

Mejoramiento de las propiedades hidráulicas del suelo en el cultivo de soya mediante el subsuelo

Moisés Alonso-Báez^{1§}
Guillermo López-Guillen¹
Manuel Grajales-Solís¹

1 Campo Experimental Rosario Izapa-INIFAP. Carretera Tapachula-Cacahoatan km 18, Tuxtla Chico, Chiapas, México. CP. 30870. (lopez.guillermo@inifap.gob.mx; grajales.manuel@inifap.gob.mx).

[§]Autor para correspondencia: alonso.moises@inifap.gob.mx

Resumen

La preparación del suelo para la siembra de soya en el Soconusco, Chiapas, se lleva a cabo de manera intensiva y en condiciones de suelo húmedo, lo cual hace que se compacte el suelo y se forme el 'piso de arado' a 35 cm de profundidad aproximadamente. 'El piso de arado' reduce la infiltración y su conductividad hidráulica a saturación. La ruptura del 'piso de arado' mediante subsolado incrementa la infiltración y mejora las propiedades hidráulicas del suelo. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar por tres años consecutivos (2017 a 2019) la infiltración en tres sistemas de manejo del suelo: subsolado (SUB), barbecho (BAR) y rastreo (RAS). Se tomaron muestras de suelo de 0-30 cm de profundidad antes de aplicar los tratamientos para estimar sus propiedades físicas e hidráulicas. Después, se aplicó SUB, BAR y RAS en una superficie de 1.5 ha, respectivamente. Cada año se midió la infiltración tres veces por el método de doble cilindro durante aproximadamente 10 h. Se determinaron las tasas de infiltración, la infiltración acumulada y la conductividad hidráulica a saturación. Los resultados confirmaron mayores tasas de infiltración con el subsolado seguida por el rastreo y barbecho, respectivamente; asimismo, la infiltración acumulada como la conductividad hidráulica a saturación, mostraron el mismo comportamiento. La ruptura del 'piso de arado' a través del subsolado incrementó la infiltración, la conductividad hidráulica a saturación y los componentes del rendimiento.

Palabras clave:

Soconusco, compactación, piso de arado.



Introducción

En el Soconusco, Chiapas, por muchos años la preparación del suelo para la siembra de soya ha sido intensa y en condiciones de suelo húmedo, dicha actividad ha comprendido entre uno y siete pasos de rastra antes de los años 90's. Actualmente, estos suelos presentan niveles variados de compactación que, como lo reporta la literatura en este ámbito (Van Ouwerkerk y Soane, 1994; Cabria y Culot, 1999; Alakukku *et al.*, 2003; Ahmad *et al.*, 2007), el paso repetitivo de la maquinaria compacta el suelo, reduce la permeabilidad y el almacenamiento de la humedad el perfil radical del cultivo (Comia *et al.*, 1994; Van Wie *et al.*, 2013).

También, cuando se mulle el suelo con la rastra, continúa la siembra de la soya y si inmediatamente llueve, se forma una 'costra' que causa taponamiento de la superficie e impide la germinación de la semilla. Cuando esto ocurre se realiza una segunda siembra y genera más gastos de producción. En el ámbito mundial, la compactación de los suelos se interpreta como una forma de su degradación física ocasionada por el uso intensivo de la maquinaria agrícola (Van Ouwerkerk y Soane, 1994; Kuiperd y van de Zande, 1994), este tráfico produce una capa dura (piso de arado) por debajo de la capa arable que reduce la infiltración, obstaculiza el movimiento interno del agua, inhibe el crecimiento radical y el rendimiento de los cultivos (Czarnes *et al.*, 2000; Hagedorn y Bundt, 2002).

Una manera de incrementar la infiltración es a través del subsoleo, cuya ruptura del 'piso de arado', incrementa la infiltración, el movimiento interno del agua, su redistribución, su capacidad de almacenamiento y crecimiento radical del cultivo para explorar mayor volumen de la rizosfera (Lampurlanes *et al.*, 2001; Sharma *et al.*, 2004). También, la ruptura del 'piso de arado' conduce a la mejora estructural del suelo, ya que permite el intercambio libre de flujos hacia el subsuelo, incrementa el intercambio de gases y reduce los escurrimientos superficiales (Bertolino *et al.*, 2010).

En general, se concibe que la sustentabilidad en la agricultura sólo es posible mediante la conservación del suelo y agua. En condiciones de temporal, el cuidado del agua redundaría en la mejora sustentable de la producción siempre y cuando su manejo sea eficiente. De aquí la importancia de conocer el contenido y dinámica del agua en el suelo con fines de su almacenamiento y conservación para los cultivos, principalmente para la soya en condiciones de temporal. La dinámica del agua en el suelo es interferida por varios factores que limitan su aprovechamiento; entre estos, los sistemas de labranza en condiciones de suelo húmedo y por tiempos prolongados (Alakukku *et al.*, 2003).

Durante la compactación, algunas características físicas del suelo como reducción de la porosidad, incrementa la densidad aparente y limita el flujo de agua durante su redistribución. Algunas investigaciones sobre las variables hidráulicas del suelo recomiendan el desarrollo de teorías, mediciones en campo y el uso de modelos fisicomatemáticos para comprender el fenómeno de la compresión del suelo sobre sus propiedades hidráulicas (Horton *et al.*, 1994).

Es así que, la ruptura de la compactación mejora las propiedades hidráulicas del suelo, y por esto son necesarios el uso de métodos fisicomatemáticos para la medición y ajuste de esta información que evidencie la mejora sustantiva de esta práctica. Toda vez que, la infiltración es la única fuente de ingreso y recarga de agua en el suelo, su conocimiento conlleva a recomendar el subsoleo como medida de conservación del suelo y agua, en particular para el cultivo de soya en condiciones de temporal (Klute y Dirksen, 1986; Cabria y Culot, 2000).

El laboreo repetitivo para siembra de soya en el Soconusco, Chiapas; reveló que estos suelos mantienen de mediana a alta compactación observable mediante perfiles de suelo, lo cual originó esta investigación cuyo objetivo fue evaluar por tres años consecutivos la infiltración en tres sistemas de manejo del suelo y su conductividad hidráulica a saturación de un predio, en cuyo suelo año tras año se siembra la soya en las condiciones mencionadas, así como la mejora del rendimiento del cultivo.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

El experimento se ubicó en el municipio de Tapachula, Chiapas; entre las coordenadas 14° 45' latitud norte y 92° 23' longitud oeste a una altitud de 16 m. El clima es cálido subhúmedo, cuya temperatura promedio fue 28 ± 1 °C y la precipitación acumulada promedio anual es de 1 110 mm. El suelo con base en su textura es un tipo franco, el pH fue de 6.6 ligeramente ácido y un contenido de materia orgánica de 2.5%. El periodo experimental comprendió tres años consecutivos y durante los ciclos de producción primavera-verano (PV) 2017, 2018 y 2019.

Tratamientos y diseño experimental

El experimento consistió en tres tratamientos de 1.5 ha (150 m de largo por 100 m de ancho) distribuidos como parcelas independientes. El subsoleo (SUB) más un paso de rastra y siembra mecanizada, barbecho (BAR) más un paso de rastra y siembra mecanizada, y rastro (RAS), dos pasos de rastra y siembra mecanizada. Anualmente la preparación del suelo para la siembra se hizo en la segunda quincena de junio. Las fechas de siembra fueron variables, 10 de julio en 2017, 12 y 8 de julio en 2018 y 2019, respectivamente.

El material vegetal fue la variedad de soya Huasteca 100 generada por el Campo Experimental Sur de Tamaulipas dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Esta variedad es un material de porte y ciclo intermedio. En relación con la infiltración del agua en el suelo, ésta se sustenta en toda una teoría descrita mediante modelos fisicomatemáticos que gobiernan su comportamiento.

Estudios preliminares

A través de perfiles de suelo abiertos en enero de 2017, se detectó el 'piso de arado' aproximadamente a ± 35 cm de profundidad, lo que indicó una profundidad para la práctica del subsoleo a 70 cm durante el periodo seco (abril). Dichos perfiles fueron observados al interior de cada tratamiento (tres) para este propósito, de donde al inicio del ciclo experimental se extrajeron muestras de suelo a las profundidades de 0-30 cm y se determinaron sus características físicas.

A partir de éstas se estimaron los parámetros de humedad y la conductividad hidráulica a saturación inicial para su comparación después del periodo experimental (tres años). Dichas estimaciones se hicieron con base en su textura, mediante el software SPAW V. 6.02.75; cuyos parámetros de humedad fueron: contenido volumétrico de humedad a capacidad de campo ($\#_{cc}$), punto de marchitamiento permanente ($\#_{PMP}$) contenido de humedad a saturación ($\#_s$), tasa de infiltración (q_0) conductividad hidráulica a saturación (K_s) y su densidad aparente (D_a).

La infiltración

Brevemente se describe la teoría de la infiltración del agua que, en este estudio fue observada en los diferentes sistemas de manejo del suelo donde se ha cultivado la soya por más de 40 años consecutivos en condiciones de temporal. En términos generales el fenómeno de la infiltración no es más que la entrada del agua al interior del suelo por su superficie, físicamente en condiciones de suelo seco y de esta manera, este fenómeno está gobernado por los potenciales o fuerzas mátrica y gravitacional. Sin embargo, a medida que el agua entra al suelo, este se humedece y el potencial mátrico desaparece debido a que los poros se llenan de agua (suelo saturado) y cesan las fuerzas capilares; entonces, cuando esto ocurre sólo participa el potencial gravitacional (Cabria y Culot, 1999).

La descripción de este fenómeno a través del tiempo ha sido analizada por algunos autores mediante expresiones matemáticas cuya aproximación cuasi analítica revelan la dinámica de la infiltración (Green y Ampt, 1911; Kostiaikov, 1932; Swartzendruber, 1993; Horton, 1940; Holtan,

1961; Philip, 1957), pero actualmente se continúa en la interpretación fisicomatemática de estos principios para determinar otras funciones que mejor describan el fenómeno.

Entre los autores citados, Philip (1957) dedujo una expresión para la infiltración acumulada, $I(t)$, que hasta ahora presenta buenos resultados, ya que a partir de esta ecuación truncada en el término cuadrático se deducen los coeficientes mediante los cuales se estima la conductividad hidráulica a saturación (K_s) por Kutilek y Krejca (1987). En relación con los antecedentes señalados, es evidente que la fuente de ingreso del agua en el suelo es la infiltración, ya que mediante ésta se determina la cantidad de agua que ingresa al suelo por su superficie en función del tiempo.

En este trabajo de investigación se midieron la tasa de infiltración, $q_0(t)$ y la lámina de infiltración acumulada, $I(t)$. En relación con el flujo de agua (q_0), el subíndice 0, se refiere a la entrada de agua por la superficie del suelo, $Z=0$. Existen métodos para medir la infiltración como el de doble cilindro (cilindros concéntricos), cuya información se ajusta por modelos fisicomatemáticos que permiten analizar su comportamiento.

De este modo, la tasa de infiltración, $q_0 = dl/dt$, (ecuación 1), es una magnitud (cm min^{-1}), cuyo comportamiento es una función monótona potencial que disminuye rápidamente a través del tiempo (q_0) y se aproxima a un valor constante; es decir, $t=0$; cuando $q_0 \rightarrow \infty$ (ecuación 2); y cuando $t \rightarrow \infty$ $q_0 = \text{constante}$; es decir, en teoría; $q_0 = K_s$ (conductividad hidráulica a saturación; cm min^{-1}); cuando $t \rightarrow \infty$ (ecuación 3)

Sucesivamente la infiltración del agua en el suelo es una variable del volumen de agua que ingresa en el suelo por unidad de área a través de un tiempo determinado, y se denota cómo infiltración acumulada, $I(t)$, misma que se expresa en unidades lineales como lámina acumulada en el suelo en función del tiempo. Ésta es una curva continua ascendente expresada por la ecuación 4.

1).

$$q_0(t) = \frac{dI}{dt}$$

2).

$$\lim_{t \rightarrow 0} q_0(t) \rightarrow \infty$$

3)

$$\lim_{t \rightarrow \infty} q_0(t) \rightarrow K_s$$

4)

$$I(t) = \int_0^t q_0(t) dt$$

La tasa de infiltración, $q_0(t) = dl/dt$, como se señaló, disminuye exponencialmente a través del tiempo y se aproxima a un valor constante después de un tiempo largo de infiltración. Entonces, si $t \rightarrow \infty$, $q_0 \rightarrow K_s$, de tal manera que la tasa de infiltración alcanza un valor constante y se aproxima a la conductividad hidráulica a saturación, K_s (Chow *et al.*, 1988). En general, las mediciones de la infiltración son ampliamente utilizadas para estimar la conductividad hidráulica a saturación (K_s), ya que esta propiedad física del suelo es clave para describir sus propiedades hidráulicas y el balance hidrológico sobre la superficie terrestre (Campbell, 1985; Van Looy *et al.*, 2002; Hillel, 2003; Lal y Shukla, 2004; Morbidelli *et al.*, 2011).

Además, su valor es un parámetro fundamental para el diseño correcto de sistemas de riego. Algunas propiedades del suelo, tales como su textura, densidad aparente, contenido de humedad inicial, capas o estratos en el perfil del suelo, pendiente del terreno, cobertura del suelo (residuos de cosecha y pedregosidad), patrón de la lluvia y el tiempo influyen en la variabilidad de la infiltración (Smith *et al.*, 2002). En la tercera etapa de esta investigación se realizaron dos mediciones de la infiltración al interior de cada tratamiento.

La tasa de infiltración, $q_0(t) = dl/dt$, cuyo comportamiento es similar a la ecuación de Kostiakov (1932), muestra un gráfico para un tiempo largo de la infiltración y experimenta una magnitud que decrece exponencialmente, y cuando este valor se aproxima a la asíntota con la horizontal, dicho valor es la infiltración básica (IB) del suelo particular. Asimismo, la infiltración acumulada, $I(t)$ es la suma de la infiltración en el tiempo y representada por la ecuación de Philip (1957), reducida a los primeros tres términos (ecuación 5), misma información que fue sometida a su ajuste mediante la ecuación 6 (Kutilek y Krejča, 1987). $I(t) = C_1 t^{1/2} + C_2 t + C_3 t^{3/2} + C_4 t^2 + C_m t^{m/2}$ 5). Donde: C_1, C_2, C_3, C_m ; son parámetros de la ecuación; y t es el tiempo.

Kutilek y Krejča (1987) sugirió los primeros tres términos de la ecuación de Philip (1957), de cuyos coeficientes de ajuste se estima la conductividad hidráulica a saturación (K_s) mediante la ecuación 6. $K_s = (3C_1 * C_3)^{1/2} + C_2$ 6). Donde: C_1 estima la sortividad, C_3 , y C_2 son parámetros de la ecuación. A partir de la información de campo, la infiltración y otras características hidráulicas del suelo objeto de esta investigación se realizaron las estimaciones y ajustes correspondientes por los modelos señalados y procesados mediante el Software Curve Expert V. 2.6.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presentan la textura del suelo y los parámetros de humedad en relación con los diferentes tratamientos de manejo del suelo. Se observó que para el mismo suelo con base en su textura; después del subsoleo (abril de 2017), estos parámetros y su densidad aparente sólo mostraron ligera variación, denotados como valores iniciales. Sobre estos resultados, otras investigaciones reportaron similar variabilidad durante el primer año de observación y señalan que esto se debe a la misma heterogeneidad del suelo (Kutilek y Nielsen, 1994).

Cuadro 1. Parámetros de humedad del suelo, densidad aparente, tasa de infiltración y conductividad hidráulica a saturación en tres sistemas de manejo del suelo: subsoleo, barbecho y pasos de rastra, en suelos productores de soya en el soconusco, Chiapas.

Textura del suelo	Variables hidráulicas	Subsoleo		Barbecho		Rastro	
		2017	2019	2017	2019	2017	2019
Franco	Θ_{PMP} (%)	15.4	15.4	15.1	15.1	15.8	15.8
	Θ_{CC} (%)	28.2	28.2	27.7	27.7	28.9	28.9
	Θ_s (%)	40.8	40.8	39.5	39.5	39.4	39.4
	D_a (g cm ⁻³)	1.04	1.04	0.97	0.97	0.94	0.94
	q_0 (cm min ⁻¹)	0.027	0.06	0.011	0.044	0.019	0.033
	K_s (cm h ⁻¹)	1.27	2.34	1.32	2.1	1.57	2.22
	Δ de K_s (%)		184		159		141

Θ_{PMP} = contenido volumétrico de humedad a punto de marchitamiento permanente en por ciento; Θ_{cc} = contenido volumétrico de humedad a capacidad de campo en por ciento; Θ_s = contenido volumétrico de humedad a saturación en por ciento; D_a = densidad aparente del suelo; q_0 = tasa de infiltración; Δ = incremento y K_s = conductividad hidráulica a saturación.

En el Cuadro 1, también se muestra que el subsoleo en relación con los demás sistemas de manejo del suelo (barbecho y pasos de rastra) después de tres años, éste reportó un cambio significativo en la tasa de infiltración, cuyo valor se incrementó 184% con respecto a su valor inicial. Asimismo, el tratamiento de barbecho, su tasa de infiltración experimentó un incremento con respecto a su valor inicial de 159% y el tratamiento de pasos de rastra se incrementó 141% durante este periodo experimental.

Aun cuando los resultados corresponden a un periodo de mediano plazo, se infiere qué entre los sistemas de manejo del suelo evaluados, el subsoleo evidencia que su práctica promueve el incremento de la infiltración y otras propiedades físicas e hidráulicas del suelo. Esta afirmación puede observarse en la Figura 1, donde se muestra la dinámica de la tasa de infiltración en el tiempo. En tanto que en la Figura 2 se muestra la infiltración acumulada en el tiempo observado, donde el valor superior de la lámina infiltrada corresponde al subsoleo.

Con respecto a la lámina infiltrada acumulada, $I(t)$, en la Figura 2 se muestra evidencia del impacto del sistema de subsoleo en los suelos productores de soja en condiciones de temporal, toda vez que en el corto plazo bajo el sistema de manejo del suelo evaluados, la lámina infiltrada acumulada, $I(t)$, en el perfil radical del cultivo fue de 38 cm, seguida por los sistemas de manejo del suelo de sólo pasos de rastra y barbecho del suelo, cuyas láminas infiltradas acumuladas fueron de 28 cm y 21 cm, respectivamente, y para tiempos equitativos de evaluación de ocho y media horas en todos los sistemas de manejo del suelo evaluados.

Figura 1. Comportamiento promedio de las tasas de infiltración, q_0 (cm min^{-1}), en tres sistemas de manejo del suelo: subsoleo (SUB), barbecho (BAR) y pasos de rastra (RAS), en suelos productores de soja del Soconusco, Chiapas.

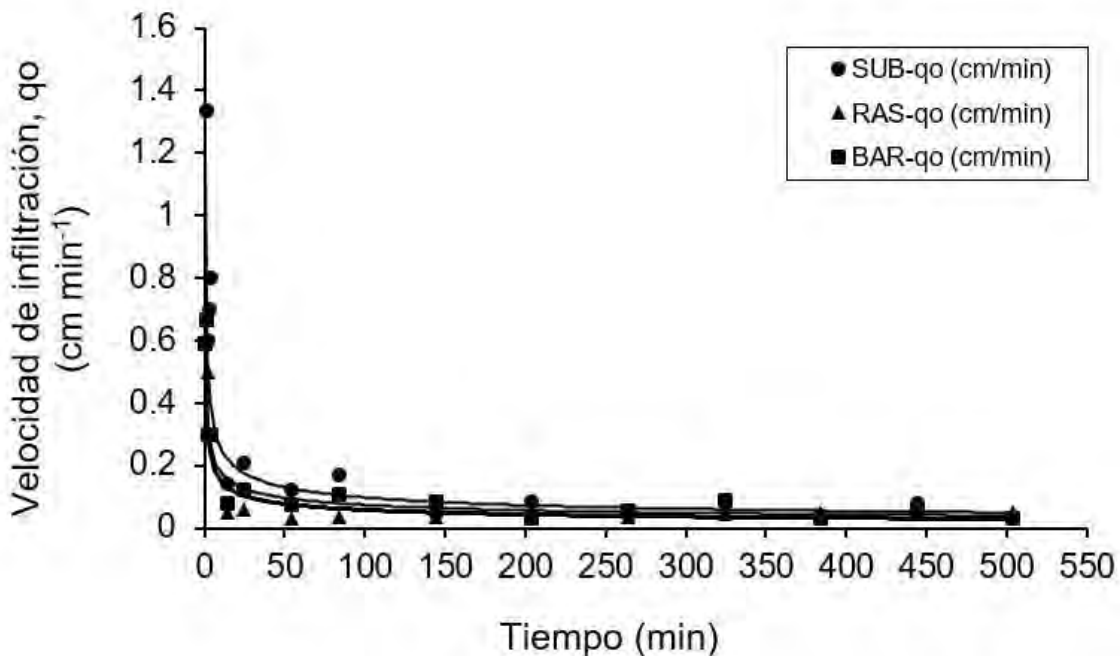
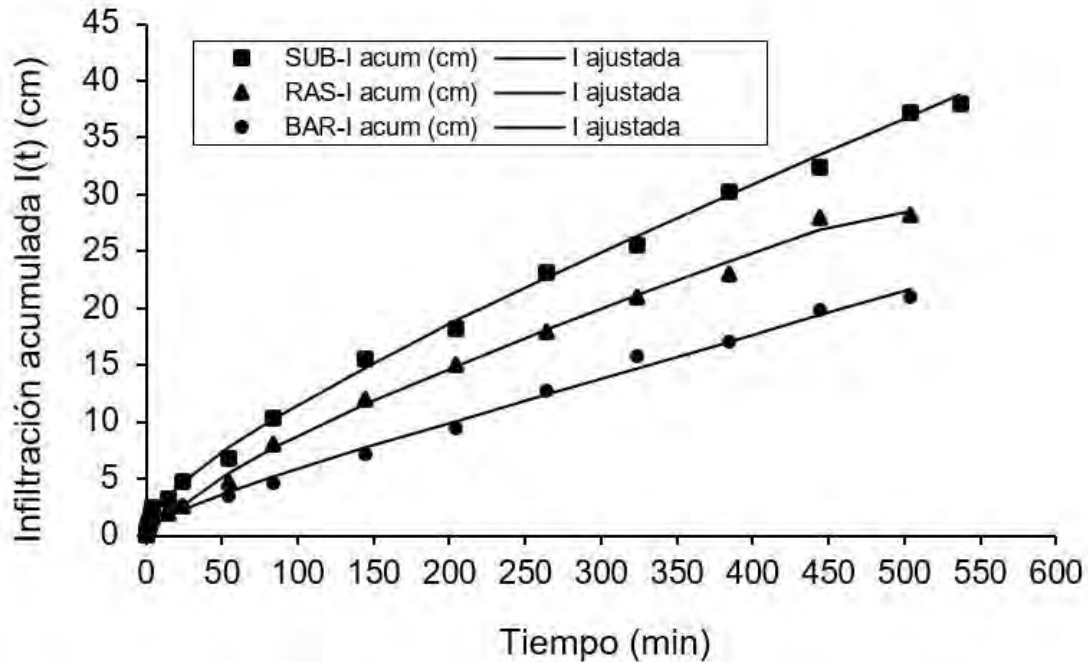


Figura 2. Comportamiento promedio de la infiltración acumulada $I(t)$; cm], en tres sistemas de manejo del suelo: subsoleo (SUB), barbecho (BAR) y pasos de rastra (RAS), en suelos productores de soya de El Soconusco, Chiapas.



Con base en estos resultados, las láminas de infiltración acumuladas revelaron ventaja potencial del sistema de subsoleo para el manejo del suelo en la producción sustentable de la soya en condiciones de temporal en Chiapas. Asimismo, otras ventajas además de las propiedades hidráulicas señaladas contribuyen a mejorar las propiedades físicas en suelos compactados. Algunas investigaciones en este ámbito señalan que el subsoleo con cincel, como fue el caso en esta investigación, produjo incremento en las tasas de infiltración (Álvarez *et al.*, 2006; Soracco, 2009).

En el marco de investigaciones similares sobre el subsoleo, los análisis estadísticos no reportaron diferencia significativa sobre las propiedades físicas del suelo, en particular sobre la densidad aparente; mientras que, la tasa de infiltración fue altamente significativa sobre los tratamientos sin subsoleo (Solhjou y Niazi Ardekani, 2001).

En el mismo sentido, Desale *et al.* (2012) reportó altas tasas de infiltración, de infiltración acumulada y mayor retención de humedad mediante el subsoleo comparado con la labranza tradicional. También, se remarcan efectos atribuibles al subsoleo del cual se reportó incremento del contenido de humedad en la zona radical de los cultivos por la mejora asociada a la macroporosidad e inducción de mayores tasas de infiltración e incremento de la redistribución radical en el perfil del suelo (Mohanty *et al.*, 2007; Zibilske and Bradford, 2007).

Otras investigaciones remarcan ventajas sustantivas del subsoleo para mejora de la infiltración y redistribución del agua al interior del perfil del suelo (Sushil *et al.*, 2018), derivado de la infiltración, su conductividad hidráulica a saturación ésta contribuye a la recarga de los acuíferos. En general el efecto del subsoleo sobre los suelos afectados por la labranza repetitiva y por periodos prolongados de tiempo como ocurre en el Soconusco, Chiapas, la presente investigación reveló resultados preliminares aceptables para la mejora de la infiltración y la conductividad hidráulica a saturación.

En relación con la conductividad hidráulica a saturación, en el Cuadro 1, hilera 8 se observó que el porcentaje superior de esta variable en el mediano plazo correspondió al subsoleo sobre el resto de los sistemas de manejo del suelo cultivados consecutivamente con soya en condiciones de temporal. Asimismo, otras investigaciones señalan que el movimiento interno del agua en el suelo no puede detectarse de un ciclo a otro y dicho fenómeno solo es observable a través de un perfil de suelo después de un periodo largo de tiempo (Klute y Dirksen, 1986; Cabria y Culot, 1999).

Sin embargo, esta investigación permitió observar que, en el corto plazo (tres años) el subsoleo incrementó la conductividad hidráulica a saturación. En lo sucesivo, investigaciones similares indican que el subsoleo en el cultivo de soya experimentó ventaja superior sobre la labranza convencional, toda vez que mediante esta práctica se incrementa la tasa de infiltración y el almacenamiento de agua en el perfil radical del cultivo, ya que dicha condición superior de humedad, minimiza el riesgo de déficit hídrico y favorece la productividad del sistema de producción soya en condiciones de temporal (Heatherly and Spurlock, 2001; Wesley *et al.*, 2001).

Rendimiento y componentes de rendimiento en función del subsoleo

El análisis de resultados en relación con los sistemas de manejo del suelo en esta investigación, principalmente el subsoleo, éste en primer lugar, mostró clara evidencia de su efecto, ya que en este sistema se observó mayor capacidad de almacenamiento de agua en la zona radical del cultivo de soya en condiciones de temporal, en función de una lámina acumulada superior de 38 cm, comparada con los sistemas de barbecho y rastreo del suelo, respectivamente.

Por otra parte, se analizó el impacto de los sistemas de manejo del suelo sobre el rendimiento de soya y de sus variables agronómicas de interés. Estos resultados se presentan en el Cuadro 2, cuyos análisis de varianza de los años analizados (2017, 2018 y 2019) y su posterior separación de medias ($p \leq 0.05$), revelaron que el rendimiento, número de vainas, ramas y entrenudos; el subsoleo marcó una tendencia superior sobre los demás tratamientos. Sin embargo, en relación con las variables altura de planta y peso de 100 granos, el subsoleo mantuvo un comportamiento similar a los demás tratamientos (barbecho y rastreo).

Cuadro 2. Variables de respuesta de la soya en condiciones de temporal como función de tres sistemas de manejo del suelo en el soconusco, Chiapas. Ciclos PV: 2017, 2018 y 2019.

Tratamientos	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Altura- planta (cm)	Núm. vainas (unidades)	Peso de 100 granos (g)	Núm. ramas (unidades)	Entrenudos (unidades)
Subsoleo	2 634 a	76.6 a	85.3 a	17.5 a	5.8 a	13.7 a
Barbecho	1 873 b	71.1 a	50.8 b	18.9 a	3.4 b	12.6 a b
Rastreo	1 772 b	68.7 a	35.9 b	18.7 a	5.2 a	10.1 b

Medias de variables de respuesta. Tukey ($p \leq 0.05$)

En resumen, el subsoleo en esta investigación confirmó una mejora sustantiva para el manejo del suelo en el cultivo de soya en condiciones de temporal, ya que es un sistema de manejo del suelo efectivo para romper la capa de arado, reduce la densidad aparente y promueve la expansión de raíces en el subsuelo. Éste también ha demostrado mejorar las operaciones de labranza para la mejora de la rizófora, la diversidad microbiana y la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (Desale *et al.*, 2012). Asimismo, el subsoleo establece condiciones ideales para el desarrollo radical y retarda la senescencia de la planta; aumenta el rendimiento de grano y hace posible el incremento de la densidad de población en este cultivo (Mohanty *et al.*, 2007; Zibilske y Bradford, 2007).

Conclusiones

Se determinó que la ruptura del piso de arado a través del subsoleo en suelos productores de soya de El Soconusco, Chiapas, en el corto plazo, por una parte, incrementó la tasa de infiltración y su conductividad hidráulica a saturación y por otra parte, incrementó el rendimiento y sus componentes de rendimiento.

Bibliografía

- 1 Ahmad, N.; UL-Hassan, F. and Qadir, G. 2007. Effect of subsurface soil compaction and improvement measures on soil properties. *Int. J. Agric. Biol.* 9(3):509-513.
- 2 Alakukku, L.; Weisskopf, P.; Chamen, W. C. T.; Tijink, F. G. J.; Van Der Linden, J. P.; Pires, S.; Sommer, C. and Spoor, G. 2003. Prevention strategies for field traffic induced subsoil compaction: a review. Part 1. Machine soil interactions. *Soil Till Res.* 73:145-160.
- 3 Álvarez, C. R.; Taboada, M. A; Bustingorri, C. y Gutiérrez, B. F. H. 2006. Descompactación de suelos en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. *Ciencia del Suelo.* 24(1):1-10.
- 4 Bertolino, A. V. F.; Nelson, F. N. F. and Miranda, J. P. L. 2010. Effects of plough pan development on surface hydrology and on soil physical properties in southeastern brazilian plateau. *J. Hydrol.* 393(1-2):94-104.
- 5 Cabria, F. N y Culot, J. P. 1999. Sortividad y conductividad hidráulica saturada de udoles del Sudeste Bonaerense, Argentina. *Ciencia del Suelo.* 17:8-19.
- 6 Cabria, F. N. y Culot, J. P. 2000. Efectos de la labranza convencional sobre la sortividad y la conductividad hidráulica saturada en udoles del sureste de la provincia de Buenos Aires. *Ciencia Suelo.* 18:1-8.
- 7 Campbell, G. S. 1985. *Soil physics with basic: transport models for soil-plant systems.* Elsevier. 149 p.
- 8 Chow, V.; Maidment, D. and Mays, L. 1988. *Applied hydrology* Ed. McGraw-Hill, New York. 572 p.
- 9 Czarnes, S.; Hallett, P. D. and Bengough, A. G. 2000. Root and microbial derived mucilage's affect soil structure and water transport. *Eur. J. Soil Sci.* 51:435-443.
- 10 Desale, K. A.; Melesse, T. L. and Abdu, A. M. 2012. Effect of winged subsoiler and traditional tillage integrated with fanya juju on selected soil physic-chemical and soil water properties in the northwestern highlands of Ethiopia. *East Afr. J. Sci.* 6(2):105-116.
- 11 Green, W. H and Ampt, G. A. 1911. Studies on soil physics: I. Flow of air and water through soils. *J. Agr. Sci.* 4:11-24.
- 12 Hagedorn, F. and Bundt, M. 2002. The age of preferential flow paths. *Geoderma.* 108(1-2):119-132. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00129-5](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00129-5).
- 13 Heatherly, L. G.; Spurlock, S. R. 2001. 2001. Economics of fall tillage for early and conventional soybean plantings in the mi Southern USA. *Agron. J.* 93(3):511-516.
- 14 Hillel, D. 2003. *Introduction to environmental soil physics,* Academic press. New York, USA.
- 15 Holtan, H. N. 1961. A concept for infiltration estimates in watershed engineering. *Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, USA,* 41-51 pp.
- 16 Horton, R. E.; Ankeny, M. D and Allmaras, R. R. 1994. Effects of compaction on soil hydraulic properties. *Developments in agricultural engineering.* 11:141-165.
- 17 Horton, R. E. 1940. An approach towards a physical interpretation of infiltration capacity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 5(C):399-417.

- 18 Klute, A. and Dirksen, C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. *In*: methods of soil analysis, Part. 1, physical and mineralogical methods, monograph N° 9. ASA, SSSA, Madison, USA. 687-734 pp.
- 19 Kostiaikov, A. N. 1932. On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity of studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. *In*: transactions of 6th congress of international soil science society, Moscow, Part A. 17-21 pp.
- 20 Kuipers, H. and Van de Zande, J. C. 1994. Quantification of traffic systems in crop production. Ed. soil compaction in crop production. Elsevier, Amsterdam. 417-446 pp.
- 21 Kutilek, M. and Nielsen, D. R. 1994. Soil hydrology: textbook for students of soil science, agriculture, forestry, geoecology, hydrology, geomorphology and other related disciplines. Catena Verlag.
- 22 Kutilek, M. and Krejčí, M. 1987. Three-parameter infiltration equation of Philip type (in Czech). *Vodohosp. #as.* 35:52-61.
- 23 Lal, R. and Shukla, M. K. 2004. Principles of soil physics. Marcel Dekker, New York. 716 p.
- 24 Lampurlanes, B. J.; Angas, P. and Cantero, M. C. 2001. Root growth, soil water content and yield of barley under different tillage systems on two soils in semi-arid conditions. *Field Crops Res.* 69(1):27-40.
- 25 Mohanty, M.; Bandyopadhyay, K. K.; Painuli, K. D.; Ghosh, K. A.; Misra, K. P. and Hati, K. M. 2007. Water transmission characteristics of a vertisol and water use efficiency of rainfed soybean under subsoiling and manuring. *Soil Tillage Res.* 93:420-428.
- 26 Morbidelli, R.; Corradini, C.; Saltalippi, C.; Flammini, A. and Rossi, E. 2011. Infiltration-soil moisture redistribution under natural conditions: experimental evidence as a guideline for realizing simulation models, *Hydrology and Earth System Sciences.* 15(19):2937-2945.
- 27 Philip, J. R. 1957. The theory of infiltration: 1 The infiltration equation and its solution. *Soil Sci.* 83(5):345-357.
- 28 Philip, J. R. 1957. The theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Sci.* 84(3):257-264.
- 29 Sharma, P.; Tripathi, R. P.; Singh, S. and Kumar, R. 2004. Effect of tillage on soil physical properties and crop performance under rice-wheat system. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 52(1):12-16.
- 30 Smith, R. E.; Smettem, K. R.; Broadbridge, P. and Woolhiser, D. 2002. Infiltration theory for hydrologic applications. American Geophysical Union. Washington, DC.; 210 p.
- 31 Solhjou, A. A. and Niazi, A. J. 2001. Effect of subsoiling on soil physical properties and irrigated wheat yield. *J. Agric. Eng. Res.* 7:14-21.
- 32 Soracco, C. G. 2009. Efecto de la compactación sobre el sistema poroso del suelo en diferentes situaciones de labranza: modelización y realidad (tesis). Universidad Nacional de La Plata.
- 33 Sushil, K.; Mukes, J.; Vijaya, R.; Anil, K.; Vinod, K. and Naresh. 2018. Effect of various tillage practices on soil physical properties. *Int. Curr. Microbiol. App. Sci.* 7(03):1591-1596.
- 34 Swartzendruber, D. 1993. Revised attribution of the power form infiltration equation. *Water Resour. Res.* 29(7):2455-2456.
- 35 Van Looy, K.; Bouma, J.; Herbst, M.; Koestel, J.; Minasny, B.; Mishra, U.; Montzka, C.; Nemes, A.; Pachepsky, Y.; Padarian, J.; Schaap, M.; Tóth, B.; Verhoef, A.; Vanderborght, J.; van der Ploeg, M.; Weihermüller, L.; Zacharias, S.; Zhang, Y. and Vereecken, H. 2002. Ped transfer functions in earth system science: challenges and perspectives, reviews of geophysics. 55(4): 1199-1256. <https://doi.org/10.1002/2017RG000581>.

- 36 Van-Ouwerkerk, C. and Soane, B. D. 1994. Conclusions and recommendations for further research on soil compaction in crop production. *In*: Soane, B.D., van Ouwerkerk, C. (Eds.), Soil Compaction in Crop Production. Elsevier , Amsterdam. 11:627-642.
- 37 Van-Wie. J. B; Adam, J. L and Ullman, J. L. 2013. Conservation tillage in dryland agriculture impacts watershed hydrology. *J. Hydrol.* 438:26-38.
- 38 Wesley, Richard and Elmore, Carroll and Spurlock, S. 2001. Deep tillage and crop rotation effects on cotton, soybean, and grain sorghum on clayey soils. *Agron. J.* 9310.2134/agronj2001.931170x.
- 39 Zibilske, L. M. and Bradford, J. M. 2007. Soil aggregation, aggregate carbon and nitrogen and moisture retention induced by conservation tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:793-802. 10.2136/sssaj2006.0217.

Mejoramiento de las propiedades hidráulicas del suelo en el cultivo de soya mediante el subsuelo

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 June 2023
Date accepted: 01 July 2023
Publication date: 01 August 2023
Publication date: July 2023
Volume: 14
Issue: 5
Pages: 074-085
DOI: 10.29312/remexca.v14i5.3102

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Soconusco
compactación
piso de arado

Counts

Figures: 2
Tables: 2
Equations: 4
References: 39
Pages: 12