Menú de tecnologías validadas – Región riego en Valles Altos

Actualización 2024

Jessica Gonzalez Regalado, Simon Fonteyne

1. Introducción

El Valle del Mezquital es una región semiárida del estado de Hidalgo, donde predomina la agricultura mecanizada con disponibilidad de riego con las aguas residuales del Valle de México. La agricultura en general es una actividad 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. Existen dos plataformas de investigación; Francisco I. Madero (con la UPFIM) y Mixquiahuala, (con CIDT). Este menú de tecnologías validadas resume los resultados de la investigación en las plataformas de investigación del Valle del Mezquital.

Plataformas de investigación Valles Altos Riego

Mixquiahuala, Hidalgo

La plataforma de investigación Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, se encuentra en el sureste del territorio del estado de Hidalgo (Figura 1), entre los 1800 y 2600 msnm. Tiene un clima semiseco templado con temperatura media anual 14 – 18°C y precipitación media anual de 400–600 mm. La vegetación es principalmente agrícola y de pastizal. La producción agrícola se basa, en su mayoría, de maíz y alfalfa cultivados en pequeña propiedad y arrendamiento de tierras en valles y planicies. El sistema de producción es mecanizado, riego con aguas residuales, manejo de plagas y fertilización química. La actividad pecuaria con bovinos complementa el sistema agropecuario de Mixquiahuala. Los problemas del sistema de producción 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 e iniciativas dirigidas a purificar las aguas negras de la Ciudad de México y reutilizarlas dentro de los límites de la urbe.

Figura 1. Localización del municipio de Mixquiahuala en el estado de Hidalgo. De RubeHM - https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=104987435

Francisco I. Madero, Hidalgo

La plataforma de investigación está ubicada en el municipio de Francisco I. Madero, al sur este del estado de Hidalgo (Figura 2). 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, riego por inundación de aguas negras provenientes de la Ciudad de México, semilla mejorada, uso de fertilizantes y agroquímicos para el control de plagas. Las principales limitantes del sistema del cultivo del maíz en la región son los altos costos de producción y la degradación del suelo por movimiento excesivo y monocultivo.

Figura 2. Localización del municipio de Francisco I. Madero en el estado de Hidalgo. De RubeHM - https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=104985403

2. Manejo de residuos

2.1 Incorporar residuos

Plataforma Francisco I. Madero, Hidalgo, PV 2012-2017

El rendimiento de grano de maíz generalmente es similar por el manejo de rastrojo en labranza convencional. En ciclos con sequía, como 2016, el rendimiento fue mayor al incorporar el rastrojo (14.2 t/ha) y menor al removerlo de la parcela (6.7 t/ha) (Figura 3).

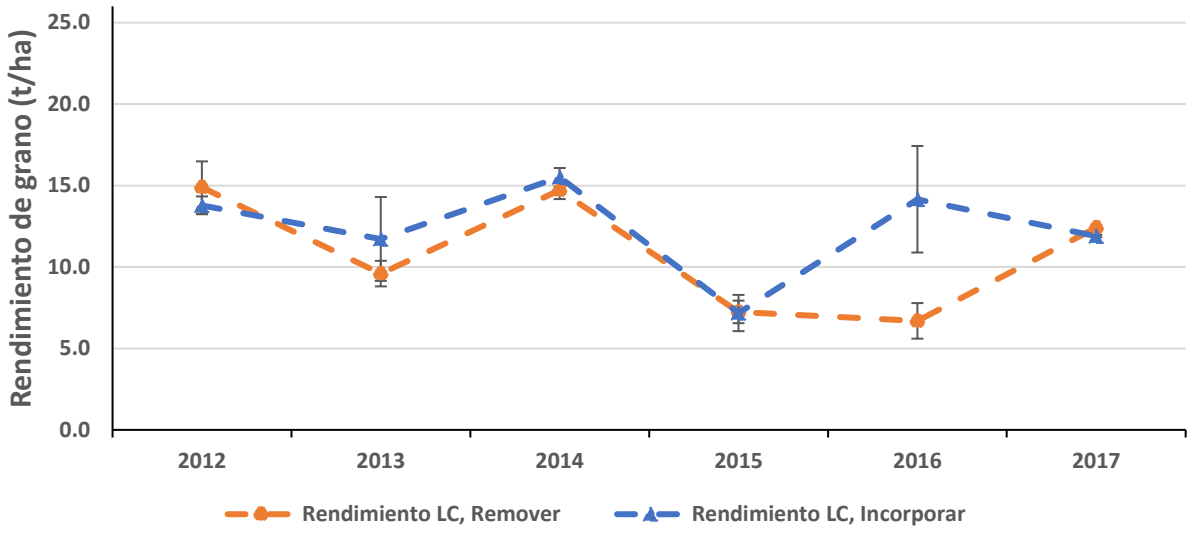

Figura 3. Efecto de manejo de rastrojo en labranza convencional en la Plataforma Francisco I. Madero, Hidalgo, en PV del 2012 al 2017.

2.2 Uso de residuos como cobertura

Plataforma Francisco I. Madero, Hidalgo, PV 2012-2014

En camas permanentes el rendimiento fue mayor al retirar el rastrojo (12.5 t/ha) y menor al dejar el rastrojo (11.5 t/ha). La producción de biomasa es alta y limita la profundidad de siembra al dejar la semilla entre la superficie del suelo y el rastrojo o luego de alcanzar la profundidad deseada, la emergencia de las plántulas se dificulta por el exceso de rastrojo (Figura 4).

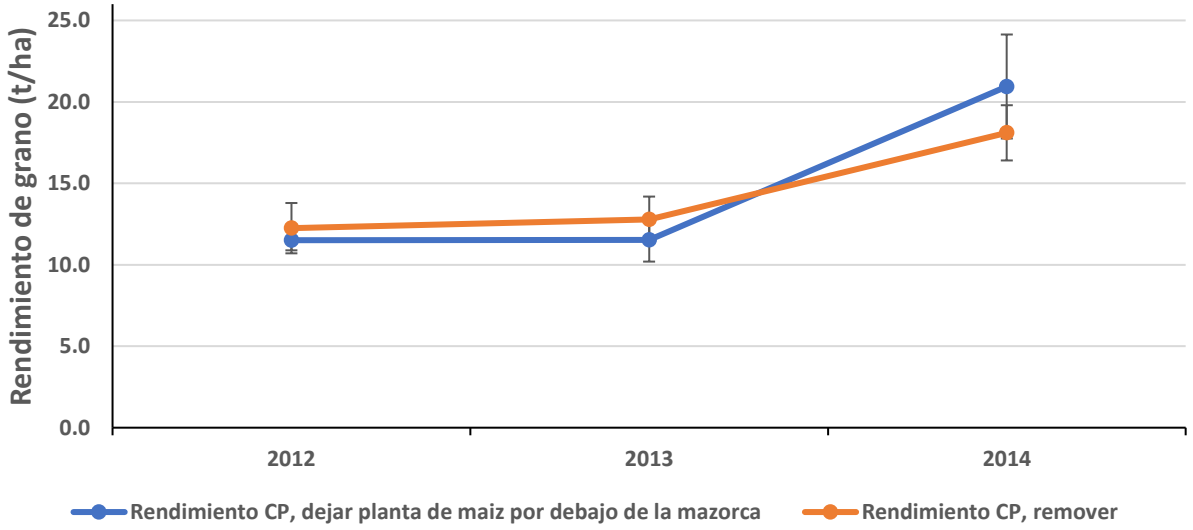

Figura 4. Efecto de manejo de rastrojo en camas permanentes en la Plataforma Francisco I. Madero, Hidalgo, en PV del 2012 al 2014.

3. Preparación del terreno

3.1 Cero labranza

Plataforma Francisco I. Madero, Hidalgo, PV 2012-2014

Usar cero labranza con rastrojo parcial (dejar la parte de maíz abajo de la mazorca en la parcela) tiene un rendimiento similar (14.5 t/ha) que labranza convencional sin rastrojo (14.6 t/ha), pero se tiene un ahorro de $2,600 MXN/ha respecto a la labranza convencional (Figura 5).

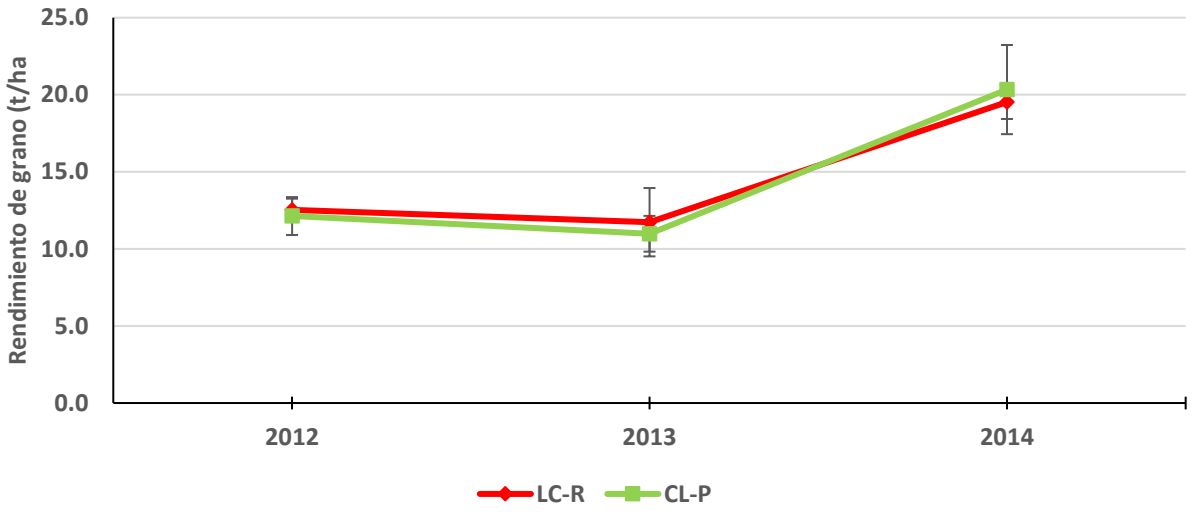

Figura 5. Efecto de labranza y manejo de rastrojo sobre el rendimiento de maíz de 2012 a 2014 en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo. Donde LC: labranza convencional, CL: cero labranza, R: retirar el total del rastrojo de maíz después de la cosecha, P: dejar la parte de maíz abajo de la mazorca en la parcela.

3.2 Camas permanentes

Plataforma Mixquiahuala, Hidalgo, PV 2014 al 2016

Se tuvo un mayor rendimiento de cinco maíces híbridos en camas permanentes angostas con labranza en líneas de siembra (15,3 t/ha) y menor rendimiento en camas angostas con labranza convencional (14,1 t/ha) (Figura 6).

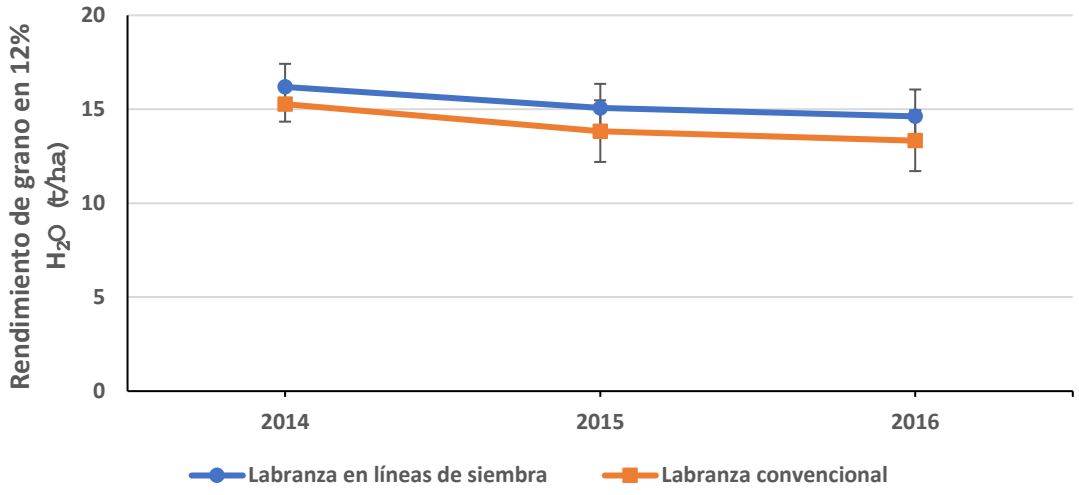

Figura 6. Rendimiento promedio de maíz cultivados en dos sistemas de labranza del 2014 al 2016 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.

El daño por gusano cogollero y carbón de la espiga fue mayor (9 y 2%, respectivamente) en labranza convencional, y menor en camas permanentes angostas con labranza en líneas de siembra (5 y 0,5%, respectivamente) (Figura 7).

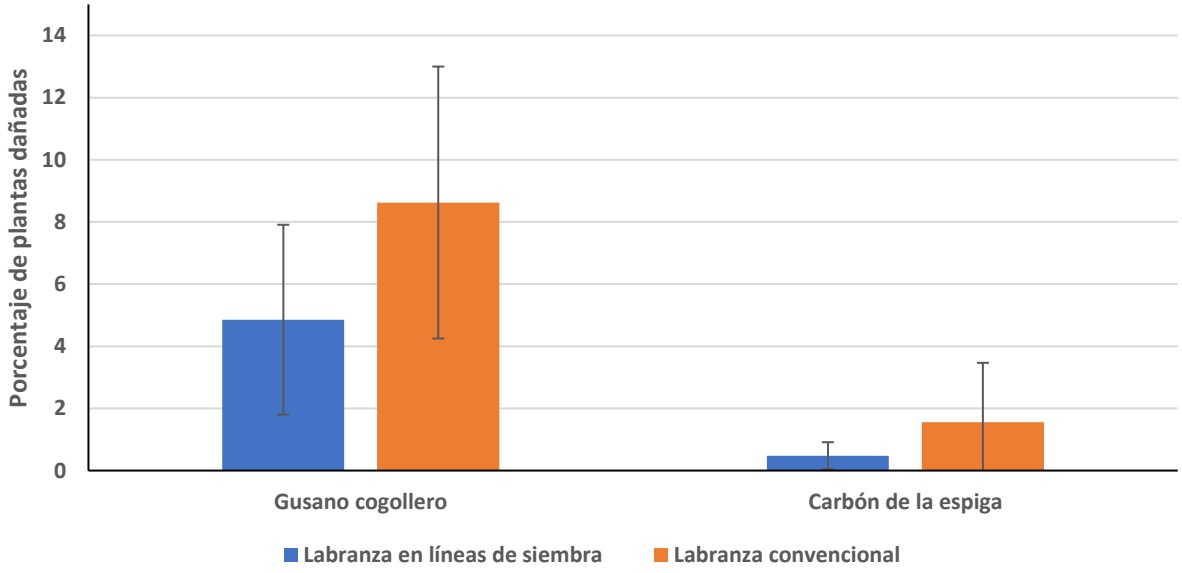

Figura 7. Porcentaje de daño por gusano cogollero y carbón de la espiga de maíz cultivados en dos sistemas de labranza del 2014 al 2016 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.

En alfalfa hubo mayor rendimiento de biomasa con la siembra en plano con cobertura total (12,3 t/ha) y el menor 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 8).

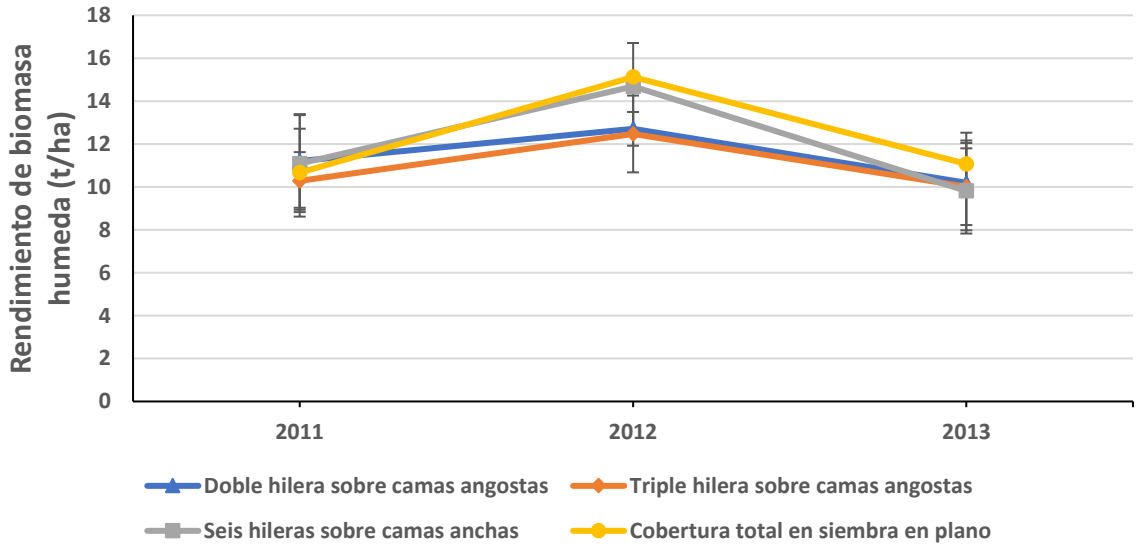

Figura 8. Rendimiento de biomasa de alfalfa cultivada en diferentes métodos de siembra de 2011 a 2013 en Mixquiahuala, Hidalgo.

3.3 Labranza mínima

Plataforma Francisco I. Madero, Hidalgo, PV 2012-2014

Mayor rendimiento de biomasa en cultivos de cobertura (nabo, rábano, girasol) en labranza convencional (un subsuelo y dos pasos de rastra) sin rastrojo (3.8 t/ha) que labranza mínima (dos pasos de rastra) con rastrojo (2.6 t/ha) (Figura 9).

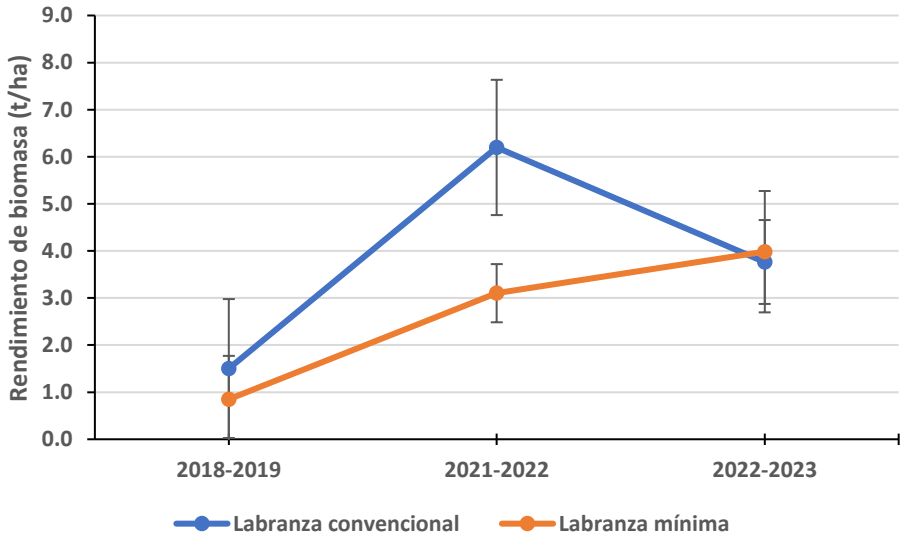

Figura 9. Rendimiento de biomasa de cultivos de cobertura cultivados en diferentes métodos de siembra en otoño invierno de 2018-2019 a 2022-2023 en Francisco I. Madero, Hidalgo

4. Siembra

4.1 Densidad de siembra

Plataforma Mixquiahuala, Hidalgo, PV 2011 al 2013

En alfalfa 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 10).

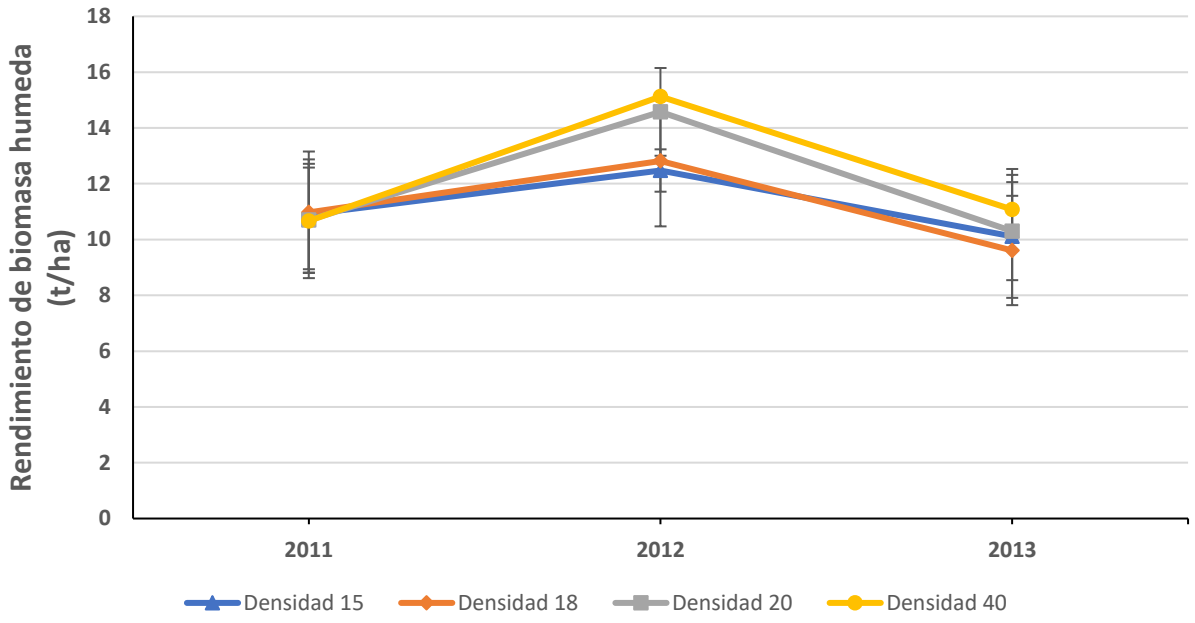

Figura 10. Rendimiento de biomasa de alfalfa cultivada en cuatro densidades de siembra en camas angostas, anchas y siembra en plano de 2011 a 2013 en Mixquiahuala, Hidalgo

5. Diversificación de cultivos

5.1 Selección de híbridos: Maíz blanco

Plataforma Mixquiahuala, Hidalgo, PV 2017 al 2021

Los mayores rendimientos se obtuvieron con P3274W (Pioneer) (20,4 t/ha), DK-4018 (Dekalb) (20,2 t/ha), MH-2105W y (Ma-Hai) (19,0 t/ha) respecto a la media de producción en la región en este periodo (10 t/ha) (Figuras 11.a, 11.b, 11.c, 11.d y 11.e).

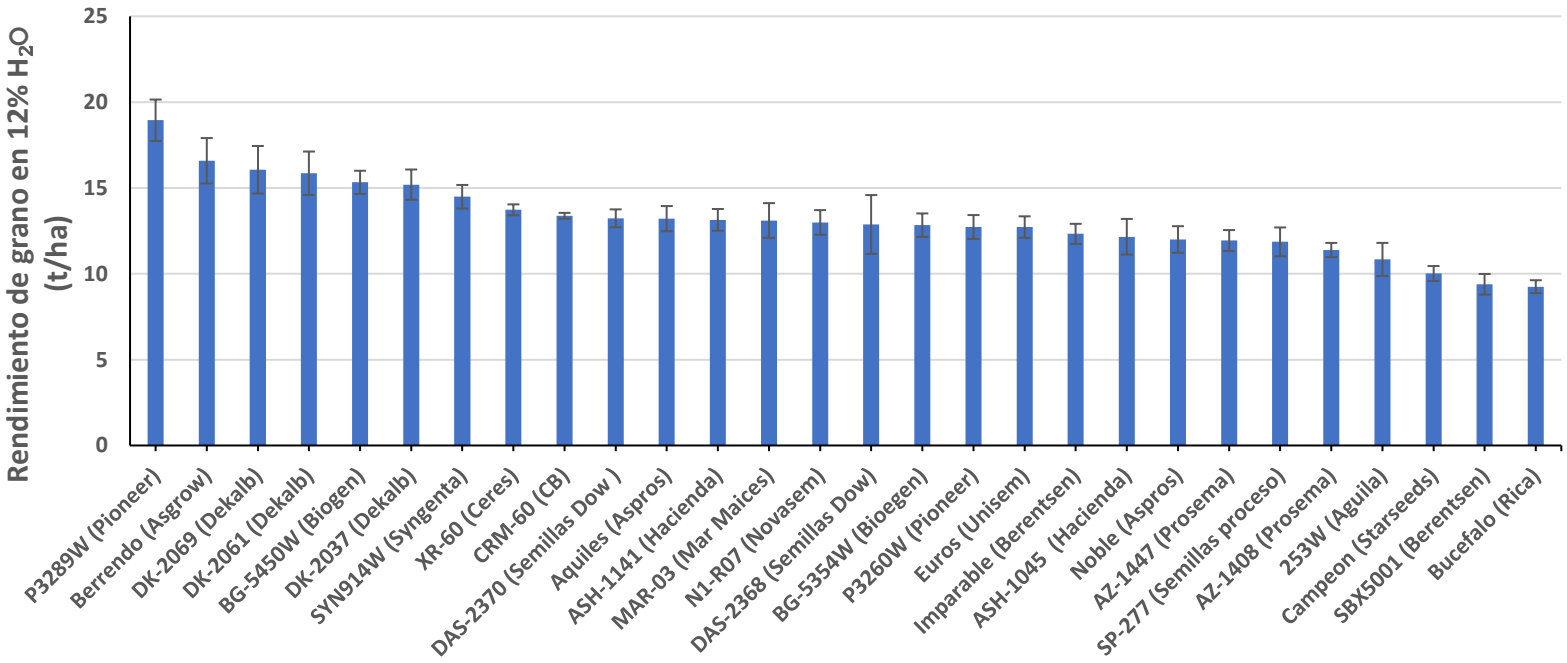

Figura 11**.a.** Rendimiento de maíces híbridos cultivados en agricultura de conservación (labranza de líneas de siembra con striptill y rotación con triticale en el ciclo otoño-invierno) durante 2017 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.

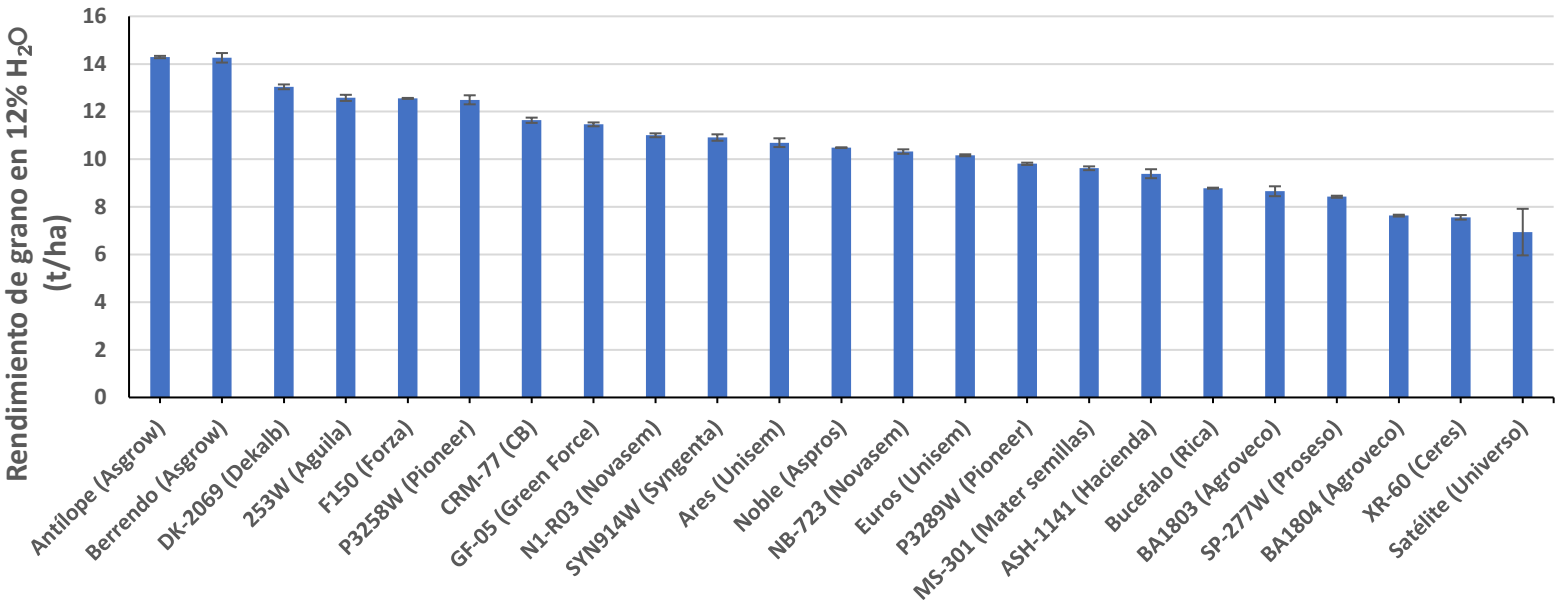

Figura 11**.b.** Rendimiento de maíces híbridos cultivados en agricultura de conservación (labranza de líneas de siembra con striptill y rotación con triticale en el ciclo otoño-invierno) durante 2018 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.

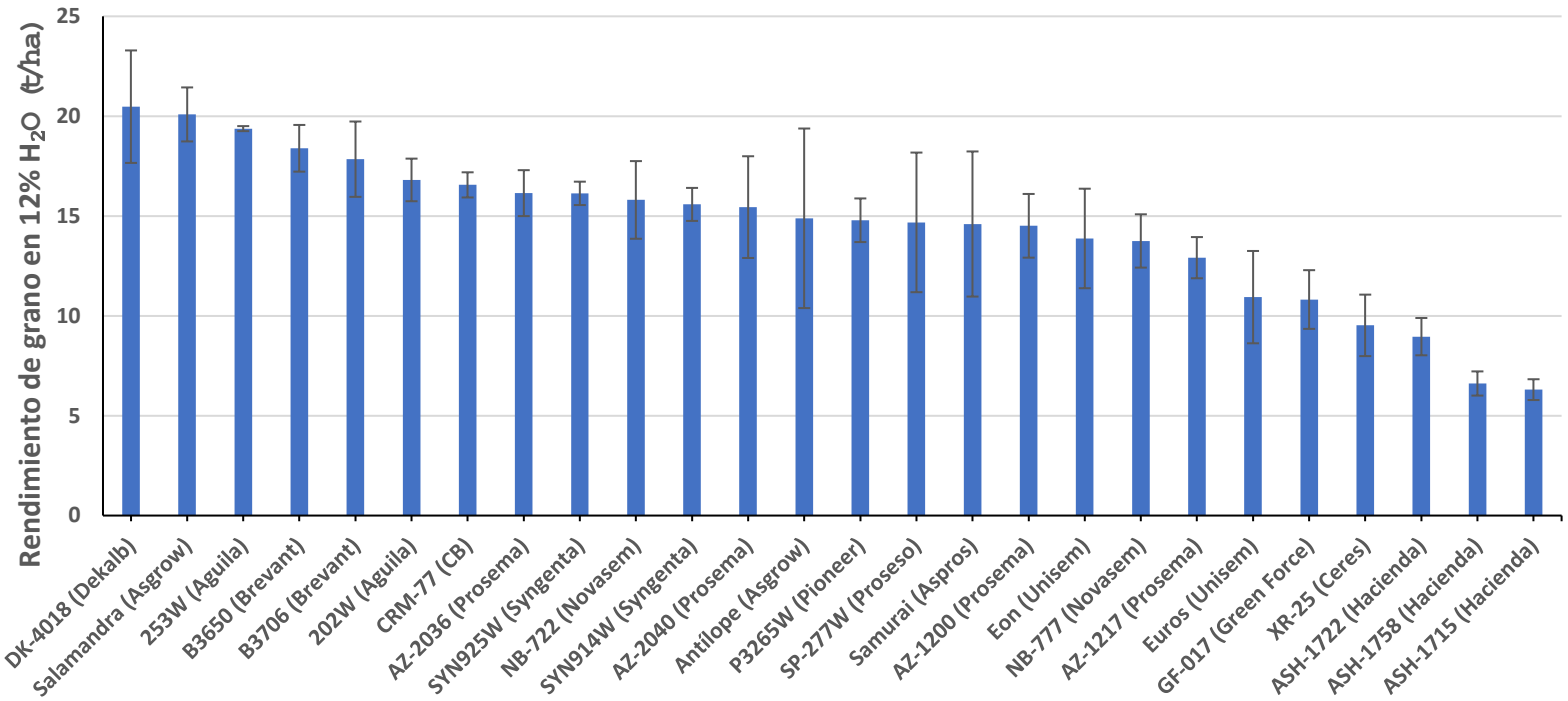

Figura 11**.c.** Rendimiento de maíces híbridos cultivados en agricultura de conservación (labranza de líneas de siembra con striptill y rotación con avena en el ciclo otoño-invierno) durante 2019 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.

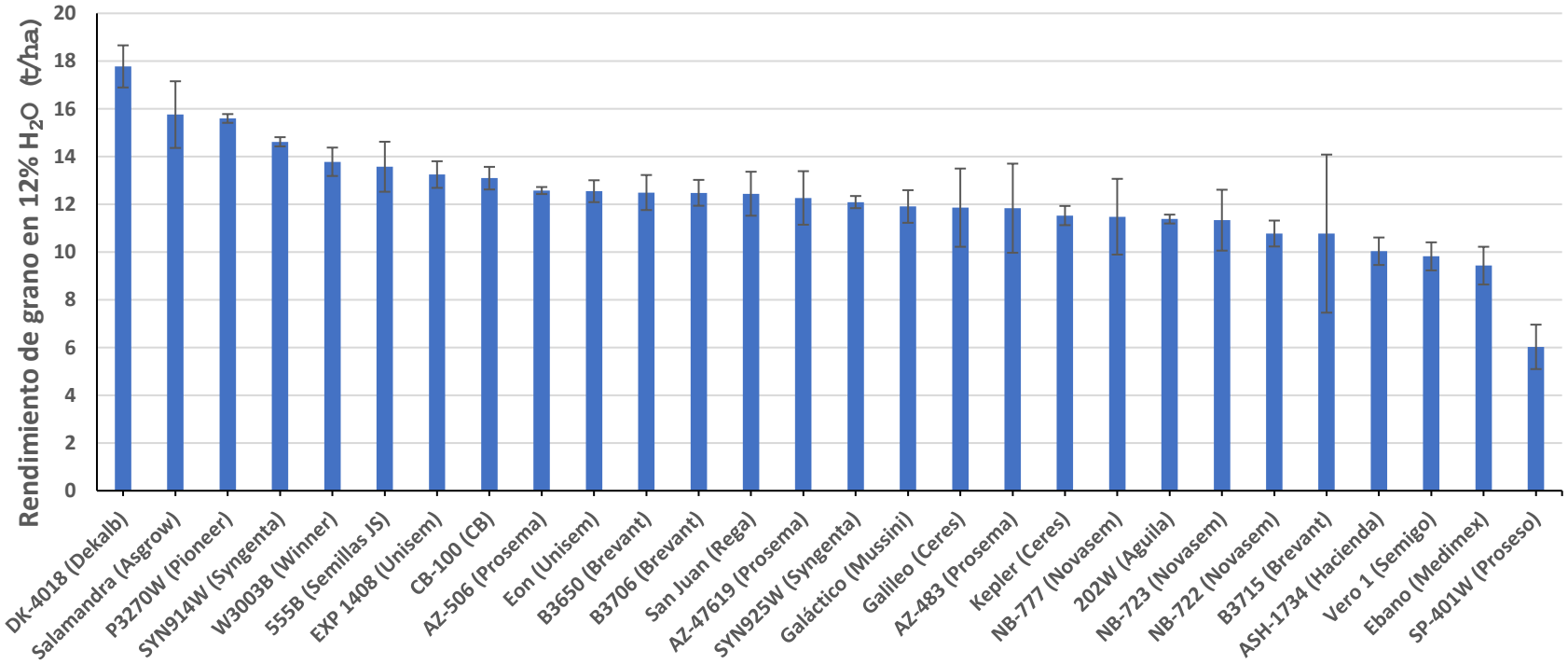

Figura 11**.d.** Rendimiento de maíces híbridos cultivados en agricultura de conservación (labranza de líneas de siembra con striptill y rotación con triticale en el ciclo otoño-invierno) durante 2020 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.

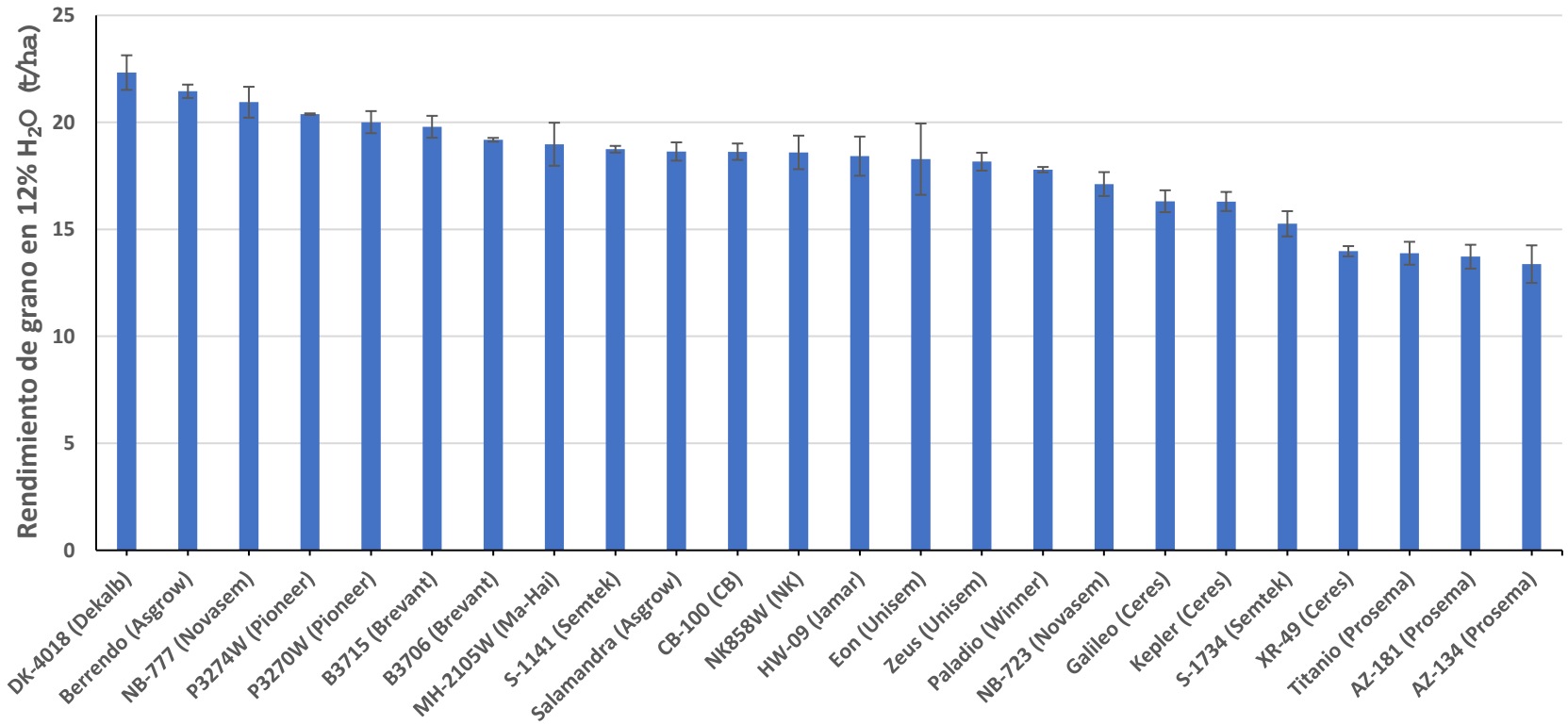

Figura 11**.e.** Rendimiento de maíces híbridos cultivados en labranza de líneas de siembra con striptill durante 2021 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo

.

5.2 Selección de variedades: Alfalfa

Plataforma Mixquiahuala, Hidalgo, PV 2011 al 2013

Las variedades de alfalfa Gigante y Excelente dieron el mayor rendimiento (11,5.5 y 11,2 t/ha, respectivamente) en comparación con Júpiter, San Miguelito, WL-711 y WL-721 (10,0 t/ha) (Figura 12).

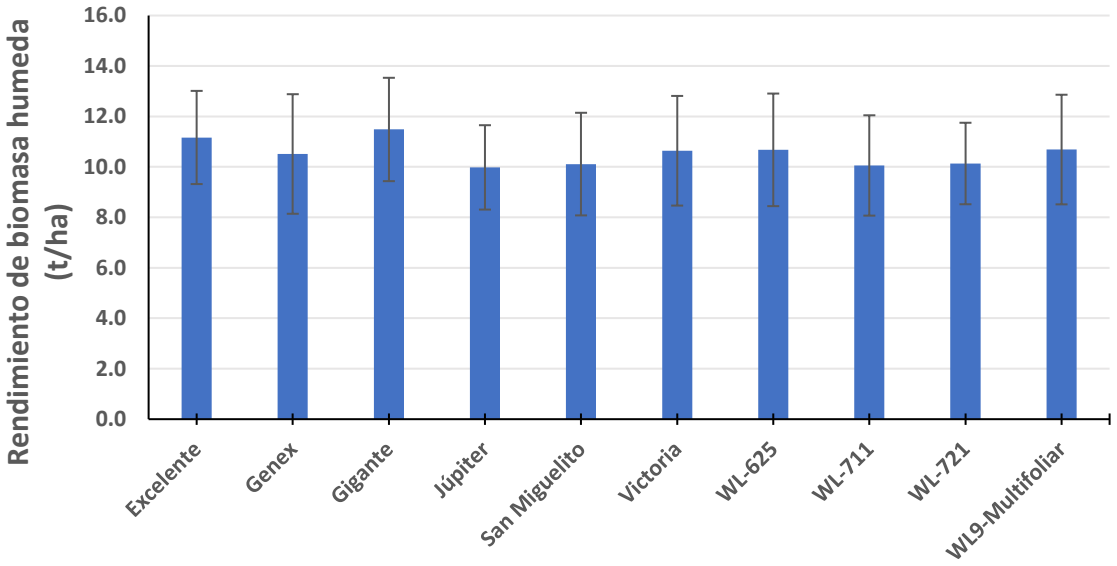

Figura 12. Rendimiento promedio de biomasa de diez cultivares de alfalfa sembradas en tres métodos de siembra (camas angostas, camas anchas y siembra en plano) y cuatro densidades de siembra de 2011 a 2013 en Mixquiahuala, Hidalgo.

6. Fertilización

6.1 Mejoradores de Suelo

Plataforma Mixquiahuala, Hidalgo, PV 2017 al 2019

No hay una tendencia clara del efecto de los mejoradores de suelo, se requiere más tiempo de evaluación (Figura 13).

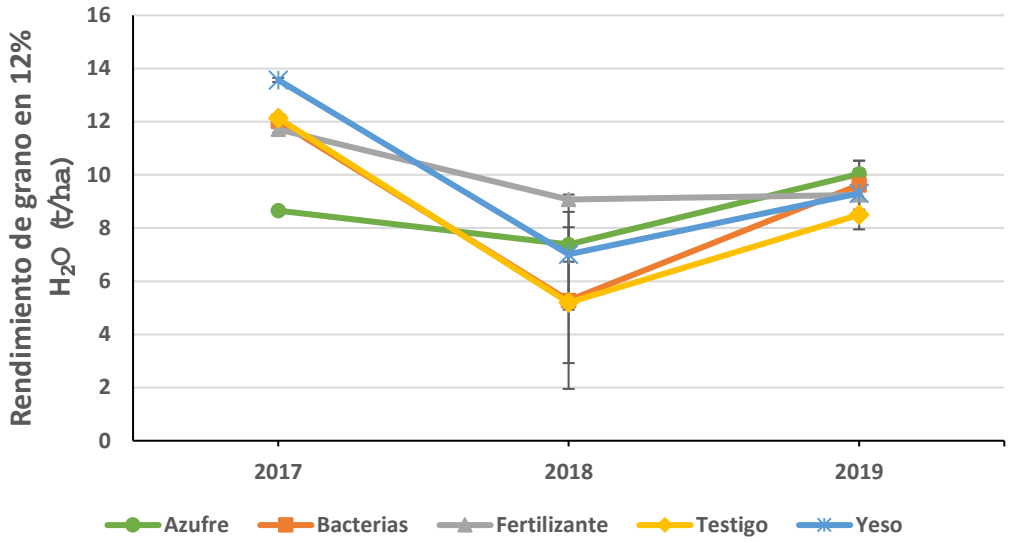

Figura 13. Rendimiento de maíz usando mejoradores de suelo cultivado en labranza en líneas de siembra (striptill) a través de los años 2017 al 2019 en la plataforma Mixquiahuala, Hidalgo.

7. Manejo de malezas

Se estudio la dinámica de las poblaciones de malezas (riqueza, dominancia, diversidad, cobertura y biomasa) en los sistemas de labranza y los resultados completos se encuentran en Resultados plataformas de investigación hubs Valles Altos y Pacífico Centro-2012-2021.

7.1 Manejo de malezas

Plataforma Francisco I. Madero, Hidalgo, PV 2018

El peso seco de la biomasa de malezas fue mayor en labranza en líneas de siembra (striptill) (4,95 g/m2) que en cero labranza donde se dejó el rastrojo y se hizo rotación maíz-avena (0,75 g/m2) (Figura 14).

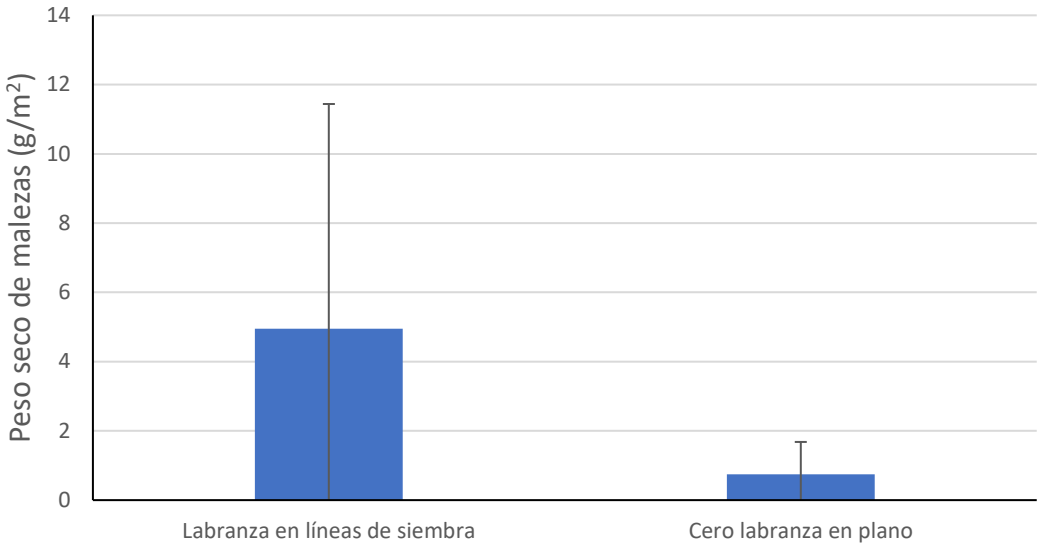

Figura 14. Peso seco de malezas en labranza en líneas de siembra y cero labranza en plano donde se dejó el rastrojo y se cultivó rotación maíz-avena en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.

El peso seco de las malezas fue mayor en la rotacion de maíz-trigo (7,9 g/m^2) que maíz-avena (y 6,6 g/m^2) respectivamente) cultivados con labranza convencional en plano y removiendo los residuos (Figura 15).

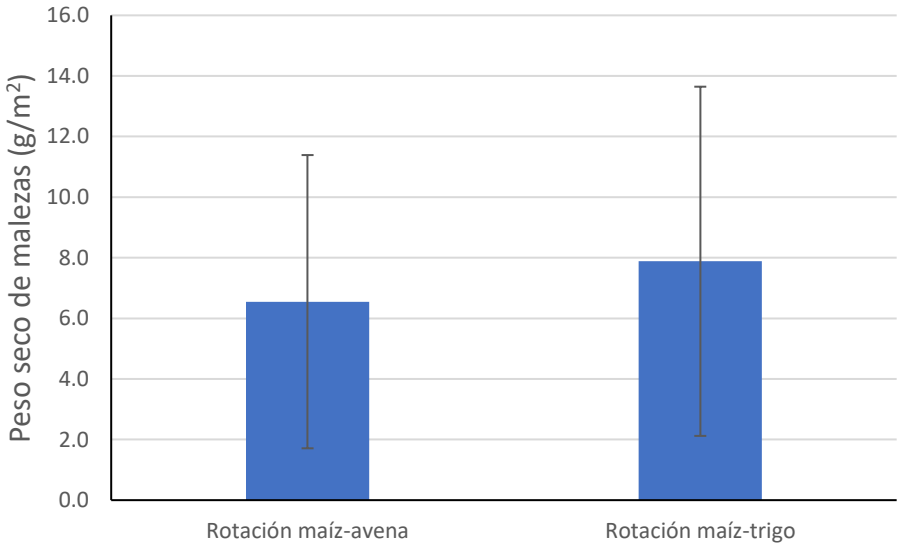

Figura 15. Peso seco de malezas en rotación maíz-avena y maíz-trigo cultivados en labranza convencional en plano y remoción de los residuos de cosecha en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.

El peso seco de las malezas fue similar al remover e incorporar los residuos de cosecha en la parcela (6,6 y 5,6 g/m2, respectivamente) en la rotación maíz-avena con labranza convencional en plano (Figura 16).

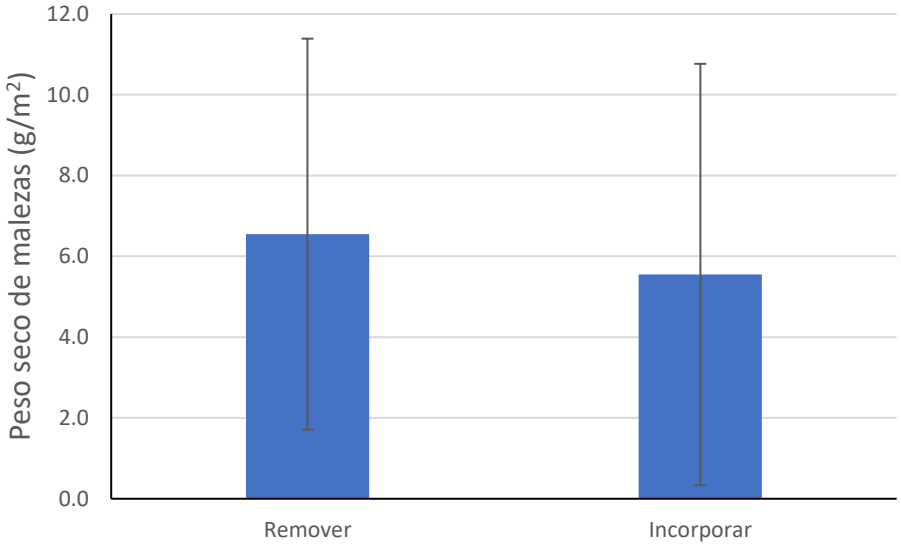

Figura 16. Peso seco de malezas al remover e incorporar los residuos de cosecha en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.

La cobertura de malezas en el terreno fue mayor con labranza convencional en plano, remoción de los residuos de cosecha y rotación maíz-avena (25-50% de cobertura) y menor con cero labranza, residuos de cosecha y rotación maíz-avena (<10% de cobertura) (Figura 17).

Figura 17. 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.

En labranza en líneas de siembra la cobertura fue de 10-25% donde se incorpora el rastrojo y se cultiva en rotación maíz-avena (Figura 18).

Figura 18. Cobertura de malezas en el cultico 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 19).

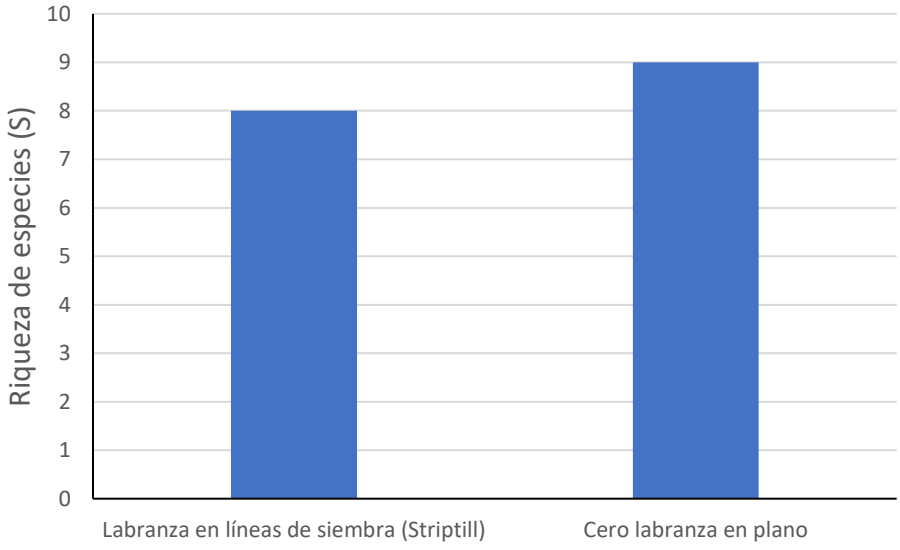

Figura 19. Riqueza de especies de malezas con labranza en líneas de siembra y cero labranza en plano donde se dejó el rastrojo y se cultivó rotación maíz-avena, en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.

La riqueza de especies de malezas 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 20).

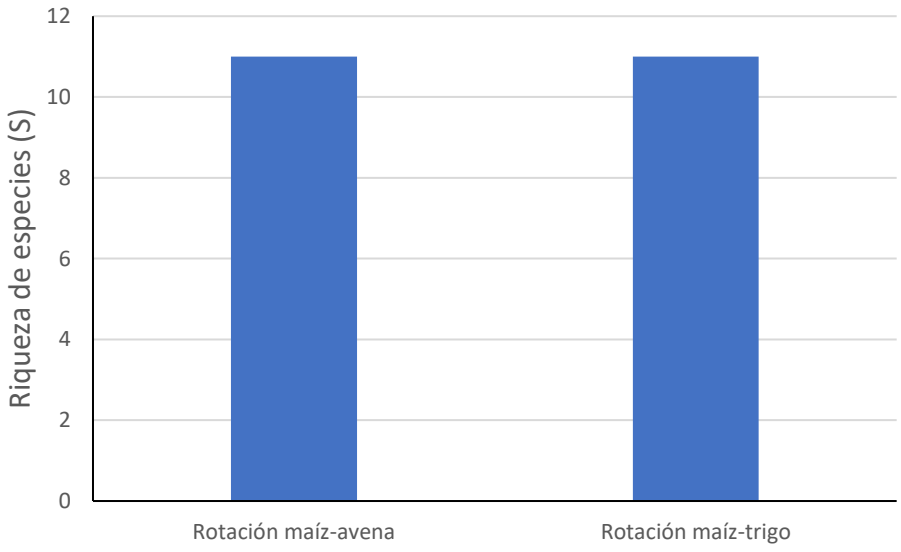

Figura 20. Riqueza de especies de malezas con las rotaciones de maíz-avena y maíz-trigo con labranza convencional en plano y remoción de los residuos de cosecha, en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.

La riqueza de especies de malezas fue mayor al incorporar (S=15 especies) que al remover los residuos de cosecha en la rotación maíz-avena con labranza convencional en plano (S=11 especies) (Figura 21).

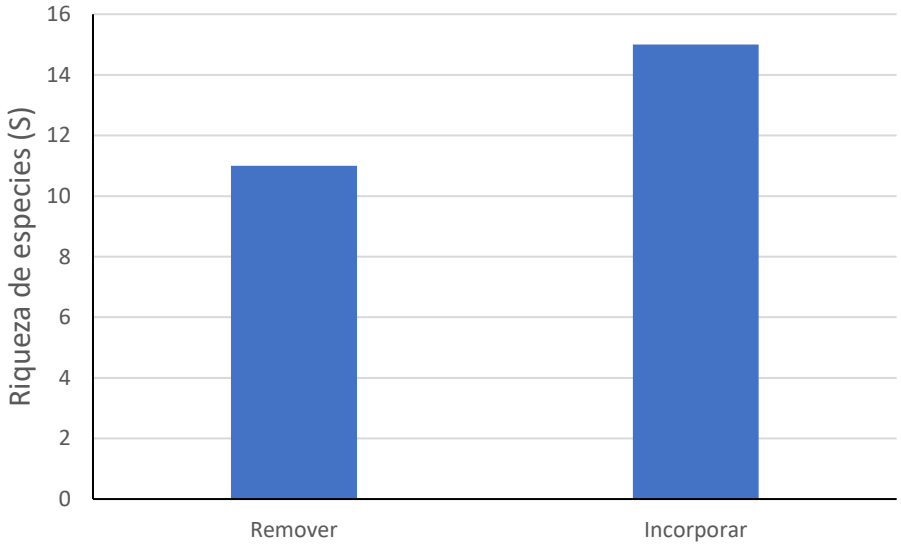

Figura 21. Riqueza de especies de malezas al remover e incorporar los residuos de cosecha con labranza convencional en plano y con la rotación maíz-avena en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.

La especie con más individuos en los sistemas de cultivo fue *Avena sativa*, 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 DSi) donde se dejó el rastrojo y se cultivó maíz en rotación con avena (Figura 22).

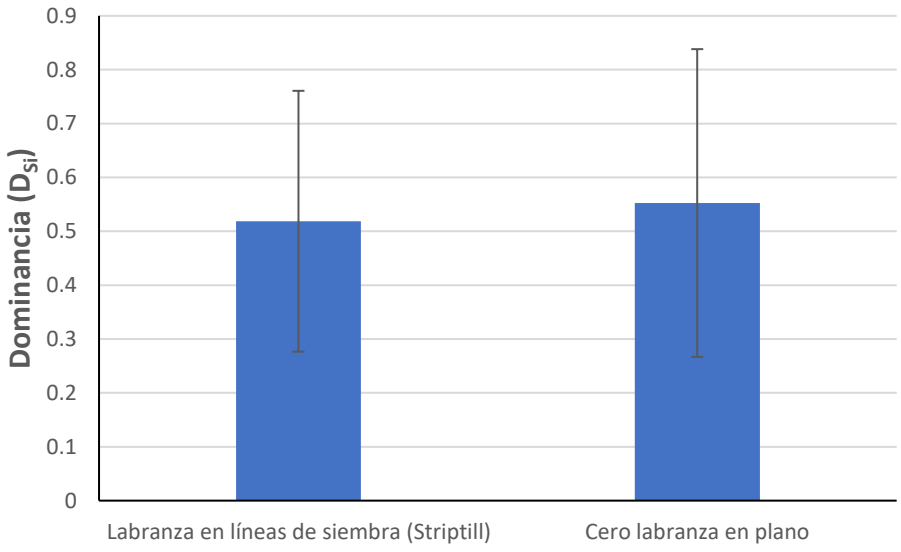

Figura 22. Dominancia de Avena sativa con labranza en líneas de siembra y cero labranza en plano donde se dejó el rastrojo y se cultivó maíz en rotación con avena, en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.

La dominancia de avena fue similar al incorporar (0,3 DSi) que al remover los residuos de cosecha (0,2 Dsi) en labranza convencional en plano donde se cultivó maíz en rotación con avena (Figura 23).

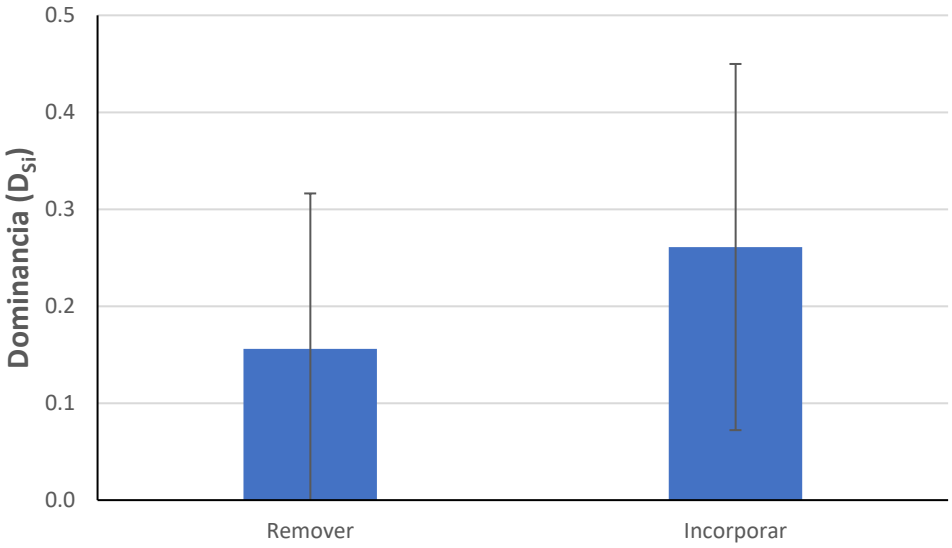

Figura 23. Dominancia de Avena sativa al remover e incorporar los residuos de cosecha con labranza convencional en plano donde se cultivó maíz en rotación con avena en la plataforma de investigación Francisco I. Madero, Hidalgo, el 5 de junio de 2018.

8. Salud del suelo

Plataforma Francisco I. Madero, Hidalgo, PV 2020

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 24).

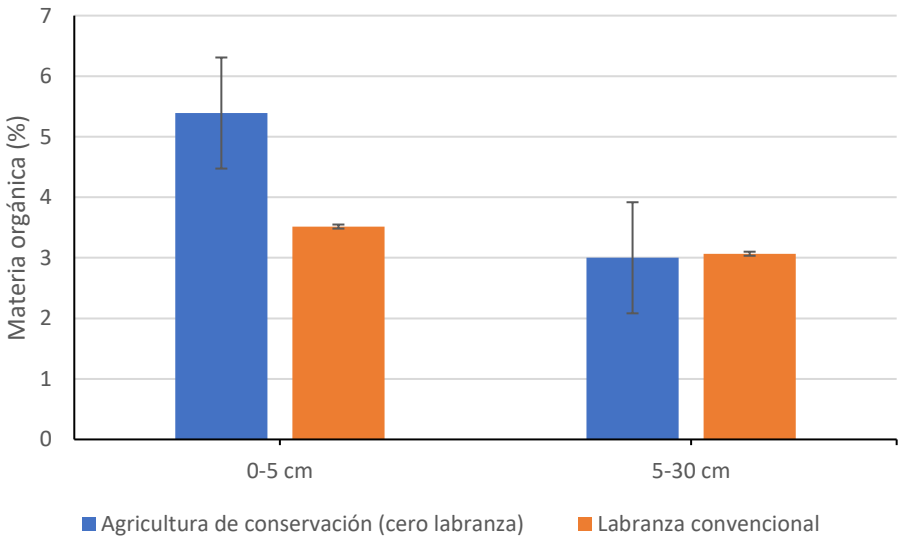

Figura 24. Contenido de materia orgánica en las capas de 0-5 y 5-30 cm en sistemas de labranza en la plataforma Francisco I. Madero, Hidalgo (Fonteyne et al., 2021).

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 25)

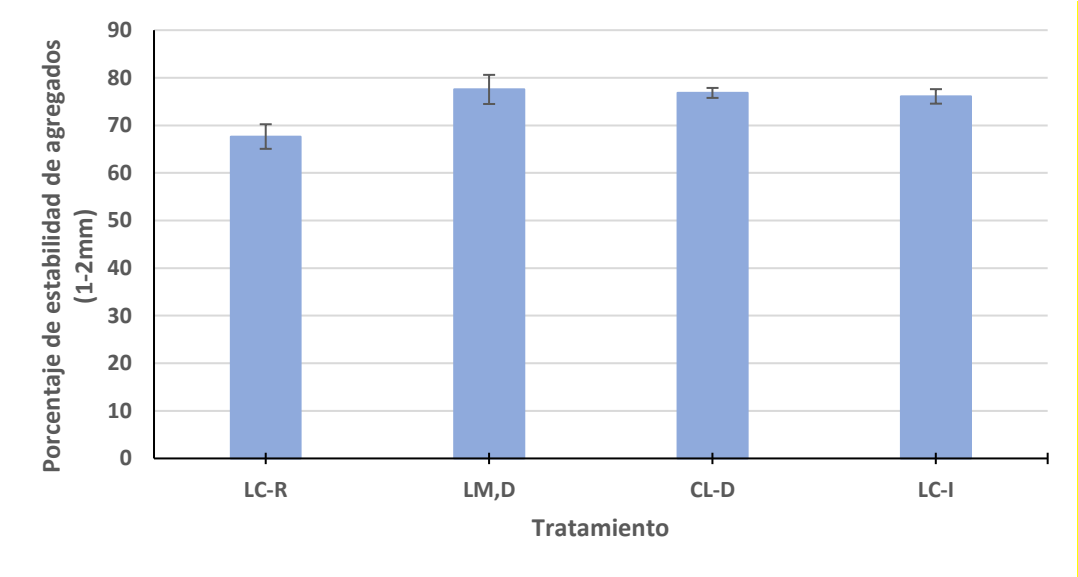

Figura 25. Estabilidad de agregados (1-2 mm) en sistemas de labranza en la plataforma Francisco I. Madero, Hidalgo. Donde LC: labranza convencional, LM: labranza mínima (striptill), CL: cero labranza, R: retirar el total del rastrojo de maíz después de la cosecha, D: dejar todos los residuos de la planta de maíz después de la cosecha, I: incorporar el rastrojo en el terreno. Datos generados por Fonteyne *et al*. (2021).

Mayor tasa de infiltración de agua en el suelo en cero labranza 0.025-0.020 cm/s y menor en labranza convencional 0.013 cm/s (Figura 26).

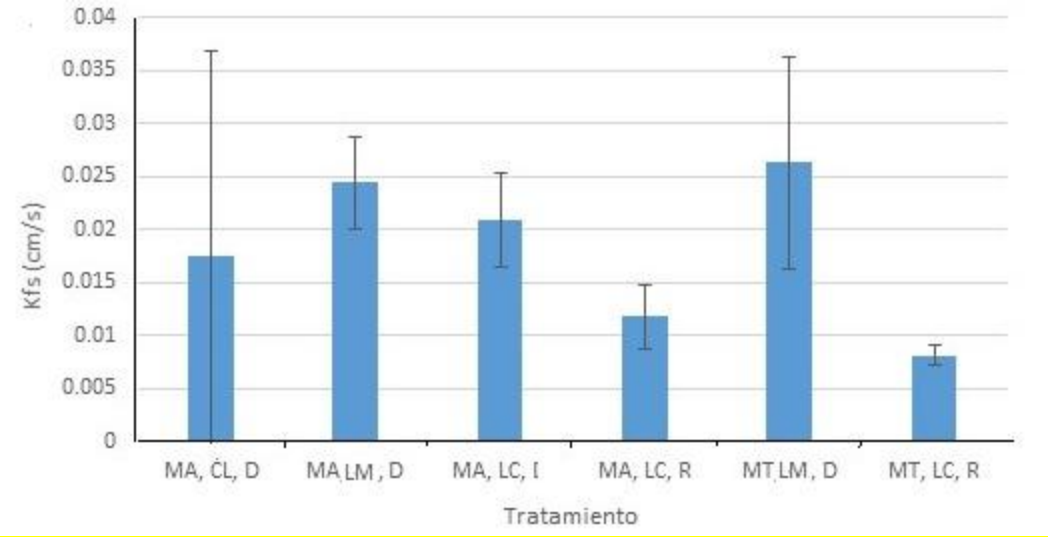

Figura 26. Tasa de infiltración en el suelo saturado en la plataforma de Francisco I Madero, Hidalgo. Donde MA: rotación maíz-avena, MT: rotación maíz-trigo, CL: cero labranza, LM: labranza mínima (Striptill) LC: labranza convencional, R: retirar el total del rastrojo de maíz después de la cosecha, D: 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).

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 cadmio oscilo entre 0,65 y 0,68 mg/kg, con agricultura convencional y agricultura de conservación, respectivamente (Figuras 27).

- El contenido de plomo oscilo entre 12 y 13 mg/kg, con agricultura convencional y agricultura de conservación, respectivamente (Figuras 28).

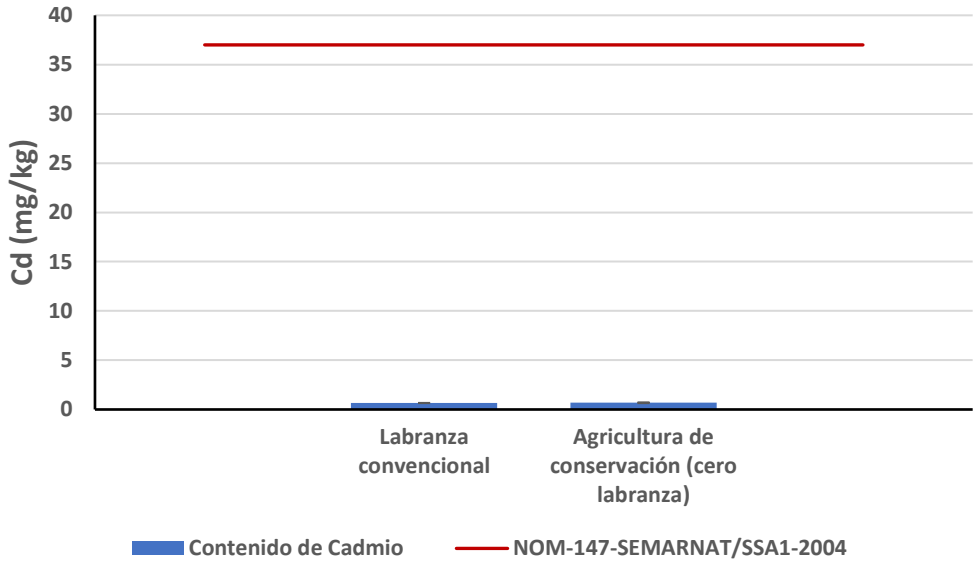

Figura 27. Contenido de cadmio en el suelo en sistemas de labranza en la plataforma Francisco I. Madero, Hidalgo.

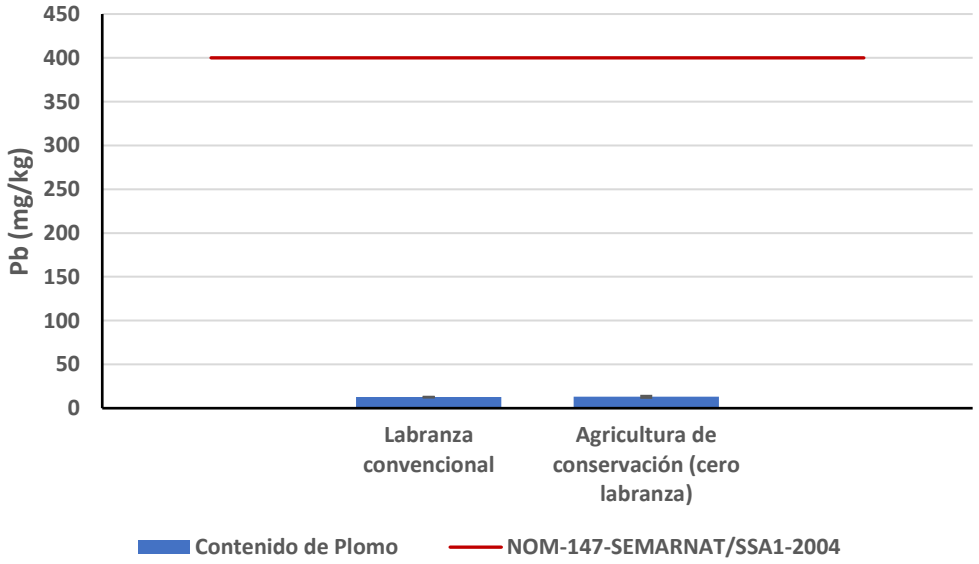

Figura 28. Contenido de plomo en el suelo en sistemas de labranza en la plataforma Francisco I. Madero, Hidalgo.

9. Poscosecha y calidad de grano

Plataforma Mixquiahuala, Hidalgo, PV 2017

Se observó mayor cantidad de tortilla con la variedad Berrendo, cuya relación grano/tortilla fue de 1:1,7 (Cuadro 1)

Cuadro 1. 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.