

# PROPIEDADES FÍSICAS Y PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN UN ALFISOL DEL ESTADO GUÁRICO, VENEZUELA, BAJO DOS SISTEMAS DE LABRANZA

*Physical soil properties and maize (*Zea mays* L) production in an Alfisol of the Guárico state, Venezuela, as affected by two tillage systems*

Carlos Bravo\* y Ernesto Andreu\*\*

\*Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez. Sector La Represa 2ª transversal Código Postal 2307. Valle de la Pascua. Estado Guárico.

\*\* Universidad Nacional Experimental Rómulo Gallegos. Sector El Castrero. San Juan de los Morros . Estado Guárico.

## Resumen

Con el propósito de estudiar el efecto sobre la producción de maíz y las propiedades físicas del suelo, desde hace cuatro años se viene comparando la labranza convencional (LC) con la siembra directa (SD) en un Kandic Haplustalf localizado en la zona El Calvario, estado Guárico. La respuesta de los tratamientos se viene evaluando en términos de rendimiento del cultivo y variables del suelo a través de un muestreo de parcelas grandes en diferentes fechas y profundidades de muestreo durante el desarrollo del cultivo. Los resultados de algunos análisis físicos (distribución de tamaño de partículas, estabilidad de agregados al impacto de gotas y al humedecimiento), reflejan cierta tendencia a problemas de compactación superficial (sellado y encostrado) y subsuperficial; así como una alta susceptibilidad a problemas de pérdidas de suelo por erosión hídrica. En la capa superficial, la densidad aparente y la resistencia mecánica fueron significativamente mayores con la siembra directa comparada con la labranza convencional, mientras que para el resto de las profundidades generalmente se registró un comportamiento inverso para todos los años. En relación a la porosidad del suelo, solo se presentaron diferencias significativas en el muestreo correspondiente a la siembra en los primeros 10 cm, sin embargo, al final del cultivo tales diferencias tienden a desaparecer. La evolución de la densidad aparente, porosidad total y la concentración de raíces en el horizonte superficial, reflejan que a partir de los 10 cm de profundidad se presenta la mayor restricción, sugiriendo la presencia de un problema de compactación. Los rendimientos de maíz fueron significativamente mayores con labranza convencional en 1992, mientras que para 1993 y 1994, aunque no se registraron diferencias significativas, la siembra directa presentó mayores rendimientos.

**Palabras claves:** maíz, labranza convencional, siembra direc-

ta, compactación de suelo.

## Abstract

Conventional tillage and no-tillage were compared on a Kandic Haplustalf located in the Guárico state, Venezuela during the last three years, in order to study their effects on maize production and physical properties of soil. The results of each treatment were evaluated in terms of crop yields and soil variables through a sampling of large plots of land at different times and depths during the development of the crop. The results of some physical analysis show certain tendencies toward surface and subsurface compaction problems (sealing and crusting) as well as water erosion. In the surface layer the bulk density and the mechanical resistance were significantly greater in the no-tillage than in the conventional tillage while the rest of the depths generally showed inverse behaviors for every year. In relation to the porosity of the soil, significant differences were present only in the sampling at planting within the first 10 cm, however, by the end of the cultivation such differences tended to disappear. The results of bulk density, total porosity, and root concentration in the superficial horizon show that the area below the first 10 cm of depth presented the major restrictions, suggesting the presence of a problem of compaction. The corn yields were significantly higher for conventional tillage in 1992. For the rest of the years, although significant differences were not registered, the no tillage showed better results.

**Key words:** maize, conventional tillage, no-tillage.

## INTRODUCCIÓN

En el estado Guárico la siembra de maíz se realiza generalmente a través de una preparación superficial del suelo, con contenidos de humedad no adecuados; lo cual ha permitido que se genere una serie de problemas de degradación física, tales como: sellado, encostrado, compactación, erosión etc., y que a su vez ocurra un enraizamiento superficial, haciendo al cultivo más vulnerable al stress hídrico y por ende influyendo en los rendimientos del mismo (Bravo, 1995).

Las propiedades físicas del suelo presentan una gran variabilidad espacial, tanto en sentido horizontal como vertical y están sometidas a continuos cambios en condiciones naturales, especialmente con la intervención del hombre a través de los sistemas de labranza (Pla, 1995). En tal sentido, se ha señalado que la labranza es un proceso dinámico que causa profundos cambios en las propiedades físicas del suelo, los cuales pueden persistir por tiempo variable dependiendo de las condiciones del suelo y del clima, pudiendo afectar fuertemente el desarrollo de los cultivos (Onofiok, 1988; Pla, 1995). Ante esta

problemática los sistemas de labranza conservacionistas (labranza mínima, reducida, directa, etc.) a diferencia de los sistemas convencionales donde se incorporan y se desmenuzan los residuos vegetales, han mostrado tanto a nivel nacional (Bravo, 1993) como mundial (Lal, 1979) gran potencialidad para una mayor conservación de suelos y agua y consecuentemente una reducción de los procesos de degradación; además de una disminución significativa en el gasto de energía, con el consecuente ahorro en la inversión del proceso productivo. Es por ello, que para estudiar la factibilidad de la siembra directa en el cultivo de maíz, desde hace cuatro años se viene comparando con la siembra convencional en relación a los cambios en las propiedades físicas y en la producción del cultivo en un alfisol del estado Guárico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en la finca "Las Guacamayas", ubicada en la carretera El Sombrero-El Calvario del estado Guárico. Se localiza dentro de la zona de Bosque seco tropical, con una altura promedio de 130 msnm, y una precipitación total anual de 1127 mm, cuya distribución en el tiempo presenta un pico amplio con un máximo entre los meses de Mayo y Agosto y con un mínimo en el mes de Febrero. La evapotranspiración total es de 1674 mm, alcanzando sus mayores valores en el mes de Mayo y la temperatura media anual es de 27° C.

El suelo fué clasificado como Kandic Haplustalfs, franco gruesa, ácida, isohipertémica, con textura franco arenosa hasta los 80 cm de profundidad y con una pendiente de 2% (Jácome, 1994). Se evaluaron dos sistemas de labranza: 1) labranza convencional (LC), donde se incorporaron los residuos con cuatro pases de rastra, luego se sembró y fertilizó mecánicamente y posteriormente se aplicaron los herbicidas preemergentes (Prowl+Atrazina); y 2) siembra directa sobre vegetación remanente (SD) que consistió en un pase de rotativa, aplicación de herbicida sistémico (Glifosato), siembra y fertilización mecanizada. La siembra de maíz se realizó desde finales de Junio a principios de Julio, con una sembradora-abonadora John Deere 7200 tipo neumática (1992) y una Par-2800 tipo mecánica (1993-1994), utilizándose semilla del híbrido Tocarón-127 (6-7 semillas por metro lineal) tratada con aldicarb, a una distancia de 0,90 m entre hileras. Para la fertilización se utilizó 69 kg.ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O respectivamente al momento de la siembra utilizando como fuente el 15-15-15 y luego a los 30 días después de la siembra, se efectuó un reabono con Urea en dosis de 150 kg. ha<sup>-1</sup>.

La respuesta a los tratamientos se midió en términos de rendimiento de cultivo y variables del suelo, a través de un muestreo de parcelas grandes (4 ha), estableciéndose 12 puntos de muestreo en dos transectas para cada parcela, de modo de aumentar el número de repeticiones por observación de los parámetros a medir (Truelove, 1977). Se evaluaron una serie de variables tanto del suelo (distribución de tamaño de partículas, contenido de humedad, densidad aparente, porosidad total, poros con radio > 15 µm, resistencia mecánica, etc.), como del

cultivo (distribución de raíces, población y rendimiento).

En relación a las propiedades físicas, en cada punto de muestreo se seleccionaron tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-40 cm). Se tomaron muestras no alteradas, con un toma muestra tipo "Uhland". Se realizaron dos muestreos uno a la siembra (MS) y otro a la cosecha (MC). Luego las muestras fueron procesadas, a través de la metodología sugerida por Pla (1983) para las determinaciones de densidad aparente, porosidad total y poros con  $r > 15 \mu\text{m}$ . Para evaluar la tasa de cambio de la resistencia mecánica se efectuaron tres mediciones a las mismas profundidades de muestreo con un penetrómetro de reloj, y el contenido de humedad del suelo se midió quincenalmente desde la siembra hasta la etapa final del cultivo, por el método gravimétrico. En cuanto a la distribución de raíces, esta se realizó a los 70 días después de la siembra, seleccionando 4 plantas de cada tratamiento y en la base del tallo se construyó una trinchera para medir la profundidad máxima de raíces (PMR) y la profundidad del mayor volumen de raíces (PMVR) por la metodología propuesta por Bohm (1980). Para la determinación de los rendimientos se realizó la cosecha mecánicamente 130 días después de la siembra.

Para realizar los análisis físicos complementarios, al final del ensayo se tomaron muestras a tres profundidades y mediante la metodología sugerida por Pla (1983), se determinó la distribución de tamaño de partículas y la distribución de tamaño de agregados estable al agua.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización física del suelo

#### *Evolución de la densidad aparente (Da)*

Los cambios registrados en la Da del suelo durante varios años y ciclos del cultivo del maíz, se presentan en los cuadros 1 y 2.

Se observa en los resultados obtenidos que la Da no es un valor estático, ya que puede variar tanto espacial como temporalmente; así se tiene que los valores obtenidos en el muestreo a la siembra (MS), para ambos tratamientos de labranza, fueron menores que los obtenidos en la cosecha (MC). En 1993 y 1994, al momento de la siembra para los primeros 10 cm, en la SD se registraron valores significativamente mayores que en LC, mientras que para 1992 fueron muy similares para ambos tratamientos. Los valores más bajos alcanzados por el tratamiento convencional se explican por la acción de roturación que ejerce la rastra a esta profundidad, ya que en la siembra directa existe poca influencia de la maquinaria sobre los agregados del suelo. Cabe señalar que, independientemente del tratamiento de labranza, se observó un incremento de la Da con el tiempo y la profundidad de muestreo durante el ciclo del cultivo, posiblemente debido al proceso de compactación y reordenamiento de las partículas del suelo, tal como lo señalan algunos investigadores (Adeoye, 1982; Onofiok, 1988; Florentino, 1989). Los cambios observados entre el muestreo a la

siembra y la cosecha generalmente no fueron estadísticamente significativos.

**Cuadro 1.** Dinámica de las propiedades físicas del suelo bajo dos sistemas de labranza (Muestreo a la siembra).

Año	Prof. (cm)	Trat.	Da (Mg.m <sup>-3</sup> )	Porosidad Total (%)	Macro-porosidad (%)	Micro-porosidad (%)
1992	0-10	LC	1,69 a*	36,43 a	12,22 a	24,21 a
		SD	1,68 a	37,19 a	13,62 a	23,57 a
	10-20	LC	1,81 a	28,94 a	10,59 a	18,35 a
		SD	1,79 a	30,55 a	12,37 a	18,18 a
	20-40	LC	1,85 a	30,79 a	10,32 a	20,47 a
		SD	1,79 b	31,77 a	10,75 a	21,02 a
1993	0-10	LC	1,55 a	41,10 a	11,69 a	29,04 a
		SD	1,60 b	37,70 b	11,02 a	26,68 a
	10-20	LC	1,61 a	38,16 a	11,10 a	27,06 a
		SD	1,61 a	37,73 a	13,09 a	24,64 b
	20-40	LC	1,57 a	38,70 a	13,03 a	25,67 a
		SD	1,61 a	38,77 a	14,26 a	24,51 a
1994	0-10	LC	1,61 a	41,02 a	8,66 a	32,36 a
		SD	1,68 b	38,57 b	9,05 a	29,52 b
	10-20	LC	1,75 a	35,17 a	9,81 a	25,36 a
		SD	1,73 a	38,95 a	9,29 a	29,66 b
	20-40	LC	1,78 a	36,04 a	11,91 a	24,13 a
		SD	1,73 b	39,59 a	10,71 a	28,88 b

Prof.: Profundidad; Trat: Tratamiento; LC: Labranza convencional; SD: Siembra directa. \*Las diferencias de medias entre tratamientos, para cada año y profundidad, fueron efectuadas por el Análisis de Duncan al 5 % de error.

Debido a que la Da del suelo es una propiedad muy importante y de gran significado agrícola, al comparar los valores obtenidos para los distintos años, y sobre todo a partir de los 10 cm de profundidad, con el valor crítico (1,6 Mg. m<sup>-3</sup>) para suelos franco arenosos, se observa que los mismos están por encima de dicho valor, sugiriendo cierta susceptibilidad de estos suelos al proceso de compactación natural, debido a la baja cohesión de las partículas predominantes y quizás a la forma laminar de las mismas. Así mismo, vale la pena mencionar que los altos valores de Da pueden estar influenciados por la presencia de un alto contenido de arena en estos suelos.

#### *Dinámica de la porosidad y de la distribución de tamaño de poros.*

Los resultados del espacio poroso total (EPT) medidos en muestras del suelo no alteradas, así como la distribución del tamaño de poros (con radio equivalente mayor y menor de 15 µm.), para los dos tratamientos de labranza, se presentan en los cuadros 1 y 2, para el muestreo a la siembra y a la cosecha. Se destaca, en general que tanto el EPT como la porosidad con radio > 15 µm decrece con la profundidad, entre el inicio y el final del ciclo del cultivo para todos los años y los dos sistemas de labranza producto del incremento en los valores de densidad aparente.

**Cuadro 2.** Dinámica de las propiedades físicas del suelo bajo dos sistemas de labranza (Muestreo a la cosecha).

Año	Prof. (cm)	Trat.	Da (Mg.m <sup>-3</sup> )	Porosidad Total (%)	Macro-porosidad (%)	Micro-porosidad (%)
1992	0-10	LC	1,73 a	32,88 a	10,45 a	22,43 a
		SD	1,71 a	34,88 a	10,87 a	24,01 a
	10-20	LC	1,86 a	29,28 a	10,15 a	19,13 a
		SD	1,80 a	30,56 a	10,71 a	19,85 a
	20-40	LC	1,86 a	30,88 a	9,72 a	21,16 a
		SD	1,83 a	29,62 a	10,07 a	19,55 a
1993	0-10	LC	1,62 a	39,76 a	10,60 a	29,16 a
		SD	1,65 a	38,88 b	11,99 a	26,69 a
	10-20	LC	1,77 a	33,86 a	10,23 a	23,63 a
		SD	1,71 a	36,29 b	11,22 a	25,07 a
	20-40	LC	1,76 a	34,05 a	8,95 a	25,10 a
		SD	1,69 b	37,39 b	11,34 b	26,05 a
1994	0-10	LC	1,60 a	40,27 a	9,72 a	30,55 a
		SD	1,68 b	37,01 b	9,15 a	27,86 b
	10-20	LC	1,73 a	35,11 a	9,12 a	25,99 a
		SD	1,71 a	35,39 a	9,42 a	25,97 a
	20-40	LC	1,70 a	36,46 a	10,64 a	25,82 a
		SD	1,72 b	37,81 a	10,94 a	26,87 b

Prof.: Profundidad; Trat: Tratamiento; LC: Labranza convencional; SD: Siembra directa. \* Las diferencias de medias entre tratamientos, para cada año y profundidad, fueron efectuadas por el Análisis de Duncan al 5 % de error.

Así mismo, es importante señalar que la dinámica de la porosidad total y distribución de tamaños de poros, no mostró diferencias significativas para las distintas profundidades y épocas de muestreo. Si se considera que los poros con radio equivalente mayor de 15 µm (macroporos), son los responsables de la aireación del suelo (Pla, 1983), la SD registró una tendencia a presentar mayores valores de macroporosidad que la LC, lo que le confiere una mayor capacidad de aireación a pesar de que la densidad aparente es menor en este último tratamiento; sin embargo, al final del ciclo del cultivo tales diferencias tienden a desaparecer.

Del espacio poroso total (EPT) para ambos tratamientos de labranza y las dos épocas de muestreo, los poros menores de 15 µm (microporos) a través del tiempo representan el mayor porcentaje, con ligeras diferencias no significativas entre los dos sistemas de labranza. Los valores de macroporosidad obtenidos en los tratamientos de labranza (LC y SD) sobre todo al final del ciclo del cultivo y para todos los años (valores menores de 10%) han sido considerados críticos para el desarrollo de las plantas por varios investigadores (Vomocil y Flocker, 1965; Pla, 1983, citados por Florentino, 1989), y dichos valores estuvieron cercanos y por debajo del límite mencionado. A pesar de esta situación, y tomando en consideración el drenaje interno de estos suelos, el cual es relativamente bueno puede señalarse que aún en condiciones de alta humedad es posible que no se presenten problemas graves de aireación.

#### *Contenido de humedad del suelo durante el desarrollo del cultivo.*

El contenido de agua disponible para las plantas en condiciones de campo, se evaluó durante varios años (Cuadros 3

y 4). Se encontró que la distribución de humedad con la profundidad y el tiempo, ha sido generalmente mas adecuada en la siembra directa cuando se compara con la siembra convencional. Tal situación se debe fundamentalmente al mayor porcentaje de cobertura registrado en la SD, lo cual hizo que se perdiera menos agua por evaporación y se almacenara mayor humedad, tal como ha sido descrito por Derpsh *et al.* (1991) y Bravo (1993), ya que los valores de materia orgánica y los índices estructurales, son muy similares en ambos tratamientos de labranza.

**Cuadro 3.** Variación del contenido de humedad del suelo durante el desarrollo del cultivo, bajo dos tratamientos de labranza en 1992.

Profundidad (cm)	Días después de la siembra	Humedad (%)	
		Tipo de labranza	
		LC	SD
0 - 10	15	19,1	23,2
	30	20,2	21,5
	45	18,7	17,7
	60	14,4	16,8
	75	9,8	9,1
	90	12,9	12,8
10 - 20	110	5	5,1
	15	15,8	16,4
	30	17,3	18,5
	45	15,9	15,1
	60	12,3	14,5
	75	8,1	8,9
20 - 40	90	11,3	11,2
	110	6	8
	15	14,8	15,6
	30	15,7	16,4
	45	16,1	16,2
	60	13,2	14,1
	75	9,7	10
	90	9,9	10,3
	110	7	4

LC: Labranza convencional; SD: Siembra directa

Por otro lado, se registró un mayor contenido de humedad en los primeros 10 cm, independientemente del sistema de labranza, excepto en las últimas fechas en las cuales el proceso de secado comienza por la capa superficial.

Aunque la cantidad de precipitación (1379 mm en 1992 y 1183 mm en 1993) puede considerarse adecuada, al compararla con los promedios de la zona 1127 mm, el mayor contenido de humedad observado en la siembra directa representa una ventaja práctica, ya que puede disminuir los riesgos de déficit hídrico en los cortos períodos de sequía que comunmente se presentan en la estación lluviosa y contribuir significativamente a estabilizar la producción de los cultivos.

**Cuadro 4.** Variación del contenido de humedad del suelo durante el desarrollo del cultivo, bajo dos tratamientos de labranza en 1993.

Profundidad (cm)	Días después de la siembra	Humedad (%)	
		Tipo de labranza	
		LC	SD
0 - 10	19	15,91	16,62
	34	16,27	19,5
	50	17,56	17,77
	69	16,61	18,24
	89	12,32	12,84
	117	2,34	3,08
10 - 20	19	13,87	15,4
	34	14,29	15,06
	50	14,89	15,5
	69	12,34	13,69
	89	10,94	12,39
	117	3,88	4,28
20 - 40	19	15,91	13,97
	34	15,37	16,28
	50	13,8	14,61
	69	11,65	11,93
	89	12,51	11,58
	117	5,4	5,41

LC: Labranza convencional; SD: Siembra directa

#### Resistencia mecánica del suelo (RP)

Los cambios en la resistencia mecánica del suelo (determinado durante el desarrollo del cultivo con penetrómetro de reloj) se presentan en el cuadro 5. Para todos los años, la SD en los primeros 10 cm presentó valores significativamente más altos de RP en comparación con LC para todas las fechas de muestreo; sin embargo, para el resto de las profundidades, épocas y años de muestreo, esta variable registró un comportamiento inverso, es decir que la siembra directa presentó los menores valores y generalmente no significativos. A pesar de que los valores de resistencia mecánica no son altos al compararlos con el límite crítico de 3 MPa (Adeoye, 1982; Onofiok, 1988; Pla, 1995) a partir del cual se puede restringir el crecimiento de las raíces del cultivo del maíz, los estudios de distribución de las mismas indican que mayormente se concentran en los primeros 10 cm de la superficie del suelo, lo que sugiere que sí se presenta cierta restricción a la penetración de raíces, debido posiblemente al incremento de la densidad aparente y la disminución de la porosidad del suelo.

Es importante destacar que, independientemente del sistema de labranza, los valores de RP tienden a incrementarse con la profundidad y época de muestreo, debido fundamentalmente a cambios en la densidad aparente, las fluctuaciones en el contenido de humedad del suelo y al estado de empaquetamiento introducido por las diferentes operaciones de mecanización.

Los mayores valores de RP entre los 10-20 cm de profundidad reflejan cierta resistencia del suelo a la penetración de raíces, si se toma en cuenta lo sugerido por alguno investigadores (Ide *et al.*, 1985; Maurya, 1986) quienes señalan que partir de 1 MPa el desarrollo de la misma puede ser limitado a esta profundidad, donde se presenta la mayor restricción para todas las fechas de muestreo consideradas en esta investigación.

**Cuadro 5.** Influencia de dos sistemas de labranza sobre la resistencia mecánica del suelo.

Año	Prof. (cm)	Trat.	Resistencia Mecánica (MPa)		
			Siembra	Intermedio	Cosecha
1992	0-10	LC	0,97 a	-	0,77 a
		SD	0,99 a	-	1,40 b
	10-20	LC	1,02 a	-	1,72 a
		SD	0,82 b	-	1,67 a
	20-40	LC	0,78 a	-	1,74 a
		SD	0,61 b	-	1,42 b
1993	0-10	LC	0,53 a	0,58 a	1,42 a
		SD	0,91 b	0,93 b	1,61 a
	10-20	LC	0,98 a	1,26 a	1,70 a
		SD	0,92 a	1,18 a	1,49 b
	20-40	LC	0,60 a	1,06 a	1,37 a
		SD	0,71 b	1,02 a	1,26 a
1994	0-10	LC	0,46 a	0,66 a	0,42 a
		SD	0,60 b	0,53 b	0,57 b
	10-20	LC	1,09 a	0,78 a	1,00 a
		SD	0,83 b	0,99 b	0,91 a
	20-40	LC	0,70 a	0,83 a	1,12 a
		SD	0,72 a	0,87 b	0,84 b

Prof.: Profundidad; Trat.: Tratamiento; LC: Labranza convencional; SD: Siembra directa  
 \* Las diferencias de medias entre tratamientos, para cada año y profundidad, fueron efectuadas por el Análisis de Duncan al 5 % de error.

#### Distribución de tamaño de partículas

La distribución de tamaño de partículas para los dos tratamientos de labranza se muestra en el cuadro 6, en el cual se observa que ambos sistemas de labranza presentan texturas franco arenosas con un bajo contenido de arcilla para todas las profundidades de muestreo. También se observa que, aun cuando los horizontes subsuperficiales presentan mayor contenido de arcilla (11,5 a 11,8 %), la proporción de arenas finas, muy finas y limo son muy altas (> 60%), confiriéndole a estos suelos una alta susceptibilidad tanto a la degradación superficial (sellado, encostrado, etc.) como a la subsuperficial (compactación).

**Cuadro 6.** Distribución del tamaño de partículas y clasificación textural, para dos tipos de labranza.

Distribución de tamaño de partículas		Profundidad (cm)					
		0 - 10		10 - 20		20 - 40	
		Tipo de labranza					
		LC	SD	LC	SD	LC	SD
A	Muy Gruesa	0,5	1,3	0,4	1,7	0,7	2,9
r	Gruesa	1,3	0,1	1,4	0,8	1,1	1,2
e	Media	2,2	2,1	2,8	1,9	2,6	1,7
n	Fina	19,8	14,4	13,8	19,8	15,6	12
a	Muy Fina	40,2	52	44,5	42,8	43	50,2
(%)	Total	64	70	63	67	63	68
	Limo (%)	28	22,2	25,5	21,4	26,2	19,2
	Arcilla (%)	8	7,8	11,5	11,8	10,8	12,8
	Clase Textural	Fa	Fa	Fa	Fa	Fa	Fa

LC: Labranza convencional; SD: Siembra directa

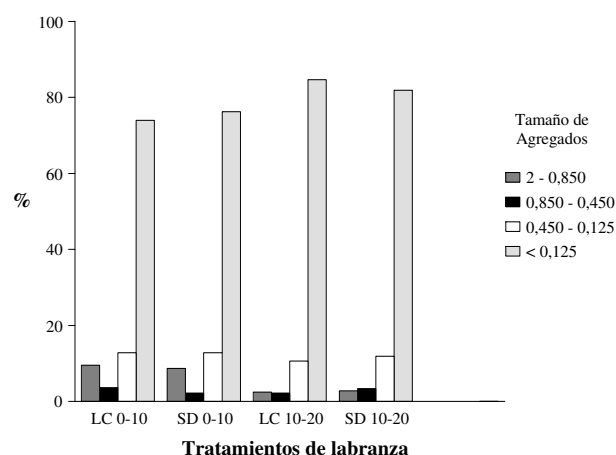
Al analizar los riesgos de erosión hídrica de la capa compactada, se puede señalar que aun cuando estos suelos son relativamente planos (1-2%), la susceptibilidad a dicho pro-

ceso es bastante alta, debido fundamentalmente a su alta separabilidad como lo refleja la presencia de un alto contenido de arena muy fina + limo (64%) y bajo contenido de materia orgánica y arcilla. Los valores obtenidos en estas variables para los dos sistemas de labranza, le confiere a estos suelos una baja estabilidad estructural y por tanto una alta separabilidad

#### Estabilidad de agregados al humedecimiento

El porcentaje de agregados estables al agua para dos tratamientos de labranza se muestra en la figura 1. Se destaca principalmente que el mayor porcentaje de agregados se ubica en los diámetros menores (< 0,125 mm), lo cual se mantiene hasta los 20 cm de profundidad para los dos tratamientos de labranza, reflejando de alguna manera la baja estabilidad estructural de estos suelos que junto con los valores del DMP, que son menores de 0,5 mm, reafirman la baja estabilidad de estos suelos y la alta susceptibilidad al proceso de erosión. Aunque estos suelos están ubicados en una posición relativamente plana (pendiente de 2%), la longitud de la pendiente es relativamente alta, lo que indica una alta susceptibilidad a pérdidas de suelo por erosión producto de un mayor porcentaje de agregados pequeños que pueden ser fácilmente transportados por el agua de escorrentía en algunas áreas.

**Figura 1.** Distribución de tamaños estables al agua bajo dos tratamientos de labranza.



LC: Labranza convencional ; SD: Siembra directa.

Por otra parte, la abundancia de arena muy fina junto con el limo pudiera favorecer el acoplamiento laminar de unas partículas con otras por lo que se reduce la cantidad y tamaño de poros que quedan entre ellas y el suelo puede compactarse superficialmente, (sellado y encostrado). Así mismo, la escasa cohesión entre dichas partículas (arena muy fina y limo) y el bajo contenido de materia orgánica, hacen que por acción del agua se separen fácilmente, con lo que la estabilidad de los pocos agregados que se pueden formar en éstos suelos es muy baja. Sin embargo, puede inferirse que a pesar de esa baja cohesión, debido al acoplamiento laminar tan perfecto entre las

partículas, la resistencia a la roturación puede ser alta.

Los valores obtenidos en la distribución de tamaños de agregados estables al agua, después de cuatro años sometidos a la siembra directa, sugieren que el efecto más importante de la cobertura es el de impedir el impacto negativo de las gotas de lluvia, más que favorecer una mayor estabilidad de agregados.

### Distribución de raíces

La profundidad máxima de raíces y la profundidad del mayor volumen de raíces (Cuadro 7) fue menor en la siembra directa en comparación con el sistema convencional, en el cual se logró una mejor penetración y distribución de las mismas. Sin embargo, las diferencias entre los dos tratamientos para ambas variables son muy pequeñas.

**Cuadro 7.** Distribución de raíces bajo dos sistemas de labranza, en el cultivo del maíz.

Año	Tratamiento	Profundidad máxima de raíces (cm)	Profundidad del mayor volumen de raíces (cm)
1992	LC	22,5	10,7
	SD	20	10,5
1993	LC	33,5	13,7
	SD	18,5	8,2

LC: Labranza convencional; SD: Siembra directa

Es de señalar que el crecimiento radicular en ambos tratamientos fue muy superficial, lo que puede ser reflejo de cierta restricción física a partir de los 10 cm de profundidad, o por la mayor acumulación de nutrientes en la superficie del suelo observada en ambos sistemas de labranza.

Tomando en consideración que el proceso de compactación no debe analizarse en forma aislada, así como la tendencia natural de estos suelos a compactarse debido a su distribución de tamaño de partículas, a los valores alcanzados en los índices estructurales (Da, Porosidad total, RP, etc.) y al desarrollo superficial de raíces en ambos tratamientos de labranza, se tiene que en los mismos sí se presenta cierta restricción a la penetración de las raíces.

### Evolución de los rendimientos para el cultivo de maíz

El rendimiento es un índice integrador de un conjunto de componentes, donde intervienen aspectos de diversa naturaleza (clima, suelo, fitosanitario, etc.), por lo que se hace necesaria la evaluación de un gran número de variables que permitan explicar las variaciones de los rendimientos a través de los años. En este sentido, en el cuadro 8 se presentan los rendimientos para los dos sistemas de labranza, observándose para 1992 un rendimiento significativamente mayor en el sistema convencional, sin embargo para 1993, aun cuando las diferencias no fueron significativas la siembra directa registró los valores más altos de rendimientos de maíz.

**Cuadro 8.** Variación de los rendimientos estimados del cultivo de maíz, bajo dos sistemas de labranza.

Año	Tratamiento	Rendimientos estimados (Kg.ha <sup>-1</sup> )	Población (Plantas.ha <sup>-1</sup> )
1992	LC	5475 a	51907
	SD	2108 b	38944
1993	LC	3929 a	37654
	SD	4004 a	39351
1994	LC	4899 a	42207
	SD	4621 a	35648

LC: Labranza convencional; SD: Siembra directa

Vale la pena destacar, que el problema de malezas fue el factor más influyente en los bajos rendimientos obtenidos en la siembra directa para 1992, sugiriendo profundizar en las investigaciones para el logro de un control efectivo y económico de las mismas. Así mismo, al comparar los rendimientos del maíz en la siembra directa se observa para 1993 un aumento substancial del mismo, por lo que se concluye que existió un mayor control de los factores que pudieron incidir en esta variable.

## CONCLUSIONES

Los cambios operados en algunos índices estructurales y la distribución de raíces, corroboran la tendencia de estos suelos al proceso de compactación natural, independientemente del sistema de labranza aplicado.

Los contenidos de humedad fueron generalmente mayores en la SD, debido fundamentalmente al mayor porcentaje de cobertura que influyó en la disminución de las pérdidas de agua por evaporación.

El alto contenido de arena muy fina y limo y el bajo contenido de arcilla, le confieren a estos suelos cierta susceptibilidad a la compactación natural tanto superficial como subsuperficial; sin embargo, el sello formado no restringe fuertemente la tasa de penetración de agua en el perfil del suelo.

A pesar de que los suelos son relativamente planos, debido a la alta facilidad para separarse tanto por el impacto de las gotas de lluvia, como por el humedecimiento de las partículas predominantes (af, amf y L), se concluye que los riesgos de erosión son bastante altos.

La distribución de tamaño de agregados estables al agua registrada en el suelo sometido a la siembra directa, permite concluir que el efecto más importante de la cobertura es proteger al suelo superficial del impacto de las gotas de lluvia, evitando la formación del sello, el arrastre de sedimentos, etc., más que favorecer una mayor estabilidad de agregados.

## RECONOCIMIENTO

Se reconoce el apoyo financiero proporcionado por la Fundación Polar.

## LITERATURA CITADA

- Adeoye, K.** 1982. Effect of tillage depth on physical properties of a tropical soil on yield of maize, sorghum and cotton. *Soil Tillage and Res.* Vol. 2: 225-231.
- Bohm, W.** 1979. Methods of studying root systems. Spinge Verlag Beclim Heidelberg, New York. pp:49-53.
- Bravo, C.** 1993. Efectos de diferentes sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo y su influencia en el rendimiento del algodón en un Alfisol del estado Guárico. Facultad de Agronomía. Tesis de MSc. Maracay, Venezuela, Universidad Central. Facultad de Agronomía. Postgrado en Ciencia del Suelo. 118 p.
- Bravo, C.** 1995. Producción de maíz y efecto de diferentes sistemas de labranza sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo en un Alfisol del estado Guárico. **In:** Taller sobre practicas de labranza en los sistemas de producción de maíz en los Llanos Occidentales. RELACO. Acarigua-Araure. Venezuela. 15 p.
- Derpsh, R., C. Rath, N. Sidiras y U. Kopte.** 1991. Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistema de cobertura do solo, plantío direto e preparo conservacionista do solo. Fundação Instituto Agrônômico de Paraná (IAPAR). Paraná, Brasil. 272 p.
- Florentino, A.** 1989. Efecto de la compactación sobre las relaciones hídricas en suelos representativos de la colonia agrícola de Turén (estado Portuguesa). Su incidencia agronómica. Tesis Doctoral. Maracay. Venezuela, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Postgrado en Ciencia del suelo. 207 p.
- Ide, G., H. Ossemerct y M. Varuymbeke.** 1985. Subsoiling time dependency of it's beneficial effects. *Soil Tillage and Res.* Vol. 10:213-223.
- Jacome, A.** 1994. Descripción de dos calicatas en parcelas experimentales en sistemas de labranza. Finca las Guacamayas. (Mimeo) 32 p.
- Lal, R.** 1979. Importance of tillage systems in soil and management in the tropic, **In:** Soil tillage and crop production, IITA Proc., Serie N°. 2: 25-32.
- Maurya, P.** 1986. Effect of tillage and residue management on maize and wheat yield and physical properties of an irrigated sandy loam soil. Notherm Nigeria. *Soil Tillage and Res.* Vol. 8:161-170.
- Onofiok, O.** 1988. Spatial and temporal variability of some soil physycal properties following tillage of Nigerian Pa-leustult. *Soil Tillage and Res.*, Vol. 12:285-298.
- Pla, I.** 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Alcance No. 37. Revista de la Facultad de Agronomía, UCV, Maracay-Venezuela. 93 p.
- Pla, I.** 1995. Labranza y propiedades físicas de los suelos. **In:** Memorias de la IIª Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista. Acarigua-Venezuela. 46 p.
- Truelove, B.** 1977. Research methods in weed science. **In:** Souther Weed Science Society. Second Edition, Auburn, Alabama. USA. pp. 21-23.
-