



ROTACIÓN DE TRIGO, MAÍZ Y CÁRTAMO EN LABRANZA DE CONSERVACIÓN vs. LABRANZA TRADICIONAL

WHEAT, MAIZE AND SAFFLOWER ROTATION IN CONSERVATION TILLAGE vs. TRADITIONAL TILLAGE

Alberto Borbón-Gracia¹, Gabriel A. Lugo-García¹, Álvaro Reyes-Olivas¹, Víctor Valenzuela-Herrera² y Carlos P. Saucedo-Acosta^{1*}

¹Universidad Autónoma de Sinaloa, Colegio de Ciencias Agropecuarias, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de Culiacán, Culiacán, Sinaloa, México.

*Autor de correspondencia (sucedap@uas.edu.mx)

RESUMEN

La rentabilidad de los granos básicos requiere mejorar en el noroeste de México; una opción para lograrlo es reducir el laboreo mecánico y el empleo de la rotación de cultivos, pero es necesario evaluar el rendimiento y la relación costo-beneficio en labranza de conservación (LC) y en rotación de cultivos. El objetivo del presente estudio fue evaluar la LC con rotación entre trigo (*Triticum durum* Desf.), maíz (*Zea mays* L.) y cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), comparada con el sistema de labranza tradicional (LT) durante los ciclos otoño-invierno 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, en el sur de Sonora, México. Se utilizó la variedad de trigo CIRNO C2008, el híbrido de maíz Garañón y la variedad de cártamo CIANO-OL. La siembra del trigo fue a doble hilera, con una densidad de 100 kg ha⁻¹ de semilla, el maíz y cártamo a hilera sencilla con 100,000 y 170,000 semillas ha⁻¹, respectivamente. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial, los tratamientos fueron los cultivos trigo, maíz y cártamo con y sin rotación entre sí en LC, y sin rotación en LT. La parcela experimental constó de ocho surcos de 0.8 m de ancho por 100 m de largo. Se midió altura de planta, días a floración, días a madurez fisiológica, peso de 1000 granos y rendimiento de grano. El rendimiento de trigo/cártamo en LC (7255 kg ha⁻¹) fue superior a trigo/trigo en LT ($P \leq 0.05$). El rendimiento de maíz/maíz en LT y maíz/trigo en LC fue estadísticamente igual ($P \leq 0.05$), pero maíz/trigo en LC mostró mayor relación beneficio-costo. Cártamo/trigo en LC, con 2763 kg ha⁻¹, fue estadísticamente superior ($P \leq 0.05$) a cártamo/cártamo en LT. Los rendimientos de trigo, maíz y cártamo en LC fueron favorecidos por la rotación de cultivos, lo cual mejora la relación beneficio-costo y la utilidad.

Palabras clave: *Carthamus tinctorius*, *Triticum durum*, *Zea mays*, rentabilidad.

SUMMARY

Profitability of staple grains requires improvement in Northwest Mexico; one option to achieve this is to reduce mechanical tillage and the use of crop rotation, but it is necessary to evaluate the yield and the cost-benefit ratio in conservation tillage (CT) and crop rotation. The objective of this study was to evaluate the CT with rotation between wheat (*Triticum durum* Desf.), maize (*Zea mays* L.) and safflower (*Carthamus tinctorius* L.) compared to the traditional tillage system (TT), during the 2014-2015, 2015-2016 and 2016-2017 Autumn-Winter cycles, in Southern Sonora, Mexico. CIRNO C2008 wheat variety, Garañón corn hybrid, and CIANO-OL safflower variety were used. Wheat planting was in double-row with a density of 100 kg ha⁻¹ of seed, maize and safflower in single-row with 100,000 and 170,000 seeds ha⁻¹, respectively. Plant height, days to flowering and physiological maturity, the weight of 1000 grains, and grain yield were measured in all crops. A completely randomized

experimental design with factorial arrangement was used, the treatments were wheat, corn and safflower crops with and without rotation with each other in CT and without rotation in TT. The experimental plot consisted of eight rows 0.8 m wide and 100 m long. Plant height, days to flowering, days to physiological maturity, weight of 1000 grains and grain yield were measured. Yield of wheat/safflower in CT (7255 kg ha⁻¹) was higher than wheat/wheat in TT ($P \leq 0.05$). The yield of maize/maize in TT and maize/wheat in CT was statistically equal ($P \leq 0.05$), but maize/wheat in CT showed a higher benefit-cost ratio. Safflower/wheat in CT, with 2763 kg ha⁻¹, was statistically higher ($P \leq 0.05$) than safflower/safflower in TT. Wheat, maize and safflower yields in CT were favored by crop rotation, which improves profit-cost ratio and gain.

Index words: *Carthamus tinctorius*, *Triticum durum*, *Zea mays*, profitability.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) y el trigo (*Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* Desf.) son los cereales más producidos en el mundo. El maíz y el trigo ocupan el primer y el sexto lugar de importancia económica en México (FAOSTAT, 2016). En México, durante el año 2019 la superficie establecida fue de 7.16 millones de hectáreas con maíz y 598 mil de trigo, con una producción media respectiva para cada cultivo de 27.2 y 3.2 millones de t. El estado de Sonora es el principal productor de trigo y cártamo en México, durante 2019 aportó alrededor del 55 y 56 % del volumen total de trigo y cártamo, respectivamente (SIAP, 2020).

El monocultivo de trigo ocupa la mayor superficie de siembra en el sur de Sonora, pese a los riesgos que implica esta práctica. El monocultivo causa invasión de malas hierbas, desarrollo de enfermedades fungosas y multiplicación de plagas del suelo, además de cambios adversos de las propiedades físicas y químicas del suelo (Jastrzębska *et al.*, 2019); sin embargo, el monocultivo de trigo se mantiene en el sur de Sonora por el alto riesgo de daño en la producción de otros cultivos sensibles a bajas temperaturas (< 5.0 °C), como el maíz, frijol (*Phaseolus vulgaris*) y hortalizas. Las bajas temperaturas, como

las ocurridas en febrero de 2011 (CENAPRED, 2013) son frecuentes. También, la persistencia del trigo en monocultivo se debe a su buena rentabilidad; no obstante, cada vez más ésta se ve disminuida por el incremento de los costos de producción y por las mermas en el rendimiento por el deterioro de los suelos, que ocasiona la agricultura intensiva (Anjum *et al.*, 2019).

La rentabilidad del cultivo de trigo se puede mejorar con la reducción de las labores de preparación del suelo y con prácticas que mejoren el rendimiento; sin embargo, en la región predomina la labranza tradicional (LT), aun cuando está demostrado que ésta propicia una degradación progresiva del suelo, e incluso provoca bajos rendimientos en los cultivos debido a la compactación del terreno (Demuner-Molina *et al.*, 2014). Una opción de manejo es el uso de la labranza de conservación (LC) o siembra directa (SD), que al requerir menos uso de maquinaria reduce costos y mejora la relación costo-beneficio, también favorece las condiciones fisicoquímicas del suelo (Aryal *et al.*, 2015). Otra práctica es la rotación de cultivos, que en trigo favorece el incremento de la producción de grano (Angus *et al.*, 2015), lo cual también mejora la rentabilidad por el mayor rendimiento obtenido.

Los estudios realizados en México sobre LC o SD son en su mayoría en maíz de temporal en el centro y sur de país (Turrent *et al.*, 2014), pero son escasos para el noroeste de México. En esta región se practica una agricultura comercial con uso de semillas mejoradas y bajo condiciones de riego en un clima de trópico seco, donde las temperaturas máximas superan los 40 °C durante los meses de verano, y las precipitaciones no sobrepasan los 300 mm al año. El sistema representativo es el monocultivo en LT; lo anterior exhibe la necesidad de generar información local para facilitar la toma de decisiones, por tal situación el objetivo del presente estudio fue evaluar el rendimiento y la rentabilidad de trigo, maíz y cártamo, con rotación entre sí, bajo LC en comparación con el monocultivo bajo LC y LT, en un suelo tipo vertisol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El experimento se estableció en el Campo Experimental Norman E. Borlaug del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), región Valle del Mayo, Navojoa, Sonora, ubicado geográficamente a 109° 30' latitud N, 27° 00' longitud O y 39 msnm. El tipo de suelo fue vertisol (> 50 % arcilla). La precipitación promedio anual es de 396 mm, donde el 83 % de ésta ocurre durante los meses de junio a octubre y 13 % se distribuye de noviembre a marzo. La temperatura media anual es de

22.7 °C, con media mínima anual de 14 °C y máxima de 31.4 °C (CONAGUA, 2020a).

Tratamientos

El experimento involucró un arreglo factorial de los tratamientos, donde el sistema de labranza (SL) junto con el monocultivo y las rotaciones entre maíz, trigo y cártamo generaron 12 tratamientos (Cuadro 1). Los tratamientos fueron evaluados en los ciclos otoño-invierno, 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017.

Diseño experimental y manejo agronómico

Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. La parcela experimental constó de ocho surcos de 100 m de longitud, con una distancia entre surcos de 0.8 m. La parcela útil fueron dos surcos centrales de 5 m de longitud (8 m²). Los tratamientos con monocultivo, tanto en LT como LC, permanecieron en la misma parcela. Las rotaciones en LC cambiaron de ubicación de acuerdo con el diseño establecido (Cuadro 1).

La LT se estableció en un terreno cuya preparación es convencional de manera permanente, donde se barbecha, rastrea e incorpora el rastrojo cada ciclo. Los nueve tratamientos evaluados bajo el sistema de LC fueron establecidos en un suelo en el cual, en los últimos seis años, la siembra se realizó sin previo laboreo y se dejó el total del rastrojo sobre la superficie. En los tratamientos de LT el laboreo en cada ciclo consistió en barbecho con arado de discos (John Deere®, Moline, Illinois, EUA) a una profundidad de 40 cm, dos pasos de rastra con un equipo de 28 discos (John Deere®) a 20 cm de profundidad, nivelación y surcado. En LC los tratamientos se establecieron sin mover las camas de siembra.

La siembra se realizó durante los ciclos otoño-invierno 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, con descanso del terreno durante los meses de verano. Con el fin de mantener el terreno libre de maleza durante la época de descanso, se aplicaron 3 L ha⁻¹ del herbicida glifosato (Faena® Fuerte 360), el cual se aplicó con un aspersor de 12 boquillas (Swissmex®, México) propulsada por un tractor, con un gasto de agua de 250 L ha⁻¹.

La variedad de trigo cristalino que se utilizó fue CIRNO C2008 y de cártamo CIANO OL de aceite oleico, ambas liberadas por el INIFAP y de mayor uso en el sur de Sonora. En maíz se utilizó el híbrido comercial Garañón (Asgrow®, Monsanto). La siembra se realizó después del riego de presiembra en húmedo, en surcos con 80 cm de separación; para el caso de trigo con una sembradora triguera convencional acondicionada con

Cuadro 1. Tratamientos geneados con rotaciones entre maíz, trigo y cártamo en sistemas de labranza de conservación y tradicional.

Trat.	Rotación	SL	Ciclos de producción [†]		
			2014-2015	2015-2016	2016-2017
1	Con	LC	Trigo / maíz	Maíz / trigo	Trigo / maíz
2			Trigo / cártamo	Cártamo / trigo	Trigo / cártamo
3			Maíz / trigo	Trigo / maíz	Maíz / trigo
4			Maíz / cártamo	Cártamo / maíz	Maíz / cártamo
5			Cártamo / trigo	Trigo / cártamo	Cártamo / trigo
6			Cártamo / maíz	Maíz / cártamo	Cártamo / maíz
7	Sin	LT		Trigo / Trigo	
8				Maíz / maíz	
9				Cártamo / cártamo	
10				Trigo / Trigo	
11				Maíz / maíz	
12				Cártamo / cártamo	

[†]Negritas indica el cultivo estudiado. Trat: tratamientos, SL: sistema de labranza, LC: labranza de conservación, LT: labranza tradicional.

discos cortadores corrugados en la parte frontal, la semilla se depositó a doble hilera con separación de 30 cm. La siembra del maíz y cártamo fue en hilera sencilla con sembradora de precisión (Monosem®, John Deere). La densidad de siembra en trigo fue de 100 kg ha⁻¹ de semilla, en maíz 100,000 semillas ha⁻¹ y en cártamo 175,000 semillas ha⁻¹.

Los riegos de auxilio en trigo fueron en la etapa de amacollamiento, embuche y en llenado de grano. En maíz, el primer riego de auxilio se aplicó en la etapa V6, el segundo en V10, el tercero en R1 y el cuarto y último en R3. En cártamo, el primer riego se suministró en la etapa de inicio de ramificación, el segundo cuando la planta estaba en formación de botones florales y el tercer riego al inicio de floración. El sistema de riego fue por gravedad, con sifones de aluminio de una pulgada. La fertilización en trigo fue con la dosis de 276N-52P-00K, en maíz 287N-52P-00K y en cártamo 149N-52P-00K kg ha⁻¹. En todos los casos se aplicó el total del P y la mitad del N en presiembra, el resto previo al primer riego de auxilio. El fertilizante se depositó en banda a un costado de la hilera de plantas, con sembradora triguera con discos cortadores para aplicar el fertilizante. La fuente de N fue Urea (46N-00P-00K) y de P fosfato monoamónico (11N-52P-00K).

En trigo el combate químico de maleza de hoja ancha se realizó en postemergencia al cultivo, con la aplicación del herbicida Metsulfuron metil + thifensulfuron metil (30 g ha⁻¹). Para el control de maleza de hoja angosta no fue necesario el control químico. El control del pulgón de follaje (*Schizaphis graminum*) se realizó mediante la aplicación de

250 mL ha⁻¹ del insecticida Imidacloprid + betacyflutrín. La aplicación del herbicida y del insecticida fue a los 35 días después de la siembra (dds) en los cuatro tratamientos, con un gasto de agua de 250 L ha⁻¹. En maíz no fue necesaria la aplicación de herbicidas durante el desarrollo del cultivo. Para combatir el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se realizó una aplicación de Permetrina 0.4 % (10 kg ha⁻¹). En el tratamiento de cártamo en LT el control de malezas se realizó mediante un cultivo mecánico, mientras que en los tratamientos de cártamo en LC no hubo necesidad de realizar control sobre malezas, plagas y enfermedades.

Variables evaluadas

En los tres cultivos se midió 1) altura de planta (cm) en cinco plantas, desde el nivel del suelo hasta la parte superior de la espiga; 2) días a floración, registrados cuando el 50 % de plantas presentaron el inicio de floración en cártamo y el inicio de espigamiento en maíz y trigo; 3) días a madurez fisiológica cuando el 50 % de las plantas presentaban, en maíz, granos con una capa de color negro o marrón en la parte donde se une con la mazorca, en trigo, cuando los pedúnculos presentaban coloración amarilla y las glumas iniciaban su cambio de color, y en cártamo, al momento de que la mayoría de las hojas cambiaron a color marrón y sólo las brácteas de los últimos capítulos permanecieron verdes; 4) peso de 1000 granos (g) se obtuvo con una báscula digital, dichos granos provenían de una muestra compuesta tomada al azar del grano cosechado, y 5) rendimiento de grano (kg ha⁻¹), el cual se obtuvo mediante la cosecha de plantas con competencia completa en 5 m de los dos surcos centrales (8 m²) de la

unidad experimental; la trilla se realizó con cosechadora mecánica tipo Pullman; el rendimiento se ajustó al 12 % de humedad en el grano de trigo, al 8 % para el cártamo y al 14 % en maíz.

La relación beneficio-costo (b/c) para cada cultivo fue el promedio de los tres ciclos evaluados y se obtuvo mediante el cociente entre el ingreso total (\$) y el costo directo de producción (\$). El costo de producción promedio para cada cultivo se calculó con los precios oficiales de producción (FIRA, 2018); se consideró sólo el costo directo aplicado en los tratamientos.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza para las variables medidas, donde los factores de variación fueron los ciclos y las rotaciones entre los cultivos en los sistemas de labranza, se incluyó la interacción entre estos dos factores; además, se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson entre el rendimiento, peso de 1000 granos, altura de planta, días a floración y a madurez fisiológica en cada uno de los cultivos. Para los cálculos se usó el paquete estadístico SAS 9.3 (SAS Institute, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Trigo y sus rotaciones

Únicamente las variables altura de planta, los días a floración y a madurez fisiológica del trigo presentaron valores medios similares entre las rotaciones de cultivo en ambos sistemas de labranza (Cuadro 2). El ciclo de producción tuvo efecto en todas las variables, la interacción ciclo por rotación/SL no presentó efecto en los

días a madurez fisiológica y rendimiento.

El rendimiento de grano no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos con rotación de cultivos en LC. Sólo la rotación de trigo después del cártamo en LC fue estadísticamente superior ($P \leq 0.05$) a la siembra de trigo en LT (Cuadro 2), dicha respuesta coincide con lo obtenido por Schlegel *et al.* (2018), quienes mencionaron que el rendimiento de trigo en cero labranza es 31 % mayor que en LT. También concuerda con la reducción de 32 % en rendimiento de trigo en monocultivo reportada por Woźniak (2019); en el presente estudio la mayor reducción fue de 5.5 %. La magnitud de la reducción del rendimiento depende del tiempo acumulado con la condición de manejo; en el estudio de Woźniak (2019) el monocultivo fue por 29 años, y Schlegel *et al.* (2018) evaluaron dos variantes de sistemas de labranza por 23 años; situación similar reportaron Jastrzębska *et al.* (2019) en centeno, donde la reducción de rendimiento fue de 42 % en 50 años de monocultivo.

El peso de 1000 granos presentó una asociación negativa con los días a madurez ($r = -0.61, P \leq 0.01$), lo cual coincide con los resultados de Parihar *et al.* (2018), quienes señalaron que en trigo los días a floración y madurez se relacionan de manera negativa con el peso del grano. La asociación entre el rendimiento y los días a madurez fue positiva ($r = 0.79, P \leq 0.01$), pero no concuerda con la nula relación entre estas variables reportada por los autores antes mencionados.

La altura de la planta de trigo mostró relación negativa con el peso de 1000 granos ($r = -0.56, P \leq 0.01$) y una asociación positiva con el rendimiento de grano ($r = 0.84, P \leq 0.01$), mientras que entre el peso de mil granos y el rendimiento de grano la correlación fue negativa ($r = -0.40,$

Cuadro 2. Valores medios para días a floración, días a madurez fisiológica, altura de planta, peso de 1000 granos y rendimiento de grano de trigo en dos sistemas de labranza y rotación de cultivos, ciclos otoño-invierno 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017.

Rotación y SL	Días a:		Altura de planta (cm)	Peso de 1000 granos (g)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
	Floración	Mad. Fis.			
Trigo/cártamo LC	76	117	79	51.3 a	7,255 a
Trigo/maíz LC	76	117	78	49.6 b	6,930 ab
Trigo/trigo LC	76	117	80	49.8 b	6,917 ab
Trigo/trigo LT	76	117	79	50.5 ab	6,859 b
C.V. (%)	0.6	0.4	0.8	1.7	4.5
DSH (0.05)	0.5	0.6	0.7	0.9	347.8

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). SL: sistema de labranza, LC: labranza de conservación, LT: labranza tradicional, Mad. Fis.: madurez fisiológica, CV: coeficiente de variación, DSH: diferencia significativa honesta.

$P \leq 0.01$), lo cual coincide con lo señalado por Aminifar *et al.* (2017), quienes indicaron que existe una asociación negativa entre la altura de planta y el peso de 1000 granos de trigo, y que la relación de este último con el rendimiento también es negativa, además señalaron que en trigo la rotación de cultivos afecta los componentes del rendimiento, pero difiere con la correlación positiva entre el rendimiento de trigo con la altura de planta ($r = 0.23$) y con el peso de 100 granos ($r = 0.64$) reportada por Woźniak (2019), quien mencionó que dicha relación explica el mayor rendimiento de trigo en rotación de cultivos e indica que el menor rendimiento de trigo en monocultivo se debe a la reducción del tamaño y número de espigas m^{-2} , componentes importantes del rendimiento.

Maíz y sus rotaciones

Todas las variables mostraron diferencias entre tratamientos. El ciclo de producción tuvo efecto en todas las variables, mientras que la interacción ciclo por rotación/SL sólo tuvo efecto sobre los días a madurez fisiológica.

En maíz, los días a floración y a madurez fisiológica fueron diferentes ($P \leq 0.05$) entre tratamientos. En días a floración, maíz después de maíz en LC fue el más tardío con 105 d. En días a madurez fisiológica, el maíz después de maíz en LT fue el más tardío con 149 d, pero sin diferencia con maíz después de maíz en LC (Cuadro 3). La altura de planta fue mayor en el tratamiento de maíz después de maíz en LT ($P \leq 0.05$), resultado que concuerda con el de Nyambo *et al.* (2020), quienes reportaron que la altura de la planta de maíz es superior en LT. La altura de planta de maíz en LC con rotación de cultivo fue mayor que en LC con monocultivo (Cuadro 3), lo cual coincide con Anjum *et al.* (2019) y De Souza *et al.* (2016), quienes determinaron que la altura de planta de maíz es menor en LC con monocultivo de maíz.

En peso de 1000 granos, los tratamientos en maíz después de maíz en LT y maíz después de trigo en LC fueron mayores ($P \leq 0.05$). El mayor rendimiento ($P \leq 0.05$) lo presentaron el monocultivo de maíz bajo LT y el de la rotación maíz después de trigo en LC; en segundo lugar, estuvieron la rotación maíz después de cártamo y monocultivo maíz en LC (Cuadro 3). Resultados similares reportaron De Souza *et al.* (2016) y Anjum *et al.* (2019), quienes observaron menor peso de grano y rendimiento con el monocultivo de maíz en LC. Dichos resultados también coincidieron con los de Vaca *et al.* (2014), quienes obtuvieron menor rendimiento en maíz bajo LC con respecto a LT durante tres ciclos de producción, pero difiere con el nulo efecto de la rotación de cultivos y el sistema de labranza sobre el rendimiento de maíz indicado por Nyambo *et al.* (2020), aunque los autores registraron mayor peso de 1000 granos en labranza convencional.

El mayor rendimiento en LT puede atribuirse a la aplicación de agua al cultivo mediante el riego, ya que de acuerdo con Demuner-Molina *et al.* (2014) el uso de la LC permite disminuir erosión y conservar humedad, pero la disponibilidad de agua para la planta no implica en forma directa un mayor rendimiento, incluso en monocultivo (Inzunza-Ibarra *et al.*, 2018); en cambio, si la humedad es limitante la LC permite incrementar el rendimiento debido a la mayor retención de humedad.

Los días a madurez fisiológica mostraron correlación negativa con el peso de 1000 granos ($r = -0.66$, $P \leq 0.01$) y con el rendimiento ($r = -0.69$, $P \leq 0.01$). Este resultado difiere del de Trachsel *et al.* (2017) quienes detectaron asociación positiva entre el tiempo a madurez fisiológica y el rendimiento de maíz ($r = 0.33$, $P \leq 0.001$). Esta diferencia es atribuible al efecto de bajas temperaturas ocurridas

Cuadro 3. Valores medios de días a floración y a madurez fisiológica, altura de planta, peso de 1000 granos y rendimiento de grano de maíz en dos sistemas de labranza y tres rotaciones de cultivos, de los ciclos otoño-invierno, 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017.

Rotación y SL	Días a:		Altura planta (cm)	Peso de 1000 granos (g)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
	Floración	Mad. Fis.			
Maíz/maíz LT	103 b	148.6 a	282 a	307.80 a	11,647 a
Maíz/trigo LC	103 b	147.9 b	259 b	296.70 ab	11,134 a
Maíz/cártamo LC	103 b	147.9 b	258 b	287.10 bc	10,021 b
Maíz/maíz LC	105 a	148.2 ab	247 c	278.90 c	9913 b
C.V. (%)	0.6	0.4	2.0	4.02	5.6
DSH 0.05()	0.6	0.6	5.9	12.90	656.5

Medias con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). SL: sistema de labranza, LC: labranza de conservación, LT: labranza tradicional, Mad. Fis.: madurez fisiológica, CV: coeficiente de variación, DSH: diferencia significativa honesta.

durante el ciclo 2015-2016. La temperatura mínima que se presentó en diciembre de 2015 y enero de 2016 estuvo por debajo de los 5 °C (CONAGUA, 2020b), esta condición atrasó el espigamiento y provocó una relación inversa debido a un menor período de llenado de grano.

La altura de planta mostró correlación positiva con el peso de 1000 granos ($r = 0.81, P \leq 0.01$) y con el rendimiento de grano ($r = 0.85, P \leq 0.01$). Este nivel de asociación es superior al informado por De Souza *et al.* (2016), quienes, en un estudio de maíz en rotación con soya (*Glycine max*) en LC, demostraron que la altura de planta tiene correlación positiva con el peso de 1000 granos ($r = 0.35, P \leq 0.05$) y con el rendimiento de grano ($r = 0.41, P \leq 0.01$).

Entre rendimiento y peso de 1000 granos hubo correlación positiva ($r = 0.92, P \leq 0.01$), la cual fue superior a la obtenida por Mason *et al.*, (2018) y De Souza *et al.* (2016), quienes reportaron una correlación positiva de $r = 0.45$ ($P \leq 0.01$) y de $r = 0.72$ ($P \leq 0.01$) entre el peso del grano y el rendimiento en maíz. El peso del grano es el componente de rendimiento más importante en maíz establecido en LT y LC (Anjum *et al.*, 2019; De Souza *et al.*, 2016; Mason *et al.*, 2018)

Cártamo y sus rotaciones

En cártamo hubo diferencias ($P \leq 0.05$) entre tratamientos en la altura de planta, días a floración, días a madurez fisiológica, peso de 1000 granos y rendimiento de grano (Cuadro 4). El ciclo de producción y su interacción con rotación/SL también tuvo efecto en todas las variables.

Los tratamientos de rotación en LC presentaron

diferencias en rendimiento de grano. El mayor rendimiento se obtuvo en LC con la rotación cártamo después de trigo, mientras que la siembra de cártamo después de cártamo en LC fue la de menor rendimiento (Cuadro 4). Resultado similar fue reportado por Yau *et al.* (2010), quienes mencionaron que el rendimiento de cártamo fue mayor en LC que en mínima labranza y LT; por otro lado Küçük y Akbolat (2018) indicaron que los sistemas de labranza no presentan efecto en la altura de planta, ni en el rendimiento de grano en cártamo..

El peso de 1000 granos de cártamo correlacionó con los días a floración ($r = 0.80, P \leq 0.01$) y con los días a madurez fisiológica ($r = 0.81, P \leq 0.01$). El rendimiento de grano también se asoció con los días a floración ($r = 0.67, P \leq 0.01$), resultados que se asemejan con la relación positiva de estas variables obtenidas en cártamo por Omid *et al.* (2012). El rendimiento correlacionó con días a madurez fisiológica ($r = 0.58, P \leq 0.01$), lo que difiere de lo señalado por Omid *et al.* (2012), quienes no encontraron asociación entre estas variables.

El peso de 1000 granos mostró relación positiva con el rendimiento ($r = 0.78, P \leq 0.01$), contrario a lo reportado por Singh *et al.* (2016), quienes afirmaron que la asociación entre estas variables es inexistente y que el componente de rendimiento más importante es el número de capítulos o granos por planta.

Relación beneficio-costo

En LC los costos de producción se reducen por el menor paso de maquinaria para preparar el suelo (Cuadro 5); además, puede aumentar la producción (Hlatywayo *et*

Cuadro 4. Valores medios de días a floración y a madurez fisiológica, altura de planta, peso de 1000 granos y rendimiento de grano de cártamo en dos sistemas de labranza y rotación de cultivos, en los ciclos otoño-invierno 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017.

Rotación y SL	Días a:		Altura de planta (cm)	Peso de 1000 granos (g)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
	Floración	Mad. Fis.			
Cártamo/trigo LC	112.2 ab	146.7 a	144.8 b	36.16 a	2763 a
Cártamo/maíz LC	112.3 a	146.2 b	146.8 b	35.25 b	2413 b
Cártamo/cártamo LT	111.7 b	146.0 b	152.3 a	35.66 ab	2292 b
Cártamo/cártamo LC	109.6 c	144.8 c	141.2 c	34.41 c	1824 c
C.V. (%)	0.4	0.3	1.5	2.10	8.9
DSH (0.05)	0.5	0.5	2.4	0.81	227

Medias con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). SL: sistema de labranza, LC: labranza de conservación, LT: labranza tradicional, Mad. Fis.: madurez fisiológica, CV: coeficiente de variación; DSH: diferencia significativa honesta.

al., 2016), como sucedió en las rotaciones entre trigo y cártamo en LC, lo que impacta positivamente en la relación beneficio-costo (Aryal *et al.*, 2015).

En trigo la mejor relación b/c se obtuvo con la rotación trigo después de cártamo en LC con 2.6, esto significa que por cada peso invertido la ganancia fue de 1.6 pesos. En maíz, los tratamientos de maíz después de maíz en LT y maíz después de trigo en LC no difirieron estadísticamente en rendimiento, pero este último presentó mejor relación b/c con 2.4 (Cuadro 5). En los tratamientos de cártamo, la mayor relación b/c se obtuvo con la siembra de cártamo después de trigo en LC, con una relación beneficio costo de 2.4. En los tres cultivos evaluados la mayor relación b/c se obtiene cuando se establece en LC y en rotación con otro cultivo.

CONCLUSIONES

El rendimiento de maíz y cártamo en LC fue más elevado cuando se sembraron en rotación con trigo, lo cual mejoró la rentabilidad debido a que se obtuvo un rendimiento apropiado con menor costo de producción. La mejor

relación beneficio-costo de los tres cultivos es cuando se siembran en LC con rotación. El sistema de LC, junto con la rotación de cultivos representa una alternativa para aumentar el rendimiento y rentabilidad de trigo, maíz y cártamo bajo condiciones de riego en el sur de Sonora, México.

BIBLIOGRAFÍA

- Aminifar J., M. Ramroudi, M. Galavi and G. Mohsenabadi (2017) Productivity and economic efficiency of wheat in rotation with cotton. *Iran Agricultural Research* 36:55-60, <https://doi.org/10.22099/iar.2017.4149>
- Angus J. F., J. A. Kirkegaard, J. R. Hunt, M. H. Ryan, L. Ohlander and M. B. Peoples (2015) Break crops and rotations for wheat. *Crop and Pasture Science* 66:523-552, <https://doi.org/10.1071/CP14252>
- Anjum S. A., M. M. Raza, S. Ullah, M. M. Yousaf, A. Mujtaba, M. Hussain, ... and I. Ahmad (2019) Influence of different tillage practices on yield of autumn planted maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Research* 32:293-301, <https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2019/32.2.293.301>
- Aryal J. P., T. B. Sapkota, M. L. Jat and D. K. Bishnoi (2015) On-farm economic and environmental impact of zero-tillage wheat: a case of North-West India. *Experimental Agriculture* 51:1-16, <https://doi.org/10.1017/S001447971400012X>
- CENAPRED, Centro Nacional de Prevención de Desastres (2013) Características e Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurredos en la República Mexicana en el Año 2011.

Cuadro 5. Relación beneficio costo de maíz, trigo y cártamo bajo el sistema de labranza tradicional y siembra directa con diferentes rotaciones.

Tratamiento	Rendimiento [†] (kg ha ⁻¹)	Ingreso ^{††} (\$ ha ⁻¹)	Costo directo ^{††} (\$ ha ⁻¹)	B/C	Utilidad ^{††} (\$ ha ⁻¹)
Maíz/maíz LT	11,647	48,917	21,202	2.3	27,715
Maíz/maíz LC	9,913	41,635	19,242	2.2	22,393
Maíz/trigo LC	11,134	46,763	19,242	2.4	27,521
Maíz/cártamo LC	10,021	42,088	19,242	2.2	22,846
Trigo/trigo LT	6,859	30,866	14,707	2.1	16,159
Trigo/trigo LC	6,917	31,127	12,747	2.4	18,380
Trigo/cártamo LC	7,255	32,648	12,747	2.6	19,901
Trigo/maíz LC	6,930	31,185	12,747	2.4	18,438
Cártamo/cártamo LT	2,292	19,482	11,265	1.7	8,217
Cártamo/cártamo LC	1,824	15,504	9,605	1.6	5,899
Cártamo/maíz LC	2,413	20,511	9,605	2.1	10,906
Cártamo/trigo LC	2,763	23,486	9,605	2.4	13,881

[†]Rendimiento medio de los tres ciclos, ^{††}En pesos mexicanos, B/C: relación beneficio-costo, LC: labranza de conservación, LT: labranza tradicional.

- Serie: Impacto Socioeconómico de los Desastres en México. Secretaría de Gobernación - Centro Nacional de Prevención de Desastres. México, D.F. 403 p.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2020a)** Normales climatológicas por estado (1981-2010). Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=son> (Julio 2020)
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2020b)** Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvia. Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias> (Junio 2020)
- De Souza L. C. F., M. E. Freitas, E. R. P. Lourente, A. P. Serra, J. Rech, F. Frota and G. E. S. Loureiro (2016)** The effects of crop rotation systems on maize agronomic traits under no-tillage in optimal and dry cropping seasons. *African Journal of Agricultural Research* 11:2369-2377, <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11179>
- Demuner-Molina G., M. Cadena-Zapata, S. G. Campos-Magaña, A. Zermeño-González y F. J. Sánchez-Pérez (2014)** Efecto de labranza y mejoradores de suelo en humedad y desarrollo radicular. *Tecnología y Ciencias del Agua* 5:123-130.
- FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database (2016)** Datos. Cultivos. Producción mundial de cereales. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. <http://www.fao.org/faostat/es/#data> (December 2020).
- FIRA, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (2018)** Sistema de costos agrícolas. Resumen de costos. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Morelia, Mich. <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=66317> (Diciembre 2020)
- Hlatywayo R., B. Mhlanga, U. Mazarura, W. Mupangwa and C. Thierfelder (2016)** Response of maize (*Zea mays* L.) secondary growth parameters to conservation agriculture and conventional tillage systems in Zimbabwe. *Journal of Agricultural Science* 8:112-126, <https://doi.org/10.5539/jas.v8n11p112>
- Inzunza-Ibarra M. A., M. M. Villa-Castorena, E. A. Catalán-Valencia, R. López-López y E. Sifuentes-Ibarra (2018)** Rendimiento de grano de maíz en déficit hídrico en el suelo en dos etapas de crecimiento. *Revista Fitotecnica Mexicana* 41:283-290, <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.3.283-290>
- Jastrzębska M., M. K. Kostrzewska, M. Marks, W. P. Jastrzębski, K. Treder and P. Makowski (2019)** Crop rotation compared with continuous rye cropping for weed biodiversity and rye yield. A case study of a long-term experiment in Poland. *Agronomy* 9:644, <https://doi.org/10.3390/agronomy9100644>
- Küçük H. and D. Akbolat (2018)** Investigation of different tillage and seeding methods in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivation. *Scientific Papers. Series A. Agronomy* 61:481-486.
- Mason S., T. Galusha and Z. Kmail (2018)** Planting date influence on yield of drought-tolerant maize with different maturity classifications. *Agronomy Journal* 110:293-299, <https://doi.org/10.2134/agronj2017.06.0326>
- Nyambo P., C. Chiduzo and T. Araya (2020)** Carbon input and maize productivity as influenced by tillage, crop rotation, residue management and biochar in a semiarid region in South Africa. *Agronomy* 10:705, <https://doi.org/10.3390/agronomy10050705>
- Omidi A. H., H. Khazaei, P. Monneveux and F. Stoddard (2012)** Effect of cultivar and water regime on yield and yield components in wheat under terminal heat stress. *Turkish Journal of Field Crops* 17:10-15,
- Parihar R., A. P. Agrawal, M. Burman and M. G. Minz (2018)** Relationship between grain yield and other yield attributing characters in wheat under terminal heat stress. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7:2114-2117.
- SAS Institute (2011)** SAS/STAT® 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA. 8621 p.
- Schlegel A. J., Y. Assefa, L. A. Haag, C. R. Thompson and L. R. Stone (2018)** Long-term tillage on yield and water use of grain sorghum and winter wheat. *Agronomy Journal* 110:269-280, <https://doi.org/10.2134/agronj2017.02.0104>
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2020)** Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Diciembre 2020).
- Singh S., S. V. Angadi, R. S. Hilaire, K. Grover and D. M. VanLeeuwen (2016)** Spring safflower performance under growth stage based irrigation in the Southern high plains. *Crop Science* 56:1878-1889, <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.08.0481>
- Trachsel S., J. Burgueño, E. A. Suarez, F. M. San Vicente, C. S. Rodriguez and T. Dhliwayo (2017)** Interrelations among early vigor, flowering time, physiological maturity, and grain yield in tropical maize (*Zea mays* L.) under multiple abiotic stresses. *Crop Science* 57:229-242, <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.06.0562>
- Turrent F. A., A. Espinosa C., J. I. Cortés F. y H. Mejía A. (2014)** Análisis de la estrategia MasAgro-maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:1531-1547, <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i8.833>
- Vaca G. V. M., J. J. Martínez V., A. González H., E. J. Morales R., B. Zamudio G. y F. Gutiérrez R. (2014)** Compactación de un vertisol bajo tres sistemas de labranza en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:1495-1507, <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i8.830>
- Woźniak A. (2019)** Effect of crop rotation and cereal monoculture on the yield and quality of winter wheat grain and on crop infestation with weeds and soil properties. *International Journal of Plant Production* 13:177-182, <https://doi.org/10.1007/s42106-019-00044-w>
- Yau S. K., M. Sidahmed and M. Haidar (2010)** Conservation versus conventional tillage on performance of three different crops. *Agronomy Journal* 102:269-276, <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0242>