

Menú de tecnologías validadas – Trigo de riego en Sonora

Actualización agosto 2023

1. ¿Qué es un menú tecnológico?

El menú tecnológico es un resumen de todos los resultados de los trabajos de investigación relevante, con el objetivo de hacer ampliamente accesible la información de la investigación agronómica. De manera resumido, el menú alista los resultados de los trabajos de investigación, organizado bajo diferentes temáticas de la agronomía. El menú busca ofrecer opciones a productores y técnicos de las prácticas que en su zona pueden mejorar la producción, no se busca generar un paquete tecnológico o prescripción de prácticas que se deberían implementar. Los resultados alistados en el menú tecnológico provienen de los trabajos de CIMMYT y sus colaboradores en los hubs y se han generado en plataformas de investigación, módulos y otros experimentos.

2. Introducción

El estado de Sonora es la principal región de producción de trigo en el país. La producción de maíz se hace principalmente durante el ciclo otoño-invierno usando riego rodado con agua de presas. Es un sistema de altos rendimientos que depende de alto uso de insumos. En el estado los colaboradores del hub Pacífico Norte han instalado 3 plataformas de investigación: Cajeme I y II en la estación de CIMMYT en Ciudad Obregón y Navojoa en las instalaciones de INIFAP en Navojoa. Este menú de tecnologías validadas resume los resultados de la investigación en las plataformas de investigación de Sonora.

Tecnologías que no están incluidas en el menú tecnológico no han sido evaluadas de manera científica o práctica en el hub Pacífico Norte.

3. Preparación del terreno

Labranza reducida

Plataforma Cajeme II, Sonora, *OI2014-15 a 2022-23*.

La siembra en camas permanentes dio una reducción de costos de producción con \$850 MXN por hectárea e incremento de rendimiento de 0.7 t/ha.

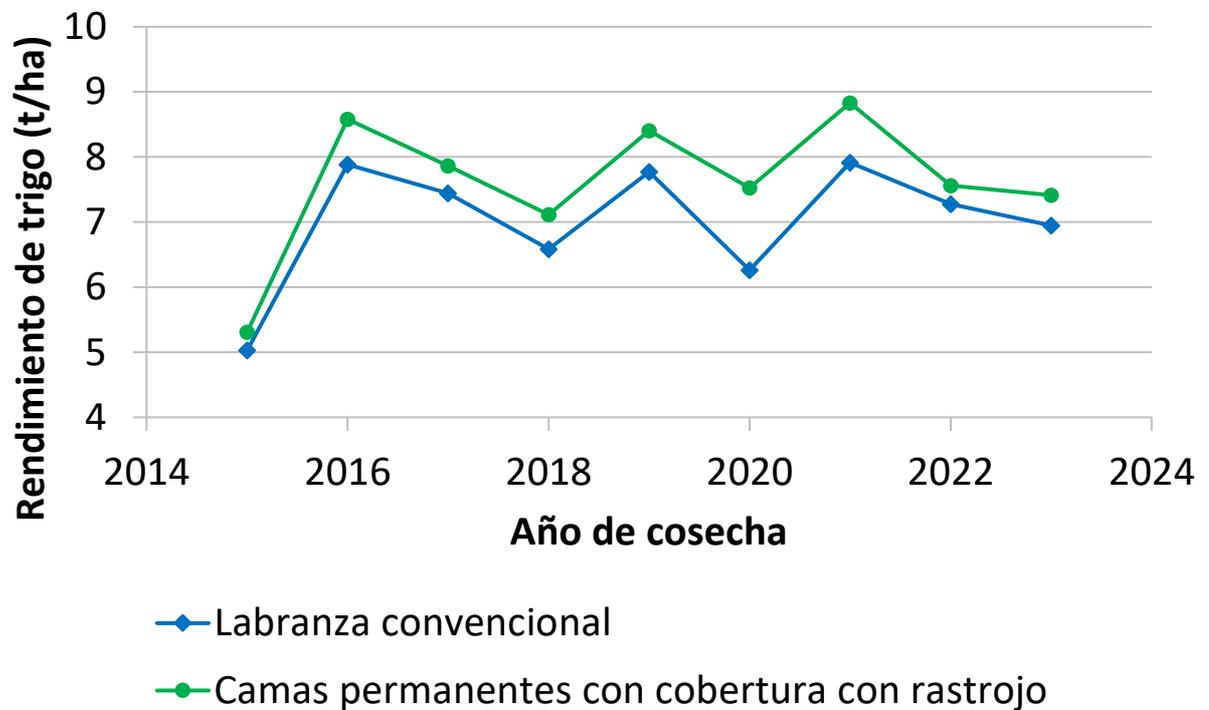


Figura 1: Rendimiento de trigo en monocultivo con labranza convencional y rastrojo incorporado y camas permanentes con rastrojo dejado como cobertura del suelo en la plataforma Cajeme II, Sonora. La escala del eje Y inicia en 4 t/ha para visualizar mejor las diferencias.

Plataforma Cajeme II, Sonora, OI2014-15 a 2020-21.

Con la práctica del productor —monocultivo, camas convencionales, incorporación de rastrojo— se tuvo una utilidad de \$25,285 MXN por hectárea mientras que la utilidad de sembrar trigo en camas permanentes con cobertura de rastrojo fue mayor debido al rendimiento obtenido, siendo de \$30,629 MXN por hectárea con tres hileras.

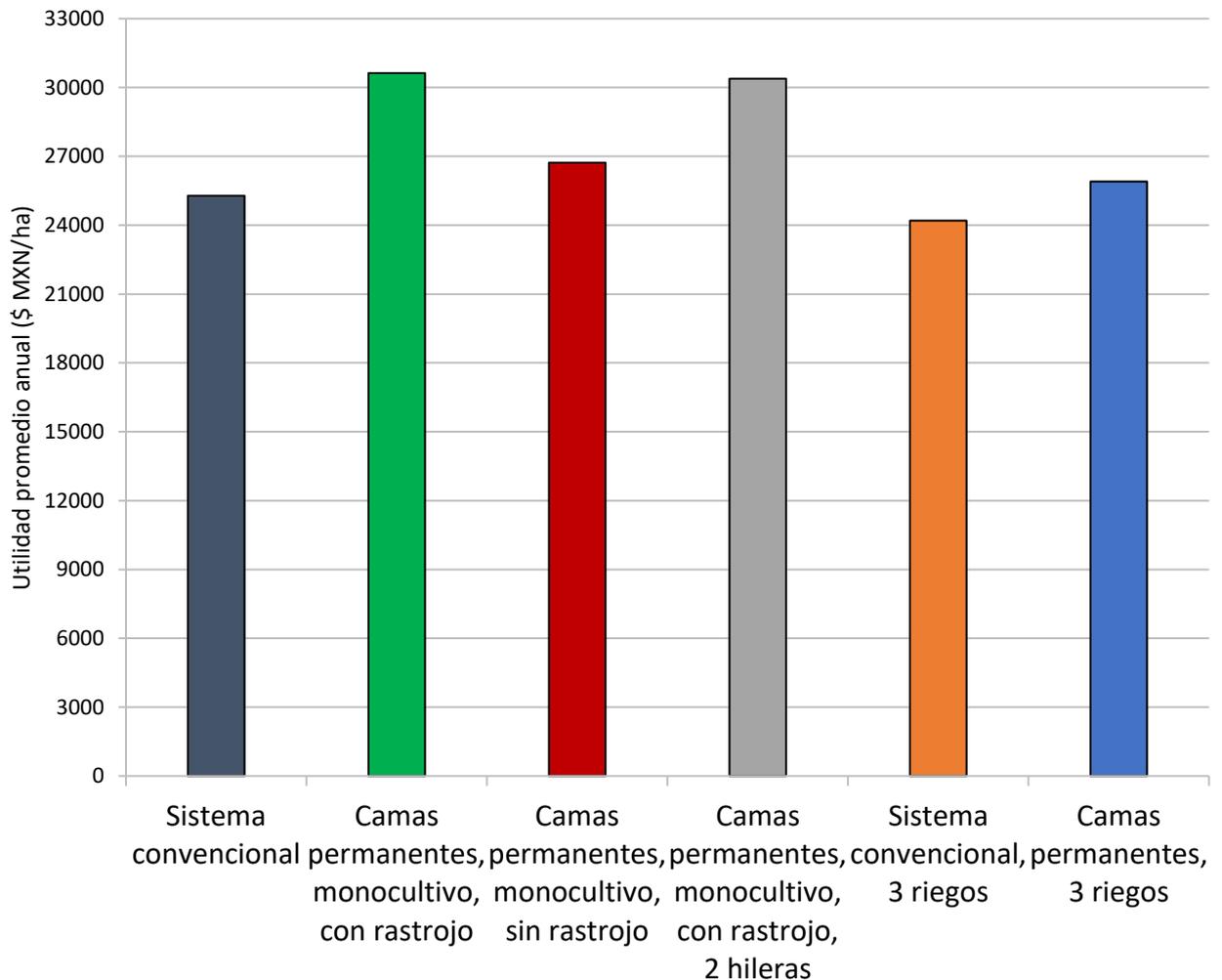


Figura 2: Utilidad promedio anual con base en el rendimiento promedio de 2018/19 hasta 2020/21 y costos de 2020/21 en la plataforma Cajeme II, Sonora.

Plataforma Navojoa, Sonora, OI2011-12 a 2018-19.

El rendimiento del trigo en monocultivo en camas permanentes fue mayor que con labranza convencional en todos los años, con excepción del ciclo otoño-invierno 2015/16. En promedio, el rendimiento del trigo en camas permanentes fue 0.3 t/ha mayor que con labranza convencional, con un rendimiento promedio de 6.4 t/ha con camas permanentes y 6.1 t/ha con labranza convencional. Además, en el ciclo otoño-invierno 2018/19 —el último ciclo del experimento— el costo del laboreo fue de \$3,153 MXN por hectárea, mientras que el costo de la reformación de camas fue de solo \$211 MXN por hectárea, entre 2011 y 2019 el ahorro por hectárea varió de \$2,150 a \$4,010 MXN por hectárea.

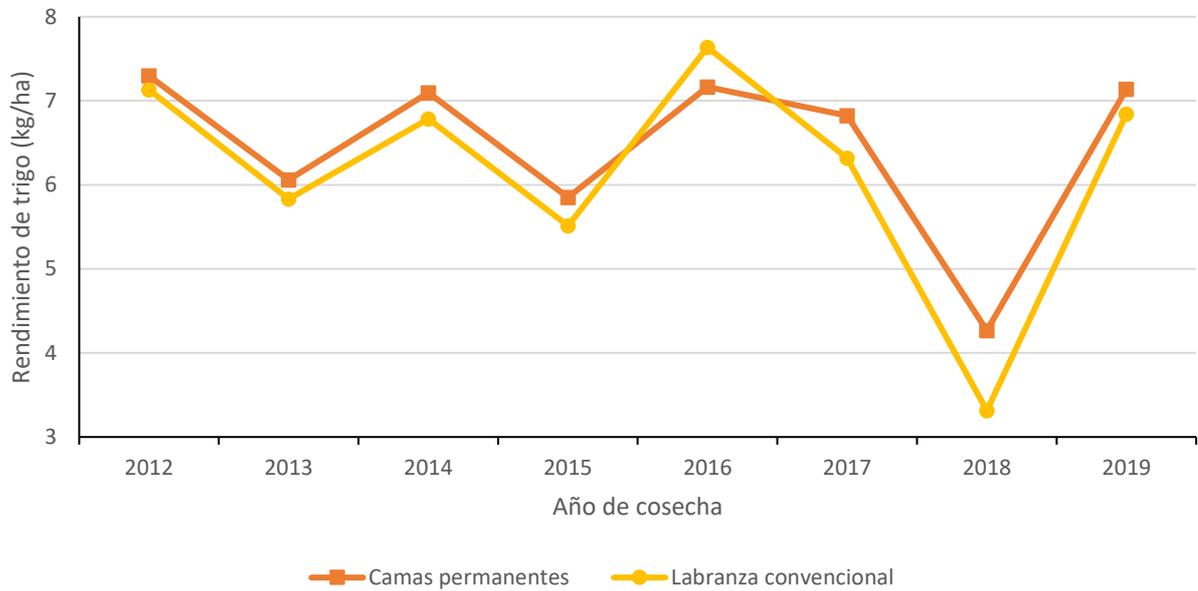


Figura 3: Rendimiento de trigo en monocultivo con labranza convencional y en camas permanentes, con un riego de presembrado y tres riegos de auxilio, y una fertilización de 230-52-00 NPK (nitrógeno, fósforo y potasio), plataforma de Navjoa, Sonora.

4. Siembra

Numero de hileras por cama

Plataforma Cajeme II, Sonora, OI2014-15 a 2022-23.

Las siembras en dos o tres hileras en camas permanentes tienen rendimientos similares.

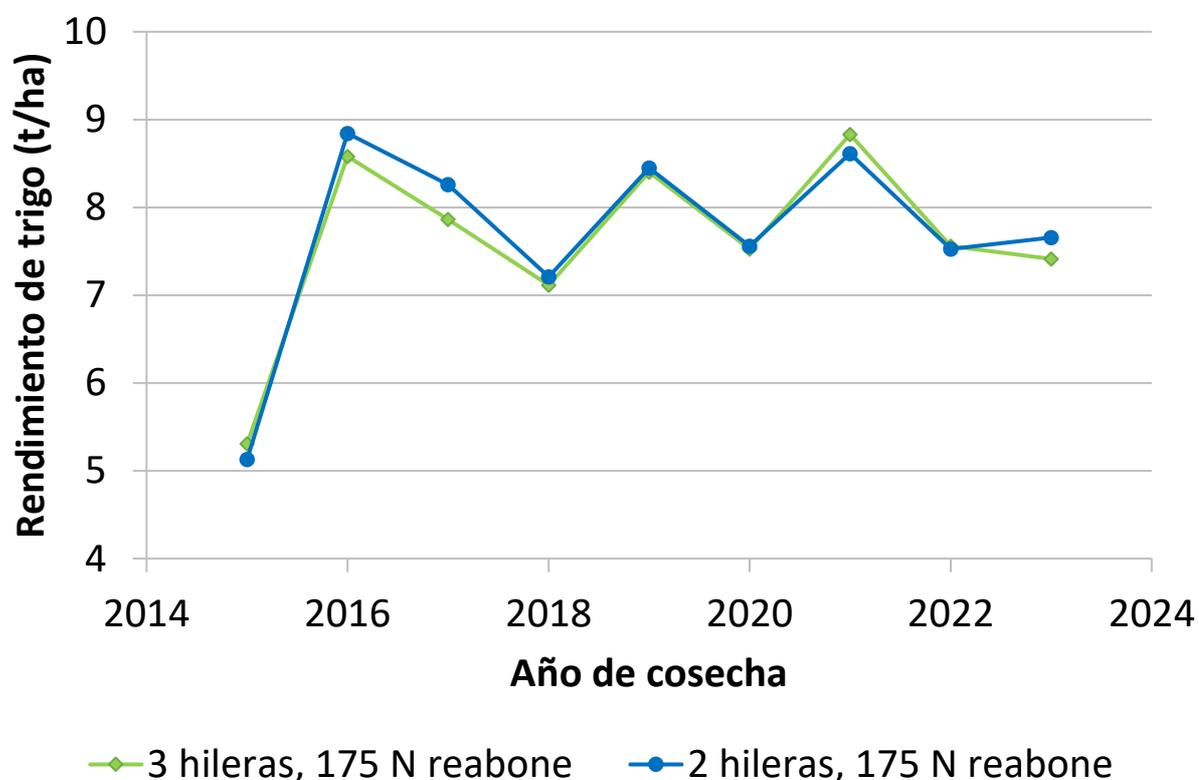


Figura 4: Rendimiento de trigo a través de los ciclos 2015 al 2023 en la plataforma Cajeme II, Sonora. Trigo en monocultivo en camas permanentes con cobertura de rastrojo sembrado en dos o tres hileras y con dosis de segunda fertilización convencional (175 kg de nitrógeno por hectárea).

Experimentos en CENEB, Ciudad Obregón, OI2015-16-OI2022-23

Con las variedades actuales de trigo, se obtienen rendimientos y contenidos de proteína similares con dos o tres hileras por cama, entonces los agricultores pueden elegir la opción práctica para ellos, sin repercusión en rendimiento o calidad.

Tabla 1: Rendimiento y contenido de proteína promedio de trigo sembrado en dos o tres hileras establecido durante los ciclos otoño-invierno (OI) 2015 a OI 2023 de trigo duro y OI 2016 a OI 2023 de trigo harinero, en Ciudad Obregón, Sonora.

		Rendimiento 2 hileras (t/ha)	Rendimiento 3 hileras (t/ha)	Proteína 2 hileras (%)	Proteína 3 hileras (%)
Trigo duro (OI 2014/15-OI 2022/23)	Cirno	7.2	7.1	11.4	11.3
	Sawali Oro	7.2	7.1	12.3	12.1
	Don Lupe C-2020	7.7	7.8	10.7	10.7
	Noroeste C-2021	7.7	7.9	11.1	11.0

Trigo harinero (OI 2015/16-OI 2022/23)	Quetchehueca Oro	7.1	7.0	11.5	11.4
	Baroyeca Oro	7.2	7.0	11.7	11.6
	Borlaug 100	7.3	7.2	12.3	12.1
	Onavas	6.5	6.4	11.9	11.7
	Roelfs	6.3	6.4	12.1	12.0
	Kronstad	6.1	5.8	13.1	13.0
	Ciano 2018	7.7	7.7	11.7	11.6
	Villa Juárez	6.3	6.2	11.4	11.5

5. Diversificación

Efecto de rotación en trigo

Plataforma Cajeme I, Sonora, OI2018-19 a 2022-23.

El rendimiento en monocultivo de trigo en promedio fue de 7.5 t/ha, incrementándose 1.3 t/ha al tener rotación anual con cártamo y/o garbanzo. Mientras que, el rendimiento fue superior al tener la rotación de tres años trigo-garbanzo-maíz descanso en verano con rendimiento promedio de 9.2 t/ha.

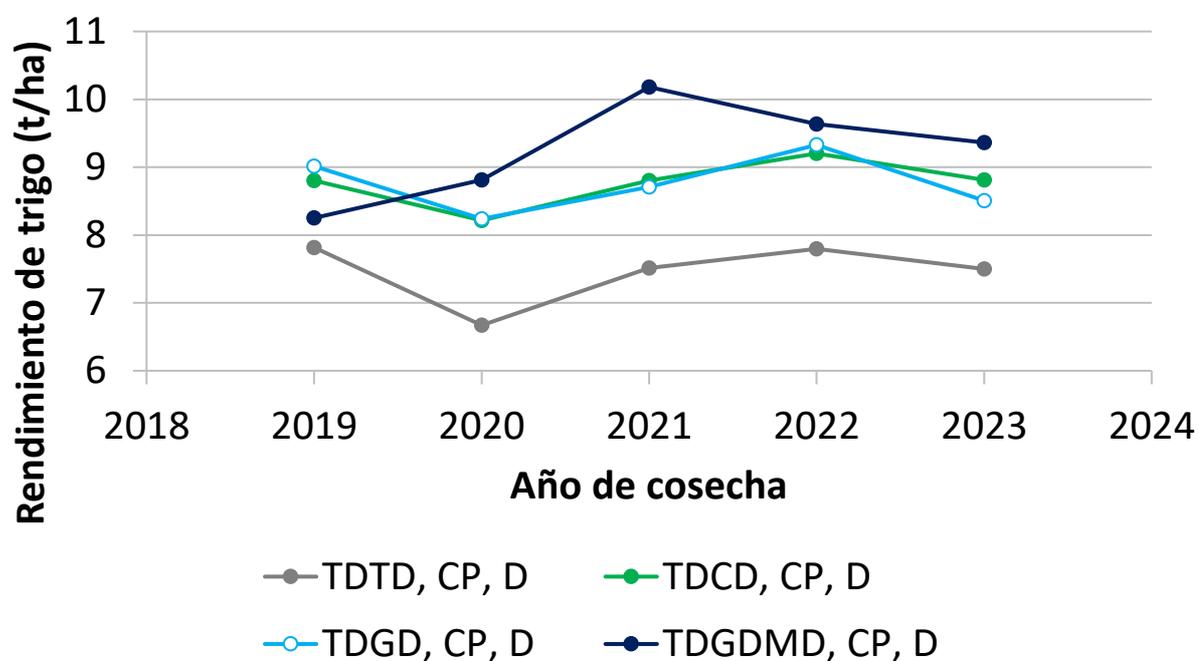


Figura 5: Rendimiento de trigo en camas permanentes en monocultivo o en rotación con cártamo y/o garbanzo, así como con rotación trigo-garbanzo-maíz a través de los ciclos 2019 al 2023 en la plataforma Cajeme I, Sonora. La escala del eje Y inicia en 6 t/ha para visualizar mejor las diferencias.

Plataforma Cajeme II, Sonora, OI2014-15 a 2022-23.

Los rendimientos de trigo más elevados fueron los sembrados después de cártamo; la rentabilidad fue mayor con rotación con dos años de trigo que con rotación anual, debido a la baja rentabilidad de cártamo.

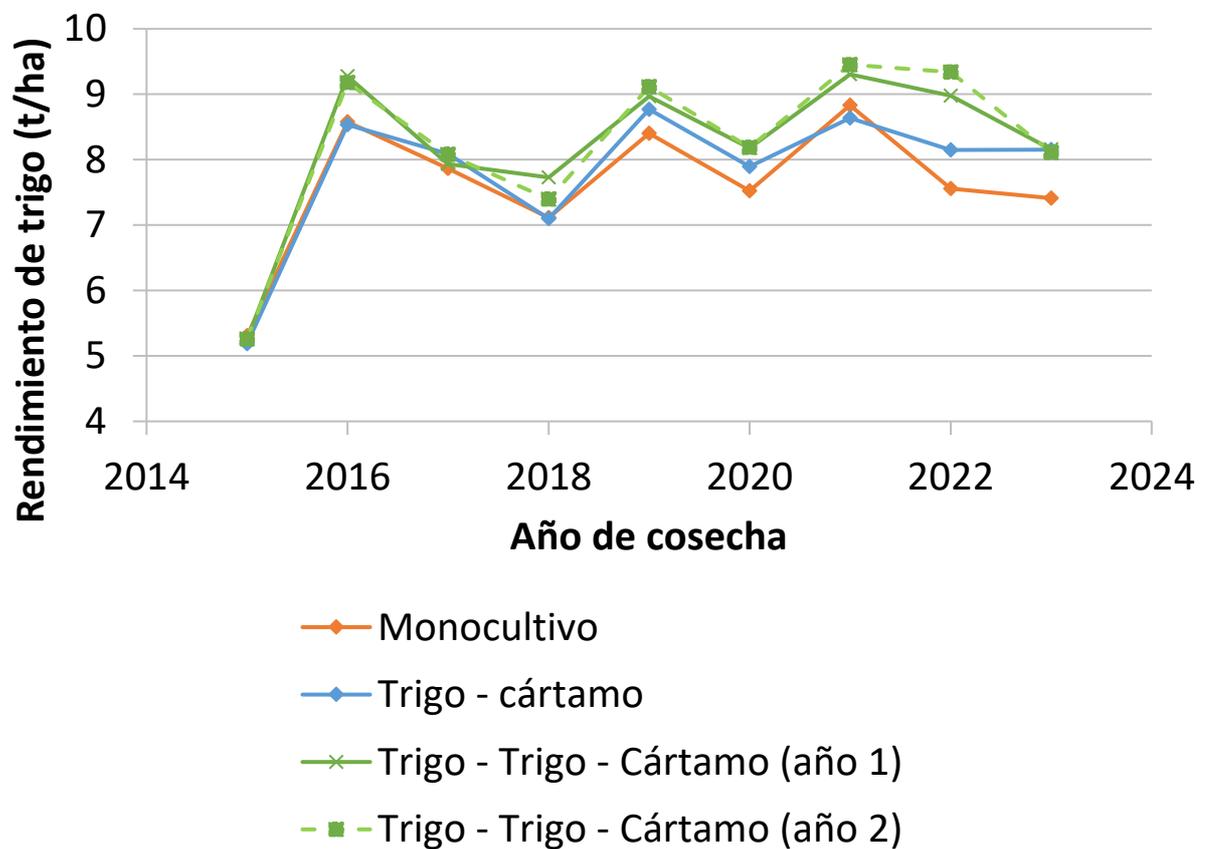


Figura 6: Rendimiento de trigo en camas permanentes en monocultivo o en rotación con cártamo a través de los ciclos 2015 al 2023 en la plataforma Cajeme II, Sonora. La escala del eje Y inicia en 4 t/ha para visualizar mejor las diferencias.

Plataforma Cajeme II, Sonora, OI2014-15 a 2020-21.

Los tratamientos de rotación con cártamo tuvieron utilidad positiva, aunque menor que la utilidad del trigo en monocultivo ya que el rendimiento del cártamo es bajo. La utilidad del cártamo fue de \$13,808 MXN por hectárea en la rotación trigo-cártamo y \$16,847 MXN por hectárea en la rotación trigo-trigo-cártamo. En ambos casos, esto es casi la mitad de la utilidad del trigo.

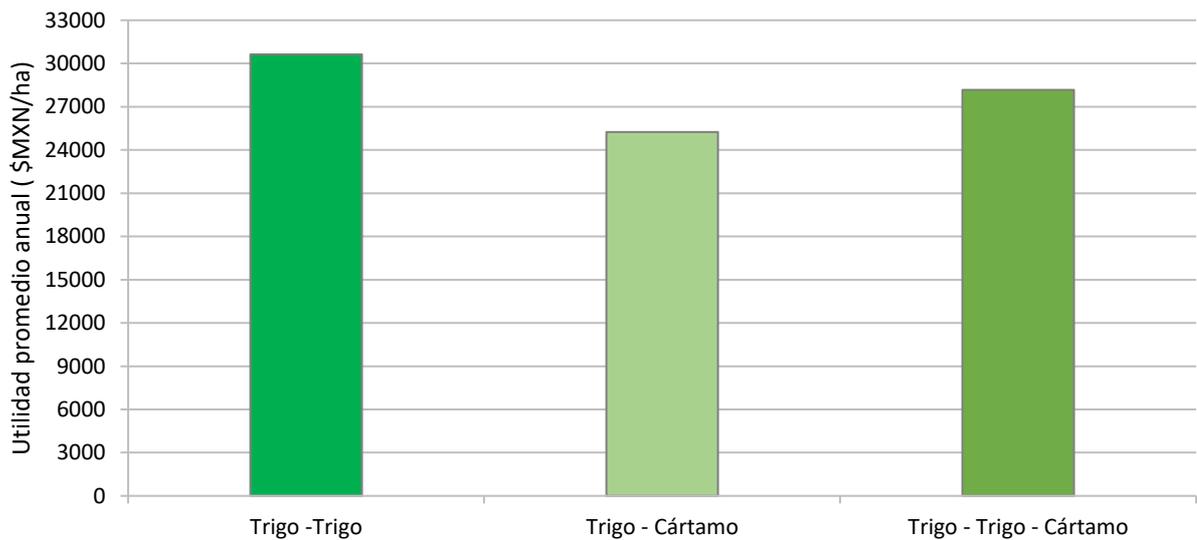


Figura 7: Utilidad promedio anual de trigo en camas permanentes con relación a la rotación de cultivos y con base en el rendimiento promedio de 2018/19 hasta 2020/21 y los costos de 2020/21 en la plataforma Cajeme II, Sonora.

Plataforma Navojoa, Sonora, OI2011-12 a 2018-19.

En el cultivo de trigo no hubo un efecto de la rotación en los primeros tres años, sin embargo, desde el cuarto año, la rotación trigo-cártamo presentó los mejores rendimientos y fue en promedio 0.6 t/ha mayor en rotación con cártamo que en el tratamiento donde se cultiva trigo cada año.

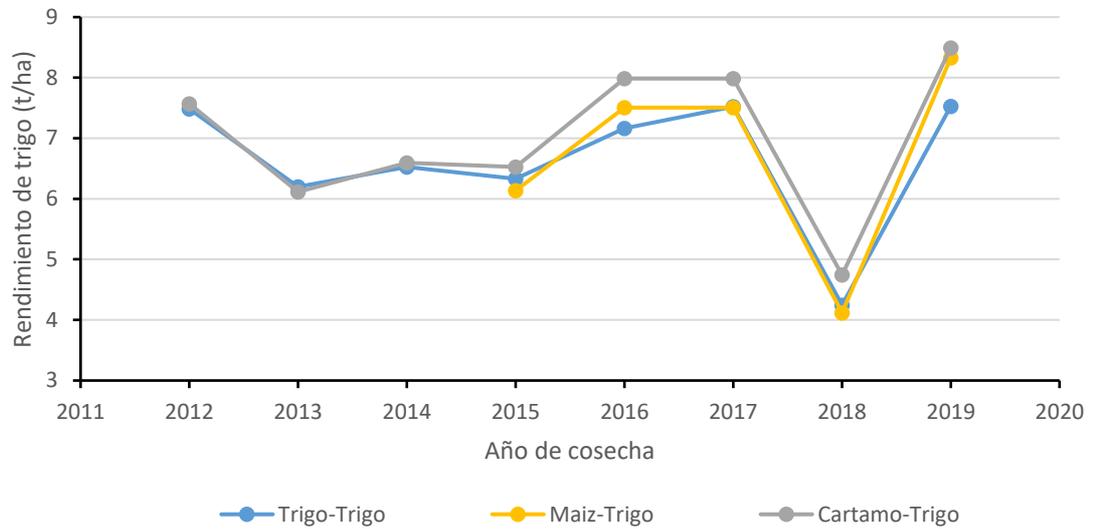


Figura 8: Rendimiento de trigo en camas permanentes, con el cultivo anterior de trigo (azul), cártamo (gris), y maíz (amarillo), plataforma de Navojoa, Sonora. La escala del eje Y inicia en 3 t/ha para visualizar mejor las diferencias.

Efecto de rotación en cártamo

Plataforma Cajeme II, Sonora, OI2014-15 a 2022-23.

Existe una ligera tendencia a un mayor rendimiento del cártamo cuando es sembrado después de dos ciclos de trigo en comparación con la rotación anual. La rentabilidad es similar con la rotación trigo-trigo-cártamo que con la práctica convencional (trigo en monocultivo).

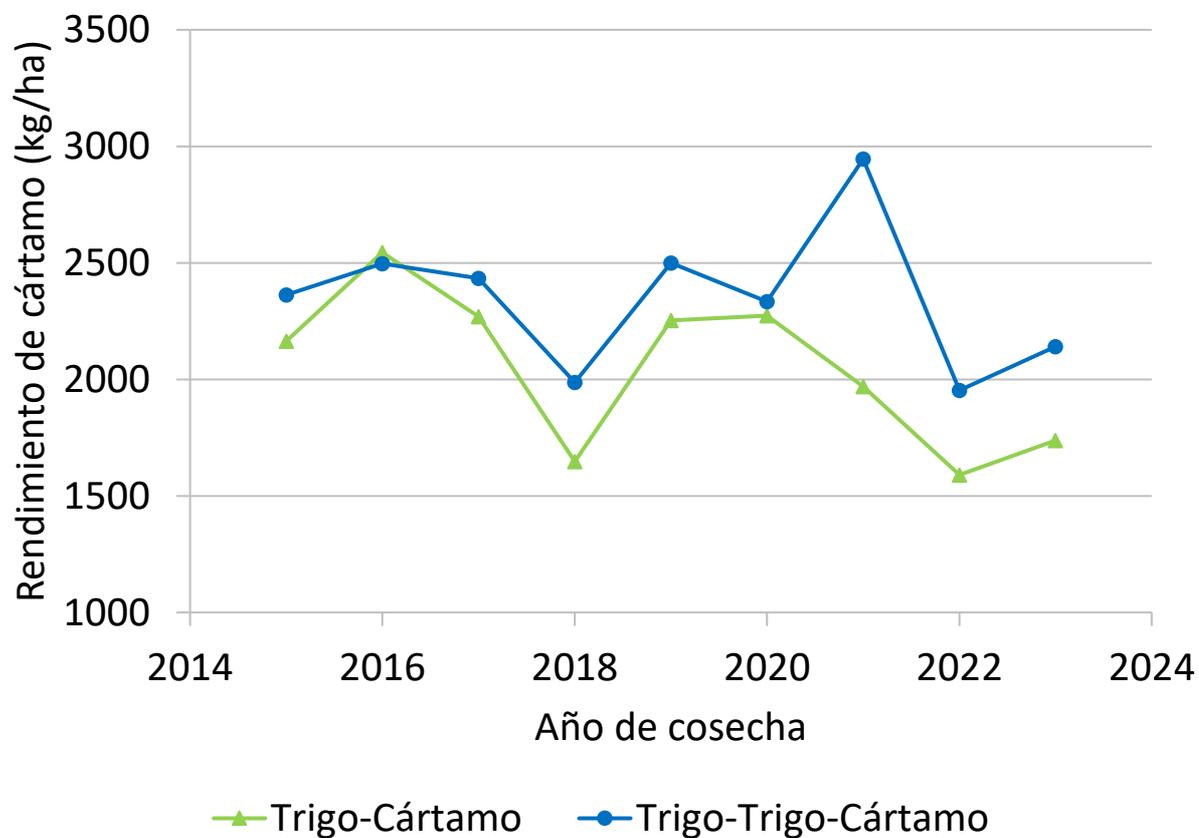


Figura 9: Rendimiento de cártamo en monocultivo o en rotación con trigo a través de los ciclos 2015 al 2023 en la plataforma Cajeme II, Sonora.

Plataforma Navojoa, Sonora, OI2011-12 a 2018-19.

El cártamo fue el cultivo más afectado por el monocultivo en camas permanentes, desde el primer año obtuvo un rendimiento mayor en rotación de 1.1 t/ha o 71% mayor en rotación que en monocultivo. En promedio en los últimos ocho años el rendimiento de cártamo fue de 0.7 t/ha o 34% mayor en rotación que en monocultivo. Para el caso del rendimiento de cártamo en monocultivo este fue de 1.4 t/ha, mientras que el rendimiento de cártamo en rotación fue 2.2 t/ha.

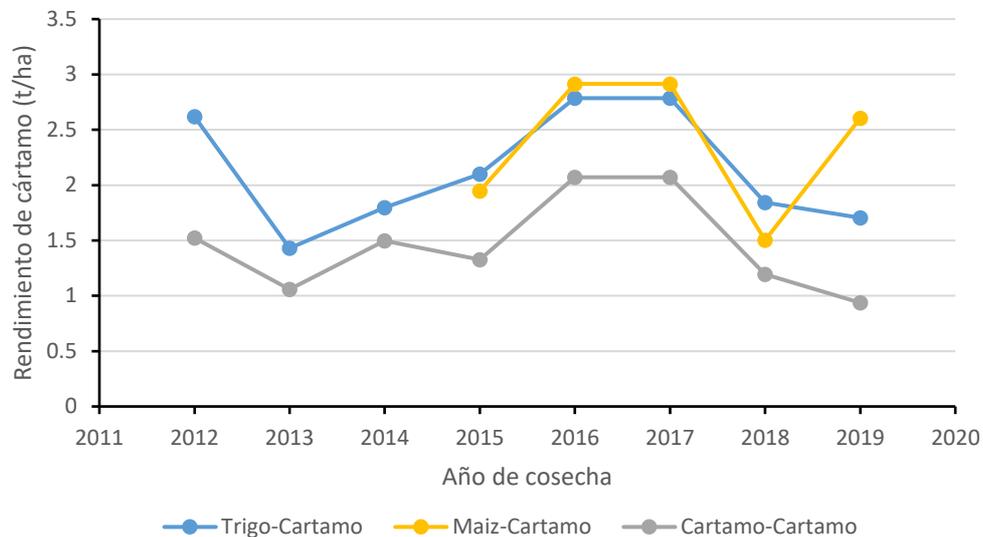


Figura 10: Rendimientos de cártamo en camas permanentes, con el cultivo anterior de trigo (azul), cártamo (gris), y maíz (amarillo), plataforma de Navojoa, Sonora.

Efecto de rotación en maíz

Plataforma Navojoa, Sonora, OI2014-15 a 2018-19.

En el caso del maíz, la rotación se evaluó desde el ciclo otoño-invierno 2014/15. El rendimiento de maíz fue en promedio mayor después de trigo con 10.4 t/ha, mientras que el rendimiento de maíz después de haber cultivado cártamo no fue mayor que el rendimiento de maíz en monocultivo, con 8.7 y 8.8 t/ha de rendimiento promedio, respectivamente.

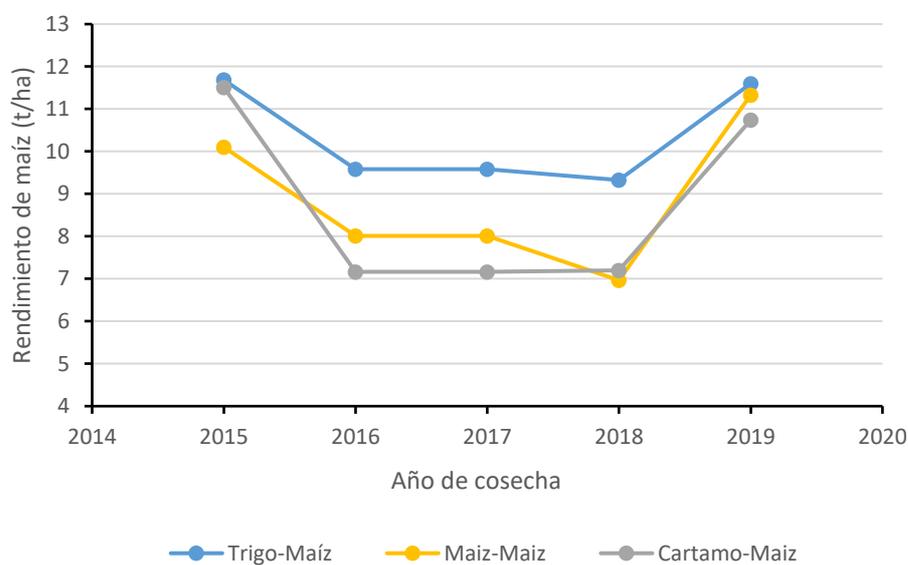


Figura 11: Rendimientos de maíz en camas permanentes, con el cultivo anterior de trigo (azul), cártamo (gris) y maíz (amarillo), plataforma de Navojoa, Sonora.

6. Manejo de residuos

Residuos como cobertura en camas permanentes

Plataforma Cajeme I, Sonora, OI2006-07 a 2022-23.

Los rendimientos de camas permanentes con retención total o parcial de rastrojo tienen mayor valor (promedio de 7.4 t/ha) que cuando el rastrojo es quemado o incorporado con la labranza, esto lo vemos en rotación con cultivo de maíz en verano.

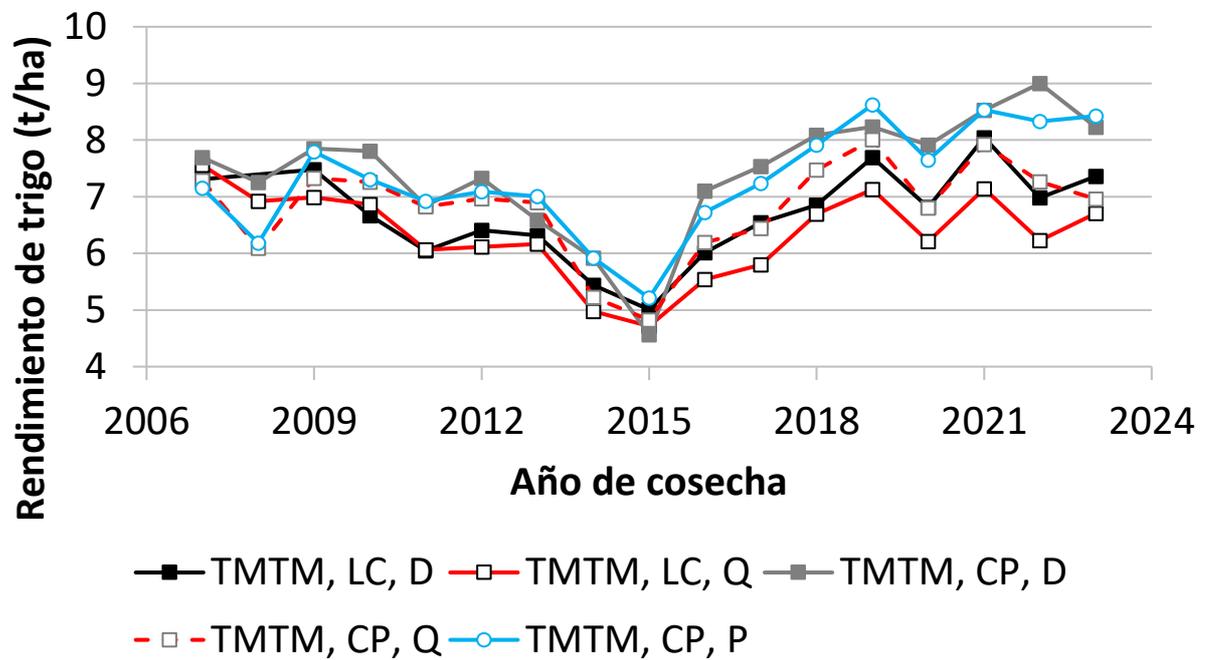


Figura 12: Rendimiento de trigo en rotación con maíz, residuos incorporados, dejados y quemados tanto en camas con labranza convencional como en camas permanentes en la plataforma Cajeme I, Sonora.

Plataforma Cajeme II, Sonora, OI2014-15 a 2022-23.

La siembra en camas permanentes con cobertura con rastrojo tiene un mayor rendimiento que camas permanentes sin cobertura, con una diferencia promedio de 0.3 t/ha.

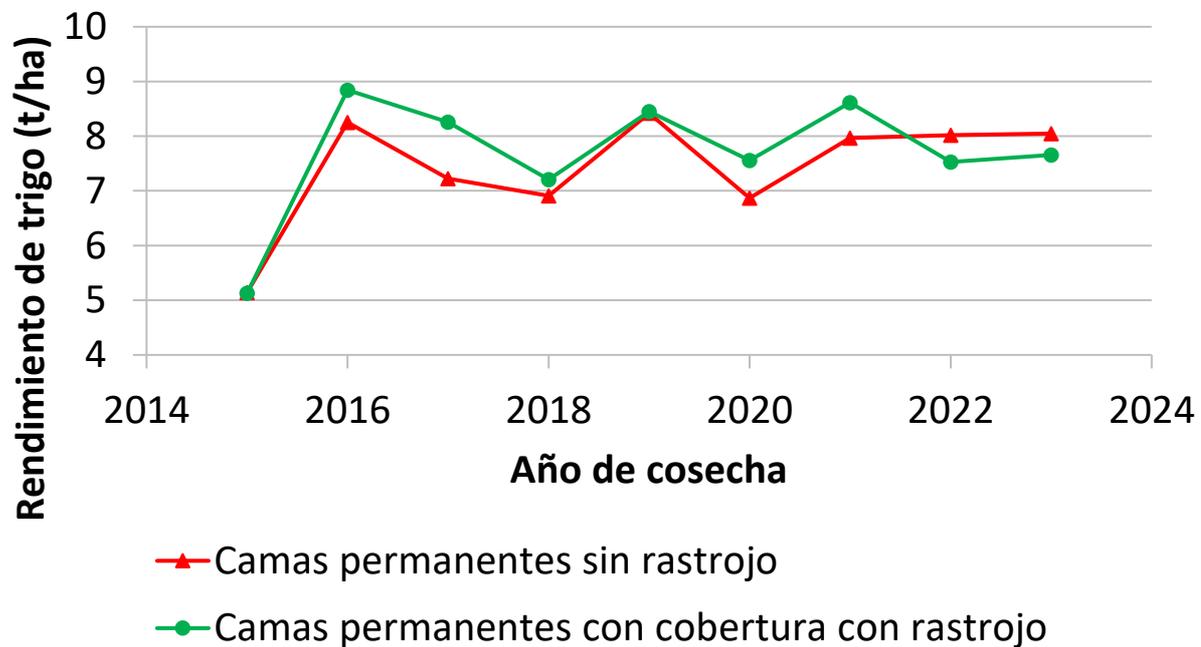


Figura 13: Rendimiento de trigo en camas permanentes con rastrojo removido y camas permanentes con rastrojo dejado como cobertura del suelo en la plataforma Cajeme II, Sonora.

7. Agricultura de conservación

Comparación de agricultura de conservación con agricultura convencional

Plataforma Cajeme II, Sonora, OI2014-15 a 2020-21.

La agricultura de conservación (combinación de rotación trigo-cártamo, camas permanentes, dejar todos los residuos) rindió en promedio 1.3 t/ha más que el sistema convencional (monocultivo de trigo, camas con labranza convencional, remover residuos).

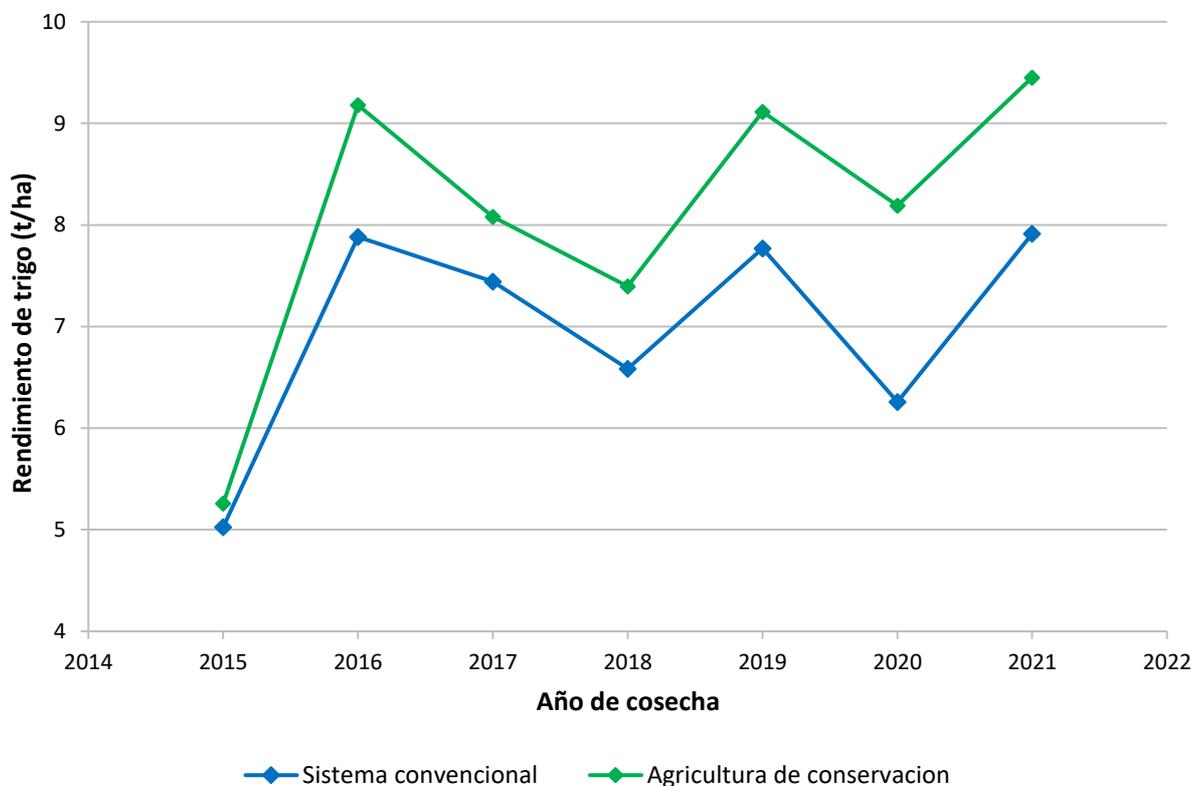


Figura 14: Comparación de rendimiento de trigo en el sistema convencional contra Agricultura de Conservación a través de los ciclos 2015 al 2021 en la plataforma Cajeme II, Sonora. La escala del eje Y inicia en 4 t/ha para visualizar mejor las diferencias.

Plataforma Navojoa, Sonora, OI2011-12 a 2018-19.

La Agricultura de Conservación es un sistema de producción sustentable basado en tres componentes: la mínima labranza, la cobertura permanente del suelo y la diversificación de cultivos. En la plataforma de Navojoa estos tres componentes se implementaron con camas permanentes, cobertura permanente del suelo usando el rastrojo del cultivo anterior y con la rotación trigo-cártamo. Comparando la Agricultura de Conservación con el sistema convencional de labranza —incorporar el rastrojo y monocultivo de trigo— se obtuvo un rendimiento promedio de 6.2 t/ha de trigo en el sistema convencional y un rendimiento promedio de 7.0 t/ha de trigo bajo Agricultura de Conservación, lo que representa un incremento promedio de 0.8 t/ha.

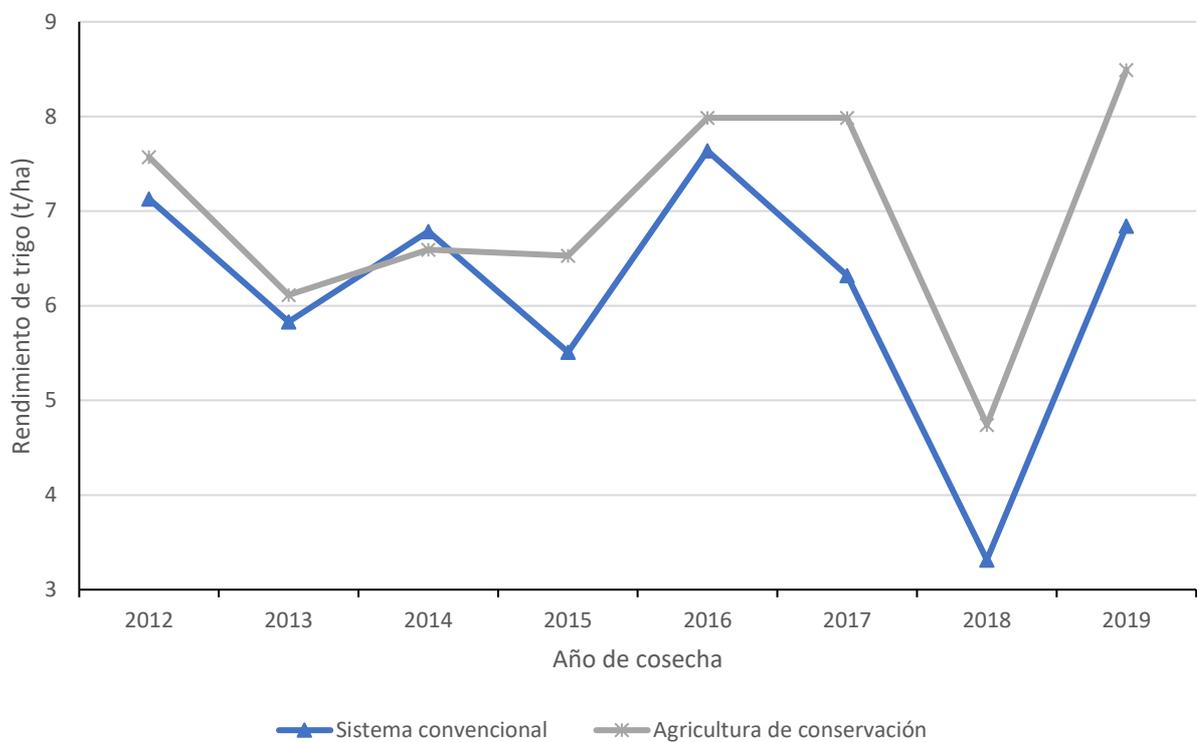


Figura 15: Rendimiento de trigo en el sistema convencional (en camas con labranza convencional con monocultivo), en camas permanentes con monocultivo de trigo y en Agricultura de Conservación (rotación con cártamo, camas permanentes, cobertura con rastrojo) del ciclo otoño-invierno 2011/12 al OI 2018/19, en la plataforma Navojoa, Sonora.

8. Fertilización

Fertilización enterado

En un ensayo de cuatro años en el CENEB la aplicación de 120 kilogramos de nitrógeno por hectárea (kg N/ha) al voleo bajó el rendimiento de 5.3 toneladas por hectárea (t/ha) a 3 t/ha en camas permanentes y de 5.4 t/ha a 2.8 t/ha en camas con labranza convencional, en comparación con aplicación dividida en banda. Por esto, la recomendación es enterrar el fertilizante: en presiembra se puede enterrar con un disco cortador en la parte superior de la cama y la segunda fertilización se puede enterrar en el fondo de los surcos. Así también se evita el contacto entre el rastrojo y el fertilizante, lo que reduce la inmovilización del nitrógeno. La única excepción a esta regla es aplicación de nutrientes en agua de riego por goteo, donde va directo a la zona radicular.

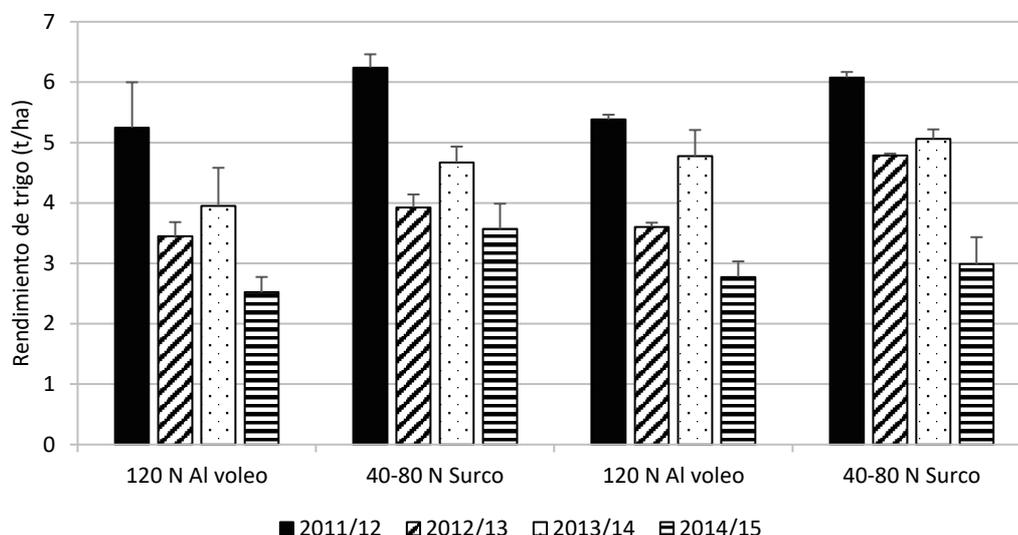


Figura 16: Rendimiento de trigo del ensayo realizado en el CENEB durante los ciclos otoño-invierno 2011/12 al 2014/15. Abreviaciones: 120 N=120 kg de nitrógeno (N)/ha como urea aplicada en presiembra; 40-80 N=40 kg N/ha como urea aplicada en presiembra más 80 kg N/ha como urea aplicada antes del primer riego de auxilio; Al voleo=distribución uniforme del fertilizante sobre el total de la superficie de forma manual; Surco=distribución de fertilizante enterrado en cama o surco según el momento de aplicación.

Uso de composta como fertilizante

Experimento en CENEB, Ciudad Obregón, ciclo otoño-invierno 2016/17 – 2020/21

Se observó que es posible reemplazar parte de la primera aplicación de nitrógeno con composta de origen bovino, pero es mejor usar también una parte de fertilizante inorgánico —marcado en la gráfica como ‘Ambos’— porque esto permite asegurar que los nutrientes estén disponibles cuando el cultivo los necesita —la composta es de liberación más lenta que el fertilizante inorgánico—. En este caso, se usaron cinco toneladas de composta por hectárea, lo que equivale a aproximadamente 50 kg N/ha. Es posible aplicar la composta en la superficie en banda encima de la cama cuando el fertilizante inorgánico se incorpora con un disco cortador para asegurar que no haya contacto entre el fertilizante inorgánico y la composta —marcado en la gráfica como ‘Sup’—. Esto porque el contacto entre ambos puede resultar en una inmovilización del nitrógeno, ya que los microorganismos pueden usar el nitrógeno de la urea para la mineralización de la materia orgánica en la composta.

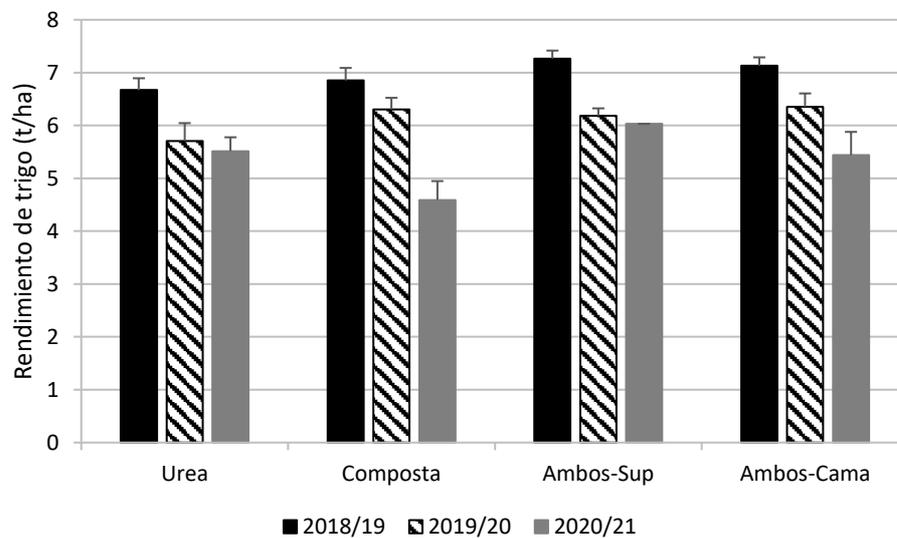


Figura 17: Rendimiento de trigo del ensayo con diferentes fuentes de nitrógeno en la aplicación de presiembra, realizado en el CENEB durante los ciclos otoño-invierno 2018/19 al 2020/21. Abreviaciones: Urea=aplicación de N como urea equivalente a 10 t/ha de composta; Composta=aplicación de 10 t/ha de composta; Ambos=aplicación de 5 t/ha de composta y urea para completar dosis de N equivalente a 10 t/ha de composta; Sup=composta aplicada en banda en la superficie; Cama=composta aplicada con disco en el centro de la cama.

Relación entre fertilización y manejo de residuos

Experimentos en CENEB, Ciudad Obregón, ciclo otoño-invierno 2010/11 y 2011/12.

Los mejores rendimientos y calidad de grano se obtuvieron en camas permanentes con remoción parcial de residuos en un ensayo a largo plazo con rotación trigo en invierno y maíz en verano diferentes manejos de residuos y labranza. Para obtener la mayor calidad de grano en camas permanentes se recomienda aplicar la fertilización en primer nudo.

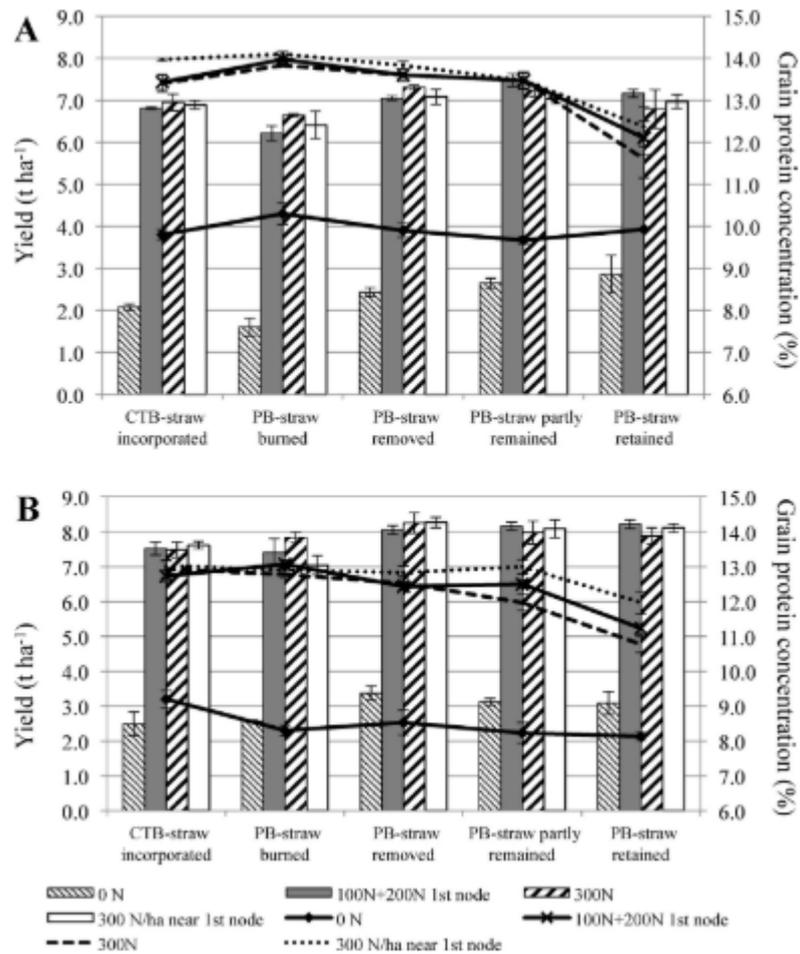


Figura 18: Durum wheat yields (t ha⁻¹, bars) and grain protein concentration (%), lines) for 300 kg N ha⁻¹ (A) in 2010/11 and (B) in 2011/12 for different tillage-straw systems and timing of N application. Bars indicate standard error.

Fraccionamiento de nitrógeno en camas permanentes y convencionales

N fertilizer management in furrow-irrigated wheat cropping systems should combine splitting the N dose and disking it on the bed pre-planting and in the furrow later in the season, depending on the crop needs at the application time.

9. Manejo de malezas

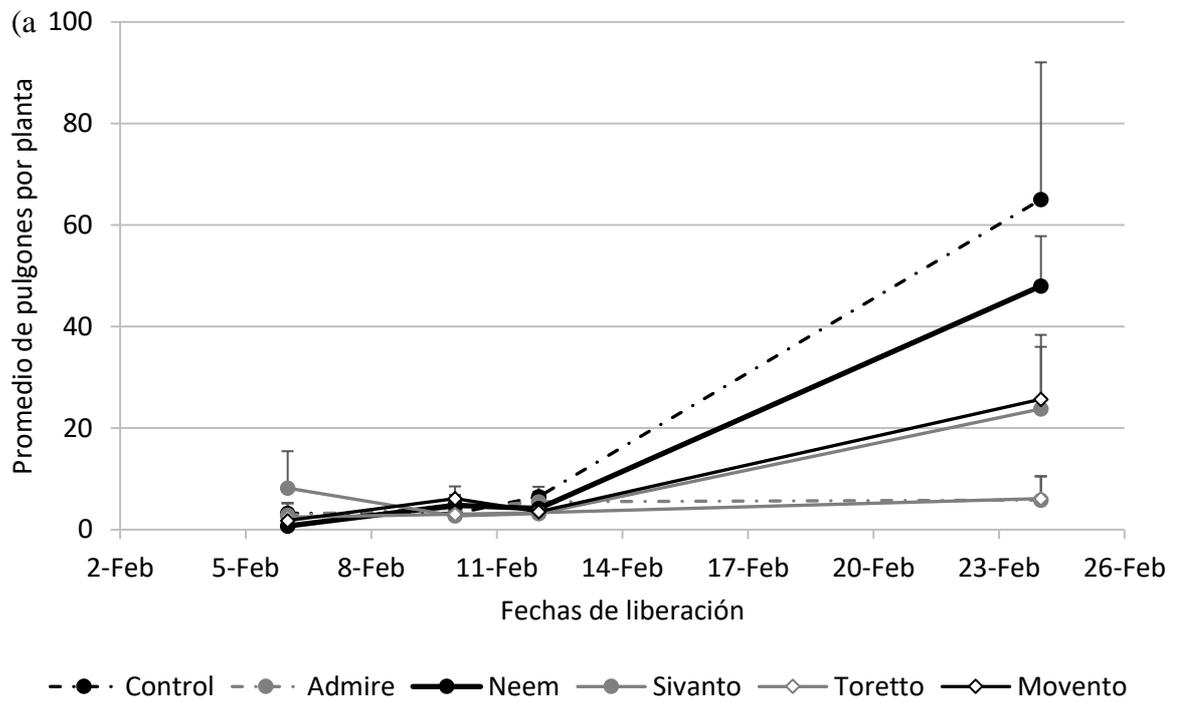
Se puede hacer un manejo de malezas con control mecánico mediante el uso de implementos como "pata de gallo", es decir, si el banco de semillas de maleza y/o voluntarios germinaron en verano (si no hubo sequía), es importante realizar una reformación en los surcos después de la siembra para llevar a cabo un control. También se han observado problemas con alpiste resistente cuando se realiza la siembra en seco año tras año, por lo cual es recomendable sembrar sobre humedad cada dos o tres años.

10. Manejo de plagas

Control de pulgón con productos de bajo impacto

Experimentos en CENEB, Ciudad Obregón, OI19-20 y 20-21

Se evaluaron productos de bajo impacto para el control de pulgón. Sulfoxaflor (Toretto) dio un control similar a Imidacloprid (Admire), por lo que es un producto recomendable. Los otros productos de bajo impacto no fueron tan efectivos, aunque mejor que el control sin aplicar.



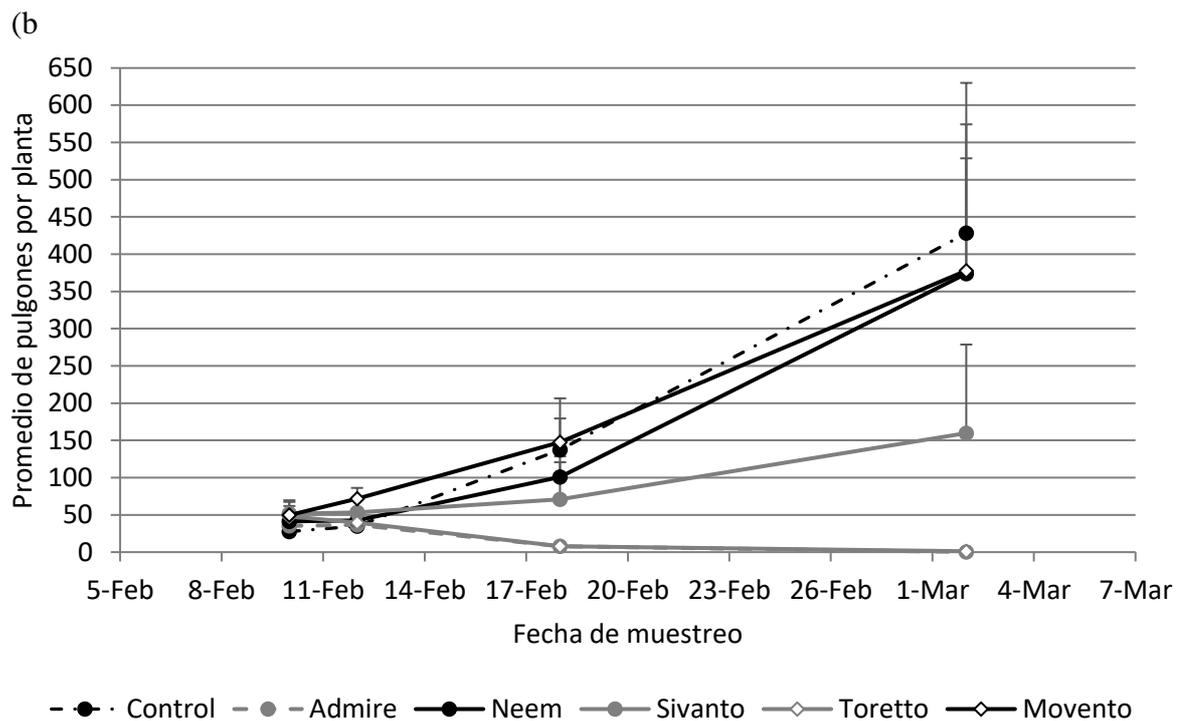


Figura 20: Efecto de los productos sobre la incidencia promedio de pulgones por planta en el ciclo otoño-invierno 2019/20 (a) y ciclo otoño-invierno 2020/21 (b). La línea roja representa el día de aplicación de productos indicados en los tratamientos. CENEB, Cd. Obregón, Sonora.

11. Manejo de enfermedades

Hasta la fecha el hub no ha llevado a cabo investigación sobre enfermedades de maíz en Sinaloa.

12. Uso eficiente de agua

Efecto de riego reducido

Plataforma Cajeme II, Sonora, OI2013-14 a 2022-23.

El cuarto riego de auxilio aumenta el rendimiento del trigo en 1.0 t/ha en camas permanentes (con rastreo en la superficie y en monocultivo) y 0.3 t/ha en labranza convencional.

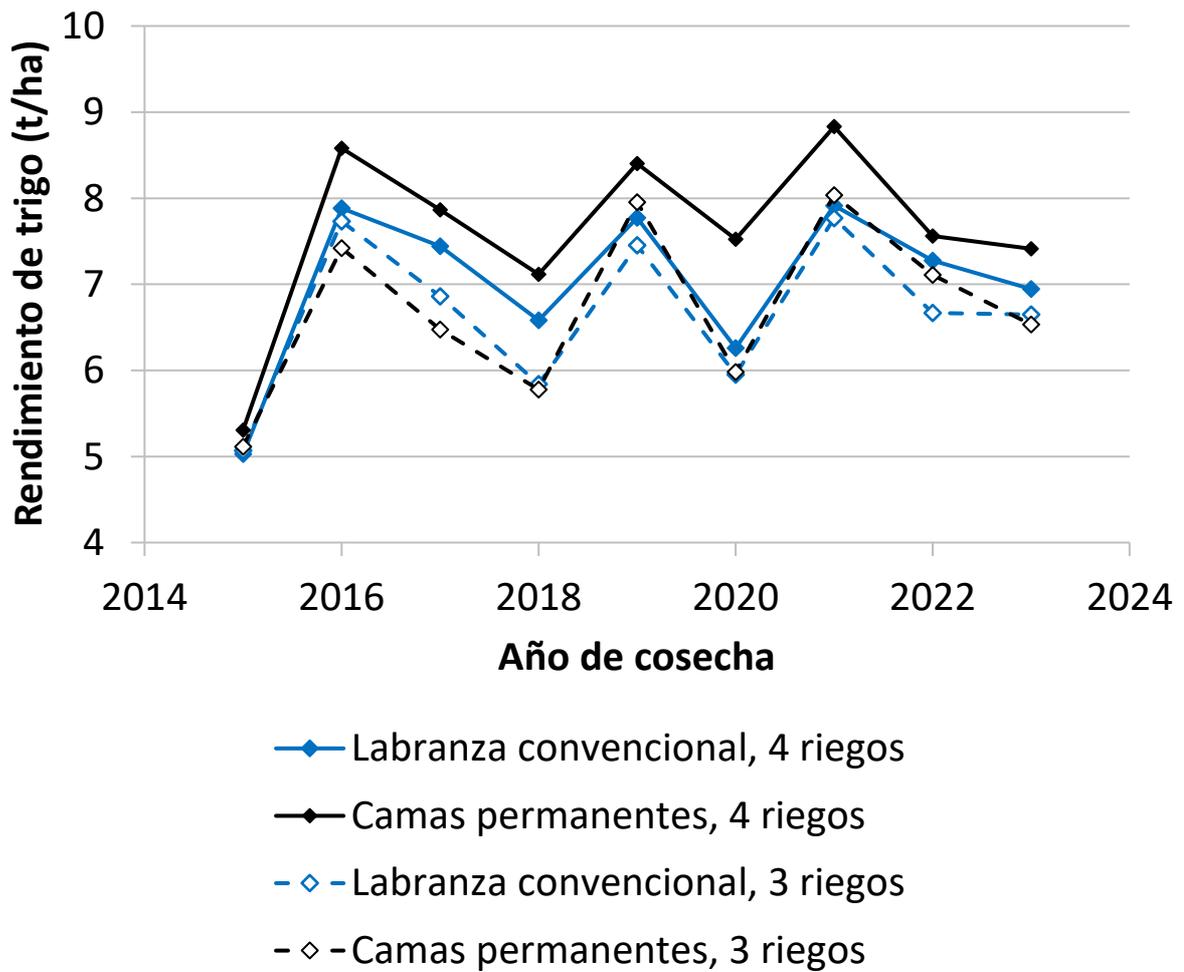


Figura 21: Rendimiento de trigo a través de los ciclos 2015 al 2023 en la plataforma Cajeme II, Sonora. Trigo en monocultivo con labranza convencional o en camas permanentes con cobertura de rastreo con tres o cuatro riegos de auxilio.

Plataforma Navojoa, Sonora, OI2011-12 a 2018-19.

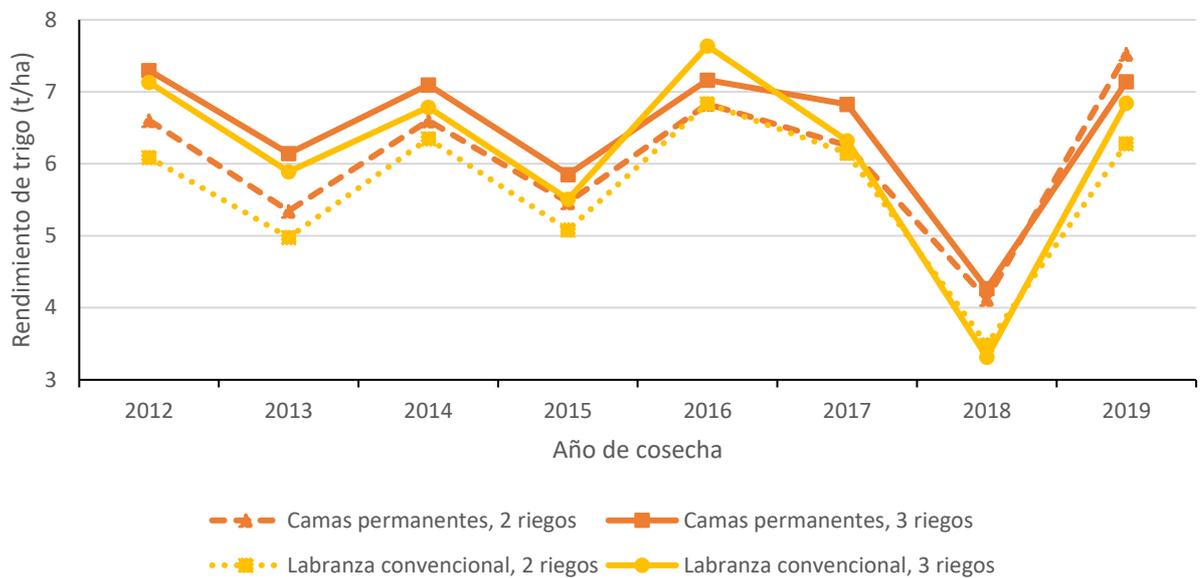


Figura 22: Rendimiento de trigo en monocultivo en labranza convencional y en camas permanentes, con un riego antes de la siembra y dos o tres riegos de auxilio en la plataforma de Navojoa, Sonora.

13. Cosecha y poscosecha

Hasta la fecha el hub no ha llevado a cabo investigación sobre mejorar la cosecha o poscosecha en trigo en Sonora.

14. Salud del suelo

Efecto de manejo de residuos y fertilización sobre contenido de carbono orgánico.

Experimentos en CENEB, Ciudad Obregón, ciclo otoño-invierno 1992/93- 2019/20.

La siembra de trigo en invierno y maíz en verano en camas permanentes con retención de residuos de cosecha aumento el contenido de carbono orgánica del suelo en comparación con labranza convencional con incorporación de residuos.

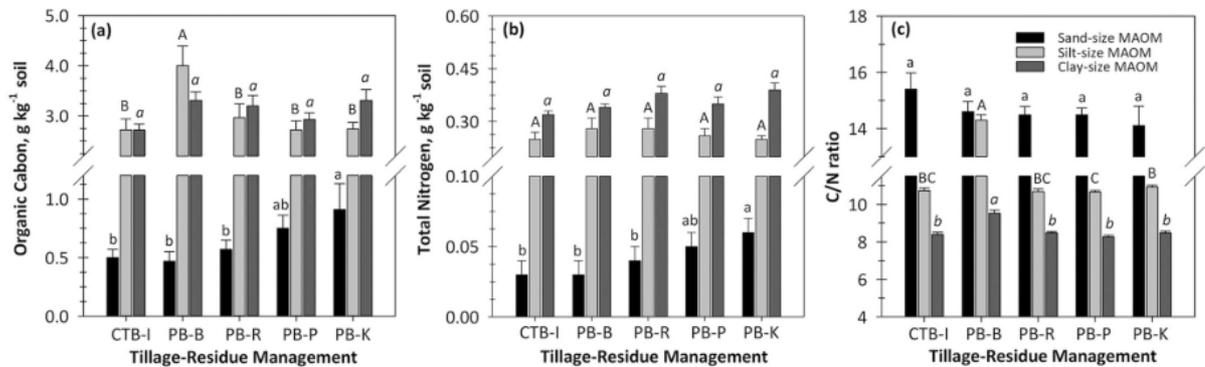


Fig. 2. Effect of tillage-residue management (CTB-I, PB-B, PB-R, PB-P and PB-K) on (a) organic carbon (OC), (b) total nitrogen (TN) concentrations (g kg^{-1} soil) and (c) the C/N ratio of sand-, silt- and clay-size MAOM. CTB-I: conventionally tilled raised beds with all crop residues incorporated; PB-B: permanent raised beds with all crop residues burned; PB-R: permanent raised beds with residue removed; PB-P: permanent raised beds with crop residues partly retained; and PB-K: permanent raised beds with crop residues fully retained. Values with different letters a - b, A - C and a - b were significantly different ($p < 0.05$) for sand-, silt- and clay-size MAOM, respectively. Vertical bars indicate the \pm standard error (SE) ($n = 9$).

En el mismo experimento, los tratamientos con mayor fertilización de nitrógeno tuvieron mayores contenidos de carbono orgánica en el suelo.

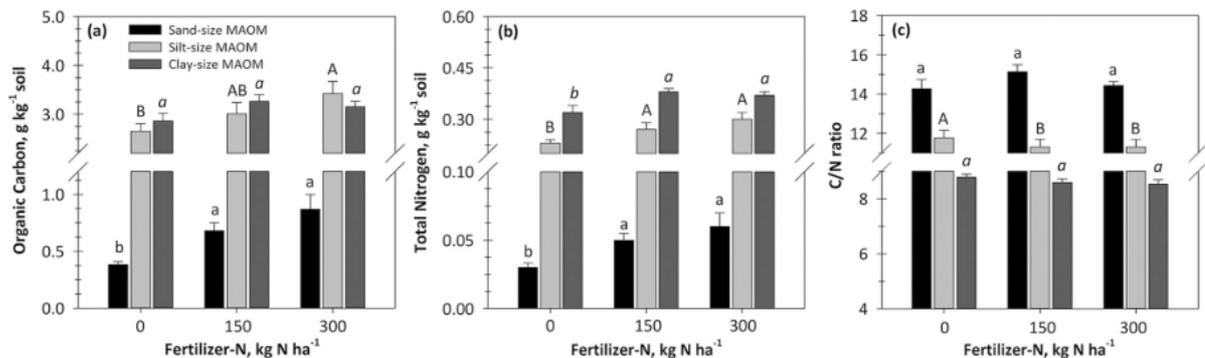


Fig. 3. Effect of fertilizer-N rate (0, 150 and 300 kg N ha^{-1}) on (a) organic carbon (OC), (b) total nitrogen (TN) concentrations (g kg^{-1} soil) and (c) the C/N ratio of sand-, silt- and clay-size MAOM. Values with different letters a - b, A - B and a - b were significantly different ($p < 0.05$) for sand-, silt- and clay-size MAOM, respectively. Vertical bars indicate the \pm standard error (SE) ($n = 15$).

15. Bibliografía

Fonteyne, S., Domínguez, O., García, A.R., Velasco, J.L., Verhulst, N., 2022. Avances en Agricultura Sustentable: Resultados de plataformas de investigación Hub Pacífico Norte 2010-2021. CIMMYT, Mexico.

Grahmann, K., Verhulst, N., Peña, R.J., Buerkert, A., Vargas-Rojas, L., Govaerts, B., 2014. Durum wheat (*Triticum durum* L.) quality and yield as affected by tillage-straw management and nitrogen fertilization practice under furrow-irrigated conditions. *F. Crop. Res.* 164, 166–177. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.05.002>

- Grahmann, K., Govaerts, B., Fonteyne, S., Guzmán, C., Soto, A.P.G., Buerkert, A., Verhulst, N., 2016. Nitrogen fertilizer placement and timing affects bread wheat (*Triticum aestivum*) quality and yield in an irrigated bed planting system. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 106, 185–199. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9798-6>
- Romero, C.M., Hao, X., Hazendonk, P., Schwinghamer, T., Chantigny, M., Fonteyne, S., Verhulst, N., 2021. Tillage-residues affect mineral-associated organic matter on Vertisols in northern Mexico. *Geoderma Reg.* 27, e00430. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00430>