

EFECTO DE LA LABRANZA SOBRE LA ESTRUCTURA INTERNA DE DOS TIPOS DE SUELO*

Fernando CABRERA CARBAJAL¹

Klaudia OLESCHKO L.²

RESUMEN

La labranza del suelo es el componente tecnológico que comprende un 30 a 40 por ciento de los costos en los sistemas de producción agrícola. Las investigaciones básicas sobre el efecto que produce esta práctica en las propiedades físicas del suelo indican que es factible minimizarla y aun llegar a los sistemas de labranza cero en suelos cuya estructura es estable a la acción mecánica de los implementos agrícolas, lo cual permite incrementar su productividad.

En muestras de suelo obtenidas en campo durante el ciclo otoño-invierno de 1986-87, se evaluó el efecto de la labranza sobre la estructura interna de un vertisol pélico y un andosol mólico, ambos bajo labranza convencional y cero. Para determinar los cambios en dicha estructura se midió: tamaño de agregado y de poro mediante dos métodos que expresan su tamaño medio en D_{50} y r_{50} (diámetro y radio medio, respectivamente), distribución de poros por tamaño, entropía media y dinámica de la porosidad en relación al humedecimiento del suelo. Las diferencias de los cambios ocurridos en los parámetros estructurales por efecto de la labranza en un mismo suelo se evaluaron mediante la prueba de t con $\alpha = 0.05$.

Los resultados indicaron que no hubo efecto significativo de la labranza sobre la estructura interna del andosol mólico debido a que éste posee una estructura estable a la acción mecánica. En cambio, el vertisol pélico sí mostró cambios significativos en su estructura interna; sin embargo, el efecto mayor ocurrió por el humedecimiento y no por la labranza, aun cuando este tipo de suelo en estado seco tiene alta resistencia mecánica; en este caso se debe buscar el contenido de humedad adecuada en el cual los implementos agrícolas ejercen su mayor efecto, ya que esto permite bajar la intensidad de laboreo y, en consecuencia, incrementar la productividad del suelo.

* Artículo enviado al Comité Editorial Agrícola del INIFAP el 10 de julio de 1995.

¹ M.C. Invest. del Prog. Conservación de Suelo y Agua, C.E. "Valle del Mayo". Navojoa, Son.

² Profr. Invest. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.

SUMMARY

Tillage of agricultural soils is a technological component that account for 30-40% of the systems of agricultural production cost. Research reports regarding effect of tillage on the physical properties of the soils suggest that is possible to minimize and lead to ward the zero tillage system on those soils that show strong or stable structure against the farming machinaries.

On samples of soil taken from the field, the effect of tillage in the internal structure changes of two soil types (mollic andosol and pellic vertisol) both under intensive conventional tillage and no-tillage were evaluated. The structural parameters measured to observe the changes were size of aggregates, pore size evaluated with two methods wich indicate its medium size in D_{50} and r_{50} respectively, pore size distribution, medium entropy and the porosity dynamic regarding soil wetting. The changes occurred by the effect of the tillage in both soils were determinated with the T-test ($\alpha = 0.05$).

Results indicated no significant effect of tillage in the internal structure of the mollic andosol due to its stable structure to the mechanical action. Whereas the pellic vertisol showed significant effect. However, it was also found that the change was caused by soil wetting rather that by tillage effect, although in dry conditions, the latter has high mechanic resistance. In this situation, a balance between optimum moisture content and the farming machinery most be sought, for minimize tillage intensity and as an outcome soil productivity.

INTRODUCCION

La complejidad de los cambios que ocurren en el suelo durante las labores de preparación para el establecimiento del cultivo, así como las múltiples fuerzas que actúan en la interacción suelo-herramienta y la escasa disponibilidad de instrumental adecuado para evaluarlos, propician que los métodos de estudio de las propiedades físicas del suelo sean ineficientes; esto ocasiona que los sistemas de labranza en el ámbito mundial se seleccionen mediante prueba y error, y su uso sea indistinto sobre los diferentes tipos de suelo.

Lo anterior origina que mientras en algunos suelos la intensidad de labranza es excesiva, en otros es insuficiente y en muy pocos casos llega a ser la adecuada. Estas imprecisiones, debidas al desconocimiento de la relación óptima entre el cambio de las propiedades del suelo-intensidad de labranza, son la causa del deterioro del suelo a través del tiempo.

Por lo antes mencionado, este escrito incluye información de los cambios que ocurren en la estructura interna de dos suelos de importancia agrícola, cuyas propiedades físicas son totalmente contrastantes. Con ello se intenta establecer

algunos parámetros que sirvan de referencia para evaluar el efecto y la necesidad del laboreo de suelos en función de los cambios que suceden en su estructura.

Objetivos

Cuantificar el efecto de la labranza sobre el sistema estructural del suelo en función de los cambios que ocurren en: tamaño de poro y de agregado, distribución del tamaño de poro, entropía media y dinámica de la porosidad en relación al contenido de humedad del suelo (estructura interna).

- Dilucidar las fuerzas externas que producen los cambios de mayor magnitud en la estructura interna de los suelos agrícolas.

Hipótesis

- El efecto de la labranza sobre la estructura del suelo es similar en todos los suelos.
- El humedecimiento en los suelos agrícolas es una fuerza externa que produce mayores cambios en el sistema estructural de los suelos que aquella aplicada por las herramientas agrícolas.

REVISION DE LITERATURA

Harris *et al.* en 1966, citados por Soane y Pidgeon (14) en 1975, al evaluar los cambios que ocurren en la estructura del suelo por efecto de la labranza, concluyeron que existe una estrecha relación entre aquéllos y el contenido de humedad al que ésta se efectúa, lo cual concuerda con las teorías que infieren que cuando el laboreo de un suelo en condiciones inadecuadas de humedad es intenso, se degrada su estructura.

Relacionar el tipo de suelo con prácticas de laboreo específicas es lo más acertado, ya que cada uno responde en forma distinta. Al respecto, Mathieu (11) en 1982 consignó que al laborear un suelo arcilloso en estado seco se generan terrones grandes y mucho material fino; el tamaño de los terrones se disminuye por efecto de la labranza secundaria (rastreos), y se produce una capa arable compuesta de agregados variables en tamaño y cantidad.

El mismo autor señaló que las distintas distribuciones de agregados por tamaño, producidas por efecto del laboreo del suelo, modifican la porosidad diferencial, la cual se compone de porosidad total, estructural y la que contienen los agregados elementales. Cada nivel de porosidad es afectado en diferente grado a través del manejo del suelo que implican las prácticas agronómicas del cultivo. Por ejemplo, se ha observado que por efecto de la labranza, la porosidad entre agregados es la más dinámica, mientras que los cambios en la porosidad "textural" (la que existe dentro de los agregados) son mínimos. Sin embargo, es esta porosidad "textural" sobre la cual el agua de riego ejerce su mayor efecto, destruyéndola si la hidroestabilidad de los agregados es baja o incrementándola si dicha cualidad es alta, una vez que sucede el fenómeno de expansión. Posteriormente, cuando ocurre el proceso inverso (secado), se provoca una gran disminución de la porosidad textural y estructural.

Hadas y Wolf (9) en 1984 señalaron que el efecto principal de las herramientas agrícolas sobre el suelo consiste en fragmentar los agregados y así producir distintas distribuciones de los elementos que componen la estructura. Estos cambios llegan a ser muy contrastantes si se comparan con el mismo suelo en estado inalterado, lo cual implica recuperar el equilibrio de su estructura y, en consecuencia, un comportamiento indeseable de sus regímenes hidrofísicos.

Hadas (8) en 1987 indicó que según la intensidad de la labranza que se realiza, un suelo tendrá diferente grado de presión externa sobre éste. Cuando es intensa, los agregados se destruyen en forma paulatina, por lo cual se generan compactación a distintos niveles de profundidad y se provocan alteraciones negativas en los regímenes de humedad que causan estrés en los cultivos.

El propio Hadas comentó que a través del tiempo la labranza sucesiva propicia una fragmentación paulatina de los agregados, de manera que éstos al ir disminuyendo de tamaño van presentando mayor capacidad de atracción entre ellos, y generan así una masa de suelo no estructurada, la cual al sufrir la alternancia del humedecimiento y secado origina las grandes porciones densas de suelo conocidas como "terrones".

Coincidiendo con el anterior autor, Power y Skidmore (12) en 1984 añadieron que los terrones presentan una alta resistencia mecánica en estado seco y muy baja estabilidad en estado húmedo, destruyéndose con facilidad cuando se sumergen en agua; tal situación es poco favorable para el desarrollo de los cultivos y para las prácticas asociadas al manejo de suelo y cultivo.

Osuji (13) en 1984 y Wang *et al.* (19) en 1985 concordaron en que la destrucción de la estructura del suelo con labranza contempla su desintegración parcial o total, cambia la distribución de los poros y trunca la continuidad de los mismos en todo el sistema estructural; en consecuencia, sucede la fusión y cierre o disminución de vacíos, lo cual se traduce en compactación. Esto causa los bajos valores de conductividad hidráulica y las tendencias poco deseables que siguen las propiedades hídricas del suelo a través del tiempo.

Hill *et al.* (10) en 1985 mencionaron que al utilizar los sistemas de labranza de conservación para el establecimiento de cultivos, el contenido de humedad en el suelo fue mayor respecto a la labranza convencional, lo cual se atribuye a que en el primer sistema hay mayor cantidad de poros pequeños que contribuyen a la mayor retención de la humedad en el suelo.

Cassel y Nelson (3) en 1985, al evaluar el efecto de la labranza sobre la retención de humedad por el suelo, concluyeron que los macroporos que mantienen el agua a tensiones de 0 a -1 kPa son severamente afectados, mientras que los poros que retienen el agua de -10 a -37 kPa no son afectados, lo cual indica que son los poros que participan más activamente en el movimiento del agua del suelo los que son alterados.

Berezin *et al.* (1) en 1983 señalaron que el volumen total de vacíos del suelo (ϕ) es la suma del volumen de poros en los agregados (D) más el ocupado por las grietas (T); es decir:

$$\phi = D + T$$

Bajo esta definición se considera que ϕ será independiente del contenido de humedad. Sin embargo, considerando que con el secado del suelo ocurre un asentamiento vertical de la superficie, además de la contracción, entonces ϕ sólo dependerá del contenido de humedad (W).

En adición, los mismos autores (2) en 1985 afirmaron que la contracción del suelo impide la formación de grietas horizontales, esto debido a la fuerza de gravedad. Entonces, bajo esta premisa la contracción del volumen sólo sucederá en dos direcciones. Por lo tanto, excluyendo el asentamiento vertical del suelo, el cual constituye un tercio de la contracción total, el volumen total de vacíos del suelo, a un contenido de humedad W , se puede obtener mediante la ecuación:

$$\sigma_i = \frac{2D_1 + D_i}{3}$$

Donde D_1 es la propiedad específica D_i al contenido de humedad equivalente al límite líquido W_1 .

El contenido de humedad W_1 , en el cual se forman las grietas, se obtiene mediante la ecuación:

$$W_1 = \frac{D_{i-1} + W_1}{2}$$

Donde $i = 1, 2, \dots, n$ orden de grietas, y W_1 es el contenido de humedad equivalente al límite de contracción.

MATERIALES Y METODOS

Durante el ciclo otoño-invierno de 1986-87 se muestrearon dos lotes de vertisol pélico sembrados uno con trigo bajo labranza cero en su primer año y otro con labranza tradicional por un período aproximado de 45 años. La principal rotación de cultivos ha sido trigo-sorgo con régimen de riego. Por otra parte, en mayo de 1987, después de la cosecha de maíz, se muestreó un andosol mólico bajo los sistemas de labranza cero y tradicional, ambos tratamientos aplicados desde 1981. En esta clase de suelo se ha cultivado maíz de temporal. El contenido de materia orgánica fue de 2.68% en el vertisol pélico y 2.05% en el andosol mólico.

El estudio de la estructura interna (entropía, macroporosidad lineal, diámetro de poro y agregado) de los suelos trabajados con labranza cero y tradicional, se hizo sobre secciones de 10x12x0.3 cm. Para obtener éstas, se tomaron muestras de suelo en campo mediante moldes metálicos con dimensiones 12 x 15 x 10 cm, los cuales se insertaron en el suelo sobre el cual se había vertido resina* para impregnar la muestra y evitar su alteración durante el proceso de muestreo y transporte. En el laboratorio, a estas muestras se les agregaron dos gotas de catalizador y una de acelerador por cada 10 ml de resina, cuya función fue como endurecedor. Su impregnación total se logró sometiéndolas a vacío equivalente

* Mezcla de resina HU-543 más acetona en relación 1:1

a 22 pulgadas de mercurio para extraer el aire y llenar de resina el espacio poroso. Las secciones se observaron en un microscopio con aumento 20x, utilizando glicerina como líquido de inmersión; de esa forma se cuantificaron los poros y agregados identificados como O's y 1's, respectivamente en un total de 250 lecturas espaciadas cada 0.5 mm, de donde se obtuvieron los parámetros de la estructura interna aplicando la teoría que Dexter (5 y 6) diera a conocer en 1976 y 1977, la cual expresa el tamaño medio de poro y agregado como D_{50} .

Para estimar la distribución de los poros de diferente tamaño en ambos suelos y sistemas de labranza se utilizó el método diseñado por D'Hollander (7) en 1979, modificado por Hill *et al.* (10) en 1985, en cuyo caso el tamaño de poro se expresa como radio medio, (r_{50}). Este método se fundamenta en la relación que existe entre la curva característica de humedad y la distribución de poros por tamaño, relación en la que se aplica el principio hidrofísico de que la tensión del agua en un poro es una función de su radio efectivo.

En ambos suelos el número de muestras de campo por cada sistema de labranza fueron cinco. De cada una de ellas se obtuvieron secciones de 10 x 12 x 0.3 cm, en las cuales se leyeron 250 elementos que permitieron evaluar los parámetros de la estructura interna. Las diferencias de los cambios ocurridos en los parámetros estructurales por efecto de la labranza en un mismo suelo se evaluaron mediante la prueba de t con $\alpha = 0.05$.

Por otra parte, la interacción de la porosidad estructural (D_i) con el contenido de humedad (W_i), se determinó siguiendo el procedimiento divulgado por Berezin *et al.* (1 y 2) en 1983 y 1985, en el cual se describe la dinámica del sistema suelo-agua-espacio poroso para establecer finalmente la relación $D_i = f(W_i)$, donde D_i es la porosidad estructural, f indica la relación funcional de la porosidad con el contenido de humedad, W denota la humedad en el suelo e $i = 1, 2, \dots, n$ son los niveles de humedad que describe la curva característica de humedad de cada suelo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Estructura interna

En el Cuadro 1 se presentan los resultados relativos a la estructura interna de ambos suelos con los dos sistemas de labranza. Ahí se observa que la entropía media (\bar{H}), porosidad lineal (NL) y tamaño medio de poro ($\bar{\phi}$) fueron mayores en el vertisol pélico con labranza tradicional que con labranza cero, pero el

tamaño medio de agregados ($\bar{\phi}$) resultó mayor en el vertisol pélico sin labranza. En todas las comparaciones de estos parámetros, la diferencia resultó altamente significativa ($\alpha = 0.01$).

En el andosol mólico se observa que la entropía media, porosidad lineal y tamaño de poro fueron ligeramente mayores en el suelo con labranza cero que con la convencional, pero no hubo significancia estadística. Por su parte, el tamaño medio de agregado fue igual con ambos sistemas de labranza, lo cual indica su estabilidad ante la acción mecánica de las herramientas o implementos agrícolas.

La evaluación de estos parámetros estructurales de los suelos mencionados indica que hubo efecto significativo del laboreo sobre el vertisol pélico, mientras que en el andosol mólico tal efecto no alteró su sistema estructural en forma considerable.

La distribución de agregados y poros por tamaño en ambos suelos y sistemas de labranza se muestran en las figuras 1 y 2, respectivamente. Ahí se observa que el vertisol pélico con labranza tradicional presentó una proporción mayor de agregados de tamaño menor o igual que 0.5 mm respecto al vertisol pélico con labranza cero, con una diferencia entre ambos de 16%, mientras que en el andosol mólico el sistema de labranza tradicional tuvo una proporción mayor de agregados de este tamaño, aunque las diferencias fueron más pequeñas.

La mayor proporción de agregados con tamaño > 1.5 mm, correspondió al sistema de labranza cero en los dos suelos, pero la diferencia fue mayor en el vertisol pélico que en el andosol mólico. Esto indica que el efecto del laboreo tradicional fue más significativo sobre el vertisol pélico que sobre el andosol mólico, lo cual se confirma al comparar el D_{50} entre sistemas de labranza en cada uno de los suelos señalados. Efectos similares de la labranza sobre los agregados fueron consignados por Hadas y Wolf (8) en 1987.

La distribución de poros por tamaño que se observa en la Figura 2, muestra que el vertisol pélico con labranza cero presentó una proporción mayor de poros con diámetro menor o igual a 0.5 mm comparado con el vertisol pélico bajo labranza tradicional, con una diferencia equivalente a 9%. Una tendencia similar mostró el andosol mólico bajo los mismos sistemas de labranza, pero la diferencia en el contenido de poros entre los sistemas de labranza fue poco notable; en cambio, al comparar ambos suelos se observa una diferencia amplia a favor del vertisol mólico.

CUADRO 1. PARAMETROS FISICOS DE LA ESTRUCTURA DEL VERTISOL PELICO Y ANDOSOL MOLICO CON LABRANZA CERO Y TRADICIONAL, MONTECILLO, EDO DE MEXICO. 1988.

Suelo	Sistema de labranza		Parámetros			
			\bar{H}	NL	$\bar{\phi}_p$ (mm)	$\bar{\phi}_a$
Vertisol pélico	Cero	\bar{X}	0.694**	0.300**	0.396**	1.020**
		S	0.013	0.02	0.03	0.02
	Tradicional	\bar{X}	0.771**	0.396**	0.528**	0.802**
		S	0.02	0.009	0.04	0.015
Andosol mólico*	Cero	\bar{X}	0.885	0.392	0.467	0.821
		S	0.023	0.042	0.087	0.120
	Tradicional	\bar{X}	0.806	0.337	0.430	0.821
		S	0.06	0.036	0.07	0.01

H: Entropía media; NL: Porosidad lineal; ϕ_p : tamaño medio de poro; ϕ_a : Tamaño medio de agregados

** Significancia al nivel $p = 0.01$: LC vs LT

* Chapa (4), 1987

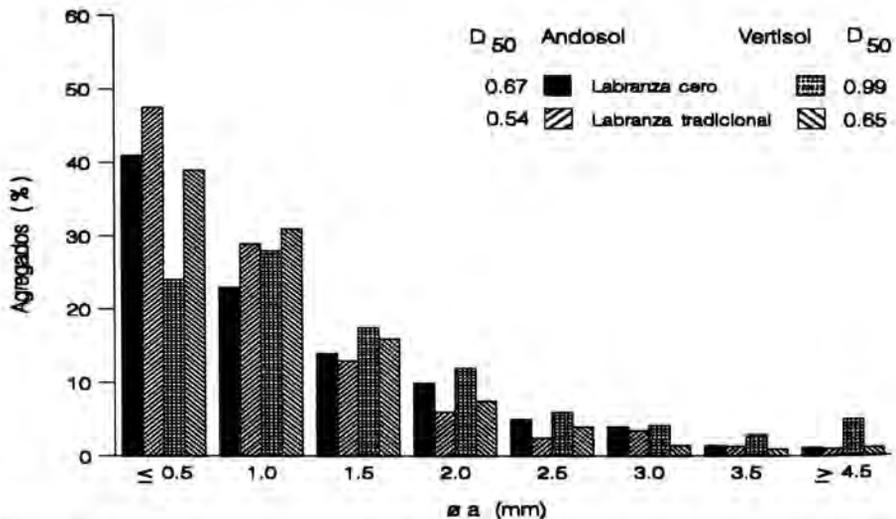


Figura 1. Distribución de agregados por su tamaño (ϕ_a) en el vertisol pélico y andosol mólico con labranza cero y tradicional. Montecillo, Edo. de México. 1988.

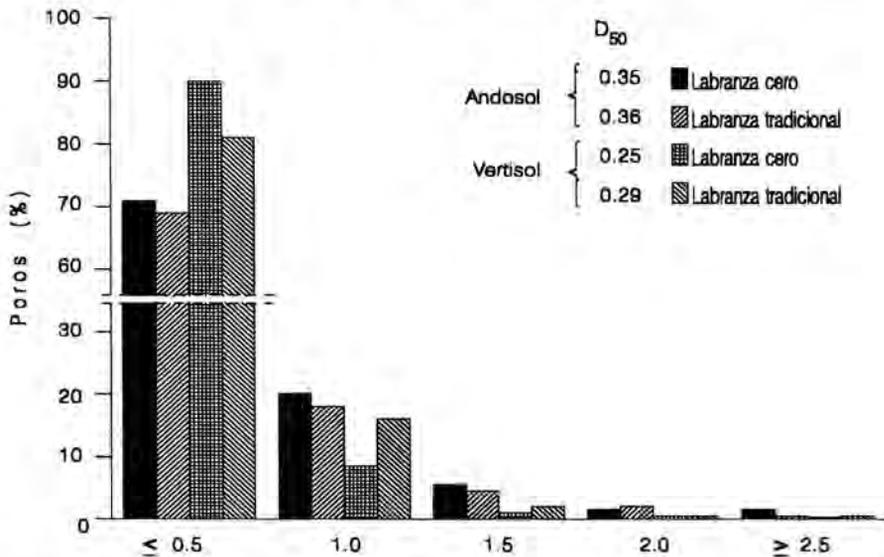


Figura 2. Distribución de poros por tamaño (ϕp) en el vertisol pélico y andosol mólico con labranza cero y tradicional. Montecillo, Edo. de México, 1988.

Al comparar el D_{50} (tamaño medio de poro) entre sistemas de labranza de cada suelo, se encontró que el vertisol pélico con labranza tradicional superó ligeramente a la labranza cero, mientras que en el andosol mólico el D_{50} fue similar, por lo que el efecto del laboreo en este suelo no fue apreciable.

Lo anterior denota que hubo un efecto diferencial de la labranza por tipo de suelo que, en el caso del vertisol pélico, alteró tanto la porosidad que existe entre los agregados como aquella que está dentro de los mismos (porosidad textural), mientras que en el andosol mólico sólo alteró la porosidad entre agregados, lo cual es congruente con lo señalado por Mathieu (11) en 1982.

Estimación de la distribución de los poros por tamaño.

Las probabilidades de ocurrencia de poros de diferente radio en el vertisol pélico y andosol mólico con ambos sistemas de labranza se incluyen en el Cuadro 2, y las correspondientes funciones de distribución de probabilidades se muestran en la Figura 3.

Según los datos del Cuadro 2, el vertisol pélico con labranza cero presentó un contenido ligeramente mayor de poros con radio < 0.5 mm comparado con el vertisol pélico bajo labranza tradicional (29.1 vs. 25.8%). El andosol mólico con los mismos sistemas de labranza siguió la misma tendencia (23.6 vs. 26.0%).

En el vertisol pélico, la proporción de poros con diámetro dentro del rango 0.5-1.5 mm fue igual con ambos sistemas de labranza (65.5 vs. 65.4%), mientras que en el andosol mólico hubo una proporción mayor de poros de dicho tamaño en el suelo con labranza cero que con labranza convencional (64.1 vs. 61.8%, respectivamente).

La comparación del porcentaje de poros con radio > 1.5 mm en ambos suelos indicó que el vertisol pélico con labranza cero presentó un contenido menor respecto al sistema de labranza tradicional (5.4 vs. 8.9%) por lo que es en este rango de tamaño de poro donde el efecto del laboreo es más observable. Por su parte, en el andosol el contenido de poros de este tamaño fue similar con ambos sistemas de labranza (12.3 vs. 12.1%), lo que indica que el laboreo no afecta el tamaño de poros en este suelo.

CUADRO 2. FRECUENCIAS RELATIVAS DEL RADIO DE POROS (r) DEL VERTISOL PELICO Y ANDOSOL MOLICO CON LABRANZA CERO Y TRADICIONAL. MONTECILLO, EDO. DE MEXICO. 1988.

Intervalo ($a < r < b$) mm	Vertisol pélico				Andosol mólico*			
	L. cero		L. tradicional		L. cero		L. tradicional	
(0.01-0.05)	0.000	Acum.	0.000	Acum.	0.000	Acum.	0.000	Acum.
(0.05-0.10)	0.000		0.000		0.0001		0.0003	
(0.10-0.25)	0.0279		0.0272		0.0278		0.037	
(0.25-0.50)	0.2631	0.291	0.2304	0.2576	0.2077	0.2356	0.2236	0.2609
(0.50-0.70)	0.2526		0.2262		0.2085		0.2030	
(0.70-1.00)	0.2472		0.2451		0.2329		0.2274	
(1.00-1.50)	0.1553	0.6551	0.1824	0.6537	0.1998	0.6412	0.1875	0.6179
(1.50-2.00)	0.0387		0.0584		0.0735		0.0655	
(2.00-2.50)	0.0105		0.0188		0.0283		0.0333	
(2.50-3.00)	0.0030		0.0069		0.0116		0.0108	
(3.00-3.50)	0.0010		0.0025		0.0051		0.0062	
(3.50-4.00)	0.0003		0.0011		0.0022		0.0025	
> 4.00	0.0002	0.0537	0.0008	0.0885	0.0023	0.123	0.0027	0.121

* Chapa (4), 1987

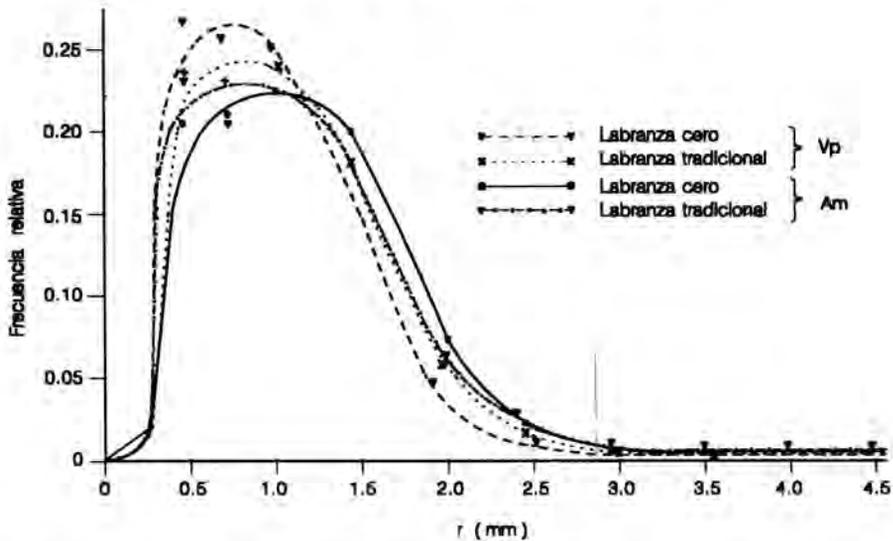


Figura 3. Distribución del radio de poros en el vertisol pélico (Vp) y andosol mólico (Am) bajo labranza cero y tradicional. Montecillo, Edo. de México. 1988.

La diferencia en tamaño de poro es más apreciable al comparar el r_{50} de ambos suelos (Cuadro 3). Así se observa que el r_{50} del andosol mólico fue mayor que el del vertisol pélico, dado que este último suelo con labranza tradicional mostró un r_{50} similar al del andosol mólico bajo los dos sistemas de labranza, lo que indica que el laboreo sí afectó el r_{50} del vertisol respecto al suelo con labranza cero. Al respecto, Hill *et al.* (10) en 1985 señalaron que los sistemas de labranza de conservación producen mayor cantidad de poros pequeños, lo cual contribuye a la mayor retención de humedad en el suelo.

La distribución de frecuencias de los poros por tamaño (radio) de ambos suelos y sistemas de labranza estudiados se representa en la Figura 3, la cual muestra que el radio de poros de los dos suelos siguen una distribución log-normal.

Por otra parte, al comparar dos métodos de cuantificación de la estructura interna de los suelos, - el diseñado por Hill *et al.* (10) en 1985, que da la distribución de poros por tamaño expresado en radio, y el de Dexter (5) en 1976, que lo cuantifica en diámetro, - ambos coinciden en detectar las distintas proporciones de poros por tamaño que contienen ambos suelos y el efecto del laboreo, pero difieren ampliamente en el valor del r_{50} , según se muestra en el

Cuadro 3. Esto se debe a que los métodos se basan en distintas aproximaciones. Así, mientras que el primero de ellos hace una estimación indirecta que se deriva de suposiciones teóricas pero considera la continuidad de los poros; el otro método hace una cuantificación directa pero descarta la continuidad de los mismos.

Dinámica de la porosidad en agregados respecto al contenido de humedad.

El humedecimiento de los suelos por la aplicación de agua de riego es una fuerza externa ejercida sobre ellos que provoca cambios específicos en su estructura interna; uno de esos cambios es la dinámica de la porosidad. Esta propiedad se evaluó en función de la curva de porosidad específica (D) del vertisol pélico y andosol mólico con ambos sistemas de labranza; los resultados se muestran en la Figura 4.

Particularmente se observa que la porosidad específica (D) de los agregados del vertisol pélico no fue afectada por el laboreo, ya que esta propiedad bajo labranza cero y tradicional se representa por la misma curva; igual sucedió en el andosol mólico con ambos sistemas de labranza. Sin embargo, en general se observa que hubo una clara diferencia en la D , entre ambos suelos, siendo mayor para el andosol mólico.

CUADRO 3. COMPARACION DEL r_{50} CON DOS METODOS EN VERTISOL PELICO Y ANDOSOL MOLICO BAJO DOS SISTEMAS DE LABRANZA. MONTECILLO, EDO DE MEXICO. 1988.

Suelo	Sistema de labranza	r_{50} (mm)	
		Dexter (1976)	Hill et al. (1985)
Vertisol pélico	Cero	0.125	0.55
	Tradicional	0.145	0.61
Andosol mólico*	Cero	0.175	0.62
	Tradicional	0.18	0.60

*Chapa (4), 1987.

El hecho de que no haya habido diferencia en la D_i del vertisol pélico entre ambos sistemas de labranza se debe a que el sistema de labranza cero sólo lleva practicándose un ciclo agrícola, mientras que el laboreo tradicional se ha realizado durante 45 años. El andosol mólico muestra resultados similares en la D_i entre sistemas de labranza; la nula diferencia en tal propiedad se atribuye a que presenta una estructura estable a la acción mecánica y al humedecimiento como ya se mencionó en párrafos anteriores. Lo anterior coincide con lo citado por Mathieu (11) en 1982, quien afirmó que la porosidad textural no es afectada por la labranza cuando el suelo posee agregados estables a la acción del humedecimiento.

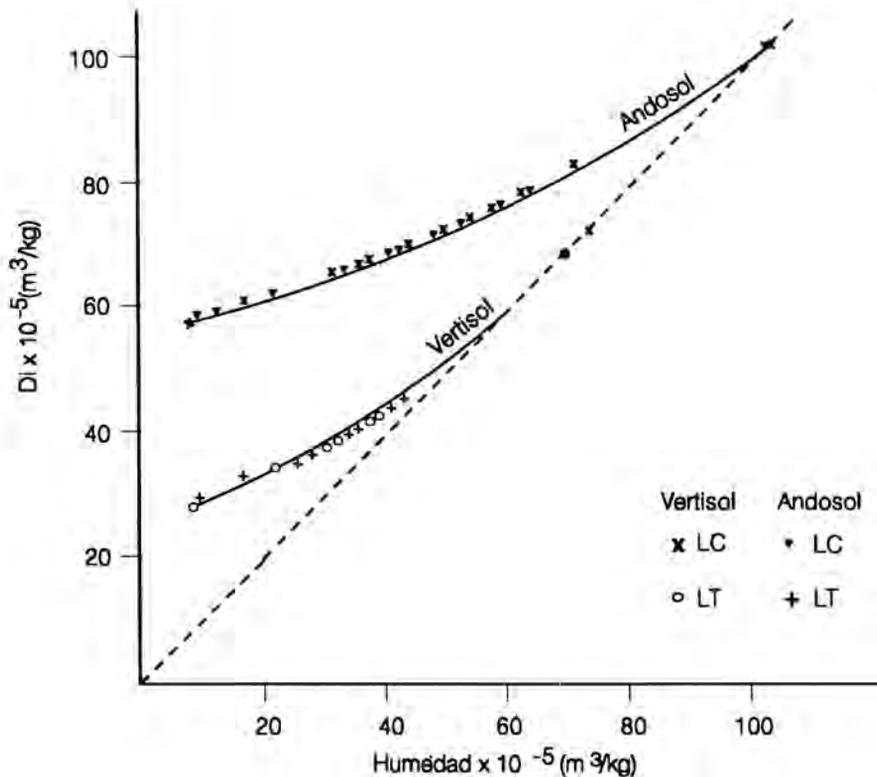


Figura 4. Dinámica de la porosidad específica (D_i) con el contenido de humedad del vertisol pélico y andosol mólico con labranza cero y tradicional. Montecillo, Edo. de México. 1988.

Sin embargo, en la Figura 4 se observa que el comportamiento de la D_i fue dinámico a medida que disminuyó el contenido de humedad en ambos suelos. El vertisol pélico bajo los dos sistemas de labranza presentó una disminución proporcional (relación 1:1) entre porosidad y contenido de humedad en el rango de 63 a $71.2 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$; el límite inferior de este rango corresponde al límite líquido (W_L) para este suelo, pero también es el límite de la fase de contracción normal. Por su parte, el andosol mólico con ambos sistemas de labranza mostró su límite de contracción normal en el rango de humedad entre 101 a $103 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$.

A contenidos de humedad menores que el límite líquido (W_L), la disminución en la porosidad específica (D) fue menor que la disminución del contenido de humedad en ambos suelos. En esta etapa, en el sistema suelo-agua-poros se inician dos procesos: 1) la sustitución del agua por aire en el espacio poroso y 2) la contracción; este último fenómeno es la causa de que la D disminuya. A esta fase se le denomina de contracción residual, la cual domina hasta alcanzar el contenido de humedad correspondiente al límite de contracción (W_c). Por lo tanto, la fase de contracción residual en el vertisol pélico está definida entre el rango de humedad de 10 a $63 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$, mientras que en el andosol mólico el rango está entre 10 a $101 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$.

Humedad de agrietamiento

El uso de las ecuaciones generadas por Berezin *et al.* (1) en 1983, entre muchas otras, permitieron calcular el volumen de grietas entre agregados (θ) de orden n y el contenido de humedad al cual éstas se presentaron en el vertisol pélico y andosol mólico con labranza cero y convencional; los resultados se muestran en los cuadros 4 y 5.

En el Cuadro 4 se observa que en el vertisol pélico con labranza cero el agrietamiento se inició a un contenido de humedad de $38.92 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$ que corresponde a un p^F de 2.67, mientras que con labranza tradicional el mismo proceso ocurrió a $41.09 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$ y un p^F de 2.80; el hecho de que este último se agriete a un contenido de humedad y tensión de la humedad (p^F) mayor es un indicio del efecto negativo del laboreo sobre la estructura del suelo. Además, con labranza tradicional se produjo un volumen mayor ocupado por grietas de primer orden ($n=1$) comparado con el vertisol pélico bajo labranza cero (17.89 vs. $16.08 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$), y el volumen total de grietas también fue mayor (25.32 vs. $22.67 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$). Todas estas diferencias a favor del suelo con labranza tradicional

no son significativas, pero sí marcan la tendencia del efecto del laboreo sobre las propiedades físicas mencionadas.

El andosol mólico con labranza tradicional presenta agrietamiento de primer orden a un contenido de humedad de $56.86 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$ y a un p^f de 3.01, mientras que con labranza cero esto sucedió a $56.83 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$ y un p^f de 2.84 (Cuadro 5). Al comparar los contenidos y las tensiones de humedad a los que se inició el agrietamiento, se observó que no hubo diferencia entre humedad, pero la tensión (p^f) a la que se presentó fue menor en el andosol sin labranza que con labranza tradicional, lo que provocó un volumen total ocupado por grietas mayor que en el andosol bajo labranza cero (23.63 vs. $21.87 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$).

CUADRO 4. VOLUMEN DE GRIETAS ENTRE AGREGADOS (T_i) Y CONTENIDO DE HUMEDAD AL CUAL APARECEN (W_i) EN EL VERTISOL PELICO BAJO LABRANZA TRADICIONAL Y CERO. MONTECILLO, EDO. DE MEXICO. 1988.

Orden de grietas ($i=1,2,\dots,n$)	$W_i = \frac{D_{i-1} + W_0}{2}$	D_i	$\alpha_i = \frac{2D + D_i}{3}$	$T_i = \alpha \cdot D_i$	Vol. de grietas	p^f
$\times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$						
Labranza cero						
0	68.14	68.14	68.14	0.00	0.00	0.00
1	39.92	44.02	60.10	16.08	16.08	2.67
2	26.86	36.22	57.50	21.28	5.20	3.76
3	22.96	34.65	56.98	22.33	1.05	4.03
4	22.16	34.24	56.84	22.60	0.27	4.09
5	21.97	34.14	56.81	22.67	0.07	4.13
Labranza tradicional						
0	71.87	71.87	71.87	0.00	0.00	0.00
1	41.09	45.03	62.92	17.89	17.89	2.80
2	27.67	36.72	60.15	23.43	5.54	3.80
3	23.51	34.47	59.40	24.93	1.50	4.16
4	22.39	33.89	59.21	25.32	0.39	4.19
5	22.09	33.73	59.16	25.43	0.11	4.20

CUADRO 5. VOLUMEN DE GRIETAS ENTRE AGREGADOS (T_i) Y CONTENIDO DE HUMEDAD (W_i) AL CUAL OCURREN EN EL ANDOSOL MOLÍCO* CON LABRANZA TRADICIONAL Y CERO. MONTECILLO, EDO. DE MEXICO. 1988.

Orden de grietas ($i = 1, 2, \dots, n$)	W_i	D_i	α_i	T_i	Volumen de grietas	p^F
	$\times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$					
Labranza tradicional						
0	103.62	109.62	103.62	0.00	0.00	0.00
1	56.86	75.36	94.20	18.84	18.84	3.01
2	42.73	69.93	92.29	22.66	3.82	3.63
3	39.86	68.52	91.92	23.40	0.74	3.77
4	39.31	68.31	91.85	23.54	0.14	3.80
5	39.20	68.27	91.84	23.57	0.03	3.81
6	39.18	68.26	91.83	23.57	0.03	3.81
7	39.18	68.26	91.55	23.57	0.03	3.81
Labranza cero						
0	102.15	102.15	102.15	0.00	0.00	0.00
1	56.83	76.62	93.71	16.89	16.89	2.84
2	44.16	71.02	91.77	20.75	3.86	3.48
3	41.26	69.75	91.35	21.60	0.85	3.70
4	40.63	69.48	91.26	21.78	0.18	3.71
5	40.49	69.42	91.24	21.82	0.04	3.71
6	40.46	69.41	91.24	21.82	0.04	3.71
7	40.45	69.40	91.23	21.83	0.01	3.71

* Chapa (4), 1987.

La Figura 5 ilustra el efecto de la labranza sobre la porosidad específica (D_i) dentro de los agregados y el volumen ocupado por grietas en cada uno de los suelos mencionados. En ella se observa que en ninguno de los suelos hubo efecto del laboreo sobre la D_i - que equivale a la porosidad textural citada por Mathieu (10) en 1982 y sobre la cual decía no era afectada por la labranza - pero en vertisol y andosol se aprecia un volumen de grietas (α_i) ligeramente mayor con labranza cero. Al comparar los dos suelos se observa con el andosol mólico

posee una porosidad mayor dentro de sus agregados que el vertisol a cualquier tensión (p^F) de humedad del suelo.

Estos datos sustentan que el suministro de aire a las plantas será mucho menor en el vertisol pélico debido a que la mayoría de vacíos ocupados por aire está representada por grietas y sólo una pequeña porción de poros en los agregados está ocupado por aire (obsérvese la curva D_i respecto a la de W_i). Por el contrario, el andosol mólico presenta un volumen suficiente de vacíos en los agregados ocupado por aire. El hecho de que esto último suceda garantiza un mejor régimen de humedad-aireación del suelo para las plantas.

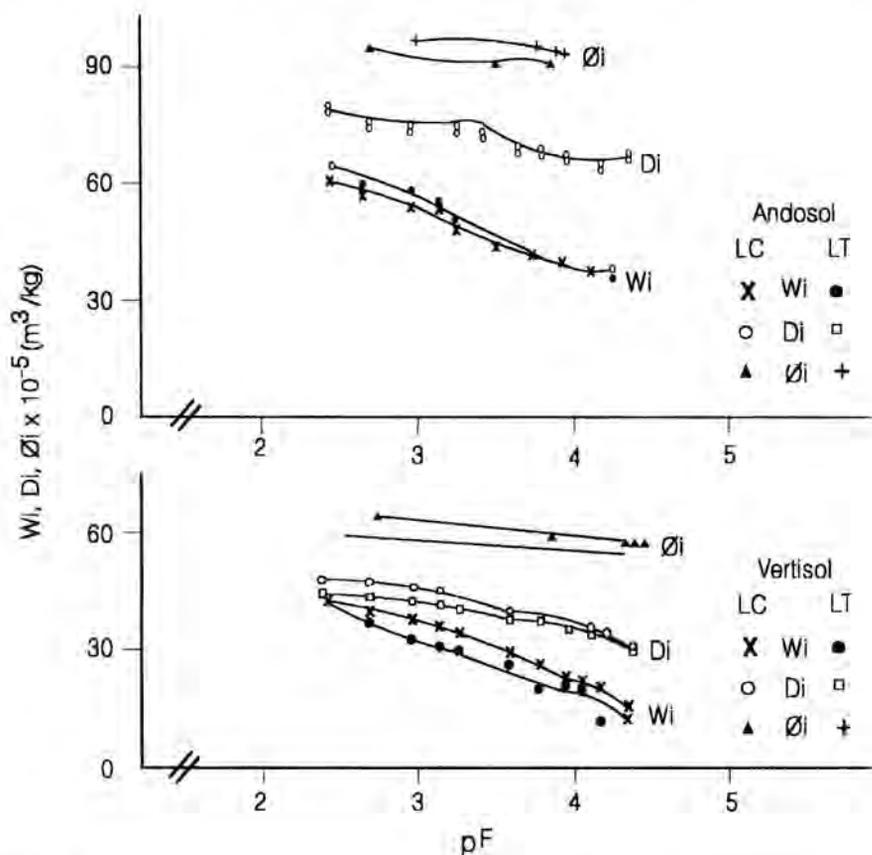


Figura 5. Diagramas estructurales del vertisol pélico y andosol mólico con labranza cerd y tradicional. Montecillo, Edo. de México, 1988.

CONCLUSIONES

1. La medición de los cambios en los parámetros estructurales considerados en este caso, permiten apreciar el efecto directo de la labranza sobre el suelo; esto lleva a determinar con más precisión la eficiencia del laboreo en los sistemas de producción agrícola.
2. La comparación de la estructura interna del vertisol pélico y andosol mólico con los sistemas de labranza cero y tradicional, permite sustentar que es factible eliminar esta práctica del sistema de producción agrícola, siempre y cuando no se observe ningún efecto o cambio importante que altere negativamente los regímenes y propiedades físicas del suelo.
3. La fuerza ejercida por el humedecimiento tiene mayor efecto sobre la porosidad textural que la fuerza mecánica aplicada por las herramientas agrícolas en suelos que poseen alta y baja hidroestabilidad estructural.
4. Los niveles de tensión de humedad (p^f) a los que inició el agrietamiento en ambos suelos, confirman la alta susceptibilidad de los vertisoles al agrietamiento.

LITERATURA CITADA

1. Berezin, P.N., Varonin, A.D. and Shein, Ye. V. 1983. An energetics approach to quantitative evaluation of soil structure. *Soviet Soil Sci.* 10: 63-69.
2. _____, Varonin, A.D. and Shein, Ye. V. 1985. Principal parameters and methods for quantitatively estimating soil structure. *Soviet Soil Sci.* 10: 58-69.
3. Cassel, D.D. and Nelson, L.A. 1985. Spatial and temporal variability of soil physical properties of Norfolk loamy sand as affected by tillage. *Soil & Tillage Research.* 5: 5-17.
4. Chapa, G.J. 1987. *Dinámica del sistema estructural de un andosol mólico del estado de Michoacán bajo tres sistemas de labranza*. Tesis de Maestría. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
5. Dexter, A.R. 1976. Internal structure of tillage soil. *Journal of Soil Sci.* 27: 267-278.
6. _____, 1977. Statistical measure of structure of beds of spherical particles. *Journal of Soil Sci.* 29: 146-155.
7. D'Hollander, E.H. 1979. Estimation of the pore size distribution from the moisture characteristic. *Water Resources Research.* 15: 107-112.

8. Hadas, A. 1987. Long-Term tillage practice effects on soil aggregation modes and strength. *Soil Sci. Am. J.* 51: 191-197.
9. _____, and Wolf, D. 1984. Soil aggregates and clod strength dependence on size, cultivation and stress load rates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1,157-1,164.
10. Hill, R.L., Horton, R. and Cruse, R.M. 1985. Tillage effect on soil water retention and pore size distribution of two mollisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1,264-1,270.
11. Mathieu, C. 1982. Effect of irrigation on the structure of heavy clay soils in North-east Morocco. *Soil & Tillage Research.* 2: 311-329.
12. Power, D.H. and Skidmore, E.C. 1984. Soil structure as influenced by simulated tillage. *Soil Sci. Soc. J.* 48: 879-884.
13. Osuji, G.E. 1984. Water storage, water use and maize yield for tillage systems on tropical alfisol in Nigeria. *Soil & Tillage Research.* 4: 339-348.
14. Soane, B.D. and Pidgeon, J.D. 1975. Tillage requirement in relation to soil physical properties. *Soil Sci.* 119: 376-384.
15. Wang, C., McKeague, J.A. and Switzer-House, K. D. 1985. Saturated hydraulic conductivity as an indicator of structural degradation in clayey soil of Ottawa, Canada. *Soil & Tillage Research.* 5: 19-31.