

EFFECTO DE DIFERENTES ESPECIES DE COBERTURAS SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO DE SABANA CON SIEMBRA DIRECTA DE MAÍZ

Carlos Bravo¹, Zenaida Lozano², Rosa Mary Hernández¹, Luis Piñango³ y Belkys Moreno³

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de diferentes especies de cobertura sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana cultivado de maíz, localizado al sureste del estado Guárico, Venezuela, por un período de dos años. Se utilizó siembra directa de maíz sobre cada una de las siguientes coberturas: 1) *Brachiaria decumbens* (SDM+Bde), 2) *Brachiaria dictyoneura* (SDM+Bdy), 3) *Centrosema macrocarpum* (SDM+Cm) y 4) Vegetación natural (SDM+Vn), como testigo. Las propiedades físicas del suelo: densidad aparente, distribución de tamaño de poros, resistencia a la penetración, conductividad hidráulica saturada y capacidad de retención de humedad se evaluaron a través de un muestreo de parcelas grandes antes del establecimiento del ensayo y durante dos ciclos de cultivo. Después de dos años de evaluación los índices estructurales fueron mantenidos o mejorados en todas las coberturas y se demostró la factibilidad de implantación de los sistemas de manejo evaluados.

Palabras clave adicionales: Labranza conservacionista, condiciones estructurales, leguminosa

ABSTRACT

Soil physical properties in a typical savanna soil of the Guárico State, Venezuela, under direct drilling management of maize with different cover crops

The objective of this research was to assess the influence of different cover crops on the soil physical properties in a typical savanna corn cropped for two years, soil, at Guárico State, Venezuela. Corn was directly seeded on each of the following covers: 1) *Brachiaria decumbens* (CDD+Bdes), 2) *Brachiaria dictyoneura* (CDD+Bdy), 3) *Centrosema macrocarpum* (CDD+Cm), and 4) Natural vegetation (CDD+ Vn) as a control. Soil physical properties (bulk density, pore size distribution, mechanical resistance, saturated hydraulic conductivity, and water holding capacity) were evaluated throughout large plot sampling before establishing the experiment and during the crop growing period. After two years of evaluation, the structural indices were maintained or improved with cover crops which showed the feasibility of adoption of these management systems.

Additional key words: Conservation tillage, structural conditions, legume

INTRODUCCIÓN

Las sabanas son ecosistemas tropicales conformados por un componente herbáceo, que forman un estrato continuo ecológicamente dominante, constituido por gramíneas y ciperáceas, donde se puede presentar un componente arbóreo discontinuo (Berroterán, 2000). El manejo de estos ecosistemas se fundamenta en uso ganadero extensivo basado en pastos nativos de bajo valor nutritivo y de baja disponibilidad de forraje. Debido a la necesidad de

incrementar la oferta y la calidad del forraje los sistemas de manejo de estos suelos han venido cambiando en los últimos años. La expansión de las prácticas agrícolas en esta zona ha implicado la introducción de sistemas de labranza conservacionista (siembra directa y mínimo laboreo, entre otras) dentro de sistemas de producción mixtos (ganadería-cereal) con altos insumos y el uso de pasturas como coberturas que atenúen los problemas planteados. Si bien estos suelos poseen pocas limitaciones desde el punto de vista físico, su baja capacidad de retención de

¹ Recibido: Octubre 7, 2003

Aceptado: Octubre 15, 2004

¹ Universidad Nacional Experimental "Simón Rodríguez" (UNESR), Caracas. Venezuela

² Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela (UCV), Maracay. Venezuela

³ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Valle de la Pascua, estado Guárico. Venezuela

humedad, debido a la predominancia de texturas gruesas y al bajo contenido de materia orgánica, hace que el agua de lluvia no sea bien aprovechada por los cultivos. Esto requiere la implementación de sistemas de manejo con residuos superficiales que incrementen la eficiencia en la conservación del agua en el suelo (Bravo y Florentino, 1999; Jalota et al., 2001). Los sistemas de labranza conservacionista producen efectos positivos sobre los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo (Addiscott y Dexter, 1994; Bravo y Andreu, 1995; Shaver et al., 2002), por lo que su empleo pudiera mejorar la calidad del suelo y la viabilidad económica de los sistemas de producción (Lal, 1997; Selles et al., 1999). Mucho de esos estudios concluyen que se produce un mejoramiento de algunas propiedades del suelo como consecuencia de sembrar sin alterarlo y el uso de coberturas vegetales, lo que la convierte en una buena práctica de conservación de suelos y agua. Sin embargo, los resultados de la comparación de diferentes sistemas de labranza son algunas veces contradictorias, debido a las condiciones iniciales del suelo, a la rotación de cultivos y a la extensión del período de evaluación (Bravo y Florentino, 1997; Ferreras et al., 2000; Shaver et al., 2002).

El agua es el factor que más limita la producción en los sistemas agrícolas de secano, particularmente en regímenes áridos y semiáridos, y su movimiento dentro del perfil del suelo depende del número de macroporos, los cuales son responsables de la porosidad efectiva (Unger, 1992; Shaver et al., 2002). Los sistemas de labranza conservacionista promueven un mayor almacenamiento del agua en el suelo, en comparación con el laboreo convencional; especialmente en años secos (Lal, 1997; Bravo y Florentino, 1999; Ferreras et al., 2000). Esta mayor cantidad de agua almacenada es atribuida a la reducción de la evaporación, a los cambios en la distribución de tamaño de poros, al aumento de la infiltración y al enriquecimiento con materia orgánica en el horizonte superficial (Berengena, 1997; Jalota et al., 2001).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la siembra directa de maíz con diferentes coberturas sobre algunos índices estructurales (densidad aparente, porosidad total y su distribución, conductividad hidráulica saturada y

resistencia a la penetración) y la capacidad de almacenamiento de agua en un suelo de sabana del estado Guárico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se seleccionó un suelo de la estación experimental La Iguana ubicada en las sabanas del sur-este del estado Guárico, Venezuela, con una altura entre 80-120 msnm, una precipitación anual promedio de 1369 mm y una temperatura de 27,3 °C. El suelo fue clasificado como Entisol de textura arenosa, pH ligeramente ácido, moderada fertilidad y relieve suavemente ondulado con pendiente del 2 % (Matheus, 1986; Chacón et al., 1991). El muestreo para la caracterización inicial fue realizado en febrero de 1999 y se tomaron 36 muestras a dos profundidades de 0 a 15 y de 15 a 30 cm, en las cuales se midieron algunas propiedades mecánicas, condiciones estructurales, contenido de humedad y resistencia del suelo. Para la evaluación de la distribución de tamaño de partículas se utilizaron muestras disgregadas las cuales fueron procesadas por el método del hidrómetro (Pla, 1983). La determinación de la densidad aparente y distribución de tamaño de poros se realizó en muestras no alteradas usando un tomamuestra tipo "Uhland" con cilindros de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura (Pla, 1983). La resistencia a la penetración del suelo se midió con un penetrómetro de impacto con punta cónica de 80 mm² de diámetro de base (Nacci y Pla, 1991).

Antes del establecimiento de las coberturas se evaluó la variabilidad espacial del sitio experimental el cual permitió definir el tamaño y orientación de las parcelas, resultando en un diseño de parcelas grandes sin repetición de 30 x 30 m². Las coberturas usadas fueron *Brachiaria decumbens* (Bde), *Brachiaria dictyoneura* (Bdy), *Centrosema macrocarpum* (Cm) y la vegetación natural (VN), la cual consistió en una mezcla de gramíneas de los géneros *Digitaria*, *Paspalum*, *Antheophora*, *Eleusine* y hojas anchas de los géneros *Indigosfera*, *Hyptis*, *Mimosa* y *Corchorus*.

Para el establecimiento de las coberturas se realizó una preparación convencional la cual consistió en cuatro pases de rastra superficial que sirvió para incorporar el fertilizante y facilitar el establecimiento de las coberturas. La fertilización

se realizó con base a un estudio previo del sitio experimental, aplicándose una dosis de $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de fósforo y potasio al momento de la siembra de las coberturas, y luego a los 30 días después de la siembra se aplicó $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrógeno. La siembra de las coberturas (pastos y leguminosas) se realizó en julio de 1999, utilizándose una dosis de $4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en gramíneas y $3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en leguminosas con semilla certificada. Las brachiarias se sembraron al voleo y la leguminosa se sembró en hilera a una separación de 40 cm. Una vez establecida las coberturas a partir del año 2000, se procedió a la siembra directa del cultivo de maíz sobre las distintas coberturas, resultando en cuatro tratamientos: siembra directa de maíz sobre *Brachiaria decumbens* (SDM + Bde), siembra directa de maíz sobre *Brachiaria dictyoneura* (SDM+Bdy), siembra directa de maíz sobre *Centrosema macrocarpum* (SDM + Cm) y siembra directa de maíz sobre vegetación natural (SDM + VN) como testigo. Antes de la siembra se procedió al corte de las distintas coberturas con una rotativa de modo de distribuir homogéneamente los residuos. Luego en el mes de julio se realizó la siembra de maíz a una distancia de 0,90 m entre hileras. Posterior a la siembra se procedió a la aplicación del herbicida de contacto (paraquat) a razón de $4 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$, con la finalidad de atenuar el crecimiento de las coberturas. La fertilización se aplicó en forma manual en dosis de $70\text{-}90\text{-}90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ (úrea+ FDA+ KCL) y luego a los 30 días después de la siembra se efectuó un reabono con $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N (úrea). Luego de la cosecha del maíz se introdujeron cinco ovinos (corderos de la raza mestiza tropical) a pastorear durante un período de 8 semanas.

Para la determinación de las propiedades físicas: densidad aparente, conductividad hidráulica saturada y distribución de tamaño de poros (Pla, 183) se realizaron tres muestreos en cada año (2000 y 2001): 1) antes del corte de la cobertura (AC), 2) a la floración del cultivo de maíz (F) y 3) después del pastoreo (DP). En cada tratamiento se tomaron 12 muestras a las profundidades consideradas (0-15 y 15-30 cm). Para las propiedades de resistencia a la penetración y contenido actual de humedad (gravimétrico) se tomaron muestras sólo en el año 2000 durante el ciclo del cultivo. La resistencia a la penetración se evaluó a las profundidades de 0 a

5, 5 a 15 y 15 a 30 cm, en las épocas de emergencia, floración y madurez fisiológica del maíz y para el contenido de humedad se tomaron muestras a las profundidades 0 a 15 y 15 a 30 cm, a los 25, 40, 53, 67, 82 y 100 días después de la siembra.

Para el procesamiento estadístico de los datos se utilizó el paquete SPSS, versión 10. Los análisis de varianza fueron determinados usando un modelo lineal multivariado por tratamientos, profundidades y épocas de muestreo. La comparación entre las medias de los tratamientos dentro de cada profundidad y fecha de muestreo se realizó mediante la prueba de Tukey.

Se evaluó la prueba no paramétrica de Kruskal y Wallis para analizar la resistencia a la penetración.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A) Caracterización física inicial del suelo

Distribución de tamaño de partículas: En el Cuadro 1 se muestran los resultados de la distribución de tamaño de partículas. Se aprecia para las dos profundidades tienen una distribución de partícula similar, con predominio de la fracción arena (87,53 y 86,39 %) y un bajo contenido de arcilla (5,97 y 8,25 %). Cabe destacar que dentro de la fracción arena, las arenas finas y muy finas representan alrededor del 75 % del total, lo cual es un índice de baja estabilidad estructural.

Cuadro 1. Distribución de tamaño de partículas y clasificación textural del suelo en la Est. Exp. La Iguana

Tamaño de partícula (%)	Profundidad (cm)	
	0-15	15-30
< 2 μm	5,97	8,25
2 - 50 μm	6,50	5,36
50 - 100 μm	61,14	60,44
100 - 250 μm	13,45	13,20
250 - 500 μm	10,90	10,74
500 - 1000 μm	1,87	1,86
1000 - 2000 μm	0,17	0,15
Clasificación textural	Arenoso	Areno francoso

Condiciones estructurales: Los resultados de la caracterización física inicial para el sitio experimental a las profundidades consideradas se presentan en el Cuadro 2. Si se compara los valores de densidad aparente con el límite crítico

de 1,6 Mg·m⁻³ establecido por Pla (1983) para suelos de textura gruesa (a, aF, Fa), se observa que en ambas profundidades se presentan valores que superan dicho límite. Estos altos valores pudieran estar más asociados al alto contenido de arena que a un deterioro estructural.

Cuadro 2. Características físicas iniciales del suelo en la parcela experimental

Atributos físicos	Profundidades de muestreo (cm)	
	0-15	15-30
Densidad aparente (Mg·m ⁻³)	1,75	1,73
Porosidad total (% v/v)	35,60	36,82
Porosidad de aireación (% v/v)	20,73	22,53
Porosidad de retención (% v/v)	14,87	14,49
Resistencia a la penetración (kPa)	4365,00	1799,00

La porosidad total y la distribución de poros presentan valores muy similares en ambas profundidades. De la porosidad total se observó que el mayor porcentaje estuvo representado por los poros mayores a 15 micras (poros de aireación). Esta alta capacidad de aireación (mayor a 10 %) que se mantiene hasta los 30 cm de profundidad le confiere al suelo una baja capacidad de almacenamiento y gran facilidad para perder agua.

Los altos valores de resistencia a la

penetración del suelo probablemente estuvieron asociados a los bajos contenidos de humedad registrados al momento de realizar el muestreo.

B) Variación de las propiedades físicas del suelo

Densidad aparente (Da): Del análisis en conjunto de los datos de densidad aparente se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre tratamientos y profundidades en todas las épocas de evaluación (Cuadro 3). La interacción tratamiento por profundidad sólo fue significativa en los muestreos realizados después del pastoreo (DP).

Para ambos ciclos de evaluación, sólo se registraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre tratamientos para el horizonte superficial (0-15 cm) y en la época de muestreo DP. En esta época destacó el tratamiento SDM+Bde entre los mayores valores de DA.

La Da osciló entre 1,47 y 1,66 Mg·m⁻³ para la profundidad de 0 a 15 cm y entre 1,59 y 1,80 Mg·m⁻³ en la capa de 15 a 30 cm. Se observó que estos valores fueron menores a los iniciales, principalmente en el horizonte superficial, lo cual se puede atribuir al efecto de la preparación del suelo para el establecimiento de las coberturas y a una mayor biomasa de raíces de las coberturas introducidas con relación a la sabana natural.

Cuadro 3. Cambio en la densidad aparente del suelo (Mg·m⁻³), como resultado de las diferentes coberturas a las profundidades consideradas

Profundidad (cm)	Tratamientos	2000 - 2001			2001 - 2002		
		AC	F	DP	AC	F	DP
0-15	SDM+Vn	1,62 a	1,66 a	1,51 b	1,56 a	1,61 a	1,57 a
	SDM+Cm	1,65 a	1,63 a	1,53 b	1,56 a	1,65 a	1,52 ab
	SDM+Bdy	1,61 a	1,62 a	1,53 b	1,57 a	1,63 a	1,47 b
	SDM+Bde	1,63 a	1,64 a	1,59 a	1,60 a	1,66 a	1,54 ab
15-30	SDM+Vn	1,74 a	1,76 a	1,59 a	1,63 a	1,71 a	1,64 a
	SDM+Cm	1,80 a	1,71 a	1,60 a	1,59 a	1,67 a	1,60 a
	SDM+Bdy	1,75 a	1,69 a	1,62 a	1,60 a	1,66 a	1,59 a
	SDM+Bde	1,76 a	1,76 a	1,56 a	1,66 a	1,71 a	1,61 a
Análisis de varianza							
Tratamiento (T)		ns	ns	*	ns	ns	*
Profundidad (P)		*	*	*	*	*	*
T*P		ns	ns	*	ns	ns	ns

SDM: Siembra directa de maíz; AC: antes del corte de la cobertura; F: Floración; DP: Después del pastoreo; Vn: Vegetación natural; Cm: *Centrosema macrocarpum*; Bdy: *Brachiaria dictyoneura*; Bde: *Brachiaria decumbens*.

* Significativo para $P \leq 0,05$; ns: No significativo

Letras diferentes indican diferencias significativas entre coberturas dentro de cada profundidad según prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Independientemente del tratamiento, los mayores valores de densidad aparente se observaron en el horizonte subsuperficial (15-30 cm) y en las épocas antes del corte (AC) y floración (F). Se destaca que los valores de Da tendieron a disminuir después del pastoreo, lo cual se podría atribuir al hábito alimenticio del ganado ovino, que al consumir el forraje extrae las plantas completas y genera una disgregación del suelo (Ordóñez, 2001).

Porosidad total (PT): Los valores de PT fueron superiores en el horizonte superficial (0-15) para las épocas AC y F (Cuadro 4). Se detectaron diferencias entre los tratamientos de

cobertura en la época AC del ciclo 2001-2002 y en DP de ambos ciclos. La interacción tratamiento por profundidad solo mostró significancia en la época DP del ciclo 2001-2002.

Las diferencias entre tratamientos se presentaron principalmente en el horizonte superficial, con cierta tendencia a presentar menores valores de porosidad en el tratamiento de SDM+Cm en ambas profundidades. En todos los tratamientos se observó un incremento en la PT con relación a los valores iniciales, especialmente en el horizonte superficial. Los valores de PT disminuyeron a medida que aumentaron los de Da, reflejando la relación directa que existe entre ambas variables (Shaver et al., 2002).

Cuadro 4. Cambios en la porosidad total del suelo (% v/v) como resultado de las diferentes coberturas a las profundidades consideradas

Profundidad (cm)	Tratamientos	2000 - 2001			2001 - 2002		
		AC	F	DP	AC	F	DP
0-15	SDM+Vn	40,59 a	40,70 ab	43,32 a	37,67 ab	39,75 a	33,66 ab
	SDM+Cm	38,53 a	38,30 b	42,24 a	40,44 a	37,46 a	30,83 b
	SDM+Bdy	40,94 a	42,89 a	42,32 a	37,60 ab	40,40 a	38,46 a
	SDM+Bde	40,49 a	42,01 a	37,37 b	36,73 b	39,00 a	36,52 a
15-30	SDM+Vn	33,95 a	33,37 a	40,08 a	35,11 ab	37,01 a	36,82 a
	SDM+Cm	31,89 a	34,32 a	38,32 a	35,48 a	36,99 a	33,52 a
	SDM+Bdy	35,67 a	37,77 a	40,38 a	36,19 a	37,95 a	34,72 a
	SDM+Bde	35,13 a	36,34 a	39,66 a	33,12 b	36,37 a	34,96 a
Análisis de varianza							
Tratamiento (T)		ns	ns	*	*	ns	*
Profundidad (P)		*	*	ns	*	*	ns
T*P		ns	ns	ns	ns	ns	*

SDM: Siembra directa de maíz; AC: antes del corte de la cobertura; F: Floración; DP: Después del pastoreo; Vn: Vegetación natural; Cm: *Centrosema macrocarpum*; Bdy: *Brachiaria dictyoneura*; Bde: *Brachiaria decumbens*.

* Significativo para $P \leq 0,05$; ns: No significativo

Letras diferentes indican diferencias significativas entre coberturas dentro de cada profundidad según prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Porosidad de aireación (Pa): La porosidad de aireación (macroporos) presentó valores en el rango 14,18 a 23,67 % (Cuadro 5) que representó entre el 40 y 55 % de la porosidad total en todos los tratamientos, profundidades y épocas evaluadas. Esta porosidad tuvo un comportamiento diferencial en los dos ciclos de cultivo evaluados. Para el ciclo 2000-2001 se detectaron diferencias significativas para la profundidad, pero no para los tratamientos, ni para la interacción tratamiento por profundidad. Las diferencias entre tratamientos se detectaron en el ciclo 2001-2002, con mayores valores en el

tratamiento SDM+Vn en casi todas las épocas y a ambas profundidades.

Al comparar los valores obtenidos con los distintos tratamientos con los valores iniciales, se observa que SDM+Vn presentó un ligero incremento en la Pa. Ahuja et al. (1989) y Shaver et al. (2002) relacionan la macroporosidad con la porosidad efectiva del suelo, ya que refleja los porcentajes de poros totales que están abiertos para la infiltración durante un evento de lluvia. En este sentido, al observar los cambios de la macroporosidad de los distintos tratamientos a través de los años se puede indicar que los valores

se mantuvieron altos y adecuados (mayores a 10 %) para la agricultura de secano (Pla, 1995). Esto significa que los suelos presentan buena aireación lo cual se relaciona con su textura y aun en condiciones de lluvias abundantes es difícil que se

presenten problemas de aireación (Roseberg y McCoy, 1992; Bravo y Florentino, 1999; Ferreras et al., 2000). Los cambios en la Pa en función del tiempo están asociados a las variaciones en la densidad aparente y porosidad total.

Cuadro 5. Cambios en la porosidad de aireación del suelo (% v/v) como resultado de las diferentes coberturas a las profundidades consideradas

Profundidad (cm)	Tratamientos	2000-2001			2001-2002		
		AC	F	DP	AC	F	DP
0-15	SDM+Vn	20,74 a	23,67 a	21,96 a	20,30 a	23,17 a	16,72 ab
	SDM+Cm	18,24 a	21,70 a	21,32 a	16,44 b	17,64 bc	14,18 b
	SDM+Bdy	19,86 a	21,01 a	19,54 a	16,74 b	22,26 ab	18,62 ab
	SDM+Bde	20,79 a	22,39 a	20,34 a	16,41 b	15,35 c	19,32 a
15-30	SDM+Vn	16,66 a	18,58 a	19,46 a	19,38 a	23,53 a	20,49 a
	SDM+Cm	14,85 a	18,87 a	20,15 a	14,80 b	16,37 b	17,38 a
	SDM+Bdy	18,65 a	21,71 a	20,22 a	18,71 ab	22,54 a	17,29 a
	SDM+Bde	19,17 a	19,73 a	17,25 a	15,00 b	16,95 b	18,00 a

Análisis de varianza

Tratamiento (T)	ns	ns	ns	*	*	ns
Profundidad (P)	*	*	*	ns	ns	ns
T*P	ns	ns	ns	ns	ns	ns

SDM: Siembra directa de maíz; AC: antes del corte de la cobertura; F: Floración; DP: Después del pastoreo; Vn: Vegetación natural; Cm: *Centrosema macrocarpum*; Bdy: *Brachiaria dictyoneura*; Bde: *Brachiaria decumbens*.

* Significativo para $P \leq 0,05$; ns: No significativo

Letras diferentes indican diferencias significativas entre coberturas dentro de cada profundidad según prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Porosidad de retención (Pr): La fracción de poros pequeños (menores a 15 μm) varió entre 16,57 y 24,00 % para el horizonte de 0 a 15 cm y entre 13,49 y 22,41 % para el horizonte de 15 a 30 cm (Cuadro 6). Para ciclo 2000-2001, los tratamientos generaron diferencias significativas para el muestreo en la época de floración sólo para el horizonte superficial, mientras que para el ciclo 2001-2002 las diferencias se presentaron en el muestreo antes del corte y en floración para las dos profundidades de muestreo. Igualmente en algunas fechas se observaron diferencias significativas por profundidad y en la interacción tratamiento por profundidad.

Independientemente del tratamiento los valores de Pr fueron generalmente mayores en el horizonte superficial. Así mismo, se destaca que para todos los tratamientos se observó un ligero incremento de Pr con respecto a los valores iniciales. La presencia de una mayor cantidad de poros pequeños para este tipo de suelo puede favorecer una mayor retención de humedad lo cual

sería potenciado por la falta de perturbación del suelo y disminución del proceso de evaporación como un resultado del uso de coberturas en superficie (Ferreras et al., 2000; Jalota, et al., 2001).

Para el primer año, en el horizonte superficial los tratamientos SDM+Bdy y SDM+Bde fueron significativamente superiores a SDM+Cm y SDM+Vn en el muestreo de F, mientras que en el muestreo DP para el mismo horizonte el tratamiento SDM+Bde fue el que tendió a presentar el valor más bajo. En el segundo horizonte los tratamientos fueron estadísticamente similares para el primer año.

Para el segundo año tanto para el muestreo AC y F y en ambas profundidades el tratamiento SDM+Vn fue el que registró los valores más bajos.

Conductividad hidráulica saturada (Ks): Del análisis en conjunto de los datos se detectaron diferencias significativas entre tratamientos y profundidades (Cuadro 7). La interacción

tratamiento por profundidad sólo fue significativa en el muestreo AC del ciclo 2001-2002. Los valores de Ks fueron significativamente mayores ($P \leq 0,05$) en el horizonte superficial en diferentes épocas. La Ks varió de 5,37 a 15,91 $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ en la capa superficial y de 2,98 a 12,06 $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ en la capa subsuperficial. El valor de la conductividad

hidráulica en condiciones de saturación está muy relacionado con la porosidad del suelo, en especial la proporción de macroporos (Ahuja et al., 1989), de manera que generalmente aquellos tratamientos de coberturas con mayor proporción de macroporos resultaron en mayores valores de Ks.

Cuadro 6. Cambios en la porosidad de retención de humedad del suelo (%) como resultado de las diferentes coberturas a las profundidades consideradas

Profundidad (cm)	Tratamientos	2000 - 2001			2001 - 2002		
		AC	F	DP	AC	F	DP
0-15	SDM+Vn	19,85 a	17,03 b	21,36 ab	17,37 b	16,57 b	16,94 a
	SDM+Cm	21,96 a	16,60 b	20,93 ab	24,00 a	19,82 ab	16,65 a
	SDM+Bdy	21,08 a	21,88 a	22,78 a	20,87 ab	18,14 ab	19,83 a
	SDM+Bde	19,70 a	19,62 a	17,03 b	20,32 ab	23,64 a	17,20 a
15-30	SDM+Vn	17,28 a	14,79 a	20,62 a	15,73 b	13,49 c	16,33 a
	SDM+Cm	17,04 a	15,45 a	18,17 a	20,68 a	20,62 a	16,14 a
	SDM+Bdy	17,01 a	16,05 a	20,16 a	17,48 ab	15,41 bc	17,43 a
	SDM+Bde	15,96 a	16,61 a	22,41 a	18,12 ab	19,42 ab	16,96 a
Análisis de varianza							
Tratamiento (T)		ns	*	ns	*	*	ns
Profundidad (P)		*	*	ns	*	ns	ns
T*P		ns	*	*	Ns	ns	ns

SDM: Siembra directa de maíz; AC: antes del corte de la cobertura; F: Floración; DP: Después del pastoreo; Vn: Vegetación natural; Cm: *Centrosema macrocarpum*; Bdy: *Brachiaria dictyoneura*; Bde: *Brachiaria decumbens*.

* Significativo para $P \leq 0,05$; ns: No significativo

Letras diferentes indican diferencias significativas entre coberturas dentro de cada profundidad según prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Cuadro 7. Cambios en la conductividad hidráulica saturada del suelo ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$) como resultado de las diferentes coberturas a las profundidades consideradas

Profundidad (cm)	Tratamientos	2000 - 2001			2001 - 2002		
		AC	F	DP	AC	F	DP
0-15	SDM+Vn	13,10 b	12,56 a	10,43 a	6,59 a	10,99 a	11,77 a
	SDM+Cm	8,45 b	12,32 a	5,44 a	5,83 a	10,19 a	11,18 a
	SDM+Bdy	15,91 a	14,51 a	7,95 a	7,34 a	10,24 a	15,89 a
	SDM+Bde	8,88 b	10,96 a	9,42 a	5,37 a	7,97 a	10,64 a
15-30	SDM+Vn	7,30 a	8,49 a	7,03 a	5,63 b	7,50 a	6,66 b
	SDM+Cm	7,64 a	10,06 a	6,23 a	3,54 b	7,14 a	6,18 b
	SDM+Bdy	8,04 a	10,45 a	7,43 a	10,46 a	9,19 a	12,06 a
	SDM+Bde	4,01 a	6,68 a	6,48 a	2,98 b	6,70 a	6,50 b
Análisis de varianza							
Tratamiento (T)		*	ns	ns	*	ns	*
Profundidad (P)		*	*	ns	ns	*	*
T*P		ns	ns	ns	*	ns	ns

SDM: Siembra directa de maíz; AC: antes del corte de la cobertura; F: Floración; DP: Después del pastoreo; Vn: Vegetación natural; Cm: *Centrosema macrocarpum*; Bdy: *Brachiaria dictyoneura*; Bde: *Brachiaria decumbens*.

* Significativo para $P \leq 0,05$; ns: No significativo

Letras diferentes indican diferencias significativas entre coberturas dentro de cada profundidad según prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

En términos generales los valores de Ks fueron mayores en el tratamiento SDM+Bdy, con diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en la época AC del primer ciclo en la capa superficial y en las épocas AC y DP del segundo ciclo para la subsuperficial.

Al comparar los valores de Ks obtenidos en los distintos tratamientos con el límite de $5 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ considerando como crítico para la agricultura de secano (Pla, 1983), se aprecia que la mayoría de los valores superan dicho límite, lo cual sugiere que en este suelo no se deberían presentar problemas para la penetración del agua.

Resistencia a la penetración (RP): Se detectaron diferencias significativas entre tratamientos y profundidades de muestreo así como para la interacción tratamiento por profundidad (Cuadro 8).

Los valores de RP oscilaron en el rango de

188,99 a 869,47 kPa en la capa de 0 a 5 cm. Independientemente de los tratamientos, estos valores fueron inferiores ($P \leq 0,05$) con relación a los de las otras profundidades, lo cual se asocia a la macroporosidad y humedad actual del suelo.

Se presume que no hay limitación a la penetración de las raíces de las plantas de cobertura y maíz, ya que los valores obtenidos están por debajo del valor crítico de 1000 kPa establecido por Maurya (1986). Los bajos valores de RP están muy asociados a la textura arenosa y a la baja cohesión de estos suelos, tal como ha sido señalado por Lal (1997).

C) Efectos sobre el contenido de humedad del suelo: Esta variable registró diferencias significativas por tratamiento y profundidad, pero no para la interacción tratamiento por profundidad (Cuadro 9).

Cuadro 8. Variación en la resistencia a la penetración del suelo (kPa) como resultado de las diferentes coberturas a las profundidades consideradas. Ciclo 2000-2001

Profundidad (cm)	Tratamientos	Estado de desarrollo del cultivo		
		Emergencia	Floración	Madurez fisiológica
0-5	SDM+Vn	188,99 c	797,01 a	507,19 b
	SDM+Cm	201,06 c	724,50 a	434,73 b
	SDM+Bdy	507,19 a	652,10 a	797,01 a
	SDM+Bde	344,91 b	724,55 a	869,47 a
5-15	SDM+Vn	507,19 a	724,55 b	470,96 a
	SDM+Cm	688,33 a	724,55 b	470,96 a
	SDM+Bdy	543,42 a	862,47 b	507,19 a
	SDM+Bde	543,42 a	1376,65 a	470,96 a
15-30	SDM+Vn	416,62 b	760,78 b	398,51 a
	SDM+Cm	706,44 a	869,46 b	416,62 a
	SDM+Bdy	706,44 a	996,26 ab	344,16 a
	SDM+Bde	742,67 a	1050,60 a	307,94 a
Análisis de varianza				
Tratamiento (T)		*	*	ns
Profundidad (P)		*	*	*
T*P		ns	*	ns

SDM: Siembra directa de maíz; AC: antes del corte de la cobertura; F: Floración; DP: Después del pastoreo; Vn: Vegetación natural; Cm: *Centrosema macrocarpum*; Bdy: *Brachiaria dictyoneura*; Bde: *Brachiaria decumbens*.

* Significativo para $P \leq 0,05$; ns: No significativo

Letras diferentes indican diferencias significativas entre coberturas dentro de cada profundidad según prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

El contenido de humedad del suelo fue menor ($P \leq 0,05$) en SDM+Vn en diferentes fechas y profundidades. Estos resultados pudieran estar asociados a la mayor cantidad de residuos superficiales aportados por las coberturas. La

presencia de una alta cantidad de residuos en la superficie posiblemente contribuyó a que disminuyeran las pérdidas por evaporación (Bravo y Florentino, 1997; McGarry et al., 2000; Jalota et al., 2001).

Cuadro 9. Variación en el contenido de humedad del suelo (%) como resultado de las diferentes coberturas a las profundidades consideradas, durante el ciclo del cultivo 2000 -2001

Profundidad (cm)	Tratamientos	Días después de la siembra					
		25	40	53	67	82	100
0-15	SDM+Vn	5,07 b	10,81 a	9,93 a	8,85 a	9,80 a	8,66 b
	SDM+Cm	5,52 b	11,87 a	10,17 a	8,36 a	9,68 a	14,14 a
	SDM+Bdy	7,64 a	12,26 a	11,12 a	8,79 a	10,18 a	14,38 a
	SDM+Bde	8,39 a	12,38 a	9,08 a	8,74 a	11,00 a	12,99 a
15-30	SDM+Vn	6,18 a	8,42 b	9,43 a	7,95 a	8,44 a	8,57 b
	SDM+Cm	7,01 a	11,38 a	10,20 a	8,70 a	8,88 a	12,90 a
	SDM+Bdy	8,08 a	12,04 a	9,37 a	9,45 a	9,28 a	12,73 a
	SDM+Bde	8,08 a	10,77 a	10,84 a	8,20 a	8,93 a	12,84 a
Análisis de varianza							
Tratamiento (T)		*	*	ns	ns	ns	*
Profundidad (P)		ns	*	ns	ns	*	ns
T*P		ns	ns	ns	ns	ns	ns

SDM: Siembra directa de maíz; AC: antes del corte de la cobertura; F: Floración; DP: Después del pastoreo; Vn: Vegetación natural; Cm: *Centrosema macrocarpum*; Bdy: *Brachiaria dictyoneura*; Bde: *Brachiaria decumbens*.

* Significativo para $P \leq 0,05$; ns: No significativo

Letras diferentes indican diferencias significativas entre coberturas dentro de cada profundidad según prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

El agua almacenada en el suelo en un tiempo dado es consecuencia de la infiltración del agua dentro del perfil y las pérdidas subsiguientes por evaporación y drenaje (Jalota et al., 2001.). Dada la naturaleza física del suelo (textura arenosa, alta conductividad hidráulica y alta porosidad de aireación), los sistemas de manejo a implantar deberían propiciar una disminución de las pérdidas por drenaje y evaporación.

CONCLUSIONES

La introducción de las distintas coberturas dentro del sistema de siembra directa de maíz y pastoreo con ganado ovino logró mantener o mejorar las condiciones físicas del suelo demostrando que es factible el uso de un sistema agrícola-ganadero sin la implicación de impactos negativos en los índices estructurales.

No se presentaron diferencias entre la vegetación natural y las diferentes coberturas introducidas, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria dictyoneura* o *Centrosema macrocarpum*, con relación a las propiedades físicas del suelo, por lo cual la siembra directa sobre cualquiera de estas coberturas puede constituir una buena alternativa tecnológica.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (FONACIT) por el

apoyo financiero a través del proyecto S1-97001360 y a la Universidad "Simón Rodríguez" por facilitar el uso de la Estación Experimental La Iguana, y en especial a su personal obrero por el apoyo logístico en la fase de campo.

LITERATURA CITADA

1. Addiscott, T.M. y A.R. Dexter. 1994. Tillage and crop residue management effects on losses of chemical from soils. *Soil Till. Res.* 30: 125-168.
2. Ahuja, L.R., D.K. Cassel., R.R. Bruce y B.B. Barnes. 1989. Evaluation of spatial distribution of hydraulic conductivity using effective porosity data. *Soil Sci.* 148: 404-441.
3. Berengena, J. 1997. Efectos del laboreo sobre el contenido de agua en el suelo. In: L. García-Torres y P. González-Fernández (eds.). *Agricultura de Conservación: Fundamentos Agronómicos, Medioambientales y Económicos.* Asociación Española de Agricultura Conservacionista (AEAC) Córdoba, España. pp. 53-73.
4. Berroterán, J.L. 2000. Modelo de utilización cereal-pasto en sistemas de producción de sabanas bien drenadas con suelos ácidos en

- Venezuela. *Interciencia* 25(4): 203-209.
5. Bravo, C. y E. Andreu. 1995. Propiedades físicas y producción de maíz (*Zea mays* L.) en un alfisol del estado Guárico, Venezuela bajo dos sistemas de labranza. *Venesuelos* 3(2): 62-68.
 6. Bravo, C. y A. Florentino. 1997. Efecto de diferentes sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo y su influencia sobre el rendimiento del algodón. *Bioagro* 9(3): 67-75.
 7. Bravo, C. y A. Florentino. 1999. Nivel de cobertura, conservación de suelos y aguas bajo diferentes sistemas de labranza. *Rev. Facultad de Agronomía (UCV)* 25: 57-74.
 8. Chacón, P., I. López-Hernández y M. Lamotte. 1991. Le cycle de l'azote dans une savane a *Trachypogon* au Centre au Venezuela. *Revue d'Ecologie et Biologie du sol*. 28: 67-75.
 9. Ferreras, L.A., J. L. Costa., F.O. García y C. Pecorar. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded petrocalci Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. *Soil Till. Res.* 54:31-39.
 10. Jalota, S., K.R. Khera y S.S. Chabal. 2001. Straw management and tillage effects on soil water storage under field conditions. *Soil Use and Management* 17: 282-287.
 11. Lal, R. 1997. Long-term tillage and maize monoculture effects on tropical Alfisol in Western Nigeria. I: Crop yield and soil physical properties. *Soil Till. Res.* 42: 145-160.
 12. Matheus, R. 1986. Los suelos de la Estación Experimental la Iguana. Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 199 p.
 13. Maurya, P. 1986. Effect of tillage and residue management on maize and wheat yield and physical properties of an irrigate sandy loam soil. *Soil Till. Res.* 8: 161-170.
 14. McGarry, D., B.J. Bridge y B.J. Radford, 2000. Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semi-arid subtropics. *Soil Till. Res.* 53: 105-115.
 15. Nacci, S. e I. Pla. 1991. Técnicas y equipos desarrollados en el país para evaluar propiedades físicas de los suelos. FONAIAP. Maracay. Serie B N° 17. 40 p.
 16. Ordóñez, M.E. 2001. Evaluación de las propiedades físicas en un suelo de sabana bajo el sistema maíz en siembra directa-ganado ovino. Tesis. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay. 105 p.
 17. Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista Alcance de la Facultad de Agronomía (UCV)*. N° 32. 91 p.
 18. Pla, I. 1995. Evaluación y diagnóstico de propiedades físicas del suelo en relación a la labranza. *Memorias II Reunión Bianual de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista*. Guanare, Venezuela. pp. 42-51.
 19. Roseberg, R.J. y E.L. McCoy. 1992. Tillage and traffic-induced changes in macroporosity and macropore community: Air permeability assessment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1261-1267.
 20. Selles, F., B.G. McConkey y C.A. Campbell. 1999. Distribution and form of P under cultivation and zero-tillage for continuous and fallow-wheat cropping systems in the semi-arid Canadian prairies. *Soil Till. Res.* 51: 47-59.
 21. Shaver, T.M., G.A. Peterson, L.R. Ahuja, D.G. Westfall, L.A. Sherrod y G. Dunn. 2002. Surface soil physical properties after twelve years of Dryland No-Till Management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1296-1303.
 22. Unger, P.W. 1992. Infiltration of simulated rainfall. Tillage system and crop residue effects. *Soil. Sci. Am. J.* 56: 283-289.