

Efecto de la siembra directa en las propiedades del suelo y aprovechamiento de riego en maíz en Sinaloa, México

Ernesto Sifuentes Ibarra^{1§}

Jaime Macías Cervantes¹

Cándido Mendoza Pérez²

David Alejandro Vázquez Díaz

Daniel Arturo Salinas Verduzco⁴

Marco Antonio Inzunza Ibarra⁵

¹INIFAP-Campo Experimental Valle del Fuerte. Carretera México-Nogales km 1609, Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa, México. CP. 81110. (macias.jaime@inifap.gob.mx). ²Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, México. CP. 56230. mendoza.candido@colpos.mx

³Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, ejido Ana, Torreón, Coahuila, México. CP. 27170. (ppreciador@yahoo.com.mx). ⁴UAS-Facultad de Ingeniería Mochis. Prol. Ángel Flores y Justicia Social s/n, Los Mochis, Sinaloa, México. CP. 81223. (Daniel.asv@hotmail.com).

⁵Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua- Suelo-Planta-Atmosfera. Canal de Sacramento km 6.5, Gómez Palacio, Durango, México. CP. 35140. (inzunza.marco@inifap.gob.mx).

§Autor por correspondencia: sifuentes.ernesto@inifap.gob.mx; eblnat68@gmail.com.mx.

Resumen

Sinaloa es el principal productor de maíz a nivel nacional; sin embargo, la labranza excesiva y la práctica del monocultivo de maíz por más de 30 años, han ocasionado pérdida de fertilidad del suelo, menor retención de agua e incremento de costos de producción. Con el fin de evaluar el efecto del sistema de siembra directa (SD) en las propiedades físico-químicas del suelo y en la eficiencia en el uso del agua del cultivo de maíz, se realizó un estudio en el norte de Sinaloa, México durante tres ciclos agrícolas bajo riego por aspersión (pivote central), donde se establecieron los tratamientos 1) SD; y 2) labranza convencional de la región (LC) en 0.5 ha cada uno. Las propiedades del suelo evaluadas fueron materia orgánica (MO), densidad aparente (Da), porosidad total (E), pH y conductividad eléctrica (CE). Además, se instalaron dos estaciones fijas con sensores a tres profundidades del perfil (30, 60 y 90 cm) para medir la humedad aprovechable (HA) y temperatura del suelo (Ts). Los resultados mostraron que en el tercer ciclo la materia orgánica alcanzó un valor de 1.47% en SD, mientras que en LC se mantuvo 1%, el pH y la CE mostraron ligera disminución. Se observó también en SD mayor estabilidad de la humedad en el perfil del suelo, con un incremento del 4.62% de HA y una reducción de 1°C de Ts, lo cual permitió eliminar un riego de auxilio que representa un ahorro de 800 m³ ha⁻¹. La eliminación de este riego, las labores de preparación del suelo y control de malezas redujeron 20% los costos de producción.

Palabras clave: ahorro de agua, cambio climático, reducción de costos, mejoramiento del suelo,

Recibido: enero de 2018

Aceptado: febrero de 2018

Introducción

La superficie mundial bajo riego es del orden de 20%, principalmente localizada en zonas áridas y semiáridas, que requieren del riego para asegurar rendimientos comerciales y además, muestran alta variabilidad espacial y temporal en los volúmenes disponibles de sus fuentes de abastecimiento (FAO, 2011). En México, la agricultura bajo riego está concentrada en zonas costeras, que de acuerdo a un estudio realizado por Ojeda *et al.* (2011) se encuentran en condición vulnerable a los efectos de variabilidad y cambio climático con fenómenos meteorológicos extremos cada vez más frecuentes e intensos (ciclones, heladas y sequías).

La aplicación del agua a nivel parcela, es deficiente ya que se utiliza principalmente el riego por gravedad por surcos sin diseño previo ni aplicación de tecnologías de riego, alta presión para optimizar el riego parcelario (Ojeda *et al.*, 2012), es común la restricción de agua para riego ante la recurrencia de periodos de baja disponibilidad por los organismos que administran el agua, lo cual puede generar estrés hídrico a los cultivos. Se estima que a nivel de predio se aprovecha menos de 45% del agua aplicada a las parcelas; el resto se pierde por drenaje y percolación profunda, con la consiguiente pérdida de fertilizantes móviles y suelo (Sifuentes *et al.*, 2015).

Una de las principales causas de la degradación del ambiente y baja rentabilidad de los cultivos, es el manejo inadecuado de los sistemas de producción tradicionales, ante esto se han propuesto diferentes alternativas para conservar y proteger al suelo, una de ellas es el empleo de labranza cero o siembra directa, cuyo estudio se inició en la década de los treinta (Duley y Russell, 1942). La práctica consiste en dejar los residuos de las cosechas anteriores en la superficie del terreno, sin roturar o voltear el suelo, como se hace tradicionalmente.

La cobertura del suelo con rastrojo disminuye el efecto de la erosión e incrementa el contenido de la materia orgánica, mejorando con ello las propiedades físicas, químicas, biológicas, y la fertilidad del suelo (Rodríguez *et al.*, 1987). Las propiedades físicas del suelo presentan una gran variabilidad espacial, tanto en sentido horizontal como vertical y están sometidas a continuos cambios en condiciones naturales, especialmente con la intervención del hombre a través de los sistemas de labranza (Pla, 1993), debido a esto se ha señalado que la labranza es un proceso dinámico que causa profundos cambios en las propiedades físicas del suelo, los cuales pueden persistir por tiempo variable dependiendo de las condiciones del suelo y del clima, lo que puede afectar fuertemente el desarrollo de los cultivos (Onofiok, 1988; Pla, 1993).

Ante esta problemática los sistemas de labranza mínima, reducida y directa, a diferencia de los sistemas convencionales donde se incorporan y se desmenuzan los residuos vegetales, han mostrado tanto a nivel nacional como mundial gran potencialidad para una mayor conservación de suelos, agua y consecuentemente una reducción de los procesos de degradación; además, de una disminución significativa en el gasto de energía, con el consecuente ahorro en la inversión del proceso productivo (Bravo, 1995; Lal, 1997).

La siembra directa puede ser una opción para reducir la vulnerabilidad de las zonas de riego a eventos extremos, producto del impacto del cambio climático, que en los últimos años en México y particularmente el norte de Sinaloa ha incrementado la variabilidad climática. Para el norte de Sinaloa, reportaron un incremento de 1 °C para el año 2020 y su efecto en el crecimiento y

demandas hídricas del cultivo de maíz (Ojeda *et al.*, 2011). La siembra directa puede representar una alternativa viable para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, contribuyendo a la reducción de emisiones de CO₂ en la atmósfera.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la evolución de las propiedades físico-químicas del suelo y la eficiencia en el uso del agua del cultivo de maíz en dos tratamientos: 1) siembra directa (SD) y 2) labranza convencional (LC) bajo riego por aspersión (pivote central), se hizo durante tres ciclos agrícolas en el norte de Sinaloa, México.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó durante tres ciclos agrícolas otoño-invierno (OI) 2009-2010, 2010-2011 y 2011-2012, en el Campo Experimental Valle del Fuerte (CEVAF) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en la zona árida del norte de Sinaloa, México, con coordenadas geográficas de 25.76° latitud norte y 108.86° longitud oeste a una altura de 20 msnm. El experimento se estableció en un suelo de textura arcillosa típico de la región, con una humedad volumétrica aprovechable (HA) de 0.155 cm³ cm⁻³, densidad aparente (Da) de 1.2 g cm⁻³ y contenido de materia orgánica (MO) de 0.78%. La parcela forma parte del Distrito de Riego 075, Río Fuerte, Sinaloa, uno de los de mayor superficie de México (CONAGUA, 2015). Se utilizó una parcela con riego por aspersión (pivote central) de una ha con dos tratamientos: 1) siembra directa (SD) y 2) labranza convencional (LC) en una superficie de 0.5 ha cada uno.

La precipitación anual acumulada en la zona de estudio es de 350 mm y se concentra de julio a septiembre con 70% de la precipitación acumulada en el año, mientras que de febrero a mayo no es significativa. Los valores anuales de la evapotranspiración de referencia acumulada (ET_o) varían de 1 600 a 1 700 mm; esta excede a la precipitación todo el año por que se requiere de riego para asegurar los rendimientos comerciales de los cultivos.

Para la calendarización del riego en tiempo real se empleó el sistema computacional Irrimodel[®] del INIFAP para la gestión del riego a través de internet, desarrollado por Sifuentes *et al.* (2013). Este software ofrece los siguientes beneficios: 1) calcula la demanda hídrica del cultivo; 2) genera planes de riego bajo diferentes escenarios de disponibilidad de agua y tipos de sistemas de riego; 3) pronostica el riego usando un modelo de balance hídrico con alto nivel de precisión, de acuerdo con el desarrollo fenológico del cultivo, utilizando el concepto de grados día (°D), documentado por (Ojeda *et al.*, 2006); y 4) facilita realizar el seguimiento del riego de una o más parcelas en un ciclo agrícola.

Para conocer la evolución de las propiedades físico-químicas del suelo se determinaron analíticamente las siguientes propiedades del suelo: materia orgánica (MO), densidad aparente (Da), pH y conductividad eléctrica (CE) en cada tratamiento. Para medir el balance de la humedad en el perfil de suelo se instalaron dos estaciones fijas con sensores de humedad tipo WatchDog-FDR en cada tratamiento a tres profundidades (30, 60 y 90 cm) en un área de control de 20 m², los cuales monitorearon la humedad del suelo a intervalos de 15 minutos. En las mismas estaciones se instaló en la superficie un sensor de temperatura de suelo a 5 cm de profundidad.

La MO se determinó por el método de Walkley y Black modificado por Walkley, el cual se basa en la oxidación de la materia orgánica con el dicromo de potasio (agente oxidante), titulado el exceso de este con sulfato ferroso de normalidad conocida (agente reductor), utilizando la siguiente ecuación:

$$\%MO = \left[1 - \frac{P}{T} \right] \times 1.34 \quad 1)$$

Donde= T son los mL gastados en la titulación del testigo; P= los mL gastados en la titulación del problema.

La Da se determinó por el método de cilindro de volumen conocido, se realizó muestreo en cada tratamiento, al inicio y final de cada ciclo agrícola del cultivo a una profundidad de 0-15 cm. Las muestras se pesaron en húmedo y luego se secaron en una estufa a una temperatura a 105 °C durante 48 h: se determinó el peso seco (Ms), el cual se empleó para obtener la densidad aparente con la ecuación 2 citada por Narro (1994). Además, se usaron las mismas muestras para calcular la porosidad del suelo.

$$Da = \frac{Ms}{V_t} \quad 2)$$

Ms= es la masa de los sólidos del suelo muestreado (g); Vt= el volumen total de suelo analizado (cm³).

El contenido de humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico utilizando barrena antes de cada uno de los 10 riegos aplicados, a las profundidades 0-30 y 30-60 cm. La estimación del contenido volumétrico de humedad se hizo con la ecuación 3.

$$\theta_v = \frac{M_w}{M_s} \times Da \quad 3)$$

Donde= Mw= es la masa de agua de la muestra (g); Ms= la masa de los sólidos (g); Da= la densidad aparente expresada en g cm⁻³. Los valores sirvieron para calcular la lámina de riego y comparar con la lámina de riego generada por el Irrimodel[®].

HA se estimó con la ecuación HA= $\Theta_{cc} - \Theta_{pmp}$ y los modelos empíricos propuestos por Rawls y Brakensiek (1983), los cuales utilizan como variables: Textura, MO y Da, como se muestra a continuación:

$$\theta_{cc} = 0.3436 - 0.0018(\text{arena}) + 0.0039(\text{arcilla}) + 0.0228(\text{MO}) - 0.0738(\text{Da}) \quad 4)$$

$$\theta_{pmp} = 0.0854 - 0.0004(\text{arena}) + 0.0044(\text{arcilla}) + 0.0122(\text{MO}) - 0.0182(\text{Da}) \quad 5)$$

Donde los valores de arena, arcilla y MO están dados en porcentaje y Da en g cm⁻³. Las constantes de humedad (θ_{cc} y θ_{pmp}) se expresan en unidades volumétricas (cm³ cm⁻³).

El pH se midió con un potenciómetro Zeromatic en dS m^{-1} y CE en un puente de conductividad Wheatstone Modelo RI.26 a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cada riego aplicado se evaluó en términos de eficiencia de aplicación (E_a) mediante la fórmula:

$$E_a = \frac{L_n}{L_b} \times 100 \quad (6)$$

Donde: L_n = es la lámina de riego neta o requerimiento de agua del cultivo (cm); L_b = representa la lámina de riego aplicada (cm); E_a = se expresa en (%).

Para determinar rendimiento (R) del grano se realizaron muestreos en cinco sitios representativos localizados en los dos surcos centrales de cada tratamiento en un área de 7.6 m^2 , por cada sitio.

Con los valores de R expresado en kg ha^{-1} y el volumen de agua total aplicado (V_{ta}) en $\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$ se estimó la productividad del agua (PA) la cual indica la relación del R con respecto a V_{ta} ; es decir, los kilogramos de grano producidos por cada m^3 de agua aplicado (kg m^{-3}) (Bessembinder *et al.*, 2005).

Resultados y discusión

En relación con el impacto de los sistemas de siembra directa y labranza convencional, se observó que en el último ciclo agrícola el contenido de MO en SD alcanzó 1.47% a partir de un contenido inicial de 0.78%, mientras que en LC alcanzó solo 1% del mismo contenido inicial. Lo cual indica que si hubo efecto positivo en la incorporación y transformación de residuos de cosecha (Figura 1). Estos resultados indican que la SD, mejora el contenido de MO, actividad microbiana y el nivel de fertilidad del suelo, favoreciendo la sostenibilidad de este recurso (Espinoza *et al.*, 1998).

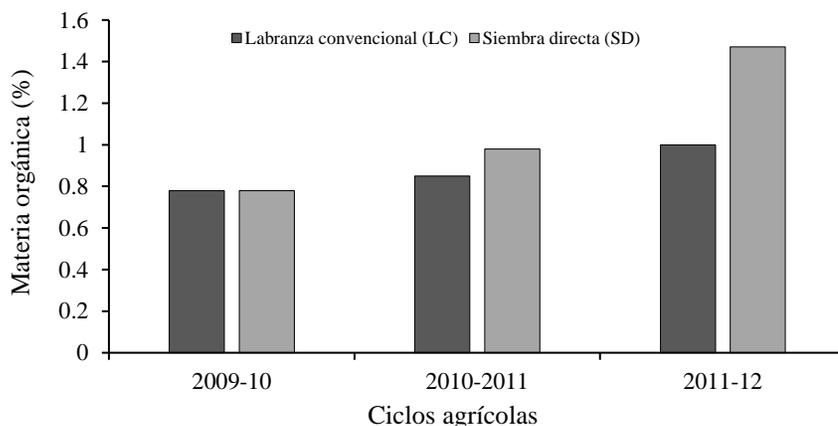


Figura 1. Comparación del contenido de materia orgánica del suelo en tres ciclos agrícolas en los sistemas de siembra directa (SD) y labranza convencional (LC).

En Da no se encontró respuesta en los tres ciclos agrícolas, debido a que la velocidad de descomposición o mineralización de los residuos de cosecha es relativamente lenta. Además, la Da, varía en función de la textura del suelo y el contenido de MO, entre otros factores. Los valores hallados nunca excedieron de 1.2 g cm^{-3} muy por debajo de los niveles de densidad críticos para el crecimiento vegetal en este tipo de suelos (Botta *et al.*, 2004, 2006).

La porosidad del suelo (E) en SD tuvo un incremento de 10%, esto tiene influencia directa en el sistema radicular de la planta ya que una vez cosechado el cultivo, las raíces quedan enterradas en el suelo. A medida que pasa el tiempo y con la ayuda de la actividad microbiana del suelo, se descomponen los residuos y dejan pequeñas canales en el perfil del suelo que promueve mayor porosidad e infiltración del agua. En cambio, en LC hubo un decremento 9%, esto es debido al uso excesivo de maquinaria agrícola que con el tiempo provocan compactación del suelo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Resultados de densidad aparente y porosidad del suelo en los tres ciclos agrícolas.

Ciclo agrícola	Siembra directa		Labranza convencional	
	Da (g cm^{-3})	Porosidad (%)	Da (g cm^{-3})	Porosidad (%)
2009-2010	1.2	47	1.2	47
2012-2011	1.2	52	1.2	44
2011-2012	1.2	57	1.2	38
Diferencia	1.2	10	1.2	9

El pH en SD disminuyó 6.73 en el último ciclo a partir de un contenido inicial de 7.17, mientras que en LC incrementó 7.25 a partir del mismo contenido inicial (Cuadro 2). La siembra directa pasó por un proceso de acidificación que puede ser atribuida al proceso de nitrificación del fertilizante nitrogenado aplicado en la superficie del suelo. Resultados similares se han consignado en suelos manejados con labranza de conservación durante tiempos prolongados Blevins *et al.* (1977). La acidez moderada encontrada en el estrato de 0-15 cm pudiera reflejarse en disponibilidades limitadas de P, Ca, Mg y en menor grado, para el N, P y S para los cultivos (Ortiz-Villanueva y Ortiz-Solorio, 1990).

En relación con la CE, en la SD disminuyó 0.17% durante el último ciclo a partir de un contenido inicial de 0.5%, mientras que en LC aumentó hasta 0.89% a partir del mismo contenido inicial. Por lo tanto, se registró una reducción en SD, mientras que en LC se incrementó 0.39%, lo cual indica que el suelo no presenta ningún problema y es apto para el desarrollo de cualquier cultivo bajo riego (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados de pH y conductividad eléctrica.

Ciclo agrícola	Siembra directa		Labranza convencional	
	pH	CE (dS m^{-1})	pH	CE (dS m^{-1})
2009-2010	7.17	0.5	7.17	0.5
2012-2011	7	0.3	7.2	0.7
2011-2012	6.73	0.17	7.25	0.89

La temperatura del suelo (T_s) es una de las propiedades más importantes ya que entre ciertos límites, controla las posibilidades de germinación de las semillas, el desarrollo de las raíces, la formación del suelo, el intercambio de suelo-aire y la evaporación de la humedad.

En la Figura 2 se observa el comportamiento de T_s en los tratamientos en siembra directa y labranza convencional durante dos ciclos agrícolas. En el ciclo 2010- 2011 se observó una temperatura en promedio de 20 °C en SD y 19 °C en la LC con una diferencia de 1 °C. En el ciclo agrícola 2011- 12 se registró una temperatura de 17 °C en SD y 18.6 °C en LC, con una diferencia de 1.5 °C. Esta disminución se debe a la cubierta superficial que cubre en su totalidad el suelo de este tratamiento y reduce las pérdidas de agua por evaporación y por ende, lo traduce en un valor menor de temperatura. Este comportamiento es similar a los resultados reportados por (López *et al.*, 2000).

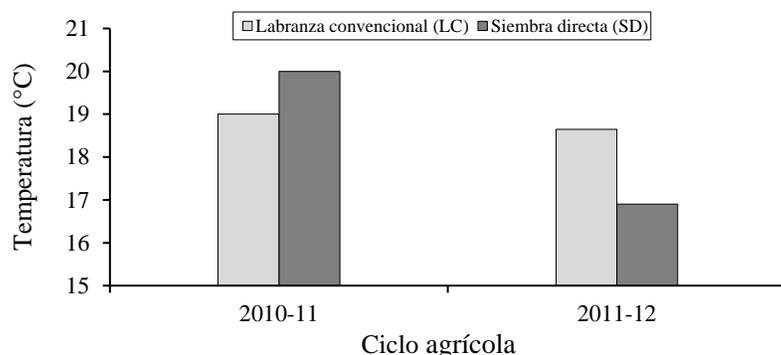


Figura 2. Temperatura promedio obtenida en ciclo agrícola 2010- 2011 y 2011- 2012.

Con respecto al comportamiento de humedad en el perfil del suelo, se observó mayor estabilidad de humedad en SD en todo el perfil del suelo, mientras que en LC se observó más rápida la pérdida de humedad en el primer estrado de 0-30 cm, debido a la evaporación del suelo y esto se da mayormente en las primeras etapas del cultivo.

Se estimó un incremento de HA de 4.62% en SD mientras que en LC solo alcanzó 1.47% (Cuadro 3). Confirmándose el efecto conservador de los residuos de cosecha (Fregoso *et al.*, 2008). Figueroa y Morales (1996) indican que, en la mayoría de los estudios en México, la labranza de conservación ha conservado más humedad en el suelo. Estos resultados se atribuyen a la función desempeñada por el residuo de maíz dejado sobre la superficie del suelo, siendo más rápida la descomposición en las capas que están en contacto con el suelo, dado que ahí se presentan las mejores condiciones de humedad y temperatura para la mayor actividad microbiana del suelo (Velázquez *et al.*, 2002).

Cuadro 3. Capacidad de almacenamiento de agua en siembra directa y labranza convencional.

Ciclo agrícola	Siembra directa (SD)			Labranza convencional (LC)		
	CC	PMP	HA	CC	PMP	HA
2009-2010	51.3	35.5	15.8	51.3	35.5	15.8
2012-2011	51.8	35.8	16	51.5	35.6	15.9
2011-2012	52.9	36.3	16.6	51.8	35.8	16.1
Diferencia	+1.6	+0.8	+0.8	+0.5	+0.3	+0.3
Diferencia (%)	+3.1	+2.4	+4.6	+1	+0.8	+1.5

CC= capacidad de campo; PMP= punto de marchitez permanente; HA= humedad aprovechable.

Este comportamiento de humedad en el suelo permitió aplicar nueve riegos en SD con una lámina total de 52.48 cm, mientras que en LC se aplicaron 10 con una lámina total de 54.18 cm. En este ciclo se observó la posibilidad de un ahorro potencial de $800 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en riego por aspersión, sin mermas en calidad y rendimiento de grano.

Los costos de producción en siembra directa fueron menores al reducirse el uso de maquinaria agrícola. Debido a la tendencia de incremento de materia orgánica y al aumento de la cantidad de paja en la superficie, se observó menor presencia de malezas.

La productividad del agua en el último ciclo fue de 1.51 y 1.38 kg m^{-3} para SD y LC respectivamente, derivado del ahorro de agua y un incremento 6% del rendimiento. Esto refleja la importancia de mantener condiciones óptimas de humedad para alcanzar el máximo potencial de rendimiento.

Conclusiones

El sistema de producción de siembra directa en los tres ciclos agrícolas evaluados, contribuyó al mejoramiento de las propiedades físico-químicas del suelo. Se observó un incremento en el contenido de materia orgánica, ligera reducción en conductividad eléctrica (CE), tendencia a bajar el pH y en densidad aparente no hubo respuesta. Se incrementó además la capacidad de retención de humedad aprovechable en el suelo 4.7% con respecto al valor inicial y una reducción de $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$ de la temperatura de la superficie del suelo.

El incremento de materia y humedad aprovechable permitió eliminar un riego de auxilio equivalente a ahorrar un volumen de $800 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Se obtuvo un incremento 6% del rendimiento y obtener una productividad del agua de 1.51 kg m^{-3} , 0.13 unidades mayor que LC. Se logró reducir 20% los costos de producción del maíz, con respecto al sistema tradicional, en los rubros preparación del terreno, cultivos y control de malezas (efecto de la cobertura de la paja). Esta técnica representa una alternativa para reducir la vulnerabilidad de las zonas de riego a eventos extremos (sequías y heladas) y cambio climático, además para mejorar las propiedades del suelo.

Literatura citada

- Blevins, R. L.; Thomas, G. W. and P. L. Cornelius. 1977. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after five years of continuous corn. *Agron. J.* 69(3):383-386.
- Botta, G. F.; Jorajuria, D.; Balbuena, R. and Rosatto, H. 2004. Mechanical and cropping behaviour of direct drilled soil under different traffic intensities: effect of soybean (*Glycine max* L.) yields. *Soil Till. Res.* 78(1):53-78.
- Botta, G. F.; Jorajuria, D.; Rosatto, H. and Ferrero, C. 2006. Light tractor traffic frequency on soil compaction in the Rolling Pampa region of Argentina. *Soil Till. Res.* 86(1):9-14.
- Bessembinder, J. E.; Leffelaar, P. A.; Dhindwal, A. S. and Ponsioen, T. C. 2005. Which crop and which drop, and the scope for improvement of water productivity. *Agric. Water Manag.* 73(2):113-130.

- Bravo, C. y E. Andreu. 1995. Propiedades físicas y producción de maíz (*Zea mays* L.) en un Alfisol del estado Guárico, Venezuela, bajo dos sistemas de labranza. *Revista de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo y del Instituto de Edafología* 3(2):62-68.
- Duley, E. L. and Russell, J. C. 1942. Effect of stubble mulching on soil erosion and runoff. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 7(2):77-81.
- Espinoza, Y.; Rice C. W. y Lamond, R. E. 1998. Effects of nitrogen source and tillage on soil organic matter. *In: Lamond, R. G. (Ed.). Kansas fertilizer Research, 1997. Rept. of Progress No. 800. Kansas Ag. Exp. Stn., Manhattan, K. S. 105-106 pp.*
- Figueroa, S. B. y Morales, F. 1996. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. Colegio de Postgraduados. *Campus* San Luís Potosí. México.
- Fregoso, T. L. E. 2008. Cambios en las características químicas y microbiológicas de un vertisol inducidos por sistemas de labranza de conservación. *Terra Latinoam.* 26:161-170.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2011. The state of the world's land and water resources for food and agriculture, managing systems at risk Rome and Earthscan, London. <http://www.fao.org/docrep/015/i1688e/i1688e00.pdf>.
- Lal, R. 1997. Long-term tillage and maize monoculture effects on tropical Alfisol in Western Nigeria. I: crop yield and soil physical properties. *Soil Till. Res.* 42:145-160.
- López, M. J. D.; Gutiérrez, P. G. y Berumen P. S. 2000. Labranza de conservación usado cobertura de abono orgánico en alfalfa. *Terra* 18:161-171.
- Narro, F. E. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. Editorial trillas. México, D. F.
- Ojeda, B. W.; Sifuentes, I. E.; Íñiguez, C. M. y Montero, M. M. J. 2011. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimiento hídrico de los cultivos. *Agrociencia.* 45:1-11.
- Ojeda, B. W.; Sifuentes, I. E.; Rojano, A. A. e Íñiguez, C. M. 2012. Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático. *In: Martínez-Austria, P. F. and Patiño-Gómez, C. (Eds.). Adaptación al cambio climático. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 71-117 pp.*
- Ojeda, B. W.; Sifuentes, I. E. y Unland, W. H. 2006. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa. *Agrociencia.* 40:13-25.
- Onofiok, O. 1988. Spatial and temporal variability of some soil physycal properties following tillage of Nigerian Paleustult. *Soil Tillage and Res.* 12:285-298.
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista Alcance de la Facultad de Agronomía (UCV).* 32: 85-91.
- Rodríguez, N. F.; Ramírez, S. L. F. y Sustaita, R. F. 1987. Materia orgánica. Efecto en el suelo e influencia directa en la planta. Publicaciones del Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Folleto técnico 50 p.
- Sifuentes I. E.; Macías C. J.; Ruelas I. J. R.; Preciado R. P.; Ojeda B. W. e Inzunza I. M. A. 2015. Mejoramiento del grado de uso del nitrógeno en maíz, mediante técnicas parcelarias de riego por superficie. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(8):1903-1914.
- Sifuentes I. E.; Quintana Q. J. G.; Macías C. J. y González C. V. M. 2013. Irrimodel. Programación integral y gestión del riego a través de internet. Manual del Usuario. Versión 1.0. INIFAP-CIRNO-CEVAF. Los Mochis, Sinaloa, México. Folleto técnico núm. 37. 43 p.
- Velázquez, G. J. de J.; Salinas, G. J. R.; Potter, M. K. N.; Gallardo; V.; Caballero H. F. y Díaz M. P. 2002. Cantidad, cobertura y descomposición de residuos de maíz sobre el suelo. *Terra.* 20(2):171-182.