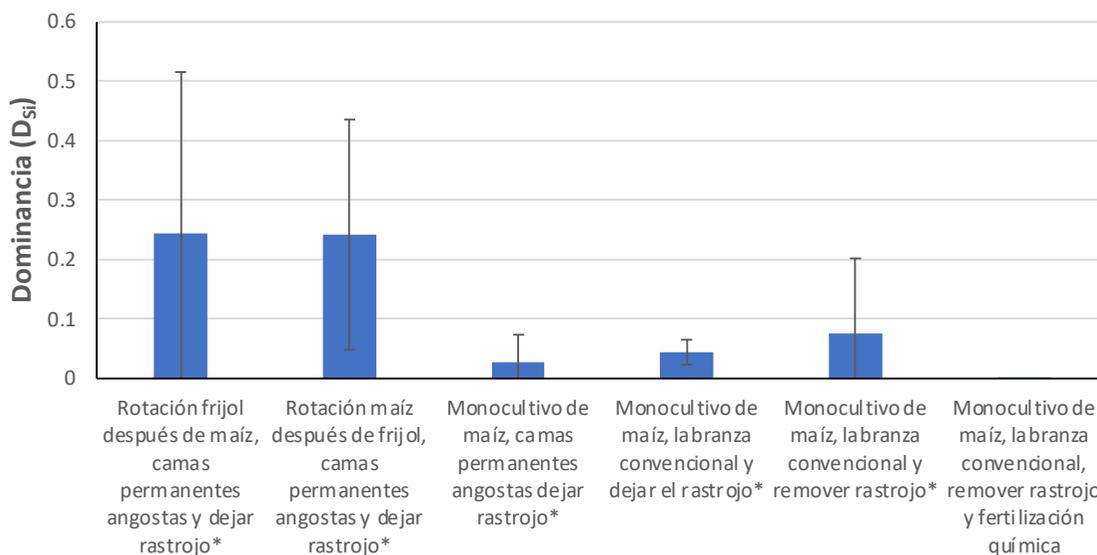
■ **Figura 21.** Riqueza de especies en el monocultivo de maíz y rotación maíz-frijol cultivado en camas permanentes y con el rastrojo como cobertura en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.



■ **Figura 22.** Riqueza de especies con fertilización química y química/orgánica en monocultivo de maíz, labranza convencional y remoción del rastrojo en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.

La especie con más individuos fue la malva (*Malva parviflora* L.), una especie anual de la que se reporta su uso como planta medicinal, forraje y alimento de aves por sus semillas (CONABIO, 2009). Su dominancia en general fue muy baja. La dominancia fue mayor en la rotación maíz-frijol (0.2 D_{Si}) y menor en el monocultivo de maíz (0.02 D_{Si}) en camas permanentes angostas y con el rastrojo sobre el terreno.

La dominancia con la labranza convencional (monocultivo de maíz, labranza convencional y remover el rastrojo) fue de 0.07 D_{Si} . La dominancia por el uso de fertilización fue casi nula. Sin embargo, fue mayor con fertilización química/orgánica (0.07 D_S) y menor con fertilización química (0.005 D_S) en el monocultivo de maíz, labranza convencional y sin rastrojo (figura 23).

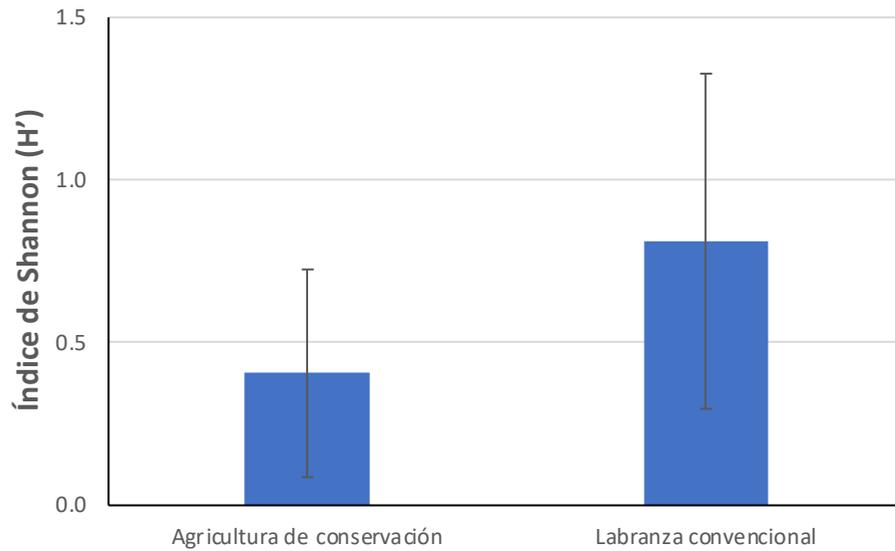


■ **Figura 23.** Dominancia de *Malva parviflora* L. en sistemas de cultivo que incluyen el monocultivo de maíz, rotación maíz-frijol, labranza, manejo de rastrojo y fertilización química* y química/orgánica en Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.

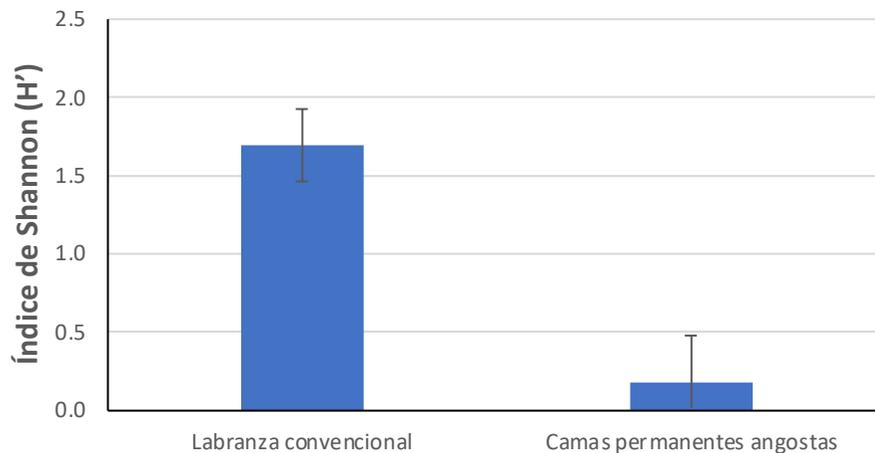


La diversidad (distribución de las especies en porcentajes similares) fue mayor con labranza convencional (monocultivo de maíz, labranza convencional y el retirar rastrojo) (0.8 H') y menor con agricultura de conservación (rotación maíz-frijol, camas permanentes y dejar el rastrojo) (0.4 H') (figura 24); mayor con labranza convencional (1.7 H') y menor en camas permanentes (0.2 H') en el caso del monocultivo de maíz y con rastrojo sobre la superficie (figura 25); mayor donde el rastrojo se dejó (1.7 H')

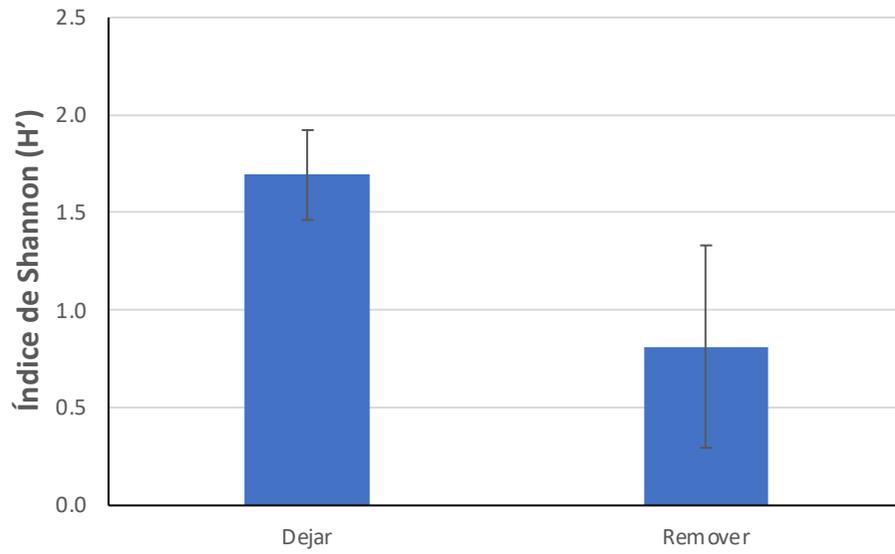
y menor donde se retiró (0.8 H') en el monocultivo de maíz y labranza convencional (figura 26); mayor en la rotación de maíz después de frijol (0.4 H') y menor en el monocultivo de maíz (0.2 H') en el caso de las camas permanentes y con el rastrojo como cobertura (figura 27); y mayor con fertilización química (1.3 H') que con química/orgánica (0.81 H') en el monocultivo de maíz, labranza convencional y remoción del rastrojo (figura 28).



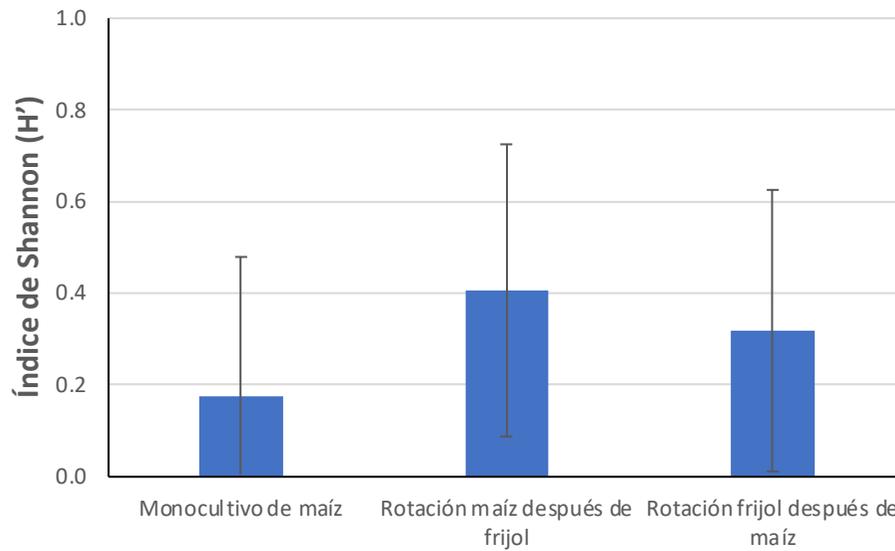
■ **Figura 24.** Diversidad de especies con agricultura de conservación (rotación maíz-frijol, camas permanentes y rastrojo sobre la superficie) y labranza convencional (monocultivo de maíz, labranza convencional y remoción del rastrojo) en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.



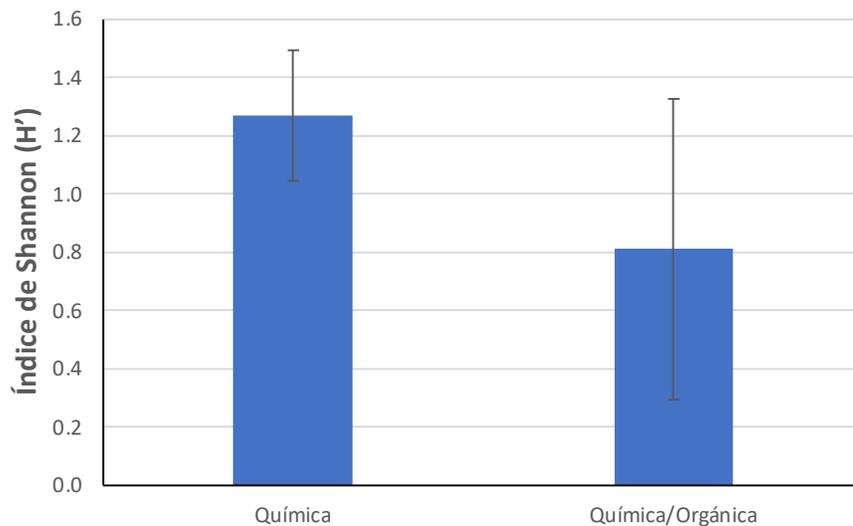
■ **Figura 25.** Diversidad de especies con labranza convencional y camas permanentes en monocultivo de maíz y rastrojo sobre la superficie en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.



■ **Figura 26.** Diversidad de especies al dejar el rastrojo en la superficie del terreno y al remover el rastrojo en el monocultivo de maíz y labranza convencional en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.



■ **Figura 27.** Diversidad de especies en el monocultivo de maíz y rotación maíz-frijol cultivado en camas permanentes y rastrojo sobre la superficie en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.



■ **Figura 28.** Diversidad de especies con fertilización química y química/orgánica en monocultivo de maíz, labranza convencional y remoción del rastrojo en la plataforma de investigación de Molcaxac, Puebla, el 3 de agosto de 2018.

En el agroecosistema de la Mixteca de Puebla donde se sitúa la plataforma de investigación resultó que la dinámica de malezas es afectada por el tipo de sistema de cultivo —agricultura de conservación y labranza convencional—. Con agricultura de conservación —rotación maíz-frijol, camas permanentes angostas y rastrojo como cobertura— la población de malezas tiene menor peso seco, cobertura en el terreno, riqueza y diversidad; sin embargo, propicia condiciones para favorecer a la especie dominante del sistema, en comparación con el sistema de labranza convencional. Emplear el uso de fertilización orgánica —estiércol de ganado— adicional a la fertilización química propició condiciones similares de peso seco y riqueza de las poblaciones de malezas, pero generó menor diversidad y favoreció a la especie dominante del agroecosistema.

Francisco I. Madero, Hidalgo

En la región del Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo, la agricultura se basa en el monocultivo de maíz, alfalfa y hortalizas con un manejo altamente tecnificado donde se usan insumos como semilla mejorada, insecticidas, herbicidas, fungicidas, fertilizantes, maquinaria y riego por inundación de aguas negras provenientes de la Ciudad de México. En esta región se han identificado al menos 26 especies de malezas asociadas a los principales cultivos (Peña *et al.*, 2017) donde los métodos que se utilizan para su control no siempre son los correctos y pueden afectar la calidad del agua, aire y suelo.

En la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, desde el 2011 se estudian prácticas de agricultura de conservación en comparación con prácticas de labranza convencional. El control de malezas es químico en el ciclo primavera-verano para maíz cultivado en ambos sistemas; en preemergencia con aplicación de 0.25 l/ha de nicosulfuron, 0.5 l/ha de mesotriona y 1 kg/ha de atrazina; y en posemergencia glufosinato 1 l/ha de amonio y 0.5 l/ha esterbutílico del ácido.

Actualmente en la Universidad Francisco I. Madero, donde se sitúa la plataforma, se impulsa la certificación de la norma ISO 14001 para implementar un Sistema de Gestión Medioambiental que incluye la regulación del manejo de los desechos de agroquímicos, especialmente los envases de pesticidas que se usan en el campo de la universidad (figura 29). También se avanza en la planeación para el manejo de uso de herbicidas menos tóxicos de etiqueta verde y azul.

En el ciclo primavera-verano del 2018, durante el desarrollo vegetativo del cultivo de maíz, se realizó un muestreo de malezas en los tratamientos (figura 30). Se identificaron 17 especies en este agroecosistema las cuales se estudiaron en función de la biomasa, el porcentaje de la cobertura del suelo, la riqueza, dominancia y diversidad para cada componente del tipo de sistema de cultivo.

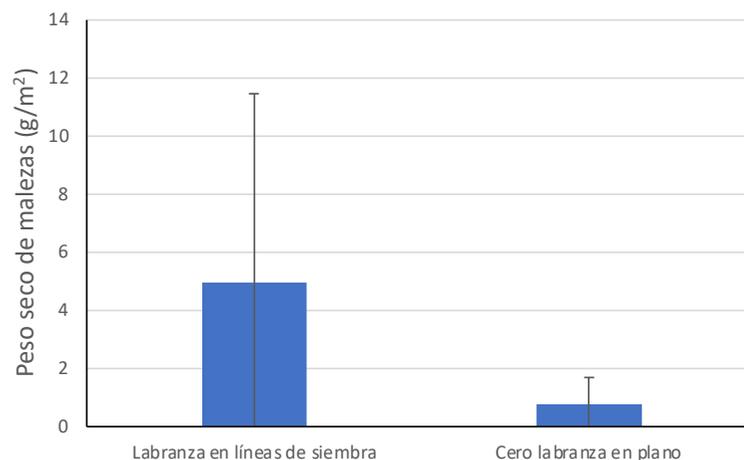


■ **Figura 29.** Caseta de acopio de residuos de envases de plaguicidas con triple lavado (izquierda) para la recolección por fomento agropecuario del estado de Hidalgo (derecha). (Foto: Nellybeth Rodríguez).

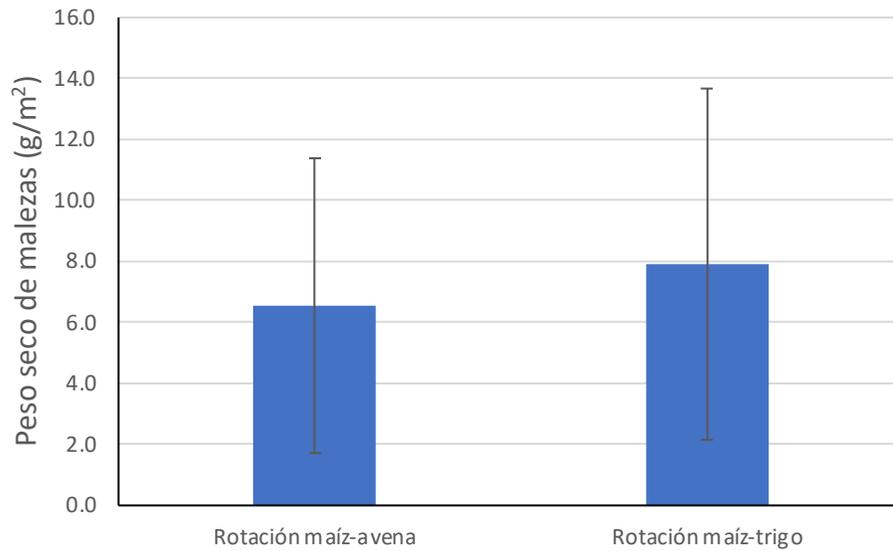
■ **Figura 30.** Brenda Ponce, responsable científica de la plataforma de investigación; Francisco López, coordinador técnico del Hub Valles Altos; y Nanci de la Rosa, estudiante de licenciatura, realizando muestreo de malezas en el cultivo de maíz en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.

La biomasa de malezas fue mayor en labranza en líneas de siembra (*striptill*) (5.0 g/m^2) que en cero labranza (0.8 g/m^2) donde se dejó el rastrojo y se cultivó rotación maíz-avena (figura 31). El peso seco de las malezas fue similar en las rotaciones de maíz-trigo y maíz-avena (7.9 y 6.6 g/m^2 , respectivamente)

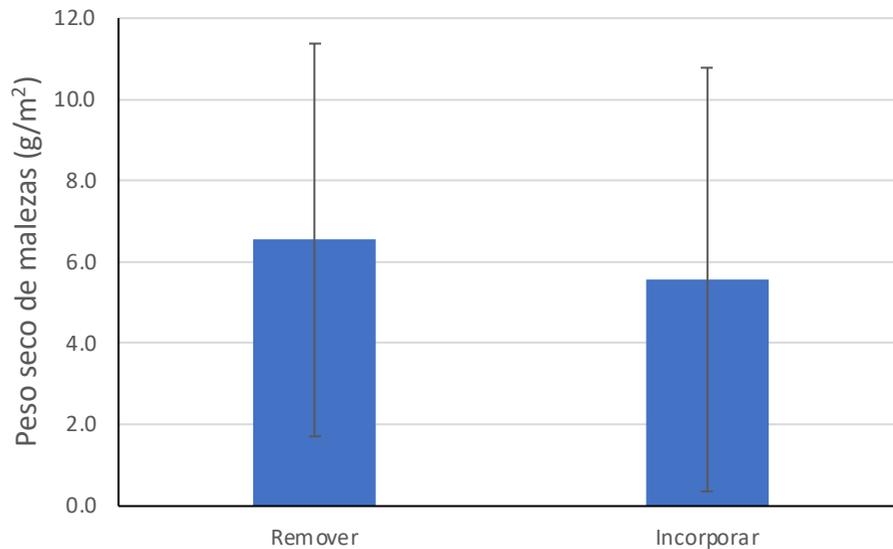
cultivados con labranza convencional en plano y removiendo los residuos (figura 32). El peso seco de las malezas fue similar al remover e incorporar los residuos de cosecha a la parcela (6.6 y 5.6 g/m^2 , respectivamente) en la rotación maíz-avena con labranza convencional en plano (figura 33).



■ **Figura 31.** Peso seco de malezas en labranza en líneas de siembra y cero labranza en plano donde se dejó el rastrojo y se cultivó rotación maíz-avena en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.



■ **Figura 32.** Peso seco de malezas en rotación maíz-avena y maíz-trigo cultivados en labranza convencional en plano y remoción de los residuos de cosecha en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.



■ **Figura 33.** Peso seco de malezas al remover e incorporar los residuos de cosecha en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.

La cobertura de malezas en el terreno fue mayor con labranza convencional en plano (25-50% de cobertura), remoción de los residuos de cosecha y rotación maíz-avena (figura 34) y menor con cero labranza (<10% de cobertura), residuos de cosecha como cobertura y rotación maíz-avena. En labranza en líneas de siembra la cobertura fue de 10-25% (figura 35) donde se incorpora el rastrojo

y se cultiva en rotación maíz-avena. La maleza se presenta de manera gradual en los tratamientos, primero en labranza convencional en plano, luego en labranza en líneas de siembra donde se deja el rastrojo y finalmente aparecen en manchones en cero labranza con rastrojo sobre la superficie del terreno.



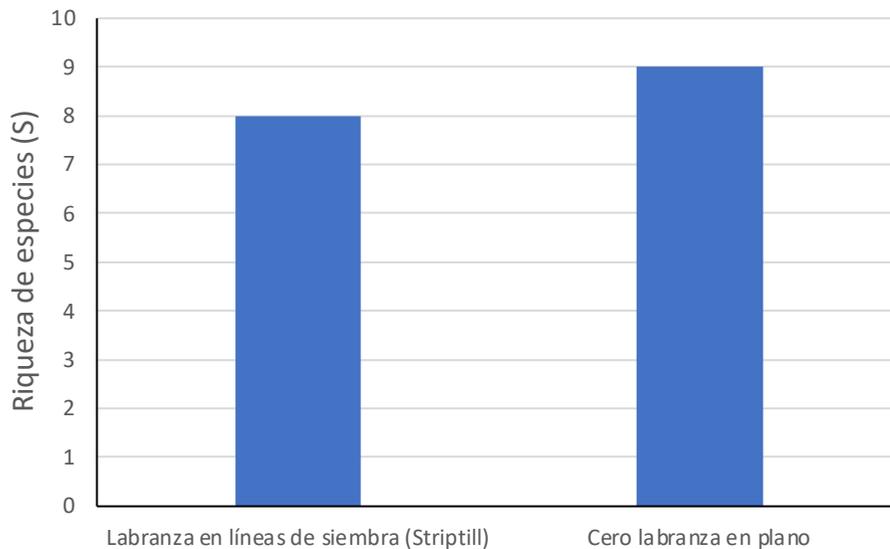
■ **Figura 34.** Cobertura de malezas en el terreno del tratamiento con agricultura de conservación en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.



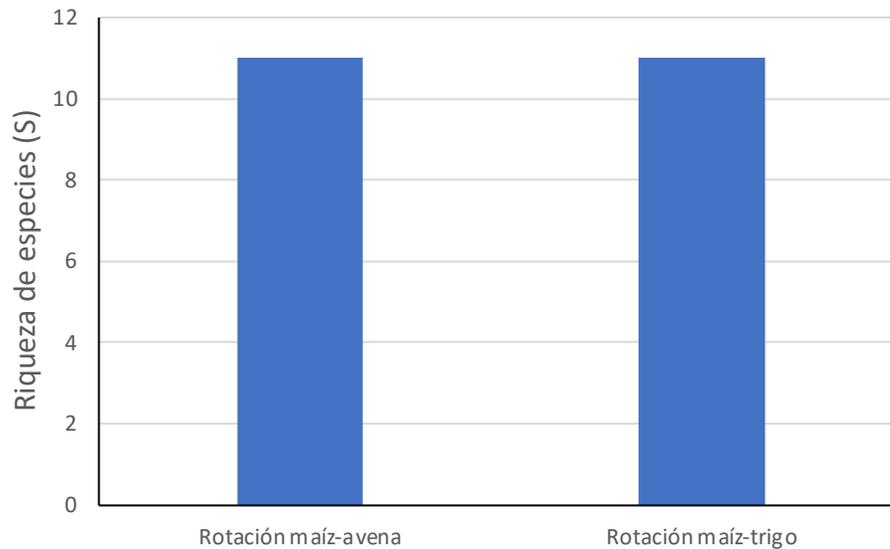
■ **Figura 35.** Cobertura de malezas en el cultivo de maíz en rotación con avena, cultivado con labranza convencional en plano sin residuos de cosecha, en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.

La riqueza de especies de malezas fue similar con labranza en líneas de siembra (*striptill*) que con cero labranza donde se dejó el rastrojo y se cultivó rotación maíz-avena (S=8 y 9 especies, respectivamente) (figura 36); también fue similar con las rotaciones de maíz-trigo y maíz-avena con labranza convencional

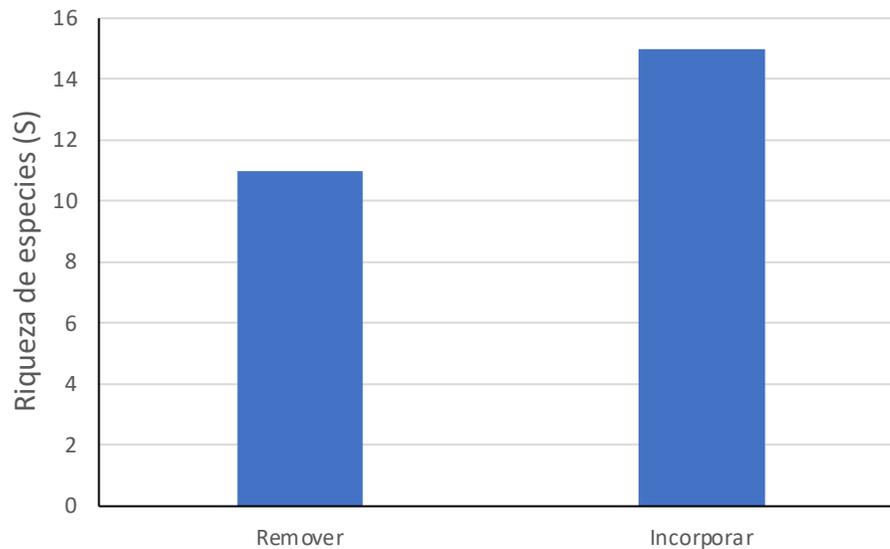
en plano y remoción de los residuos (S=11 especies) (figura 37); y fue mayor al incorporar que al remover los residuos de cosecha en la rotación maíz-avena con labranza convencional en plano (S=15 y especies, respectivamente) (figura 38).



■ **Figura 36.** Riqueza de especies de malezas con labranza en líneas de siembra y cero labranza en plano donde se dejó el rastrojo y se cultivó rotación maíz-avena, en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.



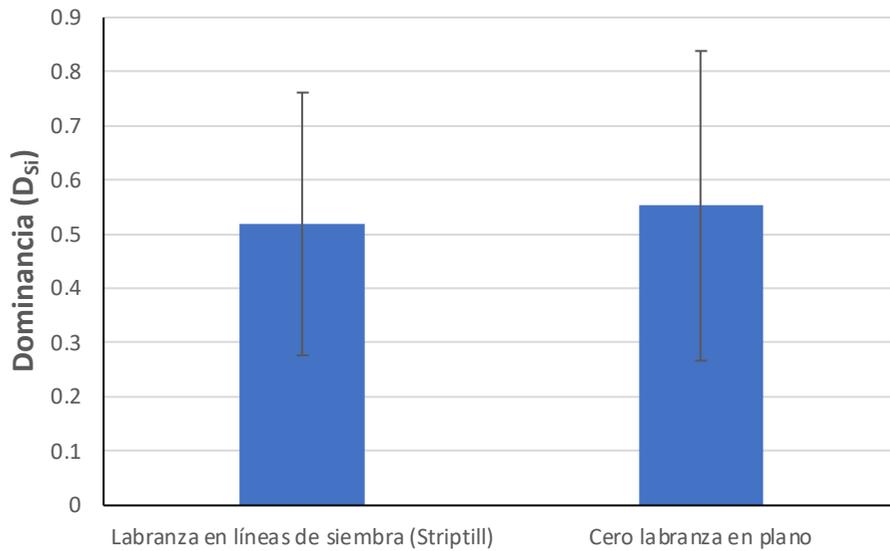
■ **Figura 37.** Riqueza de especies de malezas con las rotaciones de maíz-avena y maíz-trigo con labranza convencional en plano y remoción de los residuos de cosecha, en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.



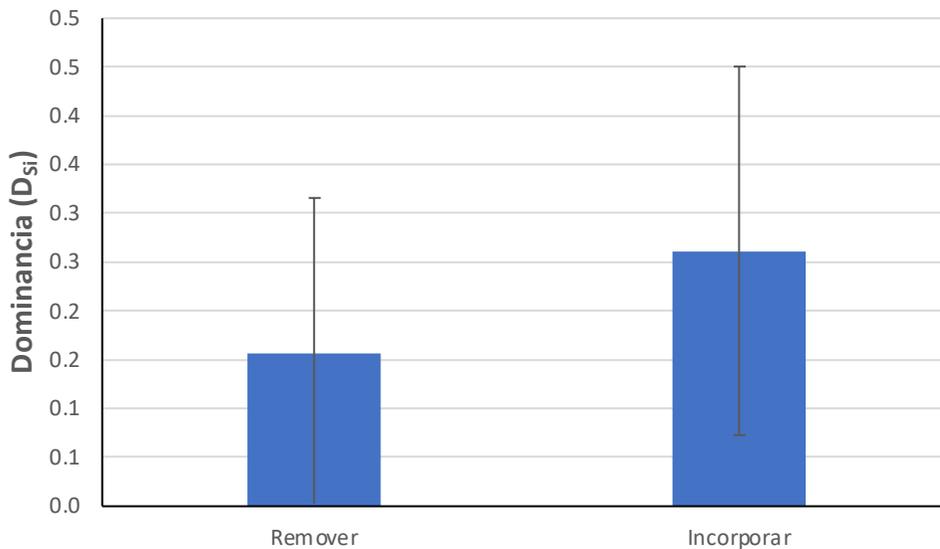
■ **Figura 38.** Riqueza de especies de malezas al remover e incorporar los residuos de cosecha con labranza convencional en plano y con la rotación maíz-avena en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.

La especie con más individuos en los sistemas de cultivo fue *Avena sativa*, la cual es el voluntario del cultivo de rotación del ciclo otoño-invierno. Su dominancia fue similar en labranza en líneas de siembra (*striptill*) y cero labranza ($0.5 D_{Si}$) donde se dejó el rastrojo y se cultivó maíz en rotación con

avena (figura 39). La dominancia de avena fue mayor al incorporar ($0.3 D_{Si}$) que al remover los residuos de cosecha ($0.2 D_{Si}$) y en labranza convencional en plano donde se cultivó maíz en rotación con avena (figura 40).



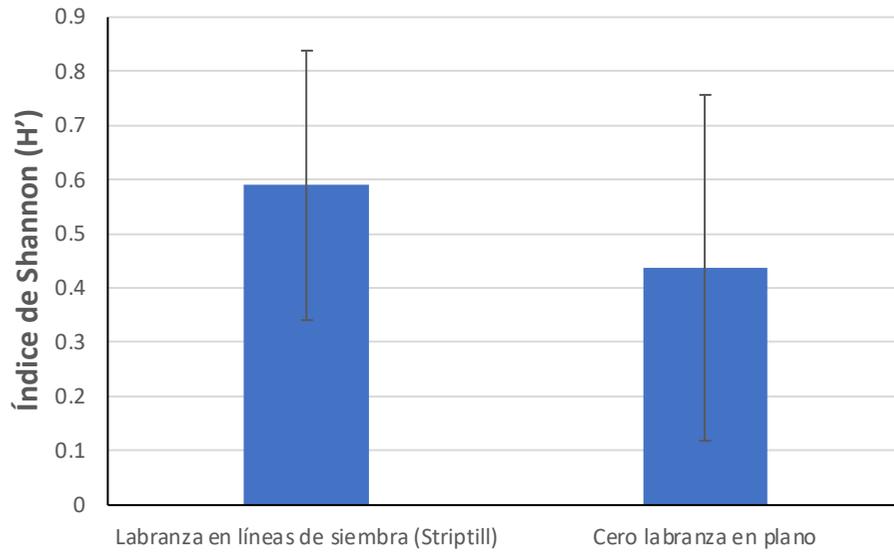
■ **Figura 39.** Dominancia de Avena sativa con labranza en líneas de siembra y cero labranza en plano donde se dejó el rastrojo y se cultivó maíz en rotación con avena, en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.



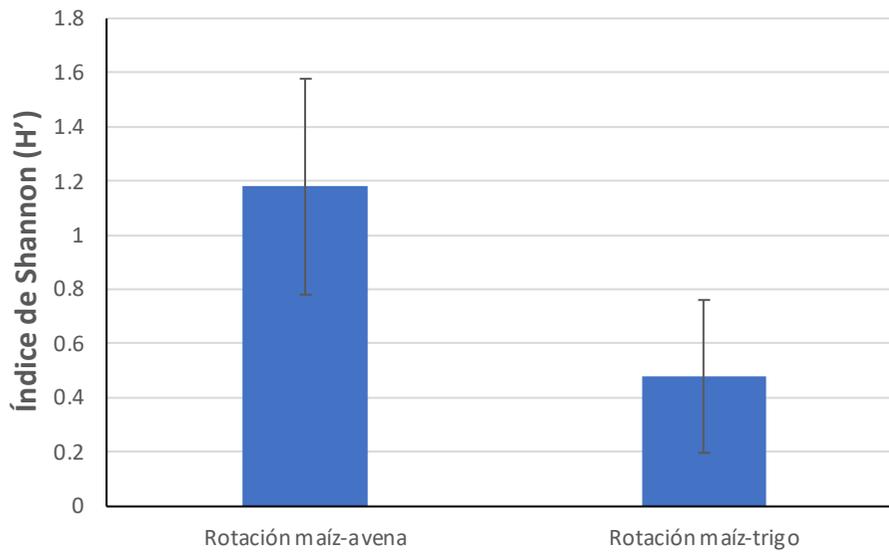
■ **Figura 40.** Dominancia de Avena sativa al remover e incorporar los residuos de cosecha con labranza convencional en plano donde se cultivó maíz en rotación con avena en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.

La diversidad de especies de malezas fue mayor con la labranza en líneas de siembra (*striptill*) (0.6 H') que con cero labranza (0.4 H') donde se dejó el rastrojo y se cultivó rotación maíz-avena (figura 41); mayor en rotación maíz-avena (1.2 H') y menor en maíz-trigo (0.5 H') cultivados con labranza

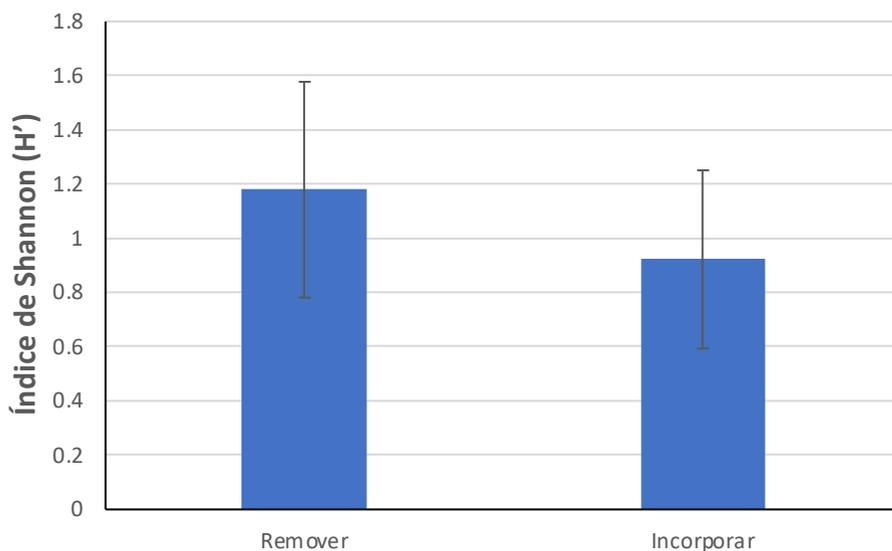
convencional en plano y remoción de los residuos (figura 42); y similar al remover que al incorporar los residuos de cosecha (1.2 y 1.0 H', respectivamente) en la rotación maíz-avena cultivado con labranza convencional en plano (figura 43).



■ **Figura 41.** Diversidad de especies de malezas con labranza en líneas de siembra y cero labranza en plano donde se dejó el rastrojo y se cultivó en rotación maíz-avena, en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.



■ **Figura 42.** Diversidad de especies de malezas con las rotaciones de maíz-avena y maíz-trigo con labranza convencional en plano y remoción de los residuos de cosecha, en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.



■ **Figura 43.** Diversidad de especies de malezas al remover e incorporar los residuos de cosecha en labranza convencional en plano y en rotación maíz-avena en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo el 05 de junio de 2018.

En el agroecosistema del Valle del Mezquital, en Hidalgo, donde la agricultura es altamente tecnificada, las prácticas agrícolas afectaron las poblaciones de malezas. Usar labranza en líneas de siembra propicia mayor peso seco y distribución de las especies de malezas en porcentajes similares (diversidad) que cero labranza con rotación de cultivos, dejando los residuos de cosecha. La diversidad también se favorece por la rotación de maíz con avena respecto a rotar con trigo en labranza convencional en plano y remoción de los residuos de cosecha. El mayor número diferente de especies se favorece al incorporar los residuos de la cosecha respecto a retirarlo de la parcela en labranza convencional en plano y rotación maíz-avena. En este caso, a diferencia de los sistemas de pequeña escala donde aparece una especie silvestre dominante, en los sistemas de cultivos se presentó el voluntario de avena, una especie cultivada del ciclo otoño-invierno.

Texcoco I, Estado de México

En la región del Valle de México se reportan aproximadamente entre 17 y 74 especies de malezas que invaden los campos de cultivos en la región (Fonteyne *et al.*, 2020; Molina-Freaner *et al.*, 2008; Vieyra-Odilon y Vibrans, 2001) como *Amaranthus hybridus* (quelite), *Simsia amplexicaulis* (acahual), *Bidens odorata* (aceitilla), *Cyperus esculentus*

(coquillo), *Galinsoga parviflora* (estrellita), *Ipomoea purpurea* (correhuela), *Sicyos deppei* (chayotillo), *Eragrostis Mexicana* (zacate liendrilla), *Eleusine multiflora* (zacate pata de gallina), *Solanum rostratum* (duraznillo), *Portulaca oleracea* (verdolaga), *Chenopodium álbum* (quelite cenizo), *Lopezia ramosa* (aretillo), *Brassica campestris* (navo silvestre), *Raphanus raphanistrum* (chipiquelite) y *Avena fatua* (avena loca).

Los productores realizan el control de malezas combinando el control mecánico, manual y químico. Si se realiza control mecánico se hace una o dos labores con apoyo del tractor o yunta durante la escarda. Con el tractor los costos pueden ir de 500 a 800 MXN/ha y con la yunta de 800 a 1,200 MXN/ha y depende si el terreno es plano o está en pendiente. Los costos por hacer la escarda manual con azadón se estiman en 1,200 MXN/ha.

En la plataforma de investigación Texcoco I, Estado de México, desde 1999 se estudia la agricultura de conservación en comparación con la labranza convencional. El control de malezas en el cultivo de maíz, en 2018, fue químico en ambos sistemas de cultivo; en preemergencia se usaron 3 l/ha de faena (glifosato) e igual cantidad de prowl (pendimet-alina) y, en posemergencia, 3 l/ha de gramoxone



(paraquat). Los costos por el control de malezas fueron de 3,600 MXN/ha, que incluye el costo del producto y la aplicación, esto represento el 20% del costo total de la producción.

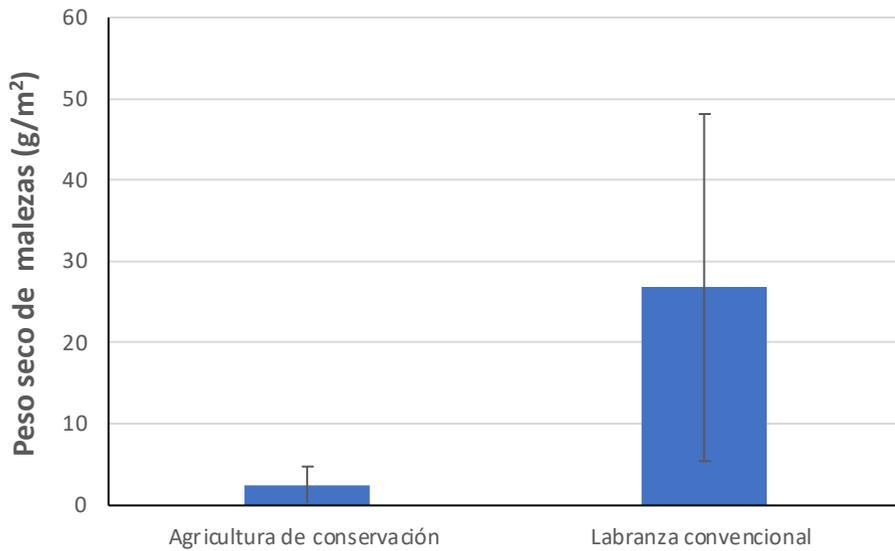
En el ciclo primavera-verano del 2018, durante el desarrollo vegetativo del cultivo de maíz, se realizó un muestreo de malezas en los tratamientos de la plataforma de investigación Texcoco I, Estado de México (figura 44). Se identificaron 17 especies en este agroecosistema, las cuales se estudiaron en función de la biomasa, el porcentaje de la cobertura del suelo, la riqueza, dominancia y diversidad para cada componente del tipo de sistema de cultivo (agricultura de conservación y agricultura convencional).

La biomasa de malezas fue mayor con labranza convencional (monocultivo de maíz en labranza convencional y remoción de los residuos de cosecha)

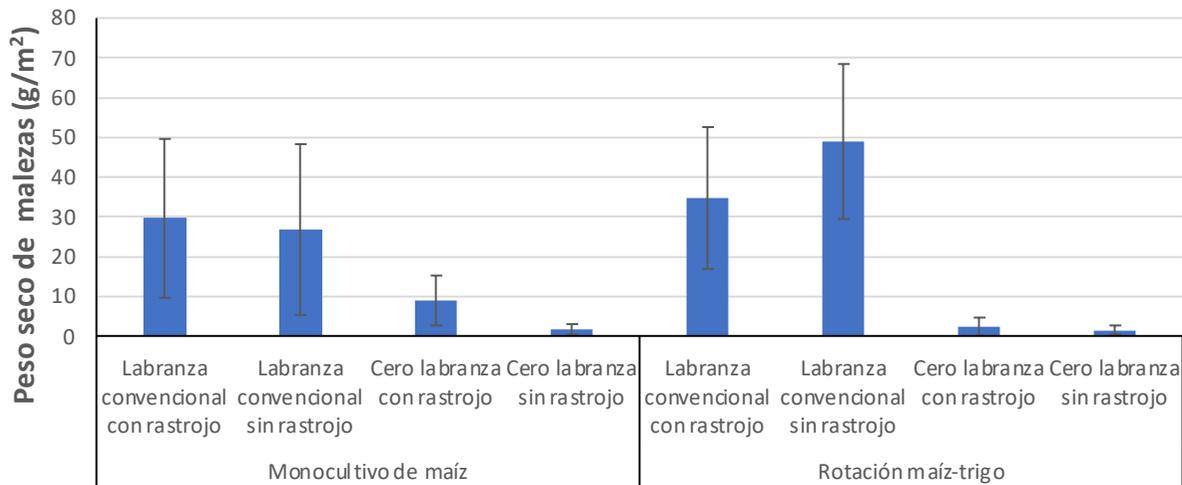
(26.8 g/m²) y menor con agricultura de conservación (rotación maíz-trigo en cero labranza y con los residuos de cosecha en el terreno) (2.3 g/m²) (figura 45); mayor con labranza convencional con rastrojo y sin rastrojo (29.7 y 26.8 g/m², respectivamente) y menor con cero labranza con rastrojo y sin rastrojo (9.1 y 1.7 g/m², respectivamente) en el caso del monocultivo de maíz. Con la rotación maíz-trigo la biomasa de malezas fue mayor con labranza convencional sin rastrojo y con rastrojo (49.0 y 34.8 g/m², respectivamente) y menor con cero labranza sin rastrojo y con rastrojo (2.3 y 1.5 g/m², respectivamente) (figura 46). La cobertura de malezas en el terreno fue mayor en el monocultivo de maíz sembrado con labranza convencional y remoción de residuos de cosecha (25-50% de cobertura) (figura 47) y menor en maíz y trigo en rotación cultivados con cero labranza y con los residuos de cosecha (<10% de cobertura) (figura 48).

■ **Figura 44.** Delimitación del área de muestreo de malezas en el tratamiento de maíz después de trigo en labranza convencional con el rastrojo en el terreno, en la plataforma de investigación Texcoco I, Estado de México, el 21 de agosto de 2018.





■ **Figura 45.** Peso seco de malezas en agricultura de conservación (rotación maíz-trigo en cero labranza y con los residuos de cosecha) y labranza convencional (monocultivo de maíz en labranza convencional y residuos de cosecha removidos), en la plataforma de investigación de Texcoco I, Estado de México, 21 de agosto de 2018.



■ **Figura 46.** Peso seco de malezas con labranza convencional y cero labranza (con y sin rastrojo) en monocultivo de maíz y en rotación maíz-trigo en la plataforma de investigación de Texcoco I, Estado de México, 21 de agosto de 2018.

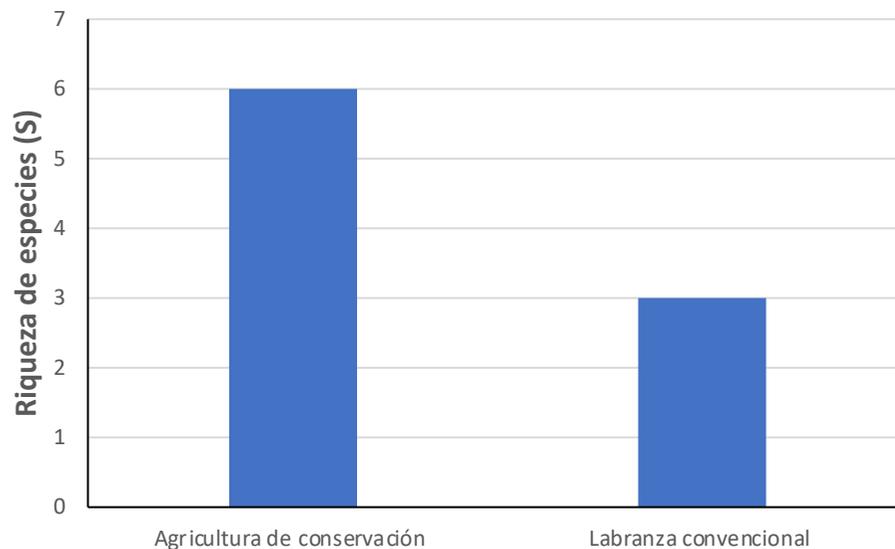


■ **Figura 47.** Cobertura de *Oxalis corniculata L.* en monocultivo de maíz sembrado con labranza convencional sin residuos de cosecha en la plataforma de investigación Texcoco I, Estado de México.

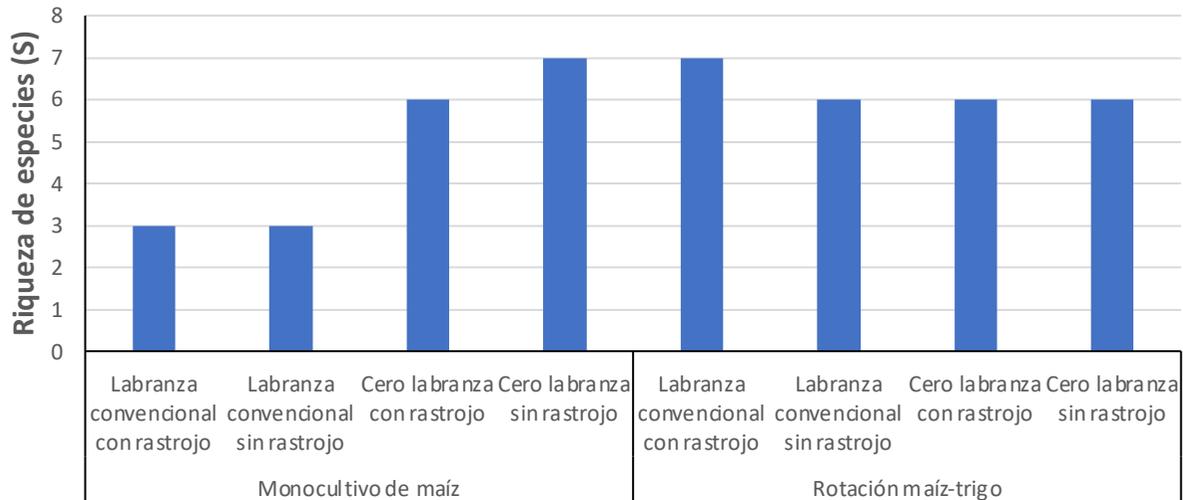
■ **Figura 48.** Trigo con residuos de cultivo de maíz en rotación sembrados con cero labranza sin cobertura de malezas en la plataforma de investigación Texcoco I, Estado de México.

La riqueza de especies fue mayor con agricultura de conservación (rotación maíz-trigo en cero labranza y con los residuos de cosecha) ($S=6$ especies) y menor con labranza convencional (monocultivo de maíz con labranza convencional y remoción de los residuos de cosecha) ($S=3$ especies) (figura 49). Con el monocultivo de maíz la riqueza de especies de

malezas fue mayor con cero labranza sin rastrojo y con rastrojo ($S= 7$ y 6 especies, respectivamente) y menor con labranza convencional con rastrojo y sin rastrojo ($S=3$ especies). Con la rotación maíz-trigo la riqueza de especies de malezas fue similar en los sistemas de labranza y manejo de residuos ($S=6$ especies) (figura 50).



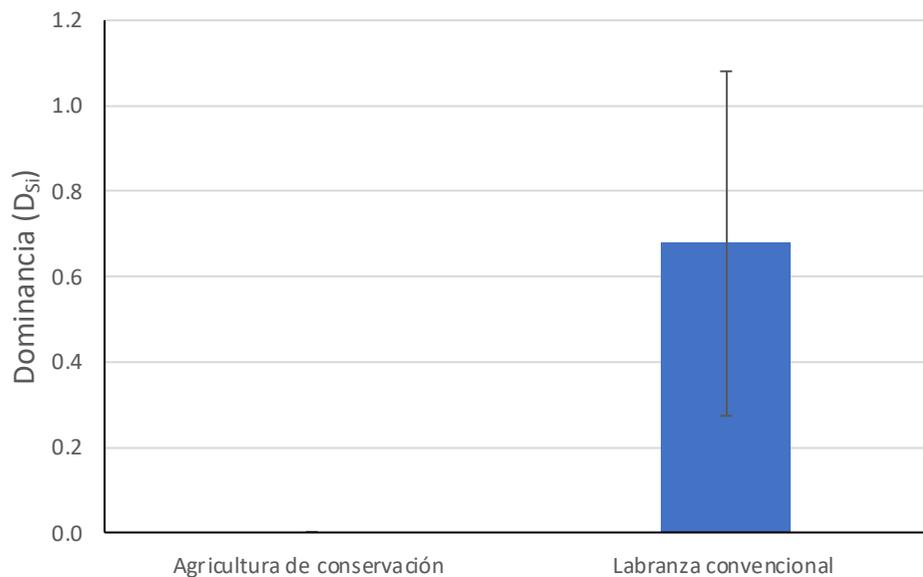
■ **Figura 49.** Riqueza de especies de malezas con agricultura de conservación (rotación maíz-trigo en cero labranza y con los residuos de cosecha) y labranza convencional (monocultivo de maíz en labranza convencional y remoción de los residuos de cosecha) en la plataforma de investigación de Texcoco I, Estado de México, 21 de agosto de 2018.



■ **Figura 50.** Riqueza de especies de malezas con labranza convencional y cero labranza (con y sin rastrojo) en monocultivo de maíz y en rotación maíz-trigo en la plataforma de investigación de Texcoco I, Estado de México, 21 de agosto de 2018.

La especie con más individuos en los sistemas de cultivo fue *Oxalis corniculata* L., una planta perenne de verano de la que se describe su uso para alimentación y medicinal (CONABIO, 2009), además se considera una especie con alta plasticidad fenotípica por su facilidad para alterar sus propiedades morfológicas y fisiológicas como respuesta a

cambios en las condiciones del medioambiente (Shibaiké *et al.*, 1996). Su dominancia fue mayor en labranza convencional (monocultivo de maíz en labranza convencional y remoción de los residuos de cosecha) ($0.7 D_{Si}$) y nula en agricultura de conservación (rotación maíz-trigo en cero labranza y con los residuos de cosecha) (figura 51).



■ **Figura 51.** Dominancia de *Oxalis corniculata* L. con agricultura de conservación (rotación maíz-trigo con cero labranza y con los residuos de cosecha) y labranza convencional (monocultivo de maíz con labranza convencional y sin los residuos de cosecha) en la plataforma de investigación de Texcoco I, Estado de México, 21 de agosto de 2018.

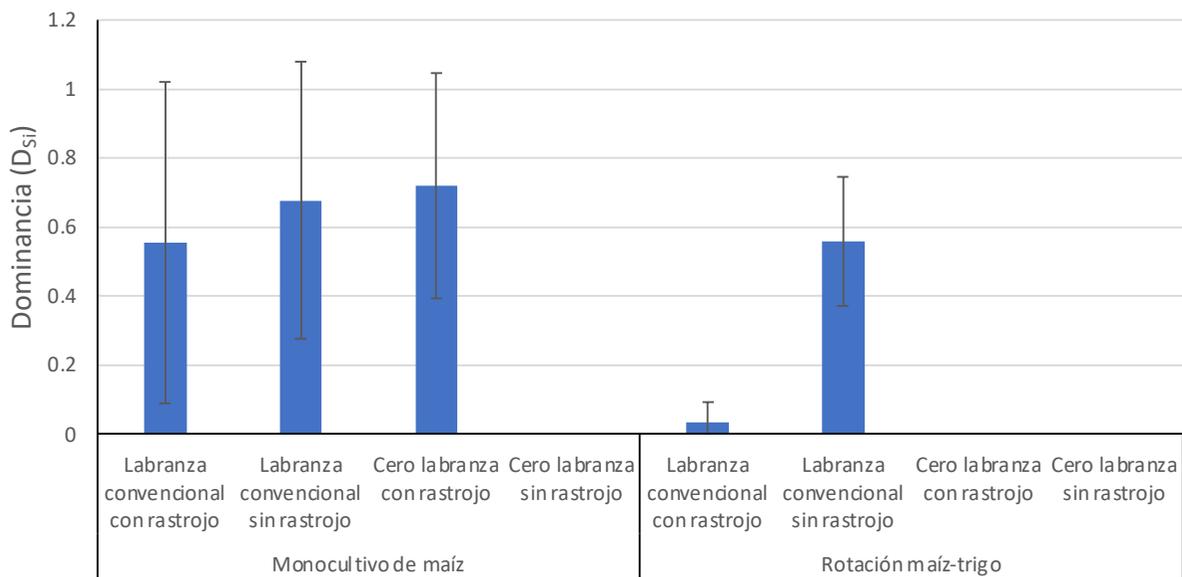


Con el monocultivo de maíz la dominancia de *Oxalis corniculata* L. fue similar con labranza convencional sin rastrojo, con rastrojo (0.7 y 0.6 D_{Si} respectivamente) y cero labranza con rastrojo (0.7 D_{Si}) y fue nula con cero labranza sin rastrojo. Con la rotación maíz-trigo la dominancia fue mayor con labranza convencional sin rastrojo (0.5 D_{Si}) y de menor a nula con labranza convencional (0.03 D_{Si}) y cero labranza con y sin rastrojo (figura 52).

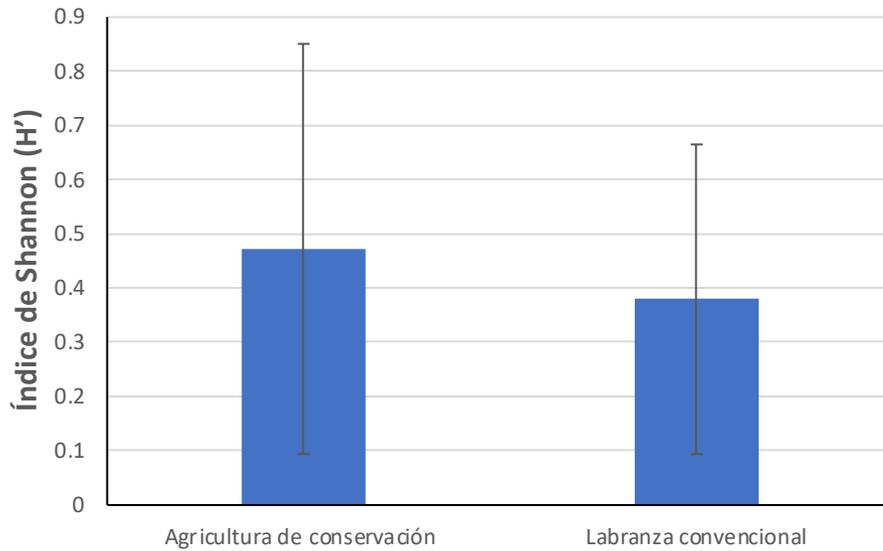
La diversidad fue mayor con agricultura de conservación (0.5 H') y menor con labranza convencional (0.4 H') (Fig. 53). Con el monocultivo de maíz la diversidad de especies de malezas fue similar en los sistemas de labranza —cero labranza y labranza convencional con y sin remoción de rastrojo— (de 0.3 a 0.4 H') (figura 54). Con la rotación maíz-trigo

la diversidad fue mayor con labranza convencional con rastrojo y sin rastrojo (0.9 y 0.7 H', respectivamente) y menor con cero labranza con rastrojo y sin rastrojo (0.5 y 0.1 H', respectivamente) (figura 54).

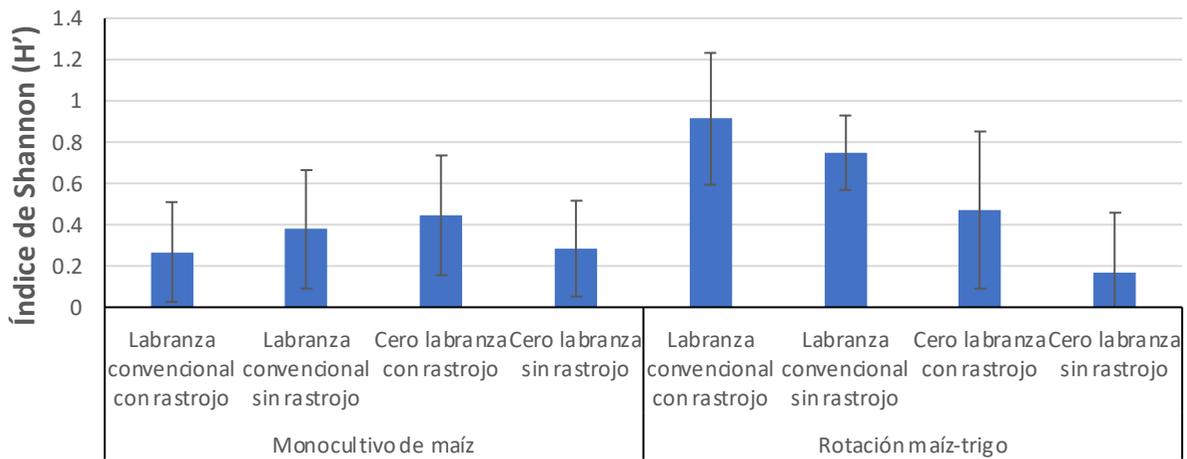
En la plataforma Texcoco I, Estado de México, con el sistema de labranza convencional (monocultivo de maíz cultivado en labranza convencional y donde se retiró el rastrojo de la parcela) hay mayor cobertura y peso seco de las especies de malezas y, además, predomina *Oxalis corniculata* L., la especie dominante del agroecosistema. Por el contrario, con agricultura de conservación hay más diferentes especies de malezas —mayor riqueza— distribuidas en porcentajes similares, por lo tanto, hay mayor diversidad.



■ **Figura 52.** Dominancia de *Oxalis corniculata* L. con labranza convencional y cero labranza (con y sin rastrojo) en monocultivo de maíz y en rotación maíz-trigo, en la plataforma de investigación de Texcoco I, Estado de México, 21 de agosto de 2018.



■ **Figura 53.** Diversidad de especies de malezas en agricultura de conservación (rotación maíz-trigo con cero labranza y dejando los residuos de cosecha) y labranza convencional (monocultivo de maíz con labranza convencional y remoción de los residuos de cosecha) en la plataforma de investigación de Texcoco I, Estado de México, 21 de agosto de 2018.



■ **Figura 54.** Diversidad de especies de malezas con labranza convencional y cero labranza (con y sin rastrojo) en monocultivo de maíz y en rotación maíz-trigo en la plataforma de investigación de Texcoco I, Estado de México, 21 de agosto de 2018.



Conclusión

Los resultados sobre el efecto del uso de prácticas de agricultura de conservación y agricultura convencional en las comunidades de malezas en diferentes regiones agroecológicas de los Valles Altos muestran que usar en conjunto prácticas de agricultura de conservación se incide en la dinámica de las comunidades de malezas al propiciar en los cuatro sitios de estudio menor cobertura de malezas y peso de biomasa. Sin embargo, la riqueza, dominancia y diversidad no tienen una tendencia clara por el tipo de sistema de agricultura —convencional o agricultura de conservación—, aspectos que dependen más del agroecosistema del sitio de estudio.

Adicionalmente, en tres de los cuatro agroecosistemas se observó que implementar agricultura de conservación propicia ventajas a una especie dominante con mayor plasticidad que se adapta a las condiciones limitantes y que logra sobrevivir. Entonces, para el manejo de malezas se recomienda implementar agricultura de conservación en conjunto con otras prácticas con las que la efectividad del control dependerá en gran medida de las condiciones ambientales locales que regulen el crecimiento de las malezas presentes en los agroecosistemas y de las especies que se requieren controlar, por lo que es importante identificarlas con estudios similares a este.



Referencias

- Álvarez, R.C. (2017). Rendimiento y calidad del forraje de cuatro cereales de grano pequeño en tres etapas de crecimiento y dos niveles de nitrógeno en el Valle de Toluca. [Tesis de Licenciatura Universidad Autónoma del Estado de México] Repositorio Institucional – Universidad Autónoma del Estado de México.
- Alvarado, C.M.; Lozano, R.F.; Martínez, O.M. de los Á.; Colmenero, R.J.A. (2006). Usos y destinos de los suelos en la región de Cuetzalán, Puebla. *Investigaciones Geográficas* (59), 43-58.
- Bravo-Garza, M.R.; Bryan, R.B.; Voroney, P. (2009). Influence of wetting and drying cycles and maize residue addition on the formation of water stable aggregates in vertisols. *Geoderma*, 151, 150–156, doi:10.1016/j.geoderma.2009.03.022.
- Carrillo, M.G.V.; Camarillo, J.P.P.; Casillas, J.M.H.; De La Luz Marrufo Diaz, M.; Ruiz, E.M. (2010). Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del Altiplano y Valle del Mezquital, México. *Rev. Fitotec. Mex.*, 33, 49–56.
- Ceballos, P.S.G.; Nopal, T. G. (2021). Estudio de autopercepción de pequeños productores agrícolas. El caso de Huichapan Hidalgo, México. *Revista Latinoamericana.*, 20, 165–184, doi:10.32735/S0718-6568/2021-N59-1474.
- Comisión Nacional Del Agua. (accessed on 30 March 2022). Sistema Nacional de Información del Agua Monitoreo de las Principales Presas de México. Available online: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/almacenamientoPresas.php>.
- Comisión Nacional Del Agua. (accessed on 30 March 2022). Se definen medidas para enfrentar los niveles de sequía en el estado de Hidalgo. Available online: <https://www.gob.mx/conagua/prensa/se-definen-medidas-para-enfrentar-los-niveles-de-sequia-en-el-estado-de-hidalgo?tab=>.
- Comisión Nacional Del Agua. (accessed on 14 February 2022). Sistema Nacional de Información del Agua Monitoreo de las principales presas de México. Available online: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/almacenamientoPresas.php>.
- Domínguez, H.I. (2015). Cultivo asociado de guaje rojo, pitaya y pitahaya, un sistema de producción agrícola sustentable para las zonas áridas y semiáridas del sur del estado de Puebla [Tesis de Maestría Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio Institucional – Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Espidio, B.J.; Navarro, G.H.; Flores, S.D.; Báez, P.A. (2020). Diversidad de sistemas de cultivo y transición agroecológica: Estudio de caso en la Sierra Norte del estado de Puebla, México. *Agro Product.* 13, 23–29, doi:<https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1530>.



- Farfán, F.; Jaramillo, Á. (2008). Efecto de la cobertura vegetal muerta y arbórea sobre la disponibilidad de agua en el suelo en sistemas agroforestales con café. *Cenicafé*, 59, 39–54.
- Fonteyne, S.; Burgueño, J.; Albarrán, C.B.A.; Andrio, E.E.; Castillo, V.L.; Enyanche, V.F.; Escobedo, C.H.; Espidio, B.J.; Espinosa, S.A.; Garcia, M.P.; et al. (2021). Effects of conservation agriculture on physicochemical soil health in 20 maize-based trials in different agro-ecological regions across Mexico. *L. Degrad. Dev.*, 1–15, doi:10.1002/ldr.3894.
- Fonteyne, S.; Singh, R.G.; Govaerts, B.; Verhulst, N. (2020). Rotation, mulch and zero tillage reduce weeds in a long-term conservation agriculture trial. *Agronomy*, 10, 1–16, doi:10.3390/agronomy10070962.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). Agricultural Production Statistics 2000–2020. FAOSTAT Analytical Brief. 41. Rome.
- Gobierno del Estado de México. (2005). Plan regional de desarrollo urbano del Valle de Toluca., 1–100. Gaceta del Gobierno. Available online: <https://www.orion2020.org/archivo/Guanajuato/PlanToluca.pdf>
- Geissen, V.; López de Llergo-Juárez, J.G.; Galindo-Alcántara, A.; Ramos-Reyes, R. (2008). Erosión superficial y carstificación en Macuspana, Tabasco, Sureste de México *Agrociencia*, 42, 605–614.
- Hock, J., Kranz, J., & Renfro, B. L. (1989). El complejo mancha de asfalto de maíz, su distribución geográfica, requisitos ambientales e importancia económica en México (No. CIS-1273. CIMMYT.).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2009). Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos Huichapan, Hidalgo.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2007). Panorama Agropecuario En Morelos. ISBN 9786074944174.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (accessed on 17 February 2021). México en cifras Available online: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=21039>
- Lira, B.P.; Maza, A.V.; Lara, F.M.; Sánchez, S.G.; Herrera. (2016). Modernización tecnológica para la producción de maíz en el Valle del Mezquital, Hidalgo. *Rev. Mex. Agroecosistemas*, 3, 15–17.
- Norris, C.E.; Bean, G. Mac; Cappellazzi, S.B.; Cope, M.; Greub, K.L.H.; Liptzin, D.; Rieke, E.L.; Tracy, P.W.; Morgan, C.L.S.; Honeycutt, C.W. (2020). Introducing the North American Project to Evaluate Soil Health Measurements. *Agron. J.* 112, 3195–3215, doi:10.1002/agj2.20234.



- Martínez, M.E.; Valencia, E.; Cuevas, H. (2016,). Yield evaluation of sweet corn (*Zea Mays* L. 'Suresweet') with cover crops dwarf velvet bean (*Mucuna Pruriens*) and crotalaria (*Crotalaria Juncea* 'Tropic Sun') on an Oxisol of Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 100, 57–70.
- Molina, F.F.; Espinosa, G.F.; Sarukhán, K.J. (2008). Weed Population Dynamics in a Rain-Fed Maize Field from the Valley of México. *Agrociencia*, 42, 655–667.
- Peña, H.D.R.; Rodríguez, O.A.; Rodríguez O.L.T.; Nochebuena, H. J. de D. y Ventura, M.A.I. (2017). Plantas nocivas del Valle del Mezquital, Hidalgo, México; Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Ed.; Primera ed.; México,; ISBN 9786079260217.
- Rivers, A.; Barbercheck, M.; Govaerts, B.; Verhulst, N. (2016). Conservation agriculture affects arthropod community composition in a rainfed maize-wheat system in central México. *Appl. Soil Ecol.* 100, 81–90, doi:10.1016/j.apsoil.2015.12.004.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (accessed on 8 February 2021). Avance de siembras y cosechas resumen por estado Available online: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2004). Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, Cromo Hexavalente, Mercurio, Níquel, Plata, Plomo, Selenio, Talio Y. *Secr. Medio Ambient. Y Recur. Nat.* 18–61.
- Secretaría de Desarrollo Social. (accessed on 16 February 2021). Atlas de Riesgos Naturales de Tlaltizapán, Morelos.
- Servicio Meteorológico Nacional. (accessed on 16 February 2021). Información climatológica por estado. Available online: <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=pue>
- Shibaïke, H.; Ishiguri, Y.; Kawano, S. (1996). Plastic responses to nutrient and light intensity gradients in populations of *Oxalis Corniculata* L. (Oxalidaceae). *Plant Species Biol.* 11, 213–223.
- Vieyra, O.L.; Vibrans, H. (2001). Weeds as Crops: The value of maize field weeds in the Valley of Toluca, Mexico. *Econ. Bot.* 55, 426–443, doi:<https://doi.org/10.1007/BF02866564>.



La presente publicación es un material de divulgación del CIMMYT.

En esta región colaboraron la iniciativa Excelence in Agronomy y Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Sader). El CIMMYT es una organización internacional pionera en el mundo, sin fines de lucro, dedicada a resolver hoy los problemas del mañana. Se encarga de promover mejoras en la cantidad, calidad y fiabilidad de los sistemas de producción y de los cereales básicos como el maíz, trigo, triticale, sorgo, mijo y cultivos asociados mediante la ciencia agrícola aplicada, especialmente en el sur global, a través de la creación de colaboraciones sólidas. Esta combinación mejora el desempeño de los medios de subsistencia y la resiliencia de millones de agricultores de escasos recursos, y trabaja por un sistema agroalimentario más productivo, incluyente y resiliente dentro de los límites globales.

El CIMMYT es uno de los principales centros de investigación del GCIAR, una asociación mundial de investigación para un futuro con seguridad alimentaria dedicada a reducir la pobreza, aumentar la seguridad alimentaria y nutricional y mejorar los recursos naturales.

Para más información, visite cimmyt.org.



786078 263882

9