

Efectos de la labranza sobre algunas variables físicas en un suelo Oxic Haplustalfs del Yaracuy medio sembrado con maíz (*Zea mays* L.)¹

*Effects of tillage about some physics variability in on Oxic Haplustalf soil of the middle Yaracuy sown with maize (*Zea mays* L.)*

Felipe Marcano²; Carlos Ohep²; Desiderio Francisco³

¹ Trabajo subvencionado por el CDCHT, UCLA

² Departamento de Suelos, Decanato de Agronomía, UCLA

³ Proyecto UCLA - SHYQ

RESUMEN

Durante los años 1986 y 1987, se evaluaron tres prácticas de labranza: arado de vertedera + rastra (Av), rastra pesada + rastra (Rp) y rastra sólo (Rs), en un suelo Oxic Haplustalfs, familia arcillosa fina del Yaracuy medio. Su objetivo fue cuantificar el efecto de los implementos en las variables físicas, humedad del suelo, macroporosidad y densidad aparente. Se encontró que con Rp y Rs, la humedad retenida por el suelo fue mayor a la observada con Av en casi todas las profundidades evaluadas y en su variación durante el ciclo del cultivo, fue más determinante, la precipitación ocurrida. En 1986, durante casi todo el ciclo, la humedad en el suelo se mantuvo por encima de su capacidad de retención a -10 kPa. La porosidad de aireación con Av se incrementó significativamente ($P < 0,01$) con respecto a los resultados obtenidos con Rp y Rs y su diferencia fue superior al 3%. Esta variable de 21% pasó a 13% a medida que transcurrió el tiempo; también Av redujo la densidad aparente significativamente ($P < 0,05$) entre 0,07 y 0,10 Mg/m³ en comparación a los valores obtenidos con Rp y Rs, respectivamente. Todos los implementos evaluados están generando problemas de compactación a partir de los 15 cm.

Palabras claves: Labranza, maíz, variables físicas

ABSTRACT

Three tillage practices, corresponding to the use of a mouldboard plow pass plus light harrow pass (Av), the use of a heavy harrow pass plus light harrow pass (Rp), and only light harrowing (Rs), were evaluated during 1986 and 1987, in a fine clayey member of Oxic Haplustalf, located at the middle Yaracuy. The objective of this work was to measure the effect of such implements over soil physical properties as profile wetness, macroporosity and bulk density. The results showed that the profile wetness increased with Rp and Rs and their were the most in almost all the evaluated depths. The wetness variation was mainly determinate by rainfall. During the 1986 season, the soil wetness was always over -10 kPa. Air porosity was significantly increased ($P < 0,01$) by Av with respect to Rp and Rs, having a difference over 3%. Air porosity passed from 21% to 13% over-time. Av also reduced significantly ($P < 0,05$) the bulk density, from 0,07 to 0,10 Mg/m³, as related to Rp and Rs respectively. All the evaluated implements, generated soil compaction from 15 cm depth.

INDEX WORDS: Tillage, maize, physics variability.

INTRODUCCIÓN

La labranza, a pesar de ser una práctica que ha venido siendo utilizada para controlar malezas, preparar la cama para recibir la semilla e incorporar residuos de cosecha y abonos orgánicos dentro del suelo (Soane y Pidgeon, 1974; Hillel, 1982), al ser considerada más como arte que una ciencia, ha generado problemas de compactación, lo cual ha incidido en las respuestas de los cultivos (Soane y Pidgeon, 1974; Soane et al, 1981, 1982; Hillel, 1982).

La compactación producida por los implementos se debe fundamentalmente al peso de las maquinarias, al pase continuo sobre el campo sin fijar áreas de control de tránsito durante el proceso de producción de los cultivos, al contenido de humedad del suelo cuando se realiza una determinada práctica agrícola y al implemento utilizado para el acondicionamiento del suelo (Soane y Pidgeon, 1974; Lal, 1979; Soane et al, 1982; Patapov, 1985; Unger y Jones, 1989; Voorhees et al, 1989). Esto ha generado una reducción del volumen de macroporos o capacidad de aire en el perfil del suelo, lo cual ha incidido en el intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera, reduce la infiltración y la conductividad hidráulica, incrementa el escurrimiento superficial acelerando los procesos de erosión y afecta el desarrollo radical de las plantas (Lal, 1979; Hillel, 1982; Hadas y Wolf, 1984; Hadas, 1987).

La labranza no solamente produce problemas de compactación, ya que mantiene las capas superficiales del suelo en condiciones agregadas y bien aireadas (Andriulo y Rossell, 1988; Chan, 1989; Lugo, 1989). Las operaciones de labranza ligeramente decrecen la densidad aparente del suelo y a todas las profundidades de trabajo. La densidad aparente y su relación con la porosidad afecta el crecimiento radical y emergencia de las plántulas (Soane y Pidgeon, 1974; Chaudhary et al, 1985). La densidad aparente interactúa con la consistencia del suelo, la estructura y el contenido de humedad, cada una de las cuales afecta el crecimiento de las plantas. Valores de densidad óptima no han sido establecida para muchos suelos, aunque hay evidencias que sugieren que las bajas densidades pueden favorecer el secado rápido del suelo y estrés de las plantas, mientras que valores altos causan pobre aireación y condiciones de alta resistencia (Cassel, 1980; Porter y Mc Mahon, 1987).

El objetivo del trabajo fue evaluar los efectos producidos por los tres implementos sobre las variables físicas, humedad en el suelo, macroporosidad y densidad aparente, en un suelo sembrado con maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo con una duración de dos años, se llevó a cabo en la Estación Experimental del FONAIAP, en Yaritagua, Estado Yaracuy, durante 1986 y 1987, en un suelo Oxic Haplustalfs, familia arcillosa fina, con contenido de materia orgánica, fósforo y potasio de: 2,77%, 20 y 239 ppm, respectivamente. Sus coordenadas geográficas son: latitud 10o05'N, longitud 69o07'W y altitud de 320 m.s.n.m.

El clima de la zona corresponde al bosque seco tropical (b-st), caracterizado por un período fuerte de sequía que dura de 4 a 6 meses, y otro lluvioso. Los datos correspondientes a la precipitación, evaporación y temperatura presente durante los dos ciclos de siembra se muestran en la Tabla 1.

Cuadro 1. Precipitación, evaporación y temperatura promedio durante los años 1986 y 1987.¹

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1986												
Precipitación (mm)	8.1	17.0	0.0	34.7	76.6	179.1	99.2	150.6	140.9	108.8	68.4	55.2
Evaporación (mm)	198.6	213.1	268.2	187.7	167.6	138.6	146.4	139.4	137.9	133.2	147.5	170.9
Temperatura (°C)	25.1	25.6	26.0	27.5	26.8	25.6	25.4	25.7	25.7	25.9	25.8	25.4
1987												
Precipitación (mm)	0.0	0.0	0.9	29.9	48.9	119.8	80.0	181.0	80.0	66.6	77.8	7.0
Evaporación (mm)	195.0	203.0	245.9	219.4	161.6	128.8	153.0	144.0	153.2	153.4	155.1	174.1
Temperatura (°C)	25.7	26.9	27.9	29.0	27.4	25.8	26.1	25.9	26.9	27.2	26.9	26.4

Para evaluar efecto de la labranza sobre las variables físicas del suelo, se seleccionaron dos sitios de muestreo, donde se tomaron muestras a diferentes profundidades a intervalos de 10 cm desde la superficie. Se utilizaron muestras indisturbadas para caracterizar poros de diámetro equivalente mayor de 30 μ m y densidad aparente. Las muestras fueron tomadas con un muestreador tipo Uhland y transportadas al laboratorio. Una vez saturadas, se determinó poros de diámetro equivalente mayor de 30 μ m en mesa de tensión (Pla Sentis, 1983) y luego de secada en estufa a 105 °C hasta peso constante, se pudo cuantificar la densidad aparente. La humedad retenida por el suelo por unidad de masa, fue evaluada utilizando un muestreador tipo Veihmeyer.

En el año de 1986, las muestras para densidad aparente y poros de diámetro equivalente mayor de 30 μ m, fueron tomadas antes de la preparación del suelo el 8/5 (t0), después de la preparación y siembra, el 11/6 (t1), y luego los días 9/7 (t2) y 27/8 (t3). La humedad fue evaluada el 8/5 (t0), 11/6 (t1), 25/6 (t2), 3/7 (t3), 9/7 (t4), 17/7 (t5), 31/7 (t6) y 27/8 (T7), respectivamente. Todas las muestras fueron extraídas hasta los 30 cm de profundidad. Para 1987, la profundidad muestreada fue hasta los 40 cm y se realizaron los días 5/5 (t0), 26/5 (t1), 16/6 (t2), 27/7(t3) y 4/8 (t4), respectivamente, para todas las variables.

RESULTADOS Y DISCUSION

Precipitación.

Las precipitaciones, durante los dos años de siembra, tuvieron tendencias diferentes en su distribución e intensidad en los meses de desarrollo de la planta de maíz. En la Tabla 2 se observa que en el ciclo de 1986, las lluvias a pesar de mostrar una mejor distribución, fueron de baja intensidad, llegándose al caso que muy pocas precipitaciones diarias lograron sobrepasar los 30 mm; en cambio, en 1987 la intensidad fue mayor y las precipitaciones presentes a mediados de julio y durante el mes de agosto, donde ocurrieron los períodos críticos de floración, polinización, fertilización y llenado de grano, fueron superiores a las de 1986 en los mismos períodos. Esto es de vital importancia, ya que cualquier déficit de humedad en estos períodos críticos influye en los rendimientos del maíz (Aldrich et.al, 1971).

Cuadro 2. Precipitación diaria ocurrida en los meses correspondientes al ciclo de desarrollo de la planta de maíz durante los años 1986 y 1987.¹

DIA	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1986																														
Ma-yo	2	0	0	3	0	11	0	3	6	2	10	4	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	1	0	0	27
Junio	37	0	0	0	14	0	0	2	5	0	0	0	0	0	15	17	0	9	1	0	10	0	35	0	27	3	0	4	0	16
Julio	9	1	0	15	7	4	0	0	11	3	0	16	0	6	2	0	12	0	0	1	11	0	0	4	0	0	0	0	1	0
Agos-to	14	6	3	23	1	4	1	1	3	5	0	2	0	2	1	2	7	2	18	8	13	0	0	8	0	26	0	0	1	15
Sep-tiem.	8	22	0	2	0	11	8	0	0	0	2	8	0	0	0	0	0	22	0	43	0	0	2	2	1	1	1	4	1	1
1987																														
Ma-yo	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	12	2	4	0	24	0	0	2	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0
Junio	4	1	0	0	45	1	0	0	0	4	0	0	0	0	37	0	1	0	1	1	0	0	11	1	6	2	4	1	2	3
Julio	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	9	3	4	48	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	7	0	0	4	2
Agos-to	72	3	7	0	2	15	0	0	0	3	4	17	0	0	0	0	7	0	0	3	1	6	12	0	0	0	3	22	0	6
Sep-tiem.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	9	3	4	48	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	6	0	0	3	2

¹ Datos provenientes de la estación meteorológica del FONAIAP. Yaritagua, Estado Yaracuy

Humedad en el suelo.

Los resultados obtenidos para la retención de humedad del suelo a -10 kPa fueron de: 17,92; 15,82; 16,38 y 16,47% para las profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm, respectivamente. Estos resultados si se consideran como la "capacidad de campo estimada", se pueden comparar las variaciones de la retención de humedad durante el desarrollo de la planta de maíz.

Al contrastar los valores de la humedad retenida por el suelo, durante el ciclo de 1986 para las diferentes prácticas de labranza y el tiempo de desarrollo de la planta de maíz, se detectó diferencias significativas ($P<0,01$). La Figura 1 señala que la retención de humedad se incrementó a partir de t0, con cambios observados durante el ciclo de desarrollo de la planta, los cuales dependen de la precipitación y de los tratamientos de labranza. En todos los casos la mayor retención de humedad por el suelo correspondió a Rp y Rs y en menor magnitud a Av. Es posible que con Av, como los "agregados" fueron más grandes y se alcanzó una mayor profundidad de preparación, la humedad pudo haberse perdido por percolación profunda y/o evaporación. Esta humedad retenida por el suelo durante el crecimiento vegetativo inicial y tardío de la planta de maíz (t1, t2, t3, t4 y t5), estuvo por encima de su capacidad de retención a -10 kPa, manteniéndose el suelo bajo condición de baja capacidad de aireación (Vomocil y Flocker, 1965; Grable y Siemer, 1968), lo cual puede incidir sobre el crecimiento radical y desarrollo de la planta. En t6, donde el cultivo estuvo en su etapa crítica de floración, fertilización y llenado de grano, hubo una caída brusca de la humedad retenida por el suelo en todos los tratamientos de labranza, lo cual correspondió con un periodo de baja precipitación y donde ninguno de los tratamientos utilizados tuvo efecto sobre la retención de humedad.

En las profundidades muestreadas, la humedad retenida por el suelo debido al efecto de los diferentes tratamientos de labranza, también dio diferencias significativas ($P<0,01$). La Figura 2 muestra que a 0-10 cm, los mayores porcentajes de humedad correspondieron a Rp y Rs, con más del 20% y con Av, ésta estuvo por debajo del 18%. Entre los 10 y 20 cm en todos los tratamientos de labranza, la humedad retenida por el suelo fue superior al 20% y las diferencias detectadas entre estas fueron menores a las observadas a la profundidad anterior, en el último estrato, la humedad retenida por el suelo tuvo un comportamiento similar a lo encontrado en la primera profundidad. También la retención de humedad en el perfil, durante el ciclo de desarrollo de la planta de maíz, presentaron diferencias significativas ($P<0,01$). La retención de humedad a las diferentes profundidades se incrementó con el tiempo, exceptuando a t6 (Figura 3) donde la humedad a 0-10 cm fue igual a la retenida en t0 y a las otras profundidades, ésta estuvo por debajo de los resultados obtenidos en las otras fechas de evaluación. La humedad retenida por el suelo a partir de t1, se mantuvo por encima de su capacidad de retención a -10 kPa en todas las profundidades.

Durante 1987, se encontró diferencias significativas ($P<0,01$) al contrastar los valores de labranza del suelo y la retención de humedad a las diferentes profundidades; e igualmente, con la humedad retenida por el suelo en el perfil y el tiempo de desarrollo del cultivo. En el primer caso, en la Figura 4a se observa que la mayor retención de humedad por el suelo con resultados similares correspondió a Rp y Rs con 14% a 0-10 cm. En el estrato de 10-20 cm la humedad retenida por el suelo fue igual para Av y Rs, siendo Rp el tratamiento donde hubo mayor retención de humedad. Para los otros estratos, Rp y Rs contribuyeron con una mayor retención de humedad por el suelo, siendo este efecto más marcado con Rp. En todos los tratamientos de labranza y para todas las profundidades muestreadas, la humedad retenida por el suelo fue inferior a su capacidad de retención a -10 kPa. Durante este año, la planta de maíz pudo haber estado estresada por déficit de humedad; no obstante, la relación aire-agua en el suelo fue más favorable para el cultivo.

La Figura 4b señala que la humedad retenida por el suelo se fue incrementando a medida que transcurrió el tiempo, a excepción de t1. En t4 y t5 donde se inició y se alcanzó la etapa crítica del cultivo, la humedad retenida por el suelo estuvo cercana a -10 kPa en t4 a las profundidades de 0-15 y después de los 35 cm, y en t5, ésta fue mayor a partir del primer estrato. Durante este ciclo a pesar de que la humedad retenida por el suelo se mantuvo en las etapas iniciales e intermedias del cultivo por debajo de -10 kPa, ésta no presentó deficiencia en los momentos más críticos del cultivo (floración, fertilización y llenado del grano).

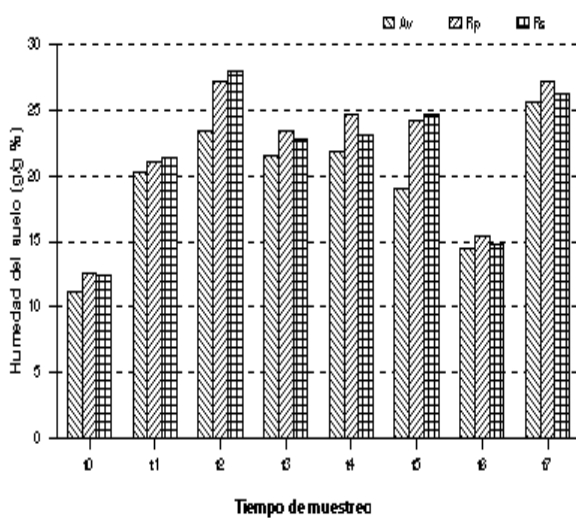


Figura 1. Variación del contenido de humedad en el suelo para los diferentes tiempos de muestreo en función de las prácticas de labranza. Ciclo 1986.

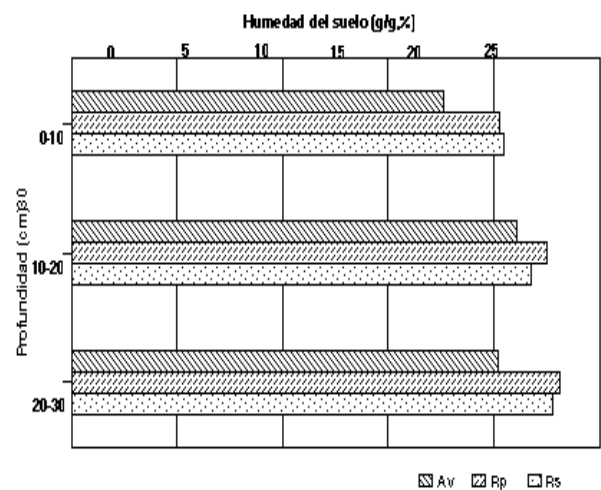


Figura 2. Variación del contenido de humedad en el perfil del suelo en función de labranza. Ciclo 1986.

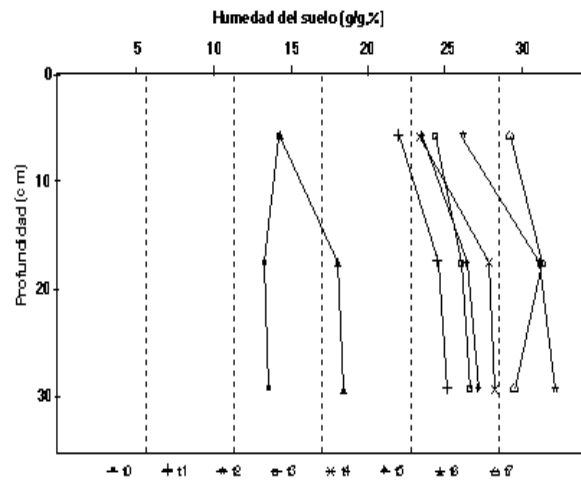


Figura 3. Variación del contenido de humedad en el perfil del suelo para los diferentes tiempos de muestro. Ciclo 1986.

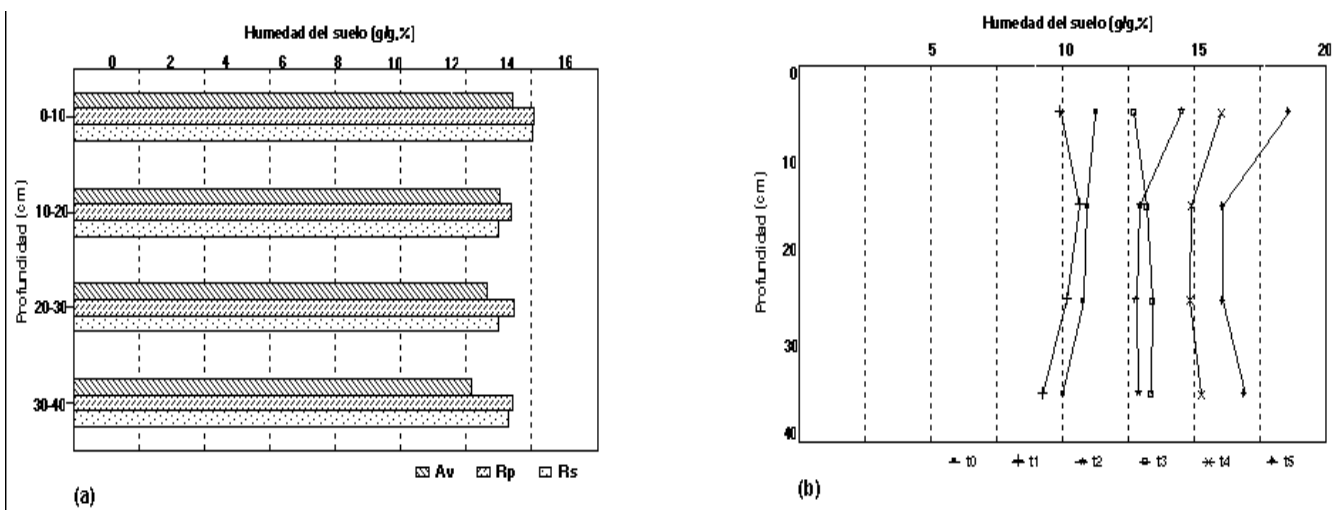


Figura 4. Variación del contenido de humedad en el perfil del suelo en función a las prácticas de labranza (a) y los diferentes tiempos de muestro (b). Ciclo 1986.

Macroporosidad o capacidad de aire.

En 1986, al contrastar los valores de poros de diámetro equivalente superior a los 30 μ m para los diferentes tratamientos de labranza, se encontró diferencias significativas ($P < 0,01$). En la Tabla 3 se observa que Av fue el tratamiento donde se obtuvo mayor proporción relativa de macroporos, y que, sus resultados fueron significativamente diferentes a los obtenidos con Rp y Rs, cuyo comportamiento estadístico fue igual. Este mayor incremento de la macroporosidad con Av, contribuiría a facilitar el movimiento del agua en y dentro del suelo, favoreciendo las pérdidas por evaporación y percolación profunda; igualmente, las raíces encontrarían un medio más apropiado para su crecimiento.

El volumen del suelo ocupado por los macroporos o su capacidad de aire para todos los tratamientos de labranza, estuvo por encima del valor promedio considerado como crítico para el crecimiento radical y desarrollo de las plantas (Vomocil y Flocker, 1965; Grable y Siemer, 1968).

Cuadro 3. Efecto de la labranza del suelo sobre los poros de diámetro equivalente mayor de 30 μ m. Prueba de Duncan

Labranza del suelo	Poros > 30 μ m promedio (%)
Av	16,89 a**
Rp	13,32 b
Rs	13,44 b
CV = 18,40%	

La relación entre la profundidad del suelo y la macroporosidad durante el desarrollo de la planta de maíz, también difiere significativamente ($P < 0,01$). La Figura 5 muestra que el efecto producido por los implementos de labranza sobre esta variable ocurrió en el primer estrato (t1) y a partir de los 12 cm aproximadamente, todos los implementos produjeron una reducción de la capacidad de aire del suelo. El incremento de esta variable en el primer estrato no fue permanente, ya que esta disminuyó a medida que transcurrió el tiempo, llegando a ser igual a los resultados encontrados antes de introducir los implementos (t2) o menores a estos (t3). Esto podría indicar la poca estabilidad de estos suelos o de los "agregados" resultantes de la labranza, a la acción del ambiente y/o manejo. En t2 y t3, la capacidad de aire a partir de los 20 cm, está próximo o por debajo del 10%.

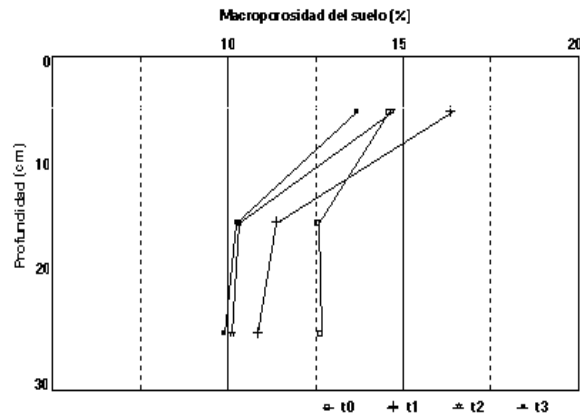


Figura 5. Variación de la porosidad de aireación en el perfil del suelo en función a los diferentes tiempos de muestreo. Ciclo 1987.

Para 1987, se encontró diferencias significativas ($P < 0,01$) entre macroporosidad y el tiempo de desarrollo de la planta de maíz para los diferentes tratamientos de labranza y entre las profundidades muestreadas y los implementos. En el primer caso, en la Figura 6a se observa que en t0, había mayor volumen de macroporos para Av con respecto a Rp y Rs, y que, a partir de t1 y t2 los cambios ocurridos en esta variable fueron mínimos. En t3 y t4 los resultados fueron similares a los observados en t0. En todos los tratamientos al igual que el año anterior, la macroporosidad del suelo disminuye a medida que transcurre el tiempo, observándose los valores más críticos con el uso de Rp y Rs.

En Av el incremento de la macroporosidad se mantuvo por debajo de los 30 cm y en Rp y Rs tuvieron comportamiento parecido hasta los 20 cm de profundidad, a partir de la cual muestran tendencias diferentes (Figura 6b). Los resultados señalan que a partir de 15 cm se estaría presentando un problema de compactación, el cual aumenta en magnitud dependiendo del tipo de implemento.

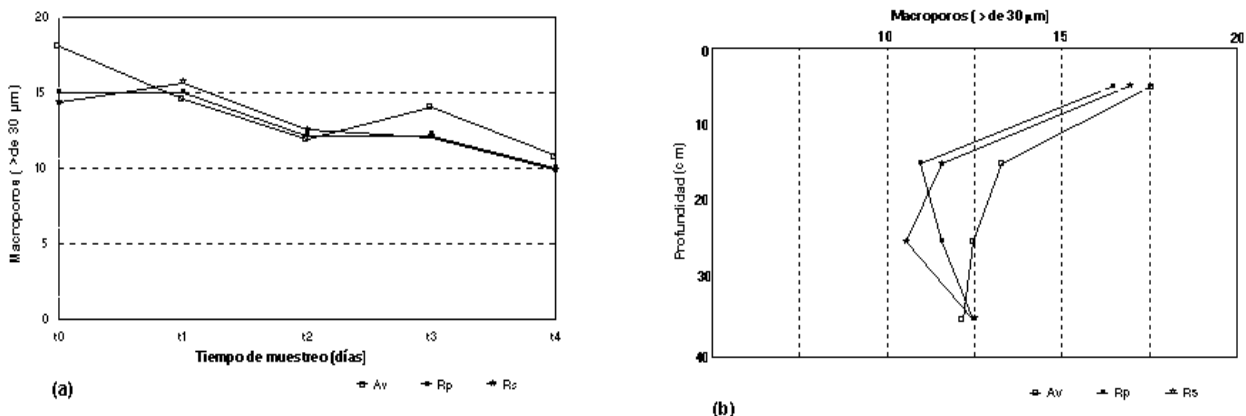


Figura 6. Efecto de la labranza del suelo sobre la macroporosidad en función al tiempo de muestreo (a) y en las diferentes profundidades del perfil (b). Ciclo 1987.

Densidad aparente.

En 1986, se encontró diferencia significativa ($P < 0,05$) al contrastar los valores obtenidos con el uso de los diferentes implementos. La Tabla 4 muestra que con Av la densidad aparente fue menor ($1,51 \text{ Mg/m}^3$), y con Rp y Rs fueron estadísticamente iguales. Esta menor densidad obtenida con Av pudo haber influido en la pérdida de retención de humedad por el suelo (Cassel, 1980). También se podría afirmar que esta pérdida de retención de humedad favorece la aireación del suelo. Con Av, se redujo la densidad aparente en $0,07 \text{ Mg/m}^3$ y $0,10 \text{ Mg/m}^3$, con respecto a Rp y Rs, respectivamente.

En profundidad, la variación de la densidad aparente durante el desarrollo de la planta de maíz fue significativa ($P < 0,01$). La Figura 7 señala que en los primeros 10 cm, la densidad aparente disminuyó después de introducir los implementos, lo cual se manifiesta en t1 con $1,4 \text{ Mg/m}^3$. Este efecto resultó no ser permanente, ya que en t3, la densidad aparente estaba bastante cercana a su valor inicial de $1,46 \text{ Mg/m}^3$ (t0). Es decir, al igual que la variable macroporosidad, la densidad aparente fue afectada por el manejo y las condiciones ambientales, ya que este suelo presenta "agregados" poco estables. A 15 cm hubo un cambio brusco en el incremento de la densidad aparente, reflejándose en todas las fechas de muestreo que, a esta profundidad, se está generando un problema de compactación.

Cuando interactúan los tres factores, labranza, profundidad y tiempo de desarrollo del cultivo, también se encontró diferencia significativa ($P < 0,01$). En la Figura 8 se observa que en Av y t0 se encuentran las densidades más bajas a las diferentes profundidades. La acción producida por este implemento sobre la variable densidad aparente se reflejó hasta los 20 cm en t1. Cuando se utilizó Rp su efecto se manifestó solamente en los primeros 10 cm; igualmente, ocurrió con Rs. Las menores densidades aparentes observadas con Rs a 0-10 cm posiblemente se deba a la mayor masa radical en esta profundidad.

En 1987, el efecto significativo ($P < 0,01$) ocurrió para la densidad aparente a las diferentes profundidades y el tiempo de desarrollo de la planta de maíz. La Figura 9 señala que en los primeros 10 cm de profundidad, los implementos produjeron un efecto positivo en la densidad aparente, ya que ésta disminuyó desde $1,46$ hasta $1,31 \text{ Mg/m}^3$, luego, a medida que transcurrió el tiempo, su valor fue similar al encontrado antes de introducir los implementos (t0). A partir de los 15 cm hay disminución del incremento de la densidad aparente; igualmente en algunos casos, ésta es detectada después de los 25 cm. Independientemente de la profundidad donde ocurra esta disminución se puede afirmar al igual que en el año anterior, que se estaría generando un problema de compactación.

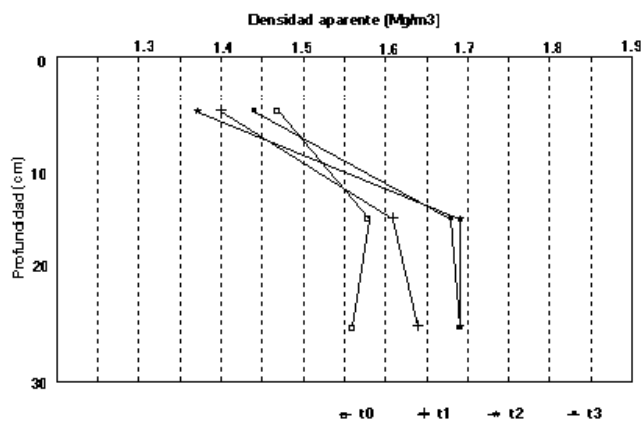


Figura 7. Variación de la densidad aparente del suelo en función al tiempo de muestreo para las diferentes profundidades del perfil del suelo. Ciclo 1986.

Cuadro 4. Efecto de s tratamientos de labranza sobre la densidad aparente del suelo. Prueba de Duncan

Labranza del suelo	Poros > 30 mm promedio (%)
Av	1,5 a*
Rp	1,58 b
Rs	1,61 b
CV = 18,40%	

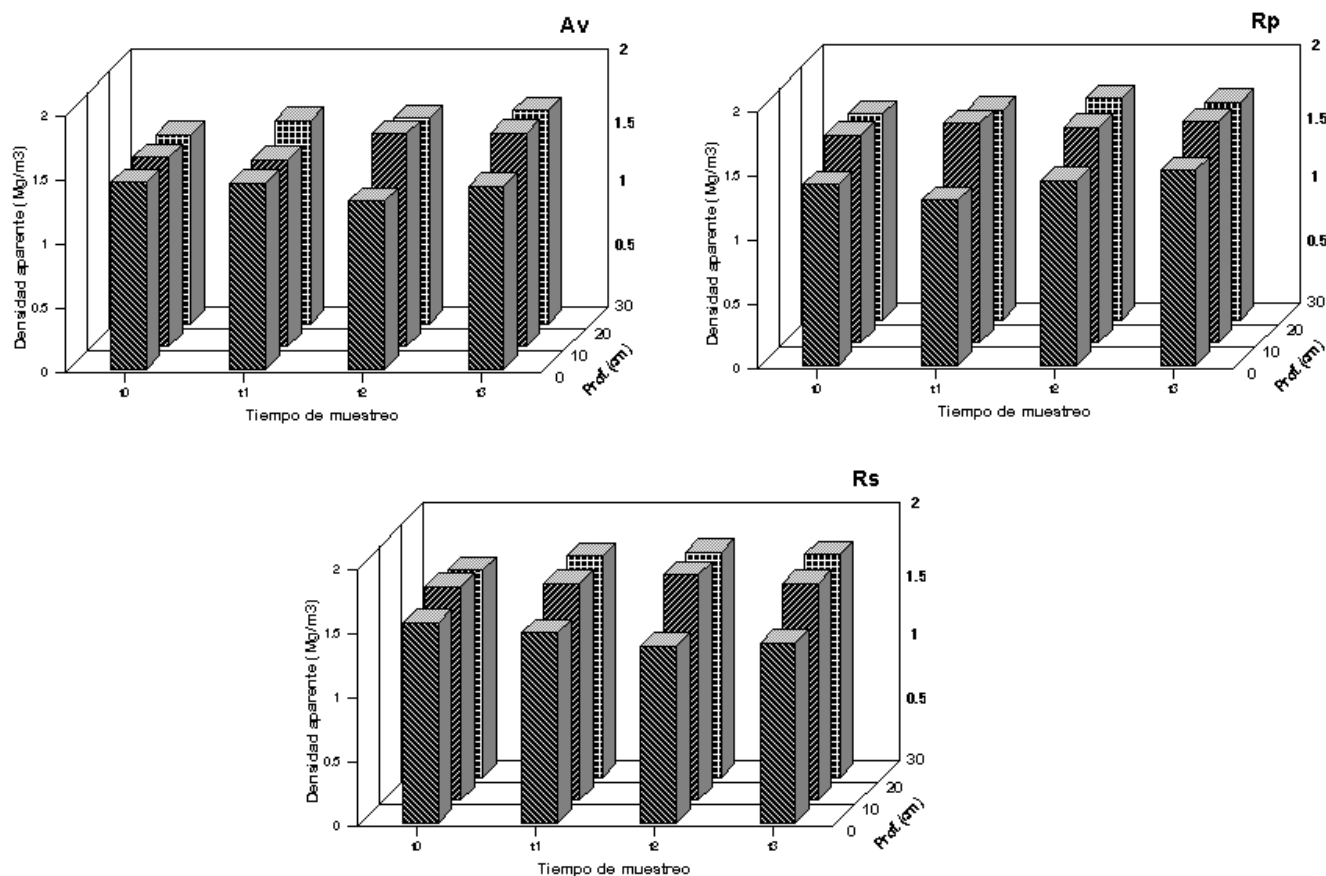


Figura 8. Variación de la densidad aparente en el perfil del suelo para los diferentes tiempos de muestreo y prácticas de labranza. Ciclo 1986.

CONCLUSIONES

La labranza profunda con Av redujo la densidad aparente, e incrementó la porosidad de aireación; pero la retención de humedad por el suelo fue mayor con Rp y Rs.

Los cambios ocurridos en la retención de humedad durante el desarrollo de la planta de maíz, respondieron más a la precipitación que a los implementos de labranza.

Los efectos producidos por la labranza sobre la densidad aparente y la porosidad de aireación, no fueron permanente y los mismos tendieron a producir problemas de compactación en profundidad, lo cual se reflejó con mayor intensidad con Rp y Rs.

LITERATURA CITADA

- ALDRICH, S. R., W. O. SCOTLAND Y E. R. LENG. 1971. Modern corn production. Second edition. A and L publication. 308p.
- ANDRIULO, A. E. Y R. A. ROSSELL. 1988. Propiedades físicas edáficas en dos sistemas de labranza. Turrialba. Vol. 38 (4): 365-375.
- CASSEL, D. K. 1980. Tillage effects on soil bulk density and mechanical impedance. Kral et al (ED.) Predicting Tillage Effects on Soil Physical Properties and Processes. Am. Soc. Agron. Spec. Publ. 44: 45-67.
- CHAN, K. A. 1989. Effect of tillage on aggregate strength and aggregation of vertisoles. Soil and Tillage Res. 13: 163-175.
- CHAUDHARY, M. R., P. R. GAJRI, S. S. PRIHAR Y ROMESH KHERA. 1985. Effect of deep tillage on soil physical properties and maize yield on coarse textured soils. Soil and Tillage Res. 6: 31-44.
- GRABLE, A. R. Y E. G. SIEMER. 1968. Effects of bulk density, redox potential and elongation of corn roots. Soil Sci. Am. Proc. 32: 180-186.
- HADAS, J. A. 1987. Long-term tillage practice effects on soil aggregation modes and strength. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 191-197.
- HADAS, J. A. Y D. WOLF. 1984. Soil aggregates and clod strength dependence on clod size, cultivation and stress load rates. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 1157-1165.
- HILLEL, D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press. 364p.
- LAL, R. 1979. Physical characteristic of soil of the tropics: determination and management. Lal and Greenland (ED.) Soil Physical Properties and Crop Production in the Tropics. John Wiley and Sons. Chichester. New York. pp. 7-14.
- LUGO, J. 1989. Efectos de la labranza sobre algunas propiedades físicas del suelo y su incidencia en el comportamiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Maestría. Maracay, Venezuela. Universidad Central. Facultad de Agronomía. Postgrado en Ciencia del Suelo. 142p.
- PATAPOV, B. I. 1985. Change in the physical properties of soil caused by external pressure. Sovietic Soil Sci. 17 (6): 73-77.
- PLA SENTIS, I. 1983. Metodología para caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Alcance, Revista de la Facultad de Agronomía. UCV. N 32. 91p.
- PORTER, M. A. Y T. A. MC MAHON. 1987. Simulation of change in bulk density of the cultivated layer in a swelling clay. SOANE, B. D. Y J. D. PIDGEON. 1974. Tillage requirement in relation to soil physical properties. Soil Sci. pp. 374-384.
- SOANE, B. D., J. W. DICKSON Y D. J. CAMPBELL. 1982. Compaction by agricultural vehicles: A review III. Incidence and control of compaction in crop production. Soil and Tillage Res. 2: 3-36.
- SOANE, B. D., P. S. BLACKWEL, J. W. DICKSON Y D. J. PAINTER. 1981. Compaction by agricultural vehicles: A review I. Soil and wheel characteristics. Soil and Tillage Res. 1: 207-237.
- UNGER, P. W. Y O. R. JONES. 1989. Effective tillage practices for conserving soil and water resources. ICRISAT Center, India (ED.) Management of Vertisoles for Improved Agricultural Production. Patauchern. pp. 133-145.
- VOMOCIL, J. A. Y W. J. FLOCKER. 1965. Degradation of structure of Yolo loam by compaction. Soil Sci. Am. Proc. 29: 7-12.
- VOORHEES, W. B., J. F. JOHNSON, G. W. RANDALL Y W. W. NELSON. 1989. Corn growth and yield as affected by surface and subsoil compaction. Agron. J. 81: 294-303.
-