

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

Walter López Báez<sup>1§</sup>  
Roberto Reynoso Santos<sup>1</sup>  
Jaime López Martínez<sup>1</sup>  
Robertony Camas Gómez<sup>1</sup>  
Armando Tasistro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP. Carretera Ocozocoautla-Cintalapa km 3, Ocozocoautla, Chiapas. AP. 1. CP. 29140. Tel. 01(800) 882222. (reynoso.roberto@inifap.gob.mx; lopez.jaime@inifap.gob.mx; camas.robertony@inifap.gob.mx). <sup>2</sup>Director, México y América Central International Plant Nutrition Institute (IPNI). 3500 Parkway Lane, Suite 550 Peachtree Corners, GA 30092-2844. (atasistro@ipni.net).

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

### 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 está 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.

Recibido: enero de 2018

Aceptado: febrero de 2018

## 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.

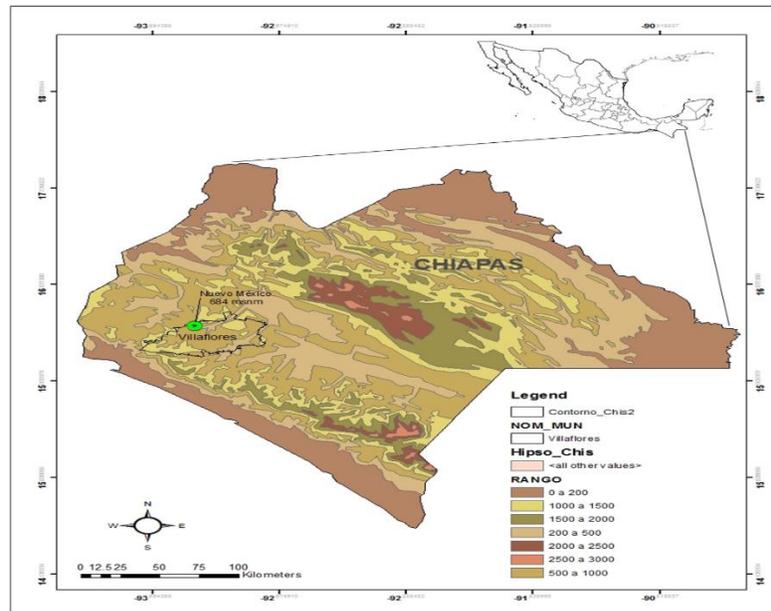
En lo que respecta a la compactación, los diagnósticos detectaron en los suelos mecanizados cultivados con maíz, la presencia de una capa dura a una profundidad promedio de 12.4 cm ( $\pm 4.1$ ). Producto de los estudios realizados desde el año 2010 por el INIFAP, CIMMYT e IPNI, sobresalió el subsoleo 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.

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.



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

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 ( $\text{cm}^3$ ) 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).

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).

**Cuadro 1. Clases de compactación según clase textural y densidad aparente.**

Clase textural	Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ) por clase de compactación			
	Sin problema	Leve	Moderada	Grave
Arcillo limoso	< 1.1	1.1 - 1.39	1.39 - 1.58	>1.58
Arcilloso	< 1.1	1.1 - 1.39	1.39 - 1.47	>1.47
Franco, franco-arcilloso, franco arcillo arenoso	< 1.4	1.4 - 1.6	1.6 - 1.75	> 1.75
Franco arcillo limoso, franco limoso	< 1.4	1.4 - 1.55	1.55 - 1.65	>1.65
Franco arenoso	< 1.4	1.4 - 1.63	1.63 - 1.8	>1.8
Limoso	< 1.3	1.3 - 1.6	1.6 - 1.75	>1.75
Arenoso	< 1.6	1.6 - 1.69	1.69 - 1.8	>1.8

## 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  $0.14 \text{ g cm}^{-3}$  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 ( $\text{g cm}^{-3}$ ) según profundidad del suelo.**

Estadístico	Profundidad	
	0-20 cm	20-40 cm
Media	1.46	1.6
Mínimo	0.73	0.77
Máximo	1.93	2.19
Desviación estándar	0.16	0.22
Coefficiente de variación (%)	11.18	13.76
Prueba de F (Prob.)	0.00006	

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.**

Textura superficial	Total casos	DA ideal		DA que pueden afectar crecimiento radicular		DA que restringe crecimiento radicular	
		(g cm <sup>-3</sup> )	Casos	(g cm <sup>-3</sup> )	Casos	(g cm <sup>-3</sup> )	Casos
Franco	82	<1.4	29	1.69-1.8	6	>1.8	0
Franco-limoso	38	<1.4	16	1.55-1.75	6	>1.75	1
Franco-arenoso	38	<1.4	8	1.63-1.8	6	>1.8	1
Franco-arcilloso	10	<1.4	4	1.60-1.75	2	>1.75	0
Franco-arcilloso-limoso	4	<1.4	2	1.55-1.65	0	>1.65	0
Arcilloso	2	<1.1	0	1.39-1.47	1	>1.47	1
Arcillo limoso	1	<1.1	0	1.39-1.58	1	>1.58	0
Limoso	2	<1.3	2	1.6-1.75	0	>1.75	0
Total	177		61		22		3
(%)	100		34.5		12.4		1.7

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.**

Textura subsuelo	Total casos	DA ideal		DA que pueden afectar crecimiento radicular		DA que restringe crecimiento radicular	
		(g cm <sup>-3</sup> )	Casos	(g cm <sup>-3</sup> )	Casos	(g cm <sup>-3</sup> )	Casos
Franco	74	<1.4	7	1.69-1.8	15	>1.8	15
Franco-limoso	27	<1.4	12	1.55-1.75	9	>1.75	2
Franco-arenoso	22	<1.4	0	1.63-1.8	13	>1.8	4
Franco-arcilloso	21	<1.4	2	1.6-1.75	7	>1.75	5
Franco-arcillo-limoso	14	<1.4	2	1.55-1.65	2	>1.65	9
Arcilloso	11	<1.1	0	1.39-1.47	1	>1.47	8
Arcillo-limoso	3	<1.1	0	1.39-1.58	3	>1.58	0
Limoso	2	<1.3	1	1.6-1.75		>1.75	0
Franco-arcillo-arenoso	2	<1.4	0	1.6-1.75		>1.75	0
Arenoso	1	<1.6	1	1.69-1.8		>1.8	
Total	177		24		50		43
(%)	100		13.6		28.2		24.3

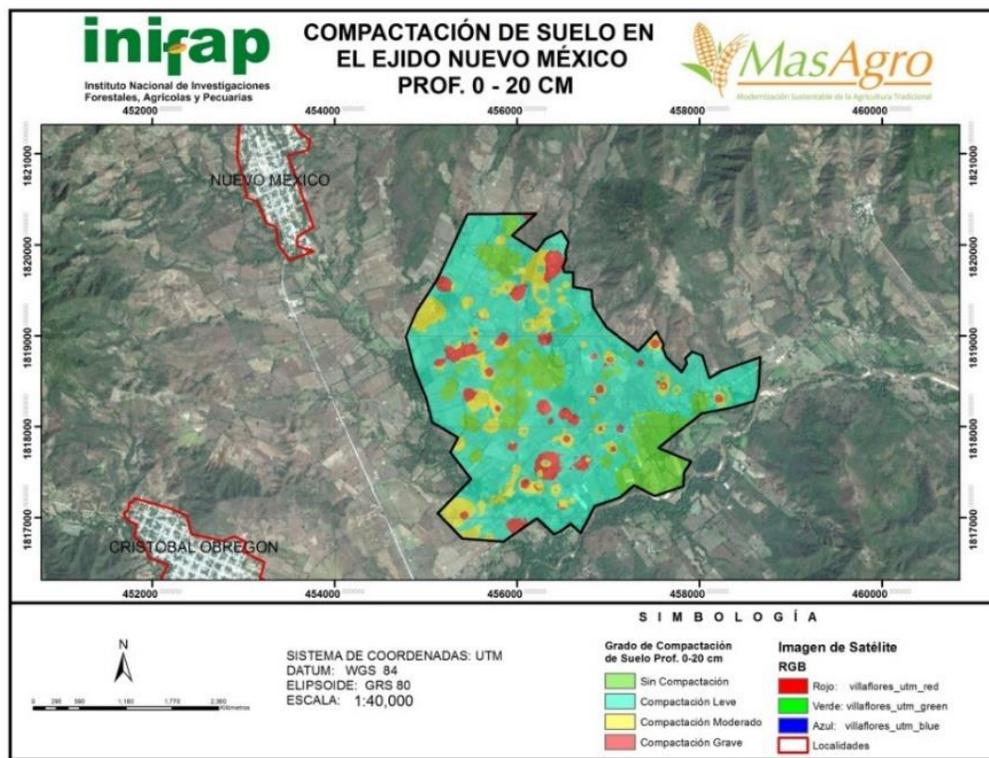
### Zonificación y magnitud espacial de la compactación del suelo

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%.

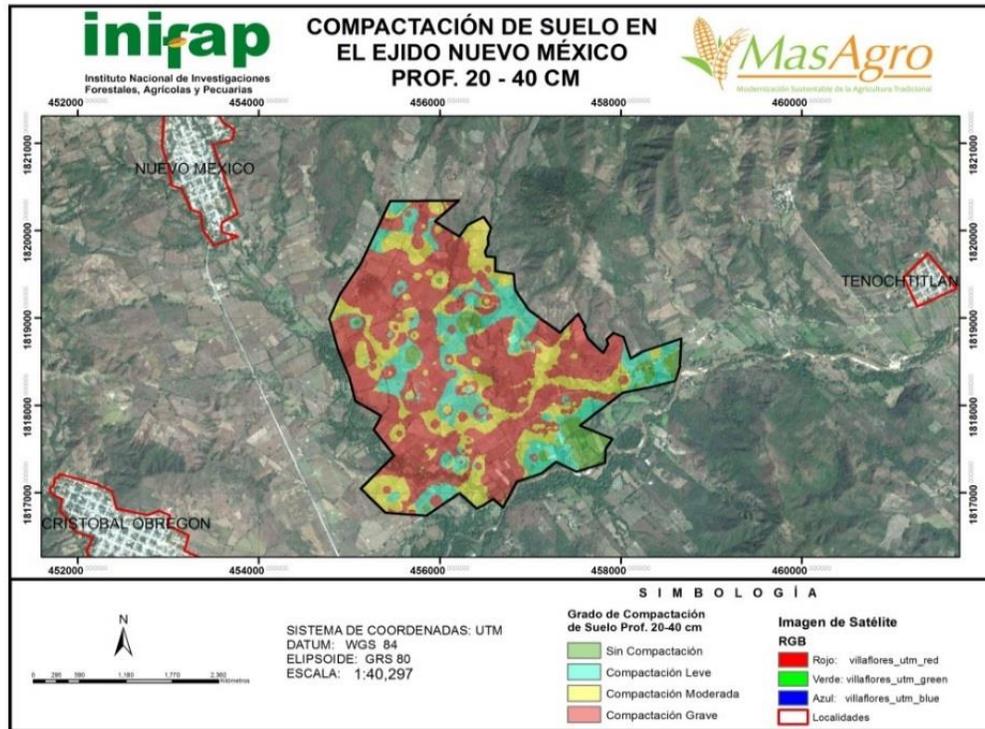
**Cuadro 5. Superficie (ha) por grados de compactación según profundidad del suelo.**

Clase	Profundidad (0-20 cm)		Profundidad (20-40 cm)	
	Superficie (ha)	(%)	Superficie (ha)	(%)
Sin problema	128.14	16.87	41.15	5.42
Leve	494.13	65.06	134.73	17.74
Moderada	89.31	11.76	172.79	22.75
Grave	47.98	6.32	410.88	54.1
Total	759.55	100	759.55	100

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.**



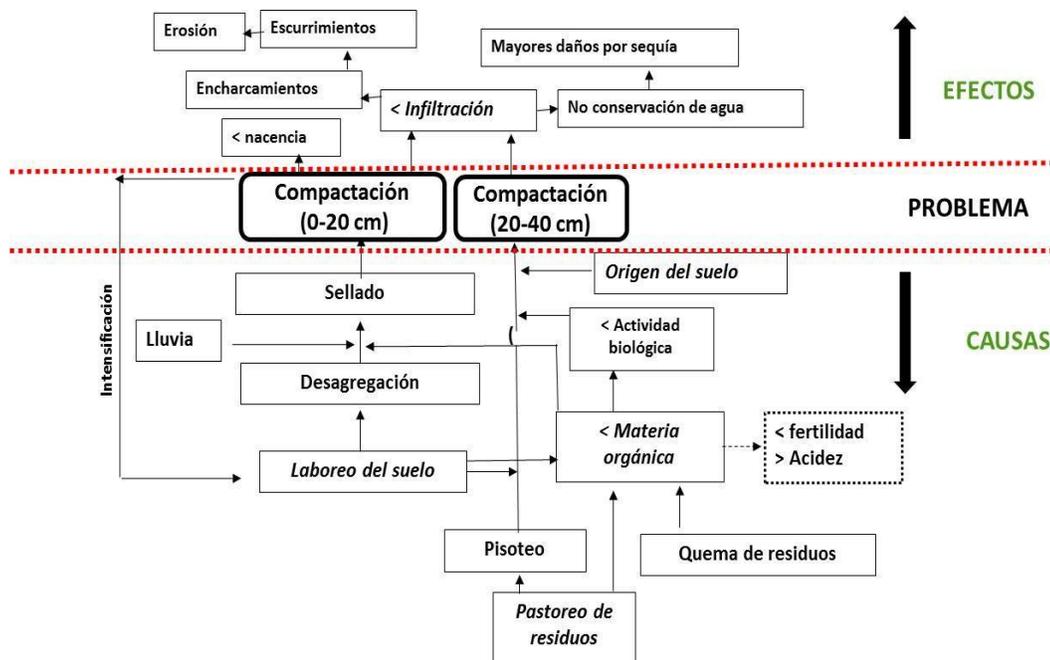
**Figura 3. Distribución de la compactación del suelo a la profundidad 20-40 cm.**

### 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).

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).

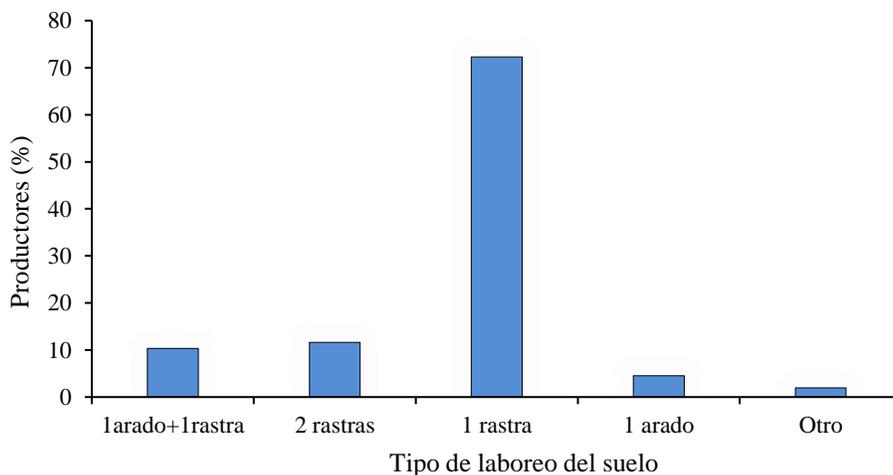


**Figura 4. Diagrama de causa-efecto del problema de compactación del suelo.**

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<sup>-3</sup>) según tipo de laboreo del suelo en la superficie (0-20 cm).**

Estadístico	Laboreo del suelo			
	1 arado+1 rastra	2 rastras	1 rastra	1 arado
Promedio	1.54	1.45	1.45	1.45
Desviación estándar	0.109	0.179	0.175	0.111
Coefficiente de variación (%)	7.06	12.4	12.08	7.69

**Cuadro 7. DA (g cm<sup>-3</sup>) según tipo de laboreo en el subsuelo (20-40 cm).**

Estadístico	Laboreo del suelo			
	1 arado+1 rastra	2 rastras	1 rastra	1 arado
Promedio	1.61	1.66	1.6	1.61
Desviación estándar	0.204	0.264	0.223	0.167
Coefficiente de variación (%)	12.67	15.9	13.95	10.38

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 esta 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<sup>-2</sup> (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 ( $\text{g cm}^{-3}$ ) según pastoreo de ganado y profundidad.**

Estadístico	Superficie (0-20 cm)		Subsuelo (20-40 cm)	
	Pastoreo	No pastoreo	Pastoreo	No pastoreo
Media	1.48	1.41	1.61	1.61
Desviación estándar	0.17	0.15	0.22	0.24
Mínimo	0.73	1.15	0.77	0.89
Máximo	1.93	1.79	2.19	1.93
Prob. F	0.3777		0.3235	

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.**

Profundidad	DA (g cm <sup>-3</sup> )		Arcilla (%)	
	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)
0-20 cm	1.46	11.18	16.25	53.01
20-40 cm	1.6	13.76	23.28	46.49
Prob. F	6.48E-05		0.003	

**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% ( $\pm 0.51$ ) y de 0.73% ( $\pm 0.47$ ) para la de 20-40 cm respectivamente, sin haber diferencia estadística entre ambos grupos.

**Cuadro 10. Contenido de MO en el suelo.**

Clase	MO (%)	Superficial		Subsuelo	
		Casos	(%)	Casos	(%)
Muy bajo	<4	177	100	177	100
Bajo	4.1-6	0	0	0	0
Medio	6.1-10.9	0	0	0	0
Alto	11-16	0	0	0	0
Muy alto	>16.1	0	0	0	0
Total		177	100	177	100

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 los productores. El pastoreo de ganado bovino consume en promedio de 80% de los residuos de cosecha del cultivo de maíz y ocurre en 71% de los sitios estudiados. El número de cabezas que pastorea explica 16% el porcentaje de residuos que queda sobre el terreno ( $r^2 = 0.1574$ ). Después del pastoreo 88% de los productores incorporan el rastrojo que queda con un paso de rastra. La quema de residuos es realizada aún por 14% de los productores, y con ella, se elimina totalmente la posibilidad de incorporar materia orgánica al suelo.

Las prácticas anteriores aunadas a la no incorporación de otras fuentes de MO, ha generado un reciclaje insuficiente de residuos orgánicos, que ha traído como consecuencia, un deterioro progresivo del suelo que evidencia una gestión insostenible de la tierra, en virtud que la MO se relaciona con todos los aspectos del suelo, como estructura, capacidad de retener agua, aireación, contenido y disponibilidad de nutrientes, pH, capacidad de intercambio catiónico y a largo plazo incluso en la textura (Benzing, 2001; Carter, 2002).

## Las posibles soluciones

Para detener o revertir la gestión insostenible de la tierra que presentan los productores del ejido Nuevo México y de zonas similares, se requiere de una estrategia integral de carácter correctivo y preventivo que debe tomar como elemento central la elevación de los contenidos de materia orgánica. Basado en el análisis de las causas (Figura 5), se identificaron con los productores de la zona de estudio las posibles alternativas que deberían considerarse para una rehabilitación productiva de los suelos, colocando en primer orden a las medidas correctivas acompañadas de manera permanente por las medidas preventivas (Figura 6).

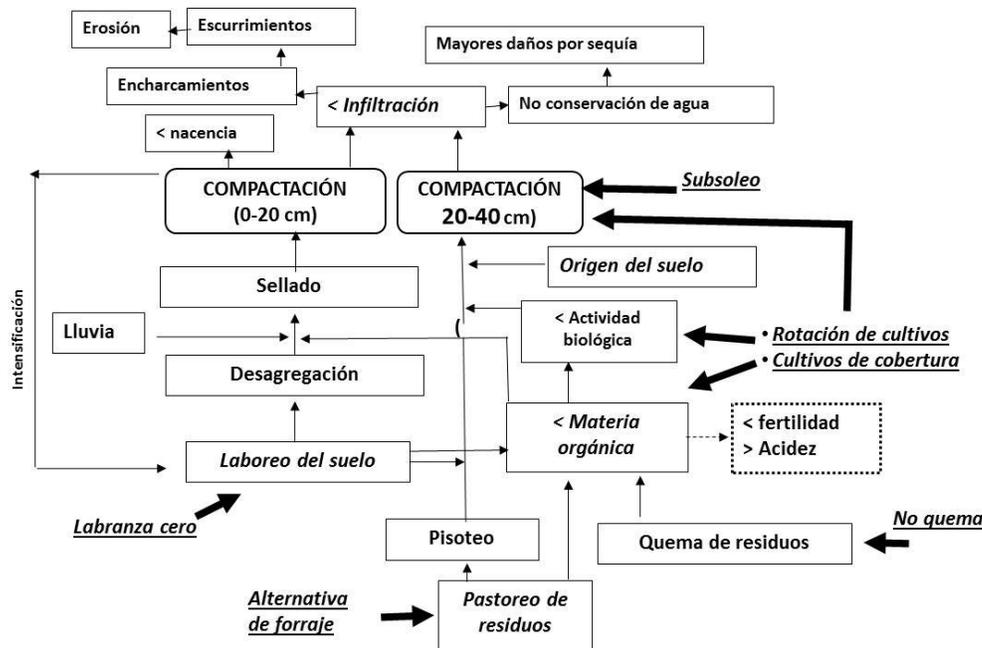


Figura 6. Alternativas de solución al problema de compactación de suelos.

Dentro de las medidas de remediación al problema actual de compactación particularmente el “piso de arado”, se proponen dos 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% ( $1.7 \text{ t ha}^{-1}$ ) 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. Neckar-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. 1692 p.
- 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/degradacion-del-suelo/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. 2<sup>nd</sup> (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 fraileasca, 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 Fraileasca, 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](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002).
- Pfister, O.; Gutierrez, H.; Venialgo, N. y Crispín A. 2000. 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](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. CIMYYT, El Batán, México. 18 p.
- Watson D. F. and Philip, G. M. 1985. A refinement of inverse distance weighted interpolation. Geoprocessing. 2:315-327.