



Revista mexicana de ciencias agrícolas
ISSN: 2007-0934
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias

Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la Región Fraylesca, Chiapas

López Báez, Walter; Reynoso Santos, Roberto; López Martínez, Jaime; Camas Gómez, Robertony;
Tasistro, Armando

Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la Región Fraylesca, Chiapas

Revista mexicana de ciencias agrícolas, vol. 9, núm. 1, 2018

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263158448006>

DOI: 10.29312/remexca.v9i1.848

Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la Región Fraylesca, Chiapas

Diagnosis of compaction in soils cultivated with corn in the Fraylesca Region, Chiapas

Walter López Báez ^{1§} reynoso.roberto@inifap.gob.mx
lopez.jaime@inifap.gob.mx camas.robertony@inifap.gob.mx
*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias,
Mexico*

Roberto Reynoso Santos ¹ reynoso.roberto@inifap.gob.mx
lopez.jaime@inifap.gob.mx camas.robertony@inifap.gob.mx
*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias,
Mexico*

Jaime López Martínez ¹ reynoso.roberto@inifap.gob.mx
lopez.jaime@inifap.gob.mx camas.robertony@inifap.gob.mx
*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias,
Mexico*

Robertony Camas Gómez ¹ reynoso.roberto@inifap.gob.mx
lopez.jaime@inifap.gob.mx camas.robertony@inifap.gob.mx
*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias,
Mexico*

Armando Tasistro ² atasistro@ipni.net
Central International Plant Nutrition Institute, US

Revista mexicana de ciencias agrícolas,
vol. 9, núm. 1, 2018

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Recepción: 00 Enero 2018
Aprobación: 00 Febrero 2018

DOI: 10.29312/remexca.v9i1.848

CC BY-NC

Resumen: La compactación del suelo es un problema identificado recientemente como una de las principales limitantes en la superficie maicera del municipio de Villaflores en la región de la Frailesca, Chiapas, debido a ello, requiere ser estudiado con mayor precisión. El objetivo de este estudio fue caracterizar el problema de compactación en la superficie mecanizada cultivada con maíz en el ejido Nuevo México. Se estudiaron 177 predios, en los cuales se determinó la densidad aparente, materia orgánica y textura a las profundidades de 0-20 y de 20-40 cm. Se entrevistaron a los dueños de los predios para obtener información sobre sus prácticas de cultivo y niveles de productividad del maíz. Los resultados muestran que 83.3% del área estudiada presentó compactación superficial y 94.6% compactación en el subsuelo (piso de arado). Los productores señalaron que en años con períodos críticos de sequía los rendimientos se reducen 58%, lo cual esta correlacionado con la disminución de la porosidad a consecuencia de la compactación. Se identificaron como causas principales de la compactación al laboreo intensivo con maquinaria 100% de los sitios, el contenido muy bajo de materia orgánica 100% y el tipo de suelo (luvisoles y acrisoles). La atención del problema de compactación requiere de una estrategia integral de carácter correctivo y preventivo que debe tomar como elemento central la elevación de los contenidos de materia orgánica, para revertir la actual gestión insostenible de la tierra.

Palabras claves: gestión insostenible, maíz, suelo.

Abstract: Soil compaction is a problem recently identified as one of the main constraints on the maize surface of the municipality of Villaflores in the region of The Frailesca, Chiapas, due to this, it needs to be studied with greater precision. The objective of this study was to characterize the problem of compaction on the mechanized surface cultivated with corn in the New Mexico commn. We studied 177 plots, in which the apparent density, organic matter and texture were determined at the depths of 0-20 and 20-40 cm. The owners of the properties were interviewed to obtain information about their cultivation practices and corn productivity levels. The results show that 83.3% of the studied area presented superficial compaction and 94.6% compaction in the subsoil (plow floor). The producers pointed out that in years with critical periods of drought the yields are reduced by 58%, which is correlated with the decrease of the porosity as a result of the compaction. The main causes of the compaction were the intensive tillage with machinery 100% of the sites, the very low content of 100% organic matter and the type of soil (luvisols and acrisols). The attention of the compaction problem requires a comprehensive corrective and preventive strategy that should take as a central element the elevation of the contents of organic matter, to reverse the current unsustainable management of the land.

Keywords: corn, soil, unsustainable management.

Introducción

Con una superficie de 798 023.9 ha, la región de la Frailesca sobresale por su producción de maíz de temporal con 199 933 t en 5 537 ha cultivadas, es considerada el granero de Chiapas (Secretaría de Hacienda de Chiapas, 2012; Martínez y Espinosa, 2014). Según López *et al.* (2008), la Frailesca se ubica como la segunda región con mayor superficie con muy potencial para el cultivo de maíz con 84 096 ha.

Sin embargo, desde hace años, diversos estudios (Van Nieuwkoop *et al.*, 1992; Pulleman *et al.*, 2008) han demostrado que los rendimientos de maíz en la región han venido disminuyendo, debido principalmente a la baja fertilidad generalizada de los suelos con alrededor de 25% de los predios con porcentaje de saturación de aluminio superior a 20%, considerado como crítico para el cultivo de maíz (Tasistro, 2012), la compactación subsuperficial, inadecuada nutrición del cultivo, el monocultivo de maíz con quema de residuos de cosecha, erosión de los suelos y la realización de prácticas inadecuadas de manejo agronómico que limitan el potencial productivo, ecológico y económico de los sistemas de producción de maíz.

En lo que respecta a la compactación, los diagnósticos detectaron en los suelos mecanizados cultivados con maíz, la presencia de una capa dura a una profundidad promedio de 12.4 cm (± 4.1). Producto de los estudios realizados desde el año 2010 por el INIFAP, CIMMYT e IPNI, sobresalió el subsoleo como una alternativa inmediata para romper la capa compactada, como parte de una estrategia integral para la rehabilitación productiva de los suelos (López *et al.*, 2016). Debido a los efectos mostrados por el subsoleo en el ciclo de cultivo primavera-verano de 2015, en el cual se presentó un problema severo de sequía, que provocó pérdida total de la producción en la mayoría de las parcelas de maíz en comparación con las parcelas subsoleadas, que sólo fueron afectadas parcialmente, se ha generado un gran interés en los productores por aplicar la tecnología en sus parcelas, especialmente en el ejido de

Nuevo México, municipio de Villaflores, donde se tienen establecidos los módulos demostrativos.

El objetivo del estudio fue analizar el problema de compactación de los suelos maiceros en el ejido Nuevo México, municipio de Villaflores, como una fase previa para el diseño e implementación de un programa piloto de rehabilitación productiva.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el ejido Nuevo México, municipio de Villaflores dentro de la región Frailesca que forma parte de las regiones fisiográficas Sierra Madre de Chiapas y Depresión Central (Figura 1); el relieve del terreno está formado principalmente de sierras y valles con alturas entre los 279 y 2 755 msnm. Predomina el clima subhúmedo con lluvias en verano con precipitación entre los 1 000-2 600 mm durante el periodo de mayo-octubre. Los suelos Litosoles, Regosoles, Acrisoles y Luvisoles en conjunto ocupan 80% del área.

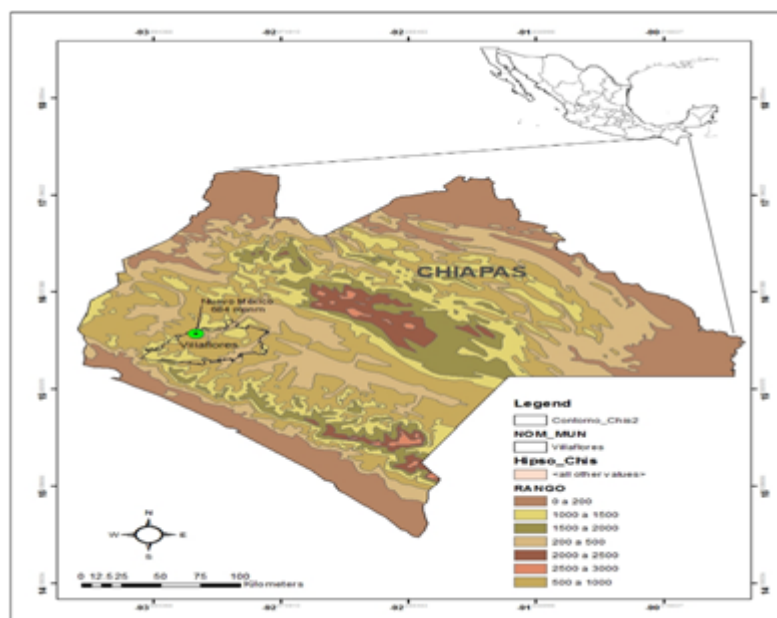


Figura 1.
Mapa de Nuevo México, Villaflores, Chiapas.

Se estudió el problema de compactación en las áreas maiceras planas donde los productores laborean los suelos con el uso tractor equipado con arado o rastra de disco, por esta razón, se excluyeron los terrenos de laderas con pendientes mayores de 20%. Los trabajos se realizaron durante el primer trimestre de 2016.

En una cuadrícula de 500 m x 500 m, se distribuyeron geográficamente 177 puntos, en los cuales se determinó la densidad aparente (DA) como indicador de compactación (Blanco, 2009) y por el método de excavación (Dane y Topp, 2002; Recio, 2009), en cada punto se tomaron muestras a las profundidades 0-20 cm y 20-40 cm para hacer un total de 354. La DA se calculó dividiendo el peso del suelo extraído seco (g) entre el volumen

(cm³) total de agua. Adicionalmente, en cada muestra se determinó materia orgánica (MO) y textura de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NON-021-RECNAT-2000. Los productores de los predios muestreados fueron entrevistados para obtener información sobre sus prácticas de cultivo y niveles de productividad del maíz. Para identificar posibles afectaciones de la compactación en el crecimiento radicular de las plantas, los valores de DA se agruparon por clase textural del suelo, basado en los criterios señalados por USDA (1999).

Los datos fueron analizados mediante SAS con medidas de centralidad y de dispersión, análisis de varianza, análisis de correlación y de regresión (Gómez y Gómez, 1984; Steel y Torrie, 1986).

Para la zonificación del problema de compactación, se agruparon los suelos en clases de compactación (sin problema, leve, moderada y grave) en función de la interacción entre la clase textural y el valor de DA, tomando como referencia criterios de USDA (1999), la clase sin problema corresponde a los casos donde el valor de DA está por debajo del valor ideal asignado a cada clase textural y la clase grave, cuando el valor de DA está por arriba del valor considerado como crítico para el crecimiento de raíces en cada clase textural (Cuadro 1).

Cuadro 1.

Clases de compactación según clase textural y densidad aparente.

A partir de análisis e interpolaciones espaciales de los datos georreferenciados (Watson y Philip, 1985) de textura y DA de los 177 sitios muestreados, usando ArcMap se generaron los mapas primarios de textura y DA y posteriormente a través de la sobreposición de ambos, se obtuvo el mapa con las clases de compactación. Para la interpolación se utilizó el método de distancia inversa ponderada (IDW), el cual determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra, en donde la ponderación es una función de la distancia inversa. Este método está basado principalmente en la inversa de la distancia elevada a una potencia matemática; el parámetro potencia le permite controlar la significancia de puntos conocidos en los valores interpolados basándose en la distancia desde el punto de salida. Su resultado es un número real positivo y su valor predeterminado es 2 (Watson y Philip, 1985).

Resultados y discusión

El problema de compactación del suelo

Los resultados del Cuadro 2 indican que en promedio los valores de densidad aparente (DA) en el subsuelo superan en 0.14 g cm³ a los de la superficie, y esta diferencia, es estadísticamente significativa (Prob. 0.00006). También en el subsuelo se presentaron los valores mínimos y máximos más altos de DA.

Cuadro 2.

Estadísticas de DA (g cm^{-3}) según profundidad del suelo.

En el Cuadro 3 se observa que 65.5% de los sitios presentan compactación superficial debido a que el valor de DA determinado, es mayor que el valor considerado como ideal para cada clase textural (USDA, 1999). El 12% se ubica en una situación, donde podría haber afectaciones para el crecimiento radicular y 1.7% la compactación presenta restricciones para el crecimiento de las raíces de los cultivos. Cabe señalar que en la totalidad de los sitios se observó un encostramiento en los primeros 5 cm de profundidad, definido por FAO (2016), como la formación de una delgada capa impermeable en la superficie del suelo.

Cuadro 3.

Relación general entre la DA en la superficie del suelo (0-20 cm) y el crecimiento radicular en base a la textura del suelo.

En la profundidad de 20-40 cm, la DA de 86.4% de los sitios están por encima del valor considerado como ideal. De igual manera, los porcentajes de sitios en los cuales podría haber afectaciones y restricciones en el crecimiento radicular aumentan hasta 29 y 24.4%, respectivamente. Este problema es reportado por la FAO (2016), como “piso de arado” causado por la disminución del volumen de poros como consecuencia de la compactación, lo cual se refleja en una mayor densidad aparente (Cuadro 4).

Cuadro 4.

Relación general entre la DA en la profundidad de 20-40 cm y el crecimiento radicular en base a la textura del suelo.

Zonificación y magnitud espacial de la compactación del suelo

En el Cuadro 5, se observa que en la profundidad de 0-20 cm 83.3% de la superficie presenta problema de compactación en sus diferentes categorías, sobresaliendo la compactación leve en 65% del área, seguida de la compactación moderada 11.7%.

Cuadro 5.

Superficie (ha) por grados de compactación según profundidad del suelo.

Para la profundidad de 20-40 cm, 94.6% presenta compactación en sus diferentes categorías, sobresaliendo la clase grave 54.1% del área, seguida por la compactación moderada y leve 22.7 y 17.7% del área, respectivamente. Es notorio que en el subsuelo (20-40 cm) además de

aumentar la superficie con compactación, es mayor la intensidad del problema, al predominar las categorías de compactación grave y moderada (Figura 2 y 3).

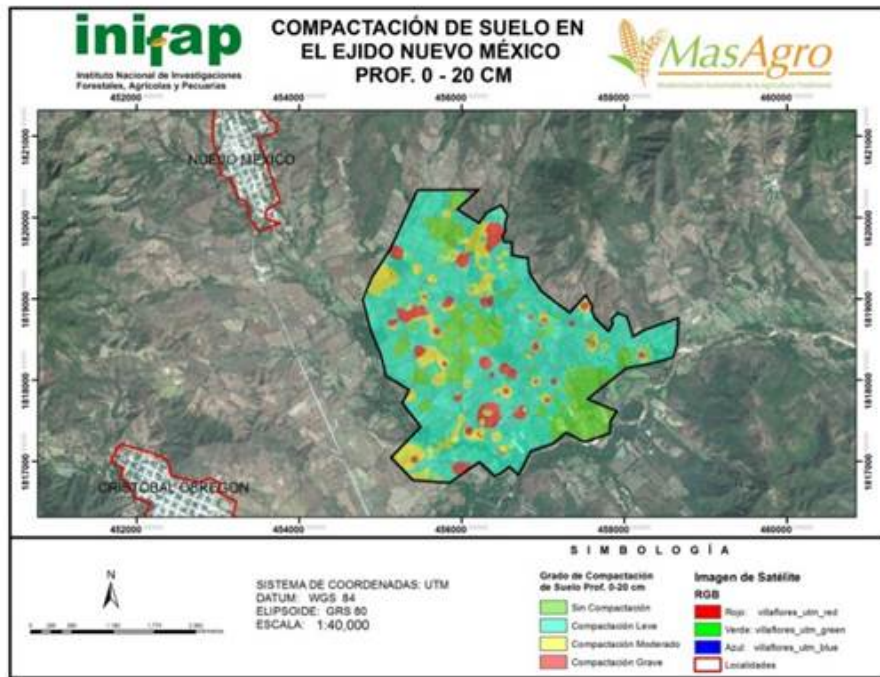


Figura 2. Distribución de la compactación del suelo a la profundidad 0-20 cm.

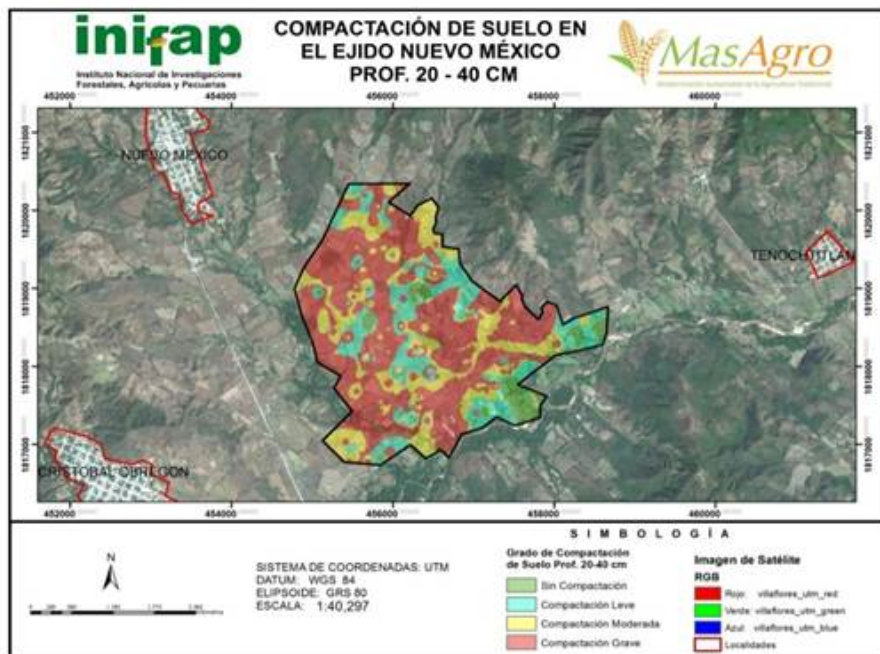


Figura 3. Distribución de la compactación del suelo a la profundidad 20-40 cm.

Los efectos y causas de la compactación

La Figura 4 resume los efectos y causas del problema de compactación. Entre los efectos del “encostramiento” los productores señalaron la inhibición de la emergencia de las plántulas y la disminución de la infiltración del agua en el suelo, lo cual es causa de encharcamientos, escurrimientos y erosión. Esto reduce la capacidad de conservación de humedad en el suelo, y según los productores, provoca que el rendimiento de maíz se reduzca hasta 58% cuando se presenta períodos críticos de sequía. La magnitud de los efectos del “encostramiento” dependen de la textura del suelo, la estabilidad de los agregados, la topografía y las características de precipitaciones pluviales (FAO, 2016; Pfister, 2000).

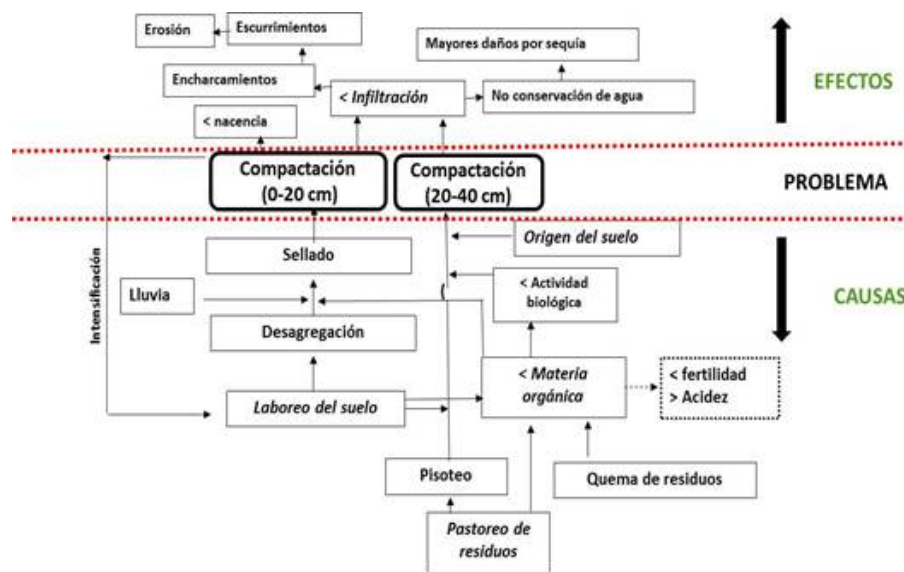


Figura 4. Diagrama de causa-efecto del problema de compactación del suelo.

En lo que respecta al “piso de arado”, tanto su presencia como sus efectos no son percibidos por los productores debido a su dificultad para localizarla. Sin embargo, este tipo de compactación es un problema que limita el crecimiento radicular y la cantidad de aire y agua de que disponen las raíces (Herrick y Jones, 2002). También empeora las condiciones de vida para los organismos al formar capas impermeables dentro del suelo e inhiben los ciclos de nutrientes y de agua (Benzing (2001).

Cabe señalar que entre los indicadores de una mala salud del suelo resaltan la presencia del sellado y encostramiento, de erosión y de compactación en el subsuelo (FAO, 2016).

Entre las principales causas del problema de compactación en la zona de estudio, se identificaron el laboreo de los suelos con maquinaria, el pisoteo del ganado, el bajo contenido de materia orgánica y el origen de los suelos.

Laboreo de los suelos

La preparación del suelo con maquinaria es una de las prácticas más arraigada en el ejido Nuevo México, al ser practicada por 100% de los productores. El 72% realiza un paso de rastra y 22% un arado y una rastra, o bien, dos rastras (Figura 5). No se observaron diferencias estadísticas en los valores promedio de DA entre los tipos de laboreo del suelo en las profundidades de 0-20 cm (Prob.= 0.2186) y de 20-40 cm (Prob.= 0.7635) (Cuadro 6 y 7).

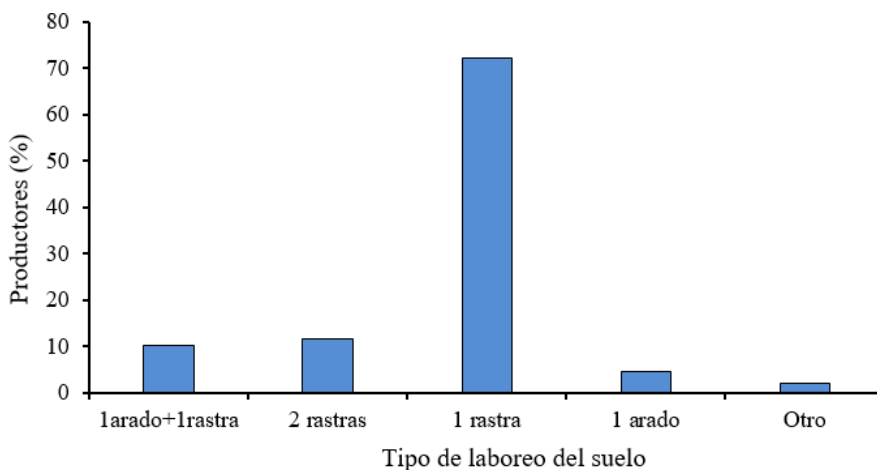


Figura 5.

Tipos de laboreo de suelo practicado por los productores.

Cuadro 6.

DA (g cm^{-3}) según tipo de laboreo del suelo en la superficie (0-20 cm).

Cuadro 7.

DA (g cm^{-3}) según tipo de laboreo en el subsuelo (20-40 cm).

Están documentados los efectos negativos que genera la labranza sobre la estructura del suelo, especialmente los efectos destructivos de los implementos de disco. Mientras que una buena estructura requiere del equilibrio entre poros finos, medianos y en menor grado, gruesos, la labranza genera exclusivamente poros gruesos (Benzing, 2001). La labranza intensiva a través de los años tiene un efecto sobre la composición de las partículas minerales (reducción de la fracción arcillosa) y en la disminución del contenido de materia orgánica (Nacci y Páez, 1995). Verhulst *et al.* (2015) señala que la labranza tiene efectos muy importantes directos e indirectos sobre la agregación de las partículas del suelo, tales como: rompimiento directo de los agregados y un incremento en el reemplazo de agregados; rompimiento de fragmentos de las raíces e hifas de micorrizas, las cuales son los principales agentes de unión para los macroagregados; se genera una redistribución de la materia orgánica del suelo que influyen en la estabilidad de los macroagregados y al reducir las

poblaciones de macrofauna (por ejemplo, lombrices de tierra) disminuye sus efectos potenciales sobre la agregación del suelo.

Otro factor que contribuye a la compactación por laboreo, son las fuerzas de las ruedas de la maquinaria (Usaborisut y Niyamapa, 2010) y los implementos agrícolas usados. Debido a que la preparación del terreno se realiza cuando el suelo está humedecido, el laboreo tiene un potencial máximo para generar compactación en el suelo. La maquinaria agrícola compacta el suelo en terrenos agrícolas y ganaderos a mayor profundidad que la lluvia y la carga animal. El arado deja una capa superficial suelta y un subsuelo denso debido a que aplica una presión que oscila entre 0.76 y 0.95 kg cm⁻² (Agüero y Alvarado, 1983).

La labranza del suelo ha adquirido en las áreas maiceras el carácter de espiral destructiva. El laboreo al destruir la estructura del suelo y reducir la materia orgánica, provoca el sellado superficial y la falta de porosidad, en consecuencia, el suelo se endurece y se forma el “encostramiento” cuyos efectos son fácilmente identificados por los productores. Para romper este “encostramiento” recurrente los productores se han visto en la necesidad de mover todos los años el suelo con maquinaria, convirtiéndose esta práctica, en un mal necesario con efectos benéficos de corta duración y dañinos para los suelos conforme pasan los años.

La nula adopción de la labranza cero promovida por los programas de gobierno en años pasados, en gran parte se explica por la presencia de la espiral destructiva. Según los productores con la cero labranza se generan encharcamientos y el cultivo sufre mayores daños cuando se presentan períodos de fuerte sequía. En este sentido, FAO (1993) señala que los sistemas de labranza cero son menos eficaces en suelos con drenaje interno pobre y en aquellos con problemas de compactación, por lo que sugiere eliminar previamente estas limitantes.

El pastoreo del ganado

El 71% de los productores practican el sistema maíz-ganadería, que consiste en sembrar el maíz al inicio de la temporada de lluvias e introducir al final del ciclo de cultivo y durante el período de estiaje (enero a abril), ganado bovino a pastorear los residuos de cosecha. En el Cuadro 8, se observa que no existe diferencia estadística en los valores promedios de densidad aparente por efecto del pastoreo de ganado en las dos profundidades estudiadas.

Cuadro 8.

Valores de DA (g cm⁻³) según pastoreo de ganado y profundidad.

Es probable que la falta de influencia del pisoteo sobre la densidad aparente se deba al que el peso del ganado apisona poco sobre un suelo ya compactado, o bien, al bajo contenido hídrico que contiene el suelo cuando es pastoreado (Taboada, 2007). En este contexto, el tránsito y pisoteo del ganado tienen un efecto negativo más severo en

el desprendimiento de las partículas del suelo y en la poca integración de materia orgánica al suelo por efecto del consumo de los residuos de cosecha.

El origen del suelo

De las 1 170.4 hectáreas agrícolas con que cuenta el ejido Nuevo México, 63.3% (740.8 ha) se ubican en terrenos que son laboreados con maquinaria y de estos, 64.4% (477 ha) se ubican en suelo de tipo Luvisol y 24.4% (180.75 ha) en Acrisoles, en los cuales fueron distribuidos los puntos de muestreo. Estos tipos de suelos son muy susceptibles de compactarse y formar “piso de arado” cuando son laboreados por mucho tiempo con maquinaria e implementos de discos, ya que sus características de acumular arcilla en el horizonte subsuperficial “Árgico” (FAO, 1988) facilitan el proceso de compactación cuando están humedecidos.

Esta es una de las razones por la que en los suelos analizados se observa una mayor DA en el subsuelo asociada a la presencia de un mayor porcentaje de arcilla (Cuadro 9). De hecho, en el subsuelo un mayor porcentaje (28%) de sitios se agruparon en suelos con texturas franco arcilloso, franco arcillo limoso, arcilloso, y arcillo limoso, con un mayor contenido de arcillas (Cuadro 4).

Cuadro 9.

Datos de DA y contenido de arcilla.

La materia orgánica (MO)

En el Cuadro 10 se presentan los valores de MO clasificados de acuerdo con los criterios señalados en la Norma Oficial Mexicana NON-021-RECNAT-2000 para los suelos volcánicos. Se observa que, tanto en la superficie como en el subsuelo, la totalidad de los sitios muestreados se ubican en la clase de muy baja MO. El valor promedio encontrado en la profundidad de 0-20 cm fue de 1% (± 0.51) y de 0.73% (± 0.47) para la de 20-40 cm respectivamente, sin haber diferencia estadística entre ambos grupos.

Cuadro 10.

Contenido de MO en el suelo.

El bajo contenido de MO es un factor estrechamente relacionado con el círculo vicioso generado con el laboreo del suelo y la compactación en la superficie y el subsuelo. Su excesiva mineralización por el laboreo, no solo lleva al endurecimiento, sino también a una menor actividad biológica, al sellado superficial del suelo y a un aumento de la erosión. Se detectaron un conjunto de prácticas inadecuadas de cultivo que realizan

alternativas para romper la capa endurecida, la primera de manera inmediata a través del subsoleo, y la segunda, de manera gradual con la rotación de cultivos y siembra de cultivos de cobertura, o con la combinación de ambas.

El subsoleo tiene como finalidad romper las capas compactas de suelo para reducir el escurrimiento de agua, incrementar la infiltración de agua, promover aireación, estimular el crecimiento de raíces y el rebrote de plantas ya establecidas, así como promover el establecimiento de nuevas plántulas (Barton *et al.*, 1996; Ibarra *et al.*, 2004). Evaluaciones realizadas en la zona de estudio han reportado que el subsoleo en comparación con el tratamiento de rastra del productor, incrementó 32% (1.7 t ha^{-1}) el rendimiento de grano de maíz, 84% la longitud de raíces y 5.1% la altura de plantas. El subsoleo al romper la capa compactada, generó mayor porosidad para que las raíces crecieran y las plantas tuvieran mayor oportunidad de absorber nutrientes y aprovechar la humedad que se encontraba a mayor profundidad (López *et al.*, 2017).

Después del subsolado se deben tomar medidas para estabilizar la estructura que se ha aflojado, para ello, en primer lugar, se requiere romper el círculo vicioso suprimiendo o regulando el laboreo del suelo con maquinaria con la práctica de la cero labranza. En segundo lugar, incrementar los niveles de MO en el suelo; a través, de buscar fuentes alternativas de forrajes para evitar el pastoreo de los residuos de cosecha y sensibilizar a los productores para no quemar las parcelas y sembrar cultivos de cobertura.

Las especies promisorias de cultivos de cobertura que han dado muestras de ser potenciales subsoladores biológicos son el pasto Bahía (*Paspalum notatum*), la gramínea festuca (*Festuca elatior*), el pasto Guinea (*Panicum maximum*), la alfalfa (*Medicago sativa*), el gandul (*Cajanus cajan*) y el caupí (*Vigna unguiculata*). El rábano forrajero (*Raphanus sativus*) y los arbustos fijadores de nitrógeno *Tephrosia vogelii*, *Sesbania sesban* y *Gliricidia sepium* han sido también identificados como potencialmente útiles (Barber y Navarro, 1994).

Conclusiones

Existe un problema generalizado de compactación tanto en la superficie (encostramiento) como en el subsuelo (piso de arado), originado principalmente por el laboreo intensivo de los suelos y el contenido muy bajo de materia orgánica. El mayor contenido de arcilla en el subsuelo en los suelos Luvisol y Acrisol los hace más susceptibles a la compactación del subsuelo.

A diferencia de la compactación superficial que es atendida año con año con el laboreo del suelo, la compactación del subsuelo por su “invisibilidad” hasta ahora ha recibido poca atención en las áreas maiceras tanto por los productores como por las instituciones de gobierno.

La nula adopción de la labranza cero promovida por los programas de gobierno en años pasados, en gran parte se explica por la presencia de este problema de compactación.

La atención del problema de compactación requiere de una estrategia integral de carácter correctivo y preventivo que debe tomar como elemento central la elevación de los contenidos de materia orgánica, que permita revertir la actual gestión insostenible de la tierra.

Literatura citada

- Agüero J. M. y Alvarado A. 1983. Compactación y compactabilidad de suelos agrícolas y ganaderos de Guanacaste, Costa Rica. *Agron. Costarr.* 7(1):27-33.
- Barber, R. G. and Navarro, F. 1994. The rehabilitation of degraded soils in eastern Bolivia by subsoiling and the incorporation of cover crops. *Land Degradation and Rehabilitation.* 5:247-259.
- Barton, H.; McCully, W. G.; Taylor, H. M. and Box, J. E. 1996. Influence of soil compaction on emergence and first-year growth of seeded grasses. *J. Range Manage.* 19(3):118-121
- Benzing A. 2001. *Agricultura orgánica. Fundamentos para la región Andina.* Neekar-Verlag, Villingen-Schwenningen, Alemania. 682 p.
- Blanco, S. R. 2009. La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia.* 43(3):231-239.
- Carter, M. R. 2002. Soil quality for sustainable land. *Agron. J.* 94(1):38-47.
- Dane J. H. and Topp, G. C. 2002. *Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods.* Soil Sci. Soc. Am. Book Series No. 5. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wis. 1692p.
- FAO. 1988. *Soil map of the world. Revised legend with corrections some updates.* World Soil Resources Report 60. FAO, Rome. Reprinted with updates as Technical Paper, ISRIC, Wageningen. 146 p.
- FAO. 1993. *Soil tillage in Africa: needs and challenges.* FAO Soils Bulletin 69. <http://www.fao.org/docrep/t1696e/t1696e00.HTM>.
- FAO. 2016. Portal de Suelos de la FAO. Evaluación de los indicadores globales de la salud del suelo. El manejo y procesos naturales que impactan las propiedades físicas del suelo. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/evaluacion-de-los-indicadores-globales-de-la-salud-del-suelo/salud-del-suelo-fisica/es/>
- Gómez, K. A. and Gomez, A. A. 1984. *Statistical procedures for agricultural research.* 2nd (Ed.). John Wiley & Sons. New York, NY., USA. 680 p.
- Herrick, J. E. and Jones, T. L. 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66(4):1320-1324.
- Ibarra, F. F. A.; Martín, R. M. H. y Ramírez, M. F. 2004. El subsoleo como práctica de rehabilitación de praderas de zacate buffel en condición regular en la región central de Sonora, México. *Téc. Pec. Méx.* 42(1):1-16.
- López, B. W.; López, L. A.; Coutiño, E. B.; Camas, G. R.; Villar, S. B.; López, M. J.; Serrano, A. V.; Cadena, I. P.; Zamarripa, M. A. y Sandoval, M. C. 2008. Zonas potenciales y recomendaciones técnicas para la producción sustentable de maíz en Chiapas. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas.

- México. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas. México. Libro técnico núm. 1. 227 p.
- López, B. W.; Camas, G. R.; Villar, S. B. y López, M. J. 2016. Rehabilitación productiva de suelos compactados de la frailesca, Chiapas. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas. México. Desplegable informativo núm. 2.
- López, B. W.; Reynoso, S. R. y Camas, G. R. 2017. Validación del efecto del subsoleo en el cultivo de maíz. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas. México. Desplegable informativo núm. 8.
- Nacci, S. y Páez, M. L. 1995. Influencia de la pulverización del suelo y el tiempo de uso en la emergencia del ajonjolí en Inceptisoles. Alcance. Revista de la Facultad de Agronomía. Maracay. Venezuela. 47:95-104.
- Martínez, S. J. y Espinosa, P. N. 2014. Sugerencias para el control del "Complejo Mancha de Asfalto" del maíz en la Frailesca, Chiapas. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas. Folleto para productores núm. 13. 15 p.
- Norma Oficial Mexicana NON-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, Muestreo y Análisis. Diario Oficial de la Federación del 31/12/2002. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002.
- Pfister, O.; Gutierrez, H.; Venialgo, N. y Crispín A. 2000. Determinación del encostramiento de suelo con diferentes sistemas de manejo. Universidad nacional del nordeste. Facultad de Ciencias Agrarias. Conservación y Manejo de Suelos. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.
- Pulleman, M.; Hellin, J.; Flores, V. D. y López, B. W. 2008. Calidad del suelo y rentabilidad de la finca: una situación en la que todos ganan. Leisa Magazine. 24(2):6-8.
- Recio del Bosque, P. 2009. Manual gráfico para prácticas de física de suelos. Departamento de Ciencias del Suelo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 173 p.
- Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. 1986. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill Book New York, USA. 481 p.
- Taboada, M. A. 2007. Efectos del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos en siembra directa. 4º Simposio de Ganadería en Siembra Directa, Aapresid, Potrero de los Funes, San Luis, 71-83. Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía UBA. http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/49-efectos_pisoteo.pdf.
- Tasistro, A. 2012. Uso de líneas límite para el diagnóstico de campo y la investigación agrícola-avances en México. Informaciones Agronómicas de Hisoanoamérica. 5(20):17-20.
- Secretaría de Hacienda de Chiapas. 2012. Programa Regional de Desarrollo Región VI Frailesca. Subsecretaría de Planeación. Programas Regionales. 46 p.
- Usaborisut, P. and Niyamapa, T. 2010. Effects of machine-induced soil compaction on growth and yield of sugarcane. Am. J. Agric. Biol. Sci. 5(3):269-273.
- USDA. 1999. Guía para la evaluación de la calidad y la salud del suelo. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Departamento de Agricultura de Estados Unidos. 82 p.

- Van N.; López, B. W.; Zamarripa, M. A; Cadena, I. P.; Villar, S. B. y De la Piedra, C. R. 1992. Uso y Conservación de los recursos naturales en la Frailesca, Chiapas, México. DF. Documento de trabajo. Colaboración INIFAP-CIMMYT en el manejo de los recursos naturales. CIMMYT. México. 47 p.
- Verhulst, N.; François, I. y Govaerts, B. 2015. Agricultura de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables? Programa de Agricultura de Conservación. CIMMYT, El Batán, México. 18 p.
- Watson D. F. and Philip, G. M. 1985. A refinement of inverse distance weighted interpolation. *Geoprocessing*. 2:315-327.

Notas de autor

§

Autor para correspondencia: lopez.walter@inifap.gob.mx.