

## CAMBIOS EN EL ARREGLO ESTRUCTURAL Y LA MICROCONSTITUCION DE UN VERTISOL (*Typic Hapluderts*) BAJO TRES SISTEMAS DE LABRANZA.

Luis Alfredo Osorio Jacome.  
Profesor Asociado  
Departamento de Ciencias del Medio Ambiente  
Universidad Francisco de Paula Santander.

### SUMMARY

**E** Disturbed and undisturbed Vertisol samples were collected from the top soil in the agricultural area in the San Andres Tuxtla, Ver. district Mexico, in fields with Vertisol tilled with minimum tillage (MT) and traditional tillage (TT), as in a field with the same soil without tillage (WT) covered with secondary vegetation. These samples were taken in transects along the length of the fields at 20 m intervals. The variations of the physical properties and the Vertisol microconstitution under the different tillage systems were compared, through analysis, as well as the relationship between the structural arrangement, the morphology of the porous space, the pedological features, and the level of tillage.

The organic matter content in the Vertisol with TT (5%) was higher compared with levels found in soil with MT and WT.

The Vertisol showed a different structural arrangement with each of the different tillage system. In the MT system, there was a tendency toward soil compaction in the furrows between the beds.

The mean size of aggregates varied between 1.24 mm in WT and 1.56 in the furrows between the beds in MT, thus showing the soil compaction.

The mean size of the pores varied between 0.23 and 0.13 mm in the same two systems. The lineal porosity dropped from 0.21 in WT to 0.13 in the MT furrows. Mean pore size was 20% greater in TT than in MT. Soil System structure entropy values reached a high of 0.66 in WT, dropped to 0.61 in the TT, and reached their lowest point of 0.50 in the furrows between the beds of MT, thus confirming their maximum compaction. These values are derived from site soil structure information and form the measure of the structure variability.

The predominant pedological features in the Vertisol, under all three systems, were the amorphous and singular cryptocrystalline ferrous nodules with clear and regular limits. The yellow-orange nodules composed of Lepidocrocite  $\delta$  -  $\text{FeO}(\text{OH})$  were abundant in the MT soil. Red Hematite  $\alpha$  -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nodules were

predominant in Vertisol TT.

The abundance, size, and nature of the nodules indicated high immigration and precipitation of iron solutions. These were highest in Vertisol TT.

The circular form of the nodules allows for the conclusion that these are of biogenic nature (bacterial activity) and the larger size in the TT Vertisol indicates that the aerobic conditions were greater under this system. Smaller size and greater nodule hydration in MT soil confirms a greater anaerobiosis. These nodules indicate periodic surface hydromorphism on the Vertisol in this study.

### INTRODUCCION

Es continua y creciente la influencia del hombre sobre el suelo debido a la necesidad de ampliar las áreas agrícolas. Una de las formas de la intervención antrópica es el manejo y el laboreo continuo del suelo, porque originan perturbación de la estabilidad relativa de las características morfológicas, químicas, biológicas y físicas iniciales que luego se reflejan en la pérdida de la fertilidad.

Según Gerasimova (1.988) la principal dificultad de los investigadores que estudian la influencia antrópica sobre los suelos, es la falta de conocimiento sobre las reacciones de respuesta de los suelos a una u otra práctica agrícola. No siempre se puede decidir si algún cambio en la microconstitución de un horizonte del suelo, de una microzona o de un elemento determinado, es el resultado de la heterogeneidad natural del suelo en el espacio o de algún factor externo diferente al manejo.

Los procesos de la degradación física, incluyendo el encostramiento, el agrietamiento, la compactación y la erosión han sido objeto de numerosas investigaciones. Sin embargo, el conocimiento de los mecanismos que producen los cambios del estado básico y las propiedades del suelo es limitado hasta el momento y esto constituye un obstáculo para obtener una





comprensión más profunda sobre el funcionamiento del sistema y para establecer un conjunto simple y preciso de indicadores que permitan un diagnóstico rápido del estado presente y futuro del suelo.

En forma general, se realizó el presente ensayo para evaluar los cambios de la estructura y microconstitución (Fabric) de un Vertisol (*Typic Hapluderts*) bajo vegetación secundaria sin labranza (SL), cuando fue sometido a labranza mínima (LM) y labranza tradicional (LT). Específicamente se caracterizaron los cambios de los procesos naturales del suelo a través de la micromorfología del espacio poroso y del complejo de los rasgos pedológicos presentes en el Vertisol sometido al distinto laboreo.

## REVISION DE LITERATURA

Según Dobrovolsky (1.988), las características que se cambian drásticamente durante el proceso del uso agrícola del suelo son del nivel micromorfológico y se relacionan con el grado de desarrollo de la estructura, la forma de los agregados, la morfología de los poros, las microformas y la distribución del humus, la presencia de microorganismos y sus productos metabólicos y el carácter de los rasgos pedológicos del suelo. La alteración, en menor o mayor grado, de estas propiedades produce cambios en los procesos naturales del suelo que finalmente propician su degradación.

Parfenova y Yarılova (1.977), por otra parte, plantean que la composición, las formas y la distribución de los rasgos pedológicos en el perfil del suelo, reflejan la dinámica de los procesos internos del mismo bajo cultivo, debido a que cualquier variación en el manejo, cambio del cultivo u otro factor externo influyen en la modificación del complejo de los rasgos pedológicos y entonces, consecuentemente, estos deben ser tenidos en cuenta como indicadores diagnósticos de los efectos que el laboreo causa internamente en el suelo.

Hasta el momento no existe un procedimiento claro y sencillo que permita detectar y controlar o prevenir la degradación física de los suelos. Se conoce que debido a la influencia antrópica se disminuyen bruscamente los contenidos de humus y las microformas activas y en los casos del uso de la maquinaria pesada, se produce la compactación del suelo lo cual se expresa en el cambio directo del espacio poroso junto con la microagregación. Los métodos comunes de investigación no siempre detectan estos cambios, los cuales han sido observados o directamente caracterizados a través de métodos micromorfológicos (Medvedev, 1.981; Tursina, 1.988).

Oleschko (1.994) argumenta que los problemas de manejo en los Vertisoles surgen como consecuencia de la dinámica continua de las propiedades físicas, lo cual es una de las causas de la subutilización de estos suelos, o por el contrario, del excesivo laboreo y uso de energía empleados para lograr un control de los procesos de expansión y contracción que afectan directamente la estructura, lo que resulta luego en su degradación.

## MATERIALES Y METODOS

El área de estudio se localizó en la parte sur del estado de Veracruz, México, en el distrito de San Andrés Tuxtla. La topografía del terreno está constituida por lomeríos suaves y ondulaciones con pendientes que varían entre 1 y 10% (Camacho, 1.983; Zúñiga, 1.987). El suelo es un Vertisol (*Typic Hapludert*) y el principal cultivo de la zona es el maíz. Todos los años se siembra maíz durante el periodo lluvioso y de invierno. El clima del área es cálido sub-húmedo con lluvias en el verano (García, 1.971). La temperatura media anual oscila entre 22 y 28° centígrados. La precipitación anual varía de 1.500 a 2.000 mm. (Comisión del Río Papaloapan, 1.975). Las lluvias ocurren entre Mayo y Octubre alcanzando el máximo entre Julio y Septiembre. La región se caracteriza por un periodo seco de Noviembre a Abril y desde Enero en adelante la cantidad de precipitación alcanza 30 mm. por mes.

El crecimiento del maíz tiene dos periodos críticos. El primero se caracteriza por una saturación del perfil del suelo y condiciones reducidas que afectan el desarrollo y rendimiento del maíz (Mayo-Octubre) y en el segundo se desarrollan grietas profundas en el suelo por lo que el cultivo muestra síntomas de secamiento (Noviembre-Abril) (Díaz, 1.988).

Los sitios seleccionados para representar los suelos fueron similares excepto por su vegetación y uso (Fotografías 1, 2, 3). El suelo del campo 1 (1.500 metros cuadrados) fue el Vertisol bajo vegetación secundaria (SL) que no había sido cultivado por varios años. El campo 2 (3.000 metros cuadrados) fue un lote experimental cultivado desde 1.981 usando labranza mínima (LM), y donde habían sido establecidas camas de siembra permanentes (1.5 m de ancho). Poco antes de la siembra el área de cultivo se remueve con un arado en cuya barra porta-implementos se acoplan dos cinceles que roturan el suelo usando tracción animal. El campo 3 (20.000 metros cuadrados) había sido labrado con métodos tradicionales (LT) desde 1.980. El sistema LT consiste de una arada a una profundidad de 30 cm. y rastrillada a una profundidad de 10 a 15 cm. El rastrojo del cultivo anterior en LT es quemado parcialmente (a diferencia del tratamiento LM, en el cual el rastrojo es removido del campo).

El muestreo fue realizado durante el periodo seco cuando no se habían establecido los cultivos en los campos. Las muestras fueron obtenidas a lo largo de transectos elegidos en cada campo a intervalos de 20 m entre los puntos de muestreo. Cinco puntos fueron seleccionados en cada lugar experimental y en cada uno se recogieron dos muestras, una inalterada y otra alterada (0-30 cm). En el Vertisol con LM se muestrearon dos sitios: el área de las camas, y los surcos entre las camas, los cuales drenan el exceso de agua durante el periodo lluvioso.

Las muestras inalteradas fueron bloques de 12\* 14\* 25 cm, tomados con humedad del campo y transportados sin secar en cajas plásticas. En el laboratorio, los bloques se secaron e impregnaron en vacío con una mezcla de resina Epoxi HU - 543 y acetona en proporción 1 : 1. Después que la resina se endureció los bloques se





FOTOGRAFIA 1. Campos con *Typic Hapluderts* sin labranza SL.



FOTOGRAFIA 2. Campos con *Typic Hapluderts* bajo labranza mínima LMc y LMs.



FOTOGRAFIA 3. Campos con *Typic Hapluderts* bajo labranza tradicional, LT.

cortaron en láminas de 12 \* 12 cm y con un espesor promedio de 5 mm.

Las láminas gruesas se sometieron al análisis del sistema estructural del suelo siguiendo el procedimiento propuesto por Dexter (1976). Se marcaron 5 líneas horizontales sobre la superficie de las láminas a distancias de 3, 8, 15, 25 y 40 mm. desde la parte superior.

La distribución de los agregados y poros fue observada en un microscopio con aumento 10X, en 240 puntos. Los puntos se obtuvieron dividiendo las líneas de 12 cm. en intervalos de 0.5 mm. dándole un valor de 1 a los agregados y 0 a los poros observados en los espacios rellenos con la resina. Las líneas de 0 y 1, se analizaron por computador para producir estimaciones de probabilidades de transición,  $n$ , de ceros siguiendo a cuatro elementos previos a lo largo de la línea de 12 cm. De esta manera se obtuvo la información acerca de la estructura o posición relativa de 0 y 1, en cada línea (Ver Figura 1).



Figura 1A. Dibujo de una sección delgada después de que la muestra de suelo ha sido impregnada y cortada. (Tomado de Dexter, 1976).

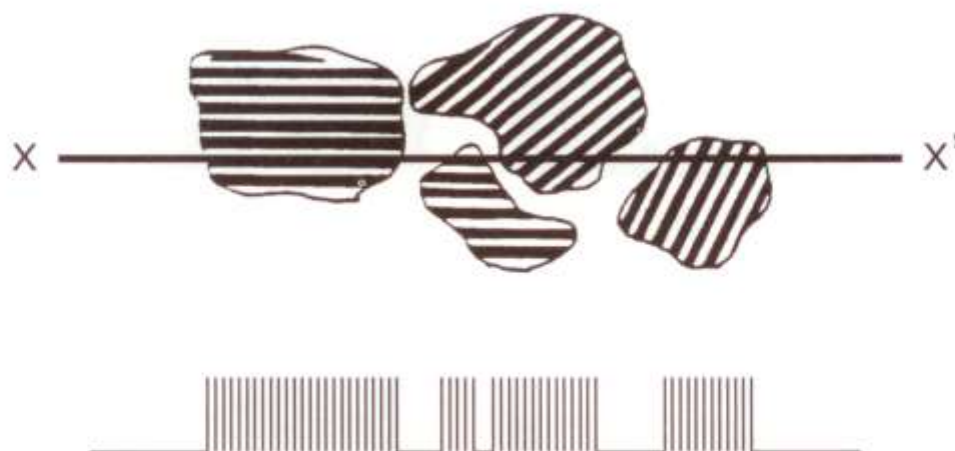


Figura 1B. La línea  $XX'$  representa un nivel sobre la sección. El valor de cero (0) a un vacío en la línea y el uno (1) cuando la línea pasa a través de agregados. (Tomado de Dexter, 1976).



Los cuatro elementos previos son conocidos como "precursores" de la existencia de agregados ( $1_s$ ) y de poros ( $0_s$ ) en cada línea. Los 16 precursores posibles,  $i$ , contienen información acerca de la estructura en la línea y por lo tanto acerca de la estructura del suelo. El método da igual importancia o peso a poros ( $0_s$ ) y agregados ( $1_s$ ) Dexter (1.977). El tamaño medio de los agregados y de los poros, la porosidad lineal y la entropía de la estructura interna del suelo se calcularon por el método Dexter (1.976).

La entropía fue definida como el grado de desorden del sistema estructural y se calculó usando una ecuación desarrollada en la teoría de las comunicaciones (Dexter, 1.977).

$$H = \frac{1}{m} \sum N_x \sum P(X, i) \log_2 p(x, i)$$

- Donde : H = Entropía del sistema estructural.  
 m = Número de elementos considerados ( 240 ) en cada línea de 12cm.  
 Nx = Número de ocurrencia de los precursores x en la línea  
 p(x, i) = Son las probabilidades del símbolo i siguiendo al precursor x ( i puede tomar solamente los valores 0 ó 1 ).

Luego : p(x, 0) = 1 - p(x, i).

El suelo sin poros puede estar compuesto de  $1_s$ . La entropía será entonces cero, dependiendo de la longitud de la línea de precursores. Igualmente, si en la lámina la línea pasa totalmente a través de aire, todos los elementos son ceros ( $0_s$ ) y la entropía similarmente es cero. Entre esos dos extremos de la capa labrada del suelo, la entropía toma valores intermedios entre 0 y 1 dependiendo del estado estructural (Dexter, 1.977).

Para los análisis micromorfológicos se prepararon, a partir de cada lámina gruesa, las secciones delgadas de 2 \* 4 cm. y 30  $\mu$ m. de grosor. Se describieron 20 secciones delgadas para cada uno de los campos estudiados. La descripción de las secciones delgadas se realizó a través de observaciones microscópicas con objetivo de aumento 80X, de acuerdo a las recomendaciones del Handbook for Soil Thin Section Description (Bullock et al., 1.985). Como base se utilizaron conceptos comparativos para la interpretación de los resultados de las descripciones micromorfológicas.

La morfología de los agregados, la forma y tamaño de los poros, las microformas del humus y su distribución, la presencia de microorganismos y sus productos metabólicos y las características de los rasgos pedológicos, se consideraron como los mas indicativos del efecto de labranza y fueron utilizados como indicadores de la eficiencia del sistema de labranza del Vertisol. En el presente estudio

y teniendo en cuenta la influencia del régimen údico sobre el Vertisol ( 73% de arcilla ), el estado de aireación se consideró el mayor limitante para el desarrollo de las plantas. Por consiguiente el sistema de labranza que aseguró una mejor aireación del suelo se interpretó como el mas eficiente.

## "Cualquier variación en el manejo, cambio del cultivo u otro factor externo influye en la modificación del complejo de los rasgos pedológicos".

Las muestras alteradas, obtenidas del horizonte superior del suelo ( 0 - 30 cm. ), se utilizaron para los análisis químicos, el contenido de materia orgánica ( Walkley and Black, 1.947 ) y la distribución de macroagregados y microagregados ( Kaurichev, 1.984 ).

La textura del suelo o el contenido de las fracciones de diferentes tamaños de las partículas elementales ( PES ) se determinó en las suspensiones del suelo con fundamento en la ley de Stokes y utilizando la pipeta según la metodología de Kachinsky descrita por Kaurichev ( 1.984 ).

La cuantificación del contenido de los diferentes tamaños de macroagregados ( $\geq 0.25$  mm.) y microagregados ( $\leq 0.25$  mm.) se hizo siguiendo las metodologías de Savvinov descrita por Kaurichev (1.984), y Kachinsky (1.965) respectivamente. La distribución de macroagregados se realizó en condiciones secas y en húmedo para evaluar su estabilidad en el agua. Los datos obtenidos sirvieron para calcular el coeficiente de dispersión ( $K_d$ ) que cuantifica el grado de estabilidad de los microagregados al humedecimiento; el coeficiente de estructura ( $K_e$ ) Vadiunina (1.946) y el coeficiente estructural ( $K_s$ ) (Vageler 1.930 ), los cuales permiten una valoración mas amplia de microagregación del suelo cuando se les compara con el coeficiente de dispersión ( $K_d$ ) de los microagregados. El cálculo de los coeficientes se realizó con las siguientes fórmulas:

$$K_d = \frac{a}{b} \cdot 100$$

- donde:  $K_d$  = Coeficiente de dispersión en %  
 a = Contenido en % de la fracción de microagregados  $\leq 0.001$  mm. obtenido en el análisis.  
 b = Contenido en % de la fracción de partículas  $\leq 0.001$  mm. obtenido en el análisis de textura.

$$K = \frac{c}{d} \cdot 100$$

- donde:  $K_2$  = Coeficiente de estructuración.  
 c = Porcentaje de microagregados  $\leq 0.005$  mm obtenido en el análisis.  
 d = Porcentaje de microagregados  $\geq 0.005$  mm obtenido en el análisis.

$$k_s = \frac{\text{Arcilla..I} - \text{Arcilla..II}}{\text{Arcilla..I}} \cdot 100$$

donde:

- K = Coeficiente de estabilidad estructural.  
 Arcilla I = Contenido de arcilla en el análisis de textura (%).  
 Arcilla II = Contenido de arcilla en el análisis de microagregados (%).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### La materia orgánica

Según Tursina (1.988) y Flach y Parton (1.990), la pérdida continua de la fertilidad natural y la desestabilización de la estructura en los suelos agrícolas comienza con un cambio rápido en la composición y contenido de humus en la capa arable. Por esta razón se dió especial atención al contenido de materia orgánica del suelo bajo los tres sistemas de labranza en estudio (SL, LM, LT). En la Tabla 1 se muestran las propiedades químicas del Vertisol (*Typic hapluderts*).

Tabla 1. Características químicas del Vertisol sin labranza (SL), con labranza mínima (LM) y labranza tradicional (LT).

Sistema de Labranza		pH	M.O	Ce	Nt	P	CIC	Ca	Mg	K	Na	SB	
			%	dS*m	%	mg*kg <sup>-1</sup>	cmol*kg <sup>-1</sup>						
SL	$\bar{x}$	6.3	2.8	0.5	0.1	2.6	62.4	31.1	27.3	1.0	1.6	97.5	
	$C_v$	1.7	17.8	2.1	7.7	4.2	1.4	2.1	4.0	1.0	0.6	0.2	
LM	Camas	$\bar{x}$	6.3	3.3	0.4	0.2	2.8	70.1	35.6	29.7	0.6	1.0	94.4
		$C_v$	0.8	3.6	5.4	63	2.9	3.0	0.9	5.0	3.5	34.6	1.2
	Surcos	$\bar{x}$	6.5	3.0	0.2	0.1	2.4	68.7	33.7	29.0	0.5	1.1	93.5
		$C_v$	0.8	1.6	9.5	71	4.5	0.5	1.4	1.6	1.9	29.0	1.8
LT	$\bar{x}$	6.7	5.0	0.3	0.3	2.4	72.8	40.0	26.7	1.0	0.6	93.8	
	$C_v$	0.6	14.9	9.1	3.5	3.8	0.5	1.1	1.2	1.0	3.2	0.3	

$\bar{x}$  : Valor medio

$C_v$  : Coeficiente de variación



El contenido de materia orgánica en SL fue menor que en el suelo bajo LT y LM. La vegetación en SL es secundaria, formada después de que el suelo dejó de cultivarse y está compuesta por especies arbustivas como *Bursera simaruba*, *Spondias mombin*, *Scheelea liebmanni* y *Terminalia Amazonia* (Hernández, 1974). El mantillo acumulado sobre la superficie del suelo, formado por hojas muertas no descompuestas, no se integra al suelo en rápida descomposición.

En el suelo con labranza tradicional (LT), por el contrario, el contenido de materia orgánica fue muy alto. En la práctica agrícola tradicional del área, los residuos del cultivo (mas de 10 Ton./ha./año) son utilizados parcialmente para alimentar el ganado y el resto es quemado durante la preparación del terreno para la siembra. Además, en el suelo con LT el control de arvenses ( las cuales abundan debido a las condiciones climáticas ) es realizado manualmente y todos los residuos son dejados sobre la superficie del suelo. En contraste, el control de arvenses en el suelo con LM se realiza con herbicidas. El contenido de materia orgánica en las camas de siembra y en los surcos entre las camas de LM fue mayor que en SL, pero mucho menor que en las parcelas con labranza tradicional ( LT ). El desbalance entre el carbono incorporado y el carbono perdido durante los últimos 8 años explica la acumulación de materia orgánica en el suelo tratado con LT.

## La distribución granulométrica

La textura del Vertisol bajo los diferentes sistemas de labranza, no mostró diferencias y puede afirmarse que el suelo presentó una distribución homogénea del tamaño de partículas bajo los sistemas de labranza estudiados (Ver Tabla 2).

## El arreglo estructural

El Vertisol mostró diferente arreglo estructural en todos los sistemas de labranza. A nivel de microagregados, el suelo bajo SL presentó mayor porcentaje (38.8 %) de microagregados del tamaño de la arcilla física ( $\leq 0.01$  mm.) lo cual indicó una mayor dispersión en comparación con el Vertisol bajo LM y LT. En forma opuesta el suelo con LM y LT mostró un mayor contenido de microagregados del tamaño de la arena física ( $\geq 0.01$  mm. ), lo que concuerda con los mayores contenidos de materia orgánica, ya que este material participa activamente en la formación de los microagregados del tamaño mayor que la arcilla física, en una segunda etapa de la formación de unidades estructurales ( Dexter, 1.988 ) ( Tabla 3 ).

En el Vertisol, bajo todos los sistemas de labranza, predominan los microagregados del tamaño entre 0.01 a 0.25 mm. Y la mayor agregación la tuvo el suelo con labranza tradicional ( LT ) (69.2%).

**Tabla 2.** Distribución granulométrica del Vertisol sin labranza ( SL ), con labranza mínima ( LM ) y labranza tradicional ( LT ). Método de Kachinsky ( 1.965 ).

Sistema de Labranza			A.	A.	L.	L.	L.	Arcilla	A.	A.
			gruesa	fin	grueso	mediano	fino		física	física
Diámetro en mm.										
			1.0-0.25	$\geq 0.05$	$\geq 0.01$	$\geq 0.005$	$\geq 0.001$	$\leq 0.001$	$\geq 0.01$	$\leq 0.01$
Porcentajes										
SL		$\bar{x}$	1.7	12.0	12.9	5.4	8.1	60.0	26.5	73.5
		$C_v$	22.8	16.3	19.9	32.4	22.2	3.5		
LM	Cama	$\bar{x}$	1.7	9.5	10.0	10.2	10.7	57.9	21.2	78.8
		$C_v$	26.4	19.4	31.8	36.4	7.2			
	surcos	$\bar{x}$	1.8	9.4	11.1	7.6	9.9	60.4	22.2	77.8
		$C_v$	27.6	12.2	28.9	30.8	36.0	5.2		
LT		$\bar{x}$	1.8	11.4	12.9	6.1	8.2	59.5	26.1	73.9
		$C_v$	18.3	10.6	7.2	24.8	32.6	2.7		

A: Arena

L: Limo

Ar: Arcilla

**Tabla 3.** Distribución de microagregados del Vertisol bajo SL, LM y LT. Método de Kachinsky (1.965)

Sistema de Labranza		A. gruesa	A. fina	L. grueso	L. mediano	L. fino	Arcilla	A. física	A. física	
		Diámetro de microagregados en mm.								
		1.0-0.25	≥ 0.05	≥ 0.01	≥ 0.005	≥ 0.001	≤ 0.001	≥ 0.01	≤ 0.01	
Porcentajes										
SL	$\bar{x}$	15.9	26.0	19.2	10.0	17.0	11.9	61.1	38.8	
	$C_v$	11.9	28.5	24.5	26.1	28.1	19.3			
LM	Camas	$\bar{x}$	23.1	25.6	17.3	8.9	14.2	10.8	66.0	34.0
		$C_v$	11.0	17.5	16.1	33.1	25.2	11.3		
	surcos	$\bar{x}$	23.1	28.2	14.9	5.4	19.0	9.9	66.0	34.2
		$C_v$	11.0	31.6	28.1	52.5	19.1	21.9		
LT	$\bar{x}$	29.2	26.7	12.6	10.0	14.8	6.8	69.2	31.5	
	$C_v$	8.3	9.2	29.1	19.9	20.1	18.8			

Cuanto mayor sea el coeficiente de dispersión  $K_1$ , menor es el grado de microestructuración del suelo. El Vertisol en estudio tuvo un bajo nivel de microestructuración y esta tiende a mejorar con el mayor laboreo del suelo bajo LT (posiblemente debido al mayor contenido de materia orgánica) (Tabla 4). Un suelo posee alto potencial de estructuración cuando su  $K_1$  es bajo y el coeficiente de estructuración es alto ( $K_2$ ), Zazueta (1984). El vertisol con laboranza tradicional

(LT) mostró más alto potencial de estructuración que bajo SL y LM. Esto también se demuestra con el coeficiente de estructuración ( $K_3$ ) de Vogeler, el cual aumentó sus valores a medida que disminuyeron los de  $K_1$ , lo que confirma que el vertisol incrementó su potencial de microestructuración con el aumento del laboreo y esta característica es de mayor valor en el suelo con laboranza tradicional (LT).

**Tabla 4.** Coeficientes de dispersión y estructuración del Vertisol sin labranza (SL), labranza mínima (LM) y labranza tradicional (LT)

Sistema de Labranza	$K_1$ (dispersión)	$K_2$ (estructuración)	$K_3$ (Vogeler)
Porcentajes			
SL	19.8	40.6	80.2
LM camas	18.7	33.4	81.3
surcos	16.4	40.3	83.6
LT	11.3	27.4	88.7



El porcentaje de macroagregados con diámetros entre 0.25 a 10 mm. (agregados de validéz agronómica) (Kaurichev, 1.984), fue mayor en el suelo con labranza tradicional (LT) mientras que en el Vertisol con labranza mínima (LM) en las camas de siembra y en los surcos se presentaron altos porcentajes de macroagregados de tamaño superior a 11.5 mm. lo cual puede ser un indicador de la

compactación del Vertisol (Tabla 5). El análisis en condiciones húmedas de los macro-agregados mostró un incremento de los porcentajes de agregados de tamaños menores a 0.25 mm. para todas las condiciones de labranza lo cual puede ser explicado como un incremento del riesgo de erosión del Vertisol con su humedecimiento (Martínez, 1.987 citado por Chapa, 1.987).

**Tabla 5.** Comparación del porcentaje de macroagregados en estado seco, del Vertisol sin labranza (SL), con labranza mínima (LM) y Labranza Tradicional (LT).

Sistema de labranza	Macroagregados con diámetro en mm.		
	$\geq 11.5$	0.25 - 11.5	$\leq 0.25$
	Porcentajes		
SL	46.8	51.9	1.3
LM camas	58.7	40.3	1.0
surcos	60.7	38.1	1.3
LT	38.6	60.2	1.1

El análisis de la estructura interna del Vertisol confirmó el diferente arreglo estructural del suelo sin labranza (SL), labranza mínima (LM) y labranza tradicional (LT), así como una tendencia hacia la compactación del suelo en los surcos de labranza mínima. El tamaño medio de agregados varió de 1.24 mm. en el suelo sin labranza a 1.56 mm. en los surcos del suelo con labranza mínima. El tamaño medio de los poros varió de 0.23 mm. a 0.13 mm. entre los mismos dos sistemas (Tabla 6). La macroporosidad lineal disminuyó de 0.21% en el suelo sin

labranza (SL) a 0.13 % en los surcos del suelo con labranza mínima (LM).

El suelo bajo labranza tradicional (LT) mostró un promedio de tamaño de poros que fue 20% mayor que el del suelo en las camas de siembra con labranza mínima (LM). La mas alta compactación ocurrió en los surcos entre las camas del suelo bajo labranza mínima (LM). La diferencia en el promedio del tamaño de poros alcanzó el 30%. (Ver Tabla 6)

**Tabla 6.** Valores de la entropía media (H), macroporosidad lineal (NL), tamaño medio de poros (S) y tamaño medio de agregados (D) del Vertisol bajo cada sistema de labranza.

	SL	LM Camas	LM surcos	LT
H	0.66540	0.53411	0.49888	0.59916
NL %	0.21620	0.14117	0.12819	0.17379
S mm.	0.22046	0.14517	0.13149	0.18164
D mm.	1.23593	1.51191	1.55868	1.37590



La entropía del sistema estructural mostró ser un indicador de los cambios que han ocurrido en la estructura del suelo como un resultado del efecto de la labranza. En el suelo sin labranza (SL) la entropía del sistema estructural alcanzó un máximo de 0.66, decreció bajo labranza tradicional a 0.61 y llegó a un mínimo de 0.50 en los surcos entre las camas del Vertisol bajo labranza mínima (LM). Los valores de la entropía proveen información acerca de la estructura del suelo en el sitio ( dando igual importancia a los agregados y poros) y también se considera como una medida de la variabilidad de la estructura (Dexter, 1.977).

La microconstitución interna.

El Vertisol sin labranza (SL), con labranza mínima (LM) y labranza tradicional (LT) mostró un alto grado de pedalidad, con una estructura de bloques subangulares de tamaño macro y con un diámetro medio mayor a 0.5 mm. Los ped descritos son del primer nivel de organización ya que no están compuestos de microagregados. Entre los bloques predominan los poros que por su forma son fisuras, cavidades y cámaras y constituyen los vacíos predominantes (Tabla 7)

Tabla 7. Características micromorfológicas del Vertisol sin labranza (SL), labranza mínima (LM) labranza tradicional (LT).

Sistema de Labranza	Cámaras		Fisuras		Cavidades		
	Tamaño mm.	Abundancia %	Tamaño mm.	Abundancia %	Tamaño mm.	Abundancia %	
SL	0.24	10	0.30	20	0.60	5	
LM	camas	0.30	10	0.30	20	0.70	5
	Surcos	0.25	8	0.14	20	0.50	2
LT	0.40	10	0.20	25	0.70	10-15	

- \* Tamaño con relación al diámetro promedio de cámaras y cavidades y ancho promedio de las fisuras.
- \* Abundancia estimada con relación al porcentaje de área en la sección delgada.

El Vertisol bajo LM tuvo un volumen mínimo de poros dentro de los agregados (15% del total de espacio vacío). Los macroagregados se distinguieron como bloques compactos con raros poros aislados y clasificados como cavidades (vugs) (Fotografías 4 a y b).

El suelo sin labranza (SL) tuvo un mayor número de poros en los bloques (20%). El tamaño medio de estos poros fue mayor que en el caso anterior. Sin embargo el suelo presentó una clara apariencia de ser compacto (Fotografías 5 a y b).

Bajo labranza tradicional (LT), el Vertisol presentó los macroagregados porosos (30% del espacio vacío son poros internos), con predominio de poros cavidades frecuentemente interconectados entre sí y clasificados, por su tamaño, como macroespacios (Fotografías 6 a y b).

La fracción de partículas gruesas representó una parte menor de la microconstitución del suelo, con relación 15/85 del material grueso/fino para el Vertisol bajo todos los tratamientos de labranza. Los

minerales predominantes fueron los feldespatos y vidrios volcánicos fuertemente alterados. No se observó diferencias en la naturaleza y morfología de la fracción gruesa del suelo bajo los sistemas de labranza estudiados.

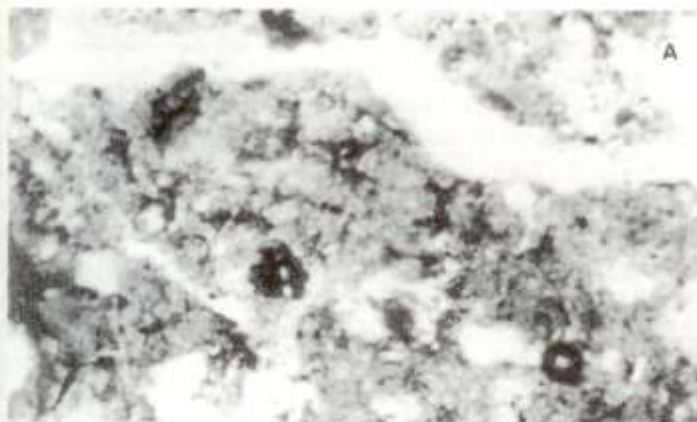
La fracción orgánica en el suelo de los tres campos estudiados presentó similar grado de humificación y fue material orgánico fino y amorfo en fuerte interacción con la fracción mineral, sugiriendo con esto que juega un papel importante en la formación y estabilidad de la estructura del Vertisol analizado.

No se encontró diferencia en la B-Fabric del material fino del suelo bajo los tres sistemas de manejo. La B-Fabric predominante fue la mosaico moteada con numerosas dominios arcillosos en forma de motas y un porcentaje menor en forma de estrías. Estas últimas tuvieron un patrón de poro y de grano estriados. Los procesos de contracción y expansión asociados con los ciclos alternados de humedecimiento y secado de las arcillas montmorilloníticas determinaron este tipo de B-Fabric (Bolckhuis et al., 1.990).





FOTOGRAFIA 4. Secciones delgadas del *Typic hapluderts* con labranza LMc y LMs.  
A. Con nicoles paralelos; B. Con nicoles cruzados (100X)



FOTOGRAFIA 5. Secciones delgadas del *Typic hapluderts* sin labranza, SL.  
A. Con nicoles paralelos; B. Con nicoles cruzados (100X)



FOTOGRAFIA 5. Secciones delgadas del *Typic hapluderts* con labranza tradicional, LT.  
A. Con nicoles paralelos; B. Con nicoles cruzadas (100X)



Los rasgos pedológicos predominantes en el Vertisol bajo los sistemas de manejo analizados (SL, LM y LT) pertenecen al grupo de rasgos amorfos y criptocristalinos formados directamente en la masa del suelo. Los más numerosos fueron los nódulos ferruginosos

y las motas, distribuidos al azar en la Fabric del suelo. De acuerdo con su morfología, Fabric interna y los límites lisos y nitidos, los rasgos fueron definidos como nódulos típicos, simples y puros (integrados solamente por componenetes amorfos).

## "Los rasgos pedológicos deben ser tenidos en cuenta como indicadores diagnósticos de los efectos que el laboreo causa internamente en el suelo".

La abundancia, tamaño y naturaleza mineralógica de los nódulos fue diferente en el Vertisol de los diferentes campos experimentales. En los surcos del suelo con LM predominaron las motas amarillo anaranjadas (ocuparon un 10% promedio del campo visible, con aumento 100X). Todas las motas tuvieron un diámetro similar al de las partículas de limo (0.05 mm.) y la mayor parte tuvo una impregnación media.

Las motas observadas en los surcos están formadas por Lepidocrocita ( $\delta$ -FeO(OH)) y Goetita cristalizada de color amarillo anaranjado y muy típica de los suelos pesados influenciados por la humedad durante el desarrollo del perfil.

En el suelo de las camas de siembra de LM y del tratamiento SL predominaron los nódulos mas grandes (con un diámetro menor de arena gruesa de 0.36 - 0.4 mm.) pero su numero fue menor. Sin embargo, el área que ocuparon en el campo de visión se incrementó entre el 15 y 20%. Entre los nódulos se presentaron algunos de color rojo, compuestos por Hematita ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

En el Vertisol bajo LT predominaron los nódulos rojos de Hematita ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) de tamaño de limo hasta los de arena gruesa (0.05 - 0.25 mm.) y que ocuparon un 30 % del área visible de la sección delgada con aumento 100X. La mayor parte de los nódulos se clasificaron como típicos y puros impregnados homogéneamente y de límites nitidos.

Los nódulos restantes se clasificaron como pseudomórficos. (Ver tabla 8)

La génesis de los compuestos de hierro en el Vertisol bajo estudio fue diferente bajo los distintos sistemas de manejo del suelo.

La naturaleza mineralógica de los compuestos de hierro dependen del contenido total y composición iónica de las soluciones que fluyen en el suelo, así como del contenido de hierro en estado soluble, el pH, el potencial de oxi-reducción de las soluciones, la intensidad de los procesos de evaporación y la actividad biológica (Parfenova y Yarilova, 1.977). El grado de compactación y el componenete capilar de la conductividad del suelo tiene una gran importancia en la mineralogia de los compuestos de hierro. Todas estas características fueron afectadas en el suelo por los sistemas de labranza.

La abundancia, el tamaño y origen mineralógico de los nódulos, indicó cambios significativos en las condiciones de aerobiosis o del potencial de oxi-reducción del Vertisol bajo los sistemas de labran-

za comparados. Tambien se pudo deducir que existió una migración abundante del hierro y debido a que los nódulos fueron del tipo puros, se concluyó que la velocidad de la migración de las soluciones fue alta y la precipitación brusca ya que los límites de los nódulos fueron nitidos.

En el Vertisol bajo LM se observaron abundantes nódulos y motas moderadamente impregnados, cuyo contenido disminuyó en el suelo sin labranza (SL). Al contrario, en el suelo con LT todos los nódulos fueron puros, lo que permitió concluir que en este último la velocidad de circulación de las soluciones ricas en hierro fue mayor y las condiciones para su precipitación mas favorables.

La diferencia en el color de los nódulos y motas, que progreso de amarillo anaranjado al rojo, sugiere que en el Vertisol bajo LM se precipitaron los compuestos de hierro de tipo  $\delta$ -FeO(OH) y que en las condiciones de labranza tradicional (LT) las precipitaciones fueron de Hematita  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, lo que demuestra la mayor oxidación en este último caso.

La predominancia de los nódulos con formas redondeadas regulares (siendo estos del tamaño de limo y de arena gruesa) en el Vertisol con LT sugiere la concentración biogénica del hierro. En este suelo se detectó un alto nivel de actividad biológica, y la mayor concentración del elemento indicó un mayor tiempo de aerobiosis que en el suelo bajo los otros sistemas de labranza (SL y LM).

Los revestimientos arcillosos, localizados alrededor de los granos frecuentes alrededor de vidrios volcánicos) se observaron con ma frecuencia en el suelo de los surcos de LM. La presencia de estos revestimientos en los Vertisoles es un indicador de la disminución de los ciclos de humedecimiento y secado (Yerima et al., 1.987). En el Vertisol con LT, los revestimientos fueron escasos. Esto sugiere que los revestimientos arcillosos son fácilmente quebrados por los procesos de expansión y contracción de las arcillas que ocurre mas frecuentemente bajo el tratamiento LT que bajo SL y LM.

También se observaron revestimientos finos alrededor de los poros en el suelo de los tres lugares experimentales, lo que confirma la existencia de iluviaciones de material arcilloso en la capa arable

El espesor de los revestimientos fue considerablemente mayor en el Vertisol con LM y alcanzó su máximo en el suelo de los surcos de este mismo sistema de manejo, donde el proceso fue probablemente mas intenso. La presencia de estas concentraciones de material fino es común en el horizonte superior de los Vertisoles, donde la



**Tabla 8.** Rasgos micromorfológicos del Vertisol sin labranza ( SL ), labranza mínima ( LM ) y labranza tradicional ( LT ).

Sistema Labranza	Color matriz	Birrefringencia de la Fabric	Microestructura			Rasgos Pedagógicos			Comp. Orgánicos	
			Porosidad Total %	Porosidad Int. agregado %	Tipo de Agregado	Clase	Tamaño mm.	Abundancia %	Tipo ppal	Proporción
SL	10YR5/4	Mm,PeGe	35	5	Bs	Nt	0.4	0.4	Mfa,Gtr	30
LM										
camas	10YR4/4	Mm,Pe,Ge	35	5	Bs	Nt	0.3	10	Mfa,Rtj	30
surcos	10YR6/8	Mm,PeGe	25-30	10	Bs	Pm,M,Nt	0.3	10	Mfa	20
LT	10YR4/4	Mm, Pe,Ge	45	20-25	Bs	Nt	0.4	10	Mfa	40

**Mn:** Mosaico moteado; **Ge:** Grano estriado; **Pe:** Poro estriado; **Bs:** Bloques subangulares  
**Nt:** Nódulos típicos; **Pm:** Pseudomicelio; **Mfa:** Material fino amorfo; **Rtj:** Residuo de tejidos; **M:** Motas

peds superficiales son mas estables ( Blockhuis, et al., 1.990 ).

El primer rasgo afectado por el manejo fue la porosidad interna de los agregados. En el suelo sin labranza ( SL ) y en las camas de LM se presentó una porosidad interna (intra agregados) en los bloques entre 15% y 20% del valor del espacio poroso total (Tabla 8).

El suelo en los surcos entre las camas de siembra de LM mostró una distribución de la porosidad interna de los agregados en el 10% del volumen total del espacio poroso. En este último caso los bloques fueron mas compactos, con presencia rara de poros del tipo cavidades.

El Vertisol de LT tuvo agregados porosos y la porosidad interna de los bloques alcanzó el 25% del total del espacio poroso con predominio de cavidades interconectadas.

También la rugosidad de los poros mostró diferencias entre los distintos sistemas de labranza, lo que indicó que hay variación en las velocidades del flujo de agua a través del Vertisol bajo los tratamientos en estudio. Bajo LT y en las camas de siembra de LM, predominaron los poros rugosos palmeados, mientras que bajo SL y en los surcos de LM, las superficies de los poros fueron mas lisas. Kooistra et al. (1.985), afirman que en el caso de los poros rugosos, en los suelos expandibles, después de la máxima expansión de las arcillas no hay total cerramiento de las paredes de estos poros. Se puede afirmar que en el suelo con LT el flujo del agua se realizó por influencia del carácter rugoso de las superficies de los poros.

## CONCLUSIONES

Con base en los ensayos realizados y la interpretación de los resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

- ◆ Las diferencias en el contenido de la materia orgánica del Vertisol (Typic Hapluderts ) bajo los sistemas de labranza estudiados, se relacionaron con el distinto manejo de los residuos orgánicos tradicionalmente practicados en la zona de estudio.
- ◆ El proceso de humificación en el Vertisol analizado es acelerado y predomina la materia orgánica fina, amorfa y con similar grado de humificación e interacción con la fracción mineral del suelo, lo que favorece su estructuración.
- ◆ El análisis del efecto de los sistemas de labranza mínima y labranza tradicional sobre las propiedades del Vertisol mostró que las características mas seriamente afectadas fueron las relacionadas con la estructura y porosidad lo cual se reflejo en el carácter de los rasgos pedológicos.
- ◆ El suelo bajo estudio mostró una distribución homogénea en el tamaño de partículas y arreglo estructural diferente bajo los sistemas de laboreo aplicados, así como una tendencia a la compactación en los surcos del Vertisol con sistema de labranza mínima ( LM ).
- ◆ La entropía H, el tamaño medio de agregados D, tamaño medio de poros S y la porosidad lineal NL, de acuerdo a sus valores, permitieron deducir los cambios que ocurrieron en el sistema estructural del suelo bajo el laboreo aplicado.
- ◆ Se observaron marcadas diferencias en la abundancia, tamaño y naturaleza mineralógica de los rasgos pedológicos, calificados como motas y nódulos ferruginosos formados por impregnación química. En el suelo con labranza mínima, tanto en las camas de siembra como en los surcos, predominaron las motas de color amarillo-naranja mientras que en el Vertisol bajo labranza tradicional los nódulos rojos de Hematita fueron mas numerosos y con tamaños del limo hasta el de arena gruesa.





- ◆ La morfología de los nódulos ferruginosos, bajo las condiciones del diferente laboreo, indica que existe alta migración de soluciones de hierro acompañada de una precipitación brusca de la substancia mencionada en las barreras geoquímicas (áreas con cambios de tensión de las fuerzas de origen redox) que determina los límites claros de los nódulos.
- ◆ En el Vertisol sometido a labranza tradicional, la velocidad de circulación de las soluciones ricas en hierro fue mayor, mas favorables fueron también las condiciones para su precipitación, razón por la cual los nódulos se observaron con los límites nítidos y su composición química pura.
- ◆ En el Vertisol bajo labranza tradicional, se observaron claras evidencias de mayor actividad biológica a la cual se debe en gran parte, la concentración biogénica de las soluciones ricas en hierro y esto sugiere un mayor tiempo de presencia del proceso de aerobiosis en comparación con el suelo bajo los otros sistemas de manejo.

## BIBLIOGRAFIA

- BLOCKHUIS, W.A., Kooistra, M.J., Wilding, L.P. 1.990. Micromorphology of cracking clayed soils ( Vertisols ). In: L.A. Douglas ( Ed ), Soil Micromorphology: A basic and applied science. Elsevier. Amsterdam. pp. 123-149.
- BULLOCK, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G., Tursina, T. ( Ed ). 1.985. Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications. Wolverhampton, UK. pp. 152.
- CAMACHO, C.R. 1.983. Desarrollo de un prototipo de explotación para pequeños productores en una región del subtrópico húmedo de México. Tesis de Maestría. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- COMISIÓN DEL RÍO PAPALOAPAN. 1.975. Atlas climatológico e hidrológico de la cuenca del Papaloapan. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México.
- DEXTER, R. 1.976. Internal structure of tilled soil. J. Soil Sci. 27. pp. 267-278.
- DEXTER, R. 1.977. A statistical measure of the structure of tilled soil. J. Agric. Eng. Res. 22. pp. 101-104
- DEXTER, R. 1.988. Advances in characterization of soil structure. Soil Till. Res. Elsevier Science Publisher. Amsterdam. pp. 199-239.
- DÍAZ, M.P. 1.988. Efectos de diferentes niveles de fertilización sobre el rendimiento en grano y rastrojo de cinco genotipos de maíz en Juan Jacobo Torres. Tesis de Maestría. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- DOBROVOLSKY, G.V. 1.988. Control micromorfológico del proceso del uso agrícola de los suelos Podsol. En: Micromorfología de los suelos con cambios antropogénicos. Ed. Nauka. Moscú. Pp. 31-46 (Traducción del ruso).
- FLACH, K.W., Parton, W.J. 1.990. Soil organic matter: a key to soil degradation and regeneration. En: Memoria del Primer Simposio Nacional de Degradación del Suelo. Instituto de Geología. UNAM. México. pp. 95.
- GARCÍA, E. Los climas del estado de Veracruz. Instituto de Biología. UNAM. México.
- GERASIMOVA, M.I. 1.988. Los puntos de vista sobre el análisis micromorfológico de los suelos cambiados antropogénicamente. En: Micromorfología de los Suelos Cambiados Antropogénicamente. Moscú. Nauka. pp. 18-30.
- HERNÁNDEZ, X. 1.974. La Schellea liebmanni (Bece ), Cayal Corozo. Su distribución y producción. Instituto de Biología. UNAM México. Vol. 18. pp. 43-70.
- KACHINSKY, N.A. 1.965. Física de suelos. Ed. Escuela Superior Moscú.
- KAURICHEV, I.S. 1.984. Prácticas de edafología. Ed. Mir. Moscú.
- KOOISTRA, M.J. Bouma, J., Boersma, O.H., Jager, A. 1.985. Soil structure differences and associated physical properties of some loamy typic fluvequents in the Netherlands. Geoderma. 36. pp. 215-228.
- MEDVEDEV, V.V. 1.981. Micromorfología de los procesos antropogénicos de los Chernozems. Boletín del Instituto de Edafología de la URSS. 28. pp. 63-65.
- OLESCHKO, K. 1.994. Aptitudes agronómicas de los Vertisoles: diagnóstico y sus indicadores. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. pp. 3.
- PARFENOVA, E.I., Yarilova, E.A. 1.977. Manual para investigaciones micromorfológicas aplicadas a los estudios edafológicos. Ed. Nauka, Moscú. pp. 197.
- TURSINA, T.V. 1.988. La micromorfología como un método de control y del progreso de los cambios antropogénicos en los suelos. En: Micromorfología de los suelos cambiados antropogénicamente. Ed. Nauka. Moscú. pp. 5-18.
- YERIMA, B.P.K., Wilding, L.P., Calhoun, F.G., Hallmark, C.T. 1.987. Volcanic ash-influenced Vertisols and associated Mollisols of El Salvador: physical chemical and morphological properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 51. pp. 699-708.
- ZAZUETA, Z.G. 1.984. Influencia de los sistemas de labranza y obras de conservación en la productividad de los suelos. Tesis de Maestría. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- ZUÑIGA G., J.L. 1.987. La innovación tecnológica y la productividad de un sistema agrícola tradicional del trópico húmedo de México. Tesis de Maestría. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.



