

243

EFFECTO DE LA LABRANZA EN LAS PROPIEDADES FISICAS DE UN VERTISOL USTICO Y EN LA PRODUCCION DE SORGO, EN EL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

César A. Rodríguez ¹ - Oscar A. Herrera G. ²
- Edgar E. Madero M. ²

COMPENDIO

La investigación se adelantó en el Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira (CEUNP), durante 1995-1 y 1995-2. La toma de muestras, tanto del suelo como del rendimiento de sorgo, se efectuó mediante la metodología de la variable regionalizada; los resultados se procesaron utilizando diagramas de interpolación simple (Kriging puntual) de la geoestadística. Labranza rastra, de acción superficial, favoreció la reducción de la compactación en la profundidad (5-15 cm); labranza combinada fue la mejor solución en el segundo nivel (15-25cm); labranza cincel dejó algunas zonas compactadas, favorecida por el contenido de materia orgánica y la textura; labranza convencional no fue una buena solución para reducir coherencia y compactación. No fue posible aislar el efecto de tratamientos sobre las variables de respuesta del cultivo - población inicial y final, pérdida de población, altura final de plantas y rendimiento -, de otras variables ambientales no controladas. El contenido de materia orgánica y la textura influyeron significativamente en densidad aparente, índice de penetrabilidad, coeficiente de dispersión y humedad, lo cual indujo a interpretar la interacción de este efecto con la de los tratamientos.

Palabras clave : labranza, vertisol, propiedades físicas, producción de sorgo, geoestadística, variable regionalizada, kriging

ABSTRACT

TILLAGE EFFECT ON A VERTISOL PHYSICAL CONDITION AND SORGHUM YIELD IN VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

This study was carried out at the Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira (CEUNP) during 1995-1 and 1995-2. The soil test as the sorghum yield was performed using regionalized variable methodology; the results were processed using diagrams of geostatistics simple interpolation (Kriging). The harrowing treatment had the best results on reducing the compaction at depth 5-15 cm. Combined disk-chiseling plowing was the best solution in the second level (15-25 cm), the results had a good benefits to have a lower compaction. Chiseling left some compacted zones, favored by the content of organic matter and the texture than the treatments themselves. Conventional tillage was not a good solution to reduce coherence and compaction. So that it was not possible to separate the effect of the treatments on crop response variables: initial and final population, population loss, final plant height and yield; as well as other environment variables that they have not been identified and controlled. The content of organic matter and the texture had a great influence on the bulk density, cone index, coefficient of dispersion, soil moisture, rather than the treatments themselves, which induced to interpret the interaction of this effect with the one of the treatments.

Keys Words : tillage, vertisol, physical properties, sorghum yield, geostatistics, regionalized variable, kriging

INTRODUCCION

La labranza tiene marcada influencia sobre la condición física del suelo, en las diferentes zonas climáticas del mundo. En suelos arcillosos (Aquic Hapludults), la labranza mínima (LM) y no-labranza (NL) disturban poco el suelo, en comparación con la labranza convencional (LC). Un estudio realizado en suelos de la antigua serie

Tibaitatá (Andic Eutropept Mezclado Isomésico), concluyó que LC es la que más ha causado degradación del suelo, manifestada por el aumento de macroporos y disminución de mesoporos, presencia de capas compactadas y disminución de la capacidad de almacenamiento de agua; los mayores valores de

¹ Estudiante de Pregrado Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira; ² Profesores Asociados. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, A.A. 237.

humedad de campo al momento de coleccionar las muestras se obtuvieron en NL (29%) y LM (27,26%) y los menores en LC (13,67%), hasta una profundidad de 49cm; son suelos de excelente condición física que no necesitan ser disturbados intensamente. En un suelo Typic Pellustert del Valle del Cauca, el arado de cincel presentó cambios benéficos en la penetrabilidad y la estabilidad de agregados al agua, resolviendo el problema de coherencia del suelo (Hill, 1990; Amézquita *et al*, 1991; Rodríguez y Soto, 1992).

En pruebas de laboratorio en un Eutropept ácido, los métodos de labranza influyeron en la percolación del agua y en la acumulación en la superficie. La secuencia de acumulación de agua en los tratamientos fue la siguiente:

L-Co > L-Re > Testigo > L-Ce

El tiempo de encharcamiento (tiempo transcurrido desde el inicio del impacto hasta que se saturan los agregados) fue mayor en labranza reducida (L-Re) que en labranza convencional (L-Co). Labranza cero (L-Ce) sólo se encharcó después de 15cm de profundidad y en el testigo no se produjo encharcamiento (Argüello, 1991).

Trabajos en el mismo suelo y localidad del presente estudio detectaron los primeros indicios de que la labranza vertical (cincales y cincales + discos) puede ser una alternativa para el manejo mecanizado, especialmente la combinación de discos y cincales (en ese orden de operaciones), ya que condujo al menor índice de penetrabilidad en los dos niveles estudiados (5-15 y 15-25 cm), densidad aparente relativamente baja, alto punto de marchitez permanente, elevada porosidad total en profundidad y a la mayor conservación de la humedad superficial en el tiempo (Carrillo *et al*, 1997).

Entonces, la selección del método de labranza debe ser el resultado de un estudio detallado del perfil, para un período de cultivo determinado.

Con relación al efecto de la labranza sobre el desarrollo y rendimiento de los cultivos, Guerrero (1985) en suelos livianos en cultivos de soya y sorgo; Rojas (1986) en suelos franco arcillo limosos sembrados con maíz; Yang y Quintero (1987) en suelos arcillosos (Vertic Ustropept, Typic Pellustert, Vertic Haplustalf) en caña de azúcar y Meneses (1988) en suelos Pellustert pesados cultivados con soya y sorgo; no hallaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la producción bajo los diferentes métodos de labranza. González (1985) en suelos franco arcillosos en cultivo de soya en rotación con maíz y González y Terreros (1986) en suelos

arcillosos (Pachic Haplustoll) cultivados con soya, encontraron que la labranza convencional superó en producción a la labranza mínima y especialmente a la no-labranza; igualmente, con la labranza convencional observaron el mejor desarrollo radical, la mayor altura de plantas, la menor pérdida de población y el sistema de producción más rentable en soya.

Hill en (1990), reportó el mayor rendimiento de maíz en suelos arcillosos (Aquic Hapludults) no labrados después de largo tiempo. Amézquita *et al* (1991) observaron que el empleo inadecuado de los implementos de labranza conduce a deformaciones de las raíces de las plantas. Carrillo *et al* (1997) no lograron establecer efecto de la labranza sobre la productividad, emergencia, pérdida de población y altura final de plantas de soya. Hayhoe *et al*, en (1993) en Ontario y Ottawa (Canadá), observaron que maíz con Cero Labranza requería, en promedio, dos días más para alcanzar el 50% de emergencia, en comparación con Labranza Convencional y Labranza Cincel.

Entonces, el efecto de los métodos de labranza sobre el desarrollo y rendimiento de los cultivos es variable y depende de que resuelvan o no una limitante física para el cultivo que se va a sembrar; además, dicho efecto está influido por fenómenos aleatorios, aun no identificados y controlados en los experimentos de campo.

Los principios de la geoestadística toman en cuenta la dependencia espacial que existe entre observaciones separadas; entre más cercanas sean pueden ser más similares. La tasa de cambio promedio de la variable regionalizada³ se puede estimar con la semivarianza, medida de la similitud que existe entre observaciones situadas a una determinada distancia. La semivarianza no es más que la varianza de las diferencias de valores de una propiedad entre pares de observaciones separadas por una distancia (Gurovich, 1982).

Nielsen *et al* en (1983), propusieron el método de coleccionar muestras o hacer medidas para análisis geoestadístico mediante un plano espacial, siguiendo un muestreo o medida regionalizada, de dos maneras:

- Siguiendo transectos en cada dirección X, pudiendo ser cada punto de muestreo o medida, equidistante de otro, en una distancia L, denominada "Lag" (espacio).
- Siguiendo un "grid" (red o cuadrícula) en las direcciones X, Y; cada medida se puede espaciar a una distancia L (Lag) constante.

³ Una variable regionalizada es una función que describe un fenómeno natural geográficamente distribuido.

Estos dos métodos facilitan los cálculos y análisis futuros, y tienen grandes ventajas sobre el muestreo al azar, principalmente por mantener constante una intensidad de muestreo en toda el área. En los dos casos también se pueden determinar los parámetros de media y varianza, pero además, existe la posibilidad de evaluar la dependencia entre observaciones y estudiar la estructura de la varianza (Reichardt *et al.*, 1986).

Con la información derivada de los semivariogramas ajustados (amplitud, umbral, varianza aleatoria), se pueden estimar valores en los sitios donde no se colectaron muestras, utilizando el proceso de interpolación conocido como Kriging puntual, generándose diagramas de las estimaciones y errores asociados con la estimación (Webster y Burges, 1980; Vieira *et al.*, 1982; Nielsen *et al.*, 1983).

El estudio que se presenta en este artículo es el tercero de cinco que constituyen la sublínea de investigación "Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas de un vertisol ústico y sobre la producción de cultivos transitorios", Línea de Manejo y Conservación de Suelos del Programa de Investigación de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. La sublínea se ocupa de estudiar alternativas de manejo mecanizado de un vertisol ústico adensado que presenta problemas de compactación incipiente (reversible) a 15-20 cm y restricciones en el drenaje interno, con el fin de seleccionar aquellas que garanticen la solución de esta problemática y la conservación de sus condiciones físicas en el tiempo.

tivo de sorgo: emergencia de plántulas, población final, pérdida de población, altura final de plantas y rendimiento de grano.

METODOLOGIA

El estudio se llevó a cabo en el Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira (CEUNP), situado en 2° 06' L.N. y 65° 03' L.O. La fase de campo se efectuó entre abril de 1995 y febrero de 1996.

El diseño experimental corresponde a la modalidad de bloques completos sistemáticos (BCS) con cuatro tratamientos y un número de muestras específico para cada propiedad física y variable de respuesta del cultivo. Se definieron cuatro parcelas experimentales, una por tratamiento, con dimensiones de 20x10m.

Las precipitaciones abundantes y frecuentes superaron el promedio anual (Cuadro 1), prolongando la labranza en el tiempo y dificultando el manejo del suelo: los tratamientos requirieron un número excesivo de pases de algunos de los implementos; en ocasiones, dichos pases ocurrieron en condiciones críticas de humedad del suelo, y en otras, se tuvieron que aplazar. Adicionalmente, la alta pluviosidad potenció el crecimiento de arvenses, lo cual obligó previamente a la aplicación de los tratamientos de labranza - a guadañar todas las parcelas experimentales y al uso frecuente de la rastra para controlar el pasto Johnson que las invadió.

CUADRO 1. Precipitación pluvial mensual durante los semestres 95-1 y 96-2 (mm)

MESES	JULIO	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL 95-B
Precipitación	37.2	35	85.5	208.8	134	120	620.5
MESES	ENE	FEB	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	TOTAL 96-A
Precipitación	109.5	100.3	184	223.2	174	127.2	918

El trabajo tiene los siguiente objetivos específicos:

- Comparar el efecto de los métodos de labranza convencional, con arado de cinceles, con rastra pesada y combinada, sobre las siguientes propiedades físicas, a las profundidades 5-15 y 15-25 cm: resistencia a la penetración, densidad aparente, materia orgánica, índice de dispersión y textura, de un suelo 1% francoso fino / francoso isohipertérmico mezclado típico Haplustert.
- Determinar el efecto de los métodos de labranza sobre las siguientes variables de respuesta del cul-

Se emplearon cuatro tratamientos con las siguientes secuencias de labores:

Labranza Convencional (LC)

- Un pase con arado de discos a una profundidad que varió entre 14 y 30cm;
- seguidamente, un pase con rastra pesada (18-19cm);
- dos meses después, segundo pase con rastra pesada (15cm);
- 15 días después, tercero y cuarto pases con rastra pesada;

- dos meses y medio después, quinto pase con rastra pesada, pulida con rotavator y la siembra de sorgo D-61.

Labranza reducida con arado de cinceles (L-Cinzel)

- Un pase con arado de cinceles y aletas (profundidad, 30-35cm);
- primer pase con rastra pesada a continuación del pase de arado (18-19 cm);
- dos meses después, segundo pase de rastra pesada (15 cm);
- quince días después, tercero y cuarto pases de rastra pesada (18 cm);
- dos meses después, quinto pase de rastra pesada, pulida con rotavator y siembra

Labranza con Rastra (L - Rastra)

Cinco pases de rastra pesada, pulida con rotavator y siembra.

Labranza Combinada (L - Combinada)

Las fechas, circunstancias y condiciones en las cuales se realizaron las distintas operaciones de labranza en este tratamiento fueron las mismas de los restantes tratamientos; sólo variaron algunas de dichas operaciones, las cuales fueron las siguientes:

- Pase con arado de discos (profundidad, 14-30 cm);
- a continuación, el primer pase con rastra pesada (18-19 cm);
- dos meses después, segundo pase con rastra pesada (15 cm);
- a los quince días siguientes, pase con arado de cinceles con aletas y a continuación, el tercero y cuarto pases con rastra pesada (18 cm);
- dos y medio meses después, el quinto pase de rastra pesada y a continuación, pulida con rotavator y siembra.

Determinación de las variables del cultivo

Ocho días después de la emergencia de plantas se tomaron 20 surcos y en cada surco se eligieron tres sitios al azar, en los cuales se midió la emergencia en términos de número de plantas por metro lineal. Para el conteo de población final se procedió a elegir 15 surcos al azar; de cada surco se tomaron 2 muestras por metro lineal, y se procedió a contar el número de plantas por metro. Para la altura final de plantas se eligieron 50

plantas al azar de cada parcela y a cada una de ellas se le tomó su altura. La medición del rendimiento se efectuó mediante muestreo, tomando de cada parcela experimental la producción del grano correspondiente de 21m² de la siguiente forma: se dividió cada parcela en 3 partes y de cada una de ellas se tomaron 7 muestras de un metro cuadrado; las panículas cosechadas se contaron y se pesaron para obtener el peso promedio por panícula, luego se procedió a desgranar cada una para obtener el peso del grano por m² a una humedad estándar (13 %); el rendimiento se expresó como peso promedio del grano en g/m.²

Toma de muestras del suelo posterior a los tratamientos

En cada parcela y siguiendo una red rígida de puntos a distancia variable, se tomaron cincuenta (50) muestras a las profundidades 5-15 y 15-25 cm para determinar: densidad aparente, materia orgánica, coeficiente de dispersión, textura y humedad de muestreo; en los mismos sitios y a las mismas profundidades se efectuaron las pruebas de penetrabilidad. La densidad aparente se determinó por el método de Boxer - Benceno y la humedad por gravimetría; los métodos de laboratorio empleados para las restantes determinaciones son los descritos por González (1983).

Procesamiento y análisis de la información

Las características físicas se analizaron con la metodología de la variable regionalizada o geoestadística; en cada profundidad de muestreo se cruzó la información anterior mediante un sistema georreferenciado para tener áreas compatibles y áreas de conflicto⁴ que permitieran dilucidar, tanto la influencia de la materia orgánica y la textura sobre las características ligadas a la estructura física del suelo, como la evolución de estas últimas a causa de la labranza (Madero, 1997⁵).

Para analizar la evolución de humedad, densidad aparente y penetrabilidad a lo largo del semestre 1995-2, se compararon las medias de los valores de dichas propiedades, con los obtenidos en 1994-1 (Carrillo *et al.*, 1997).

RESULTADOS Y DISCUSION

Respuesta física del suelo a los tratamientos de labranza

La labranza convencional no solucionó los problemas del suelo (al inicio del trabajo el suelo presentaba alto porcentaje de plasticidad y compactación), porque al término de la cosecha en las

⁴ Áreas compatibles aluden a sitios de las parcelas sin restricciones físicas y áreas de conflicto significan sitios de las parcelas con compactación relativa. ⁵ Edgar Madero. Profesor Asociado de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Información personal.

dos profundidades estudiadas, cuarenta y setenta por ciento del área, respectivamente, presentó incrementos relativos de la densidad aparente y del índice de penetrabilidad a humedad constante (Figura 1).

Es importante destacar que de 15 a 25 cm, en 65 % del área, la densidad y el índice de penetrabilidad dependieron del contenido de materia orgánica, ya que para un incremento del contenido de materia orgánica entre 1.0-1.5 a 1.5-1.9 %, la densidad y el índice de penetrabilidad cambiaron de 1.39-1.51 g/cm³ y 10.25 kg/cm² a 1.51-1.62 g/cm³ y 17.8 kg/cm², respectivamente, como una manifestación más de la compactación encontrada.

Así mismo, en 80 % del área, la humedad del suelo mostró dependencia directa del contenido de limos e inversa, del índice de penetrabilidad: cuando el porcentaje de limos bajó de 31.6 - 32.41 % a 30.84 - 31.6 %, la humedad capilar decreció de 24.0- 29.9 % hasta 21.1-24.0 % y el índice de penetrabilidad incrementó desde <10.2 hasta 17.84 - 21.63 kg/cm²; es decir, que la fracción limo estuvo muy ligada al proceso de compactación producido por la labranza convencional.

Otros dos hechos de interés revelaron que en 5-15 cm, contenidos de 1.0 a 1.97 % de materia orgánica no son suficientes para controlar las variaciones de la humedad capilar, la densidad y el coeficiente de dispersión; pero dada la predominancia de valores bajos y muy bajos de este último no se cree que el deterioro físico detectado esté avanzando.

Entonces, LC no redujo coherencia y compactación, pues presentó incrementos relativos en la densidad aparente y el índice de penetrabilidad en la mayor parte del área en ambas profundidades. Fue un tratamiento que se efectuó en las condiciones más críticas de humedad del suelo (por encima del límite plástico).

La labranza con cincel sobre suelo "compactado" produjo resultados físicos promisorios porque no dejó zonas compactadas extensas; en la mayor parte de la parcela los cambios en la densidad obedecieron a cambios en el contenido de humedad cuyos niveles fueron predominantemente medios.

En general, el efecto de esta labranza se vio favorecido por los contenidos de materia orgánica y textura, dado el grado de dependencia que existió entre los indicadores utilizados y estas dos propiedades del suelo (Figura 2).

De 5 a 15 cm, aunque los contenidos de humedad capilar fueron independientes de los contenidos de materia orgánica y arcilla, la densidad aparente en el 60% del área tuvo relación inversa con la materia orgánica, oscilando entre 1.40 - 1.58 g/cm³ en las zonas de 1.79 - 2.04%, y entre 1.68 - 1.77 g/cm³ en las zonas

de 1.27 - 1.53%, denotando la importancia del contenido de humus en la agradación del suelo.

Donde la densidad disminuyó con los incrementos de la materia orgánica, el coeficiente de dispersión adquirió valores de medios a altos (25.3 - 31.89%), y en aquellos sitios donde la densidad aumentó al decrecer la materia orgánica, el coeficiente de dispersión decreció hasta valores muy bajos (<14.26 - 22.31%). Considerando a este coeficiente como medida potencial de la dispersión de las partículas arcillosas y limosas, en este caso la alta aglutinación con la materia orgánica no está garantizando ausencia de dispersión al contacto con el agua como producto de esfuerzos mecánicos y es en este aspecto donde se notó que la forma como se aplicó el tratamiento de labranza y las condiciones del suelo, no fueron las más adecuadas.

De 15 a 25 cm, en 60% de la unidad experimental, la humedad edáfica tuvo dependencia inversa con el porcentaje de arena porque aumentó de 18.86 - 22.46% a 22.46 - 26.06%, donde la presencia de arena disminuyó de 35.65 - 36.23% a 34.5 - 35.65%, algo interesante teniendo en cuenta el rango tan estrecho.

En consecuencia, L-Cincel no dejó zonas compactadas extensas, pero los cambios en densidad aparente obedecieron a los cambios en la humedad. En general, en esta parcela la densidad aparente, el índice de penetrabilidad, el coeficiente de dispersión y la humedad dependieron más del contenido de materia orgánica y de la textura que del tratamiento mismo de labranza.

La labranza con rastra sobre el suelo compactado ofreció buenos resultados de 5 a 15 cm, como se esperaba, aunque no garantizó buena humedad gravimétrica y esto afectó tanto a la densidad aparente como a la penetrabilidad, puesto que para la extensa área con baja humedad (12.6 - 16.4 %) correspondieron índices de penetrabilidad altos (25.6 - 36.8 kg/cm²). Sin embargo, es impreciso afirmar que esto se debió exclusivamente al tratamiento de labranza, ya que la humedad dependió directamente del porcentaje de materia orgánica en el 65 % del área (16.45 - 24.2 % para 1.49 - 1.7 % de materia orgánica y 12.6 - 16.4 % donde la materia orgánica fue < de 1.5 %), e inversamente, de la concentración de limos en el 75 % del área de la parcela (< 16.7 % si la concentración de limos era mayor de 30.7 % y entre 16.7 y 23.8 %, si ésta bajaba de 30.7 %). Además, el índice de penetrabilidad en más del 70 % de esta unidad estuvo relacionado inversamente con el porcentaje de arcilla, exhibiendo valores de 25.6 - 36.8 kg/cm² para porcentajes de 32.83 - 34.4 y de 15.23 - 25.4 kg/cm², para 34.4 - 35.18 % de arcilla (Figura 3).

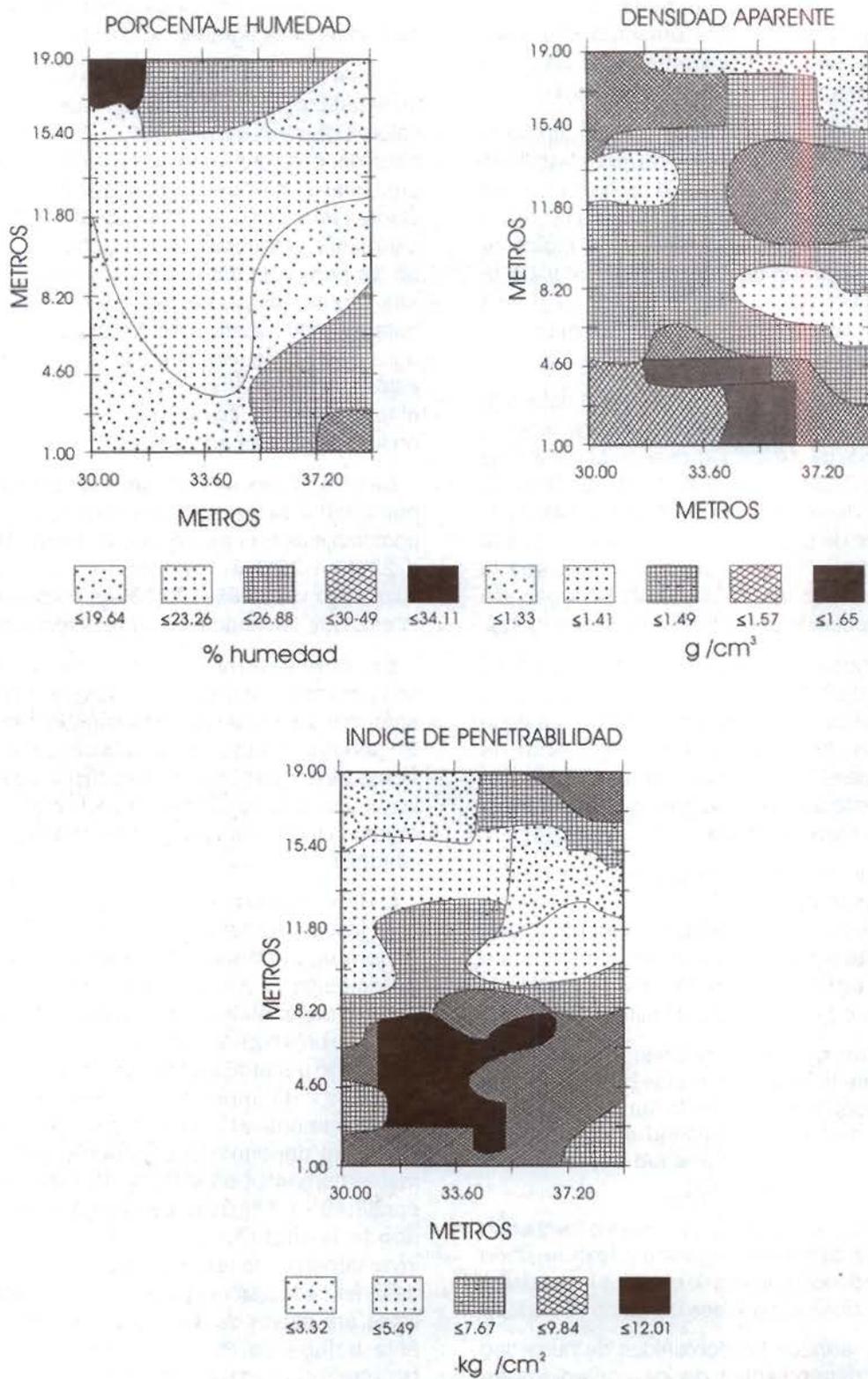


FIGURA 1. Distribución geográfica del contenido de humedad (%), densidad aparente (g/cm³) e índice de penetrabilidad (kg/cm²) en 5-15 cm, en labranza convencional

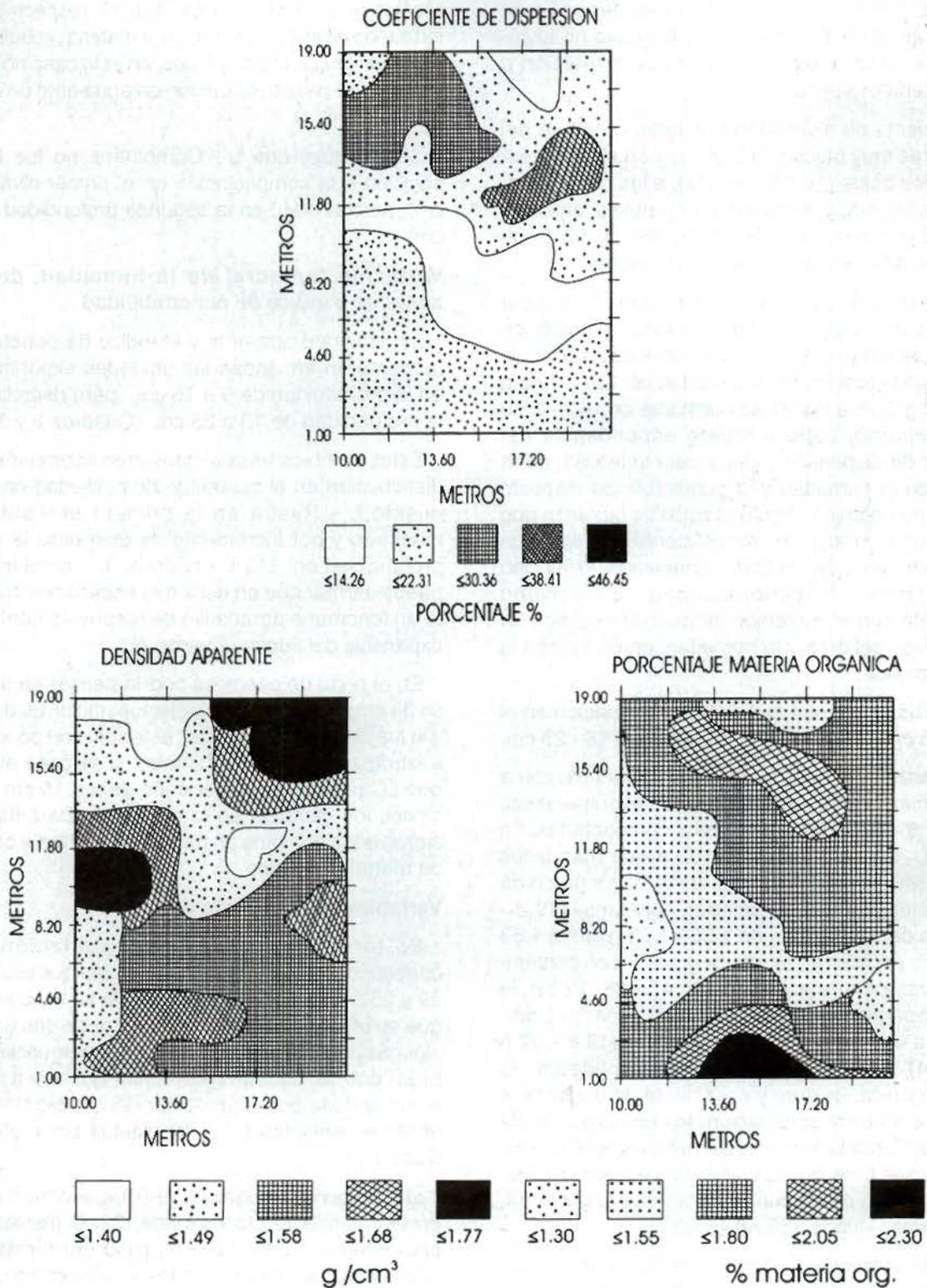


FIGURA 2. Distribución geográfica del coeficiente de dispersión (%), densidad aparente (g/cm³) y materia orgánica (%) en 5-15 cm, en labranza cincel

Los valores de densidad en el rango de medio a alto (1.55 - 1.60 g/cm³), en casi toda el área, dependieron del contenido de humedad, y en este caso no tuvieron relación clara con el coeficiente de dispersión o con la materia orgánica.

El coeficiente de dispersión presentó, en 85 % del área, valores muy bajos (< 18.56 %) y en el 15 % restante valores bajos (18.56 - 26.6 %), a las dos profundidades, reflejando la estabilidad del suelo al agua. El porcentaje de arena más limos explicó en 60 % su distribución a través de una relación inversa.

De 15 a 25 cm fue evidente que, dada la escasa profundidad de trabajo, no se pudo mejorar la condición de compactación y ésta apareció en más de un 30 % de la parcela con cambios en la densidad de 1.31 - 1.46 a 1.46 - 1.62 g/cm³ a humedad constante de 16.7 - 23.8 %. Sin embargo, hubo evidente dependencia del coeficiente de dispersión y de la penetrabilidad, de la textura; y de la humedad y la penetrabilidad respecto de la materia orgánica, frente al estilo de labranza que no fue realmente reducido: el coeficiente de dispersión en un 65 % del área dependió directamente de la fracción arena + limos; la penetrabilidad correlacionó directamente con el contenido de materia orgánica en más del 75 % del área y la humedad, en 60 %, con la materia orgánica.

En síntesis, L - Rastra redujo la compactación en el nivel 5 - 15 cm, pero no en la profundidad 15 - 25 cm.

La labranza combinada no fue la mejor solución a los problemas físicos de este suelo en el primer nivel, ya que en 5 - 15 cm hubo dos áreas compactadas. En la primera, con los contenidos de arena más limos más altos (66.12 - 67.79 %), se dio el mayor grado de compactación porque a humedad constante (19.2 - 22.6 %), la densidad pasó de 1.56 - 1.63 g/cm³ a 1.63 - 1.7 g/cm³; en la otra, de menor grado y con contenidos menores de arena + limos (64.47 - 66.12 %), la densidad aparente pasó de 1.49 - 1.56 g/cm³ a 1.56 - 1.6 g/cm³ a la misma humedad anterior (19.2 - 22.6 %; Figura 4). La independencia de la humedad de la materia orgánica, textura y coeficiente de dispersión, confirma la anterior apreciación. No obstante, en la segunda profundidad los efectos fueron beneficiosos, ya que la zona compactada ocupó un espacio reducido (30 %) en las áreas con relativa mayor concentración de arena + limos (65.88 - 67.96 %).

El resto de la parcela tuvo medianas densidades (1.49 - 1.56 g/cm³) y bajos índices de penetrabilidad (< de 10.2 kg/cm²), acordes con un mediano contenido de humedad (16.7 - 23.8 %). El coeficiente de dispersión predominante fue muy bajo (10.5-18.56 %) y bajo (18.56

- 26.61 %), correlacionó positivamente con la materia orgánica (1.0 - 1.51 % y 1.51 - 1.99 %, respectivamente), indicando de nuevo que si bien la materia orgánica tiende a asociarse con arcilla y limos, en este caso no aseguró su eventual desestabilización en agua ante un esfuerzo mecánico.

Se concluye que L - Combinada no fue la mejor solución a la compactación en el primer nivel (5 - 15 cm), pero la alivió en la segunda profundidad (15 - 25 cm).

Variación temporal de la humedad, densidad aparente e índice de penetrabilidad

La densidad aparente y el índice de penetrabilidad aumentaron en todas las unidades experimentales, en la profundidad de 5 a 15 cm, pero decrecieron en la profundidad de 15 a 25 cm (Cuadros 2 y 3).

Estos cambios físicos estuvieron acompañados por disminución en el contenido de humedad en el tratamiento L - Rastra en la primera profundidad de muestreo y por incremento de ésta para la segunda profundidad en LC, L - rastra y L - combinada; se puede afirmar que en esos tres escenarios se presentó un fenómeno agradoativo de respuesta contractiva y expansiva del suelo (Cuadro 4).

En el resto de casos se podría pensar en un proceso de amasamiento incipiente superficial. Es decir, que a la luz de estos promedios, este suelo respondió mejor a labranza vertical combinada, si se tiene en cuenta que LC propició el mayor daño de 5 a 15 cm y en L - cincel, los cambios en la densidad aparente obedecieron a los cambios en humedad, textura y contenido de materia orgánica.

Variables de respuesta del cultivo

En términos promedios, la **población inicial** correspondió a la densidad de siembra que estuvo entre 29 y 35 plantas por metro lineal, si se tiene en cuenta que en estos suelos y para esta especie son habituales algunas pérdidas en germinación y emergencia (Cuadro 5). La **población final** estuvo más ajustada a la óptima recomendada por el productor del híbrido D - 61 para altos rendimientos (15 - 18 plantas por metro lineal; Cuadro 5).

La emergencia de plántulas se vio especialmente afectada en el tratamiento L-combinada (22.09 plantas/m), sin considerarse inadecuado, seguido por L-rastra (26.71 plantas/m). No obstante, estos resultados no coinciden con las peores condiciones de humedad de preparación que tuvieron lugar en el LC, en donde, paradójicamente, ocurrió la más alta emergencia, lo cual refleja que el suelo todavía está en buena condición física.

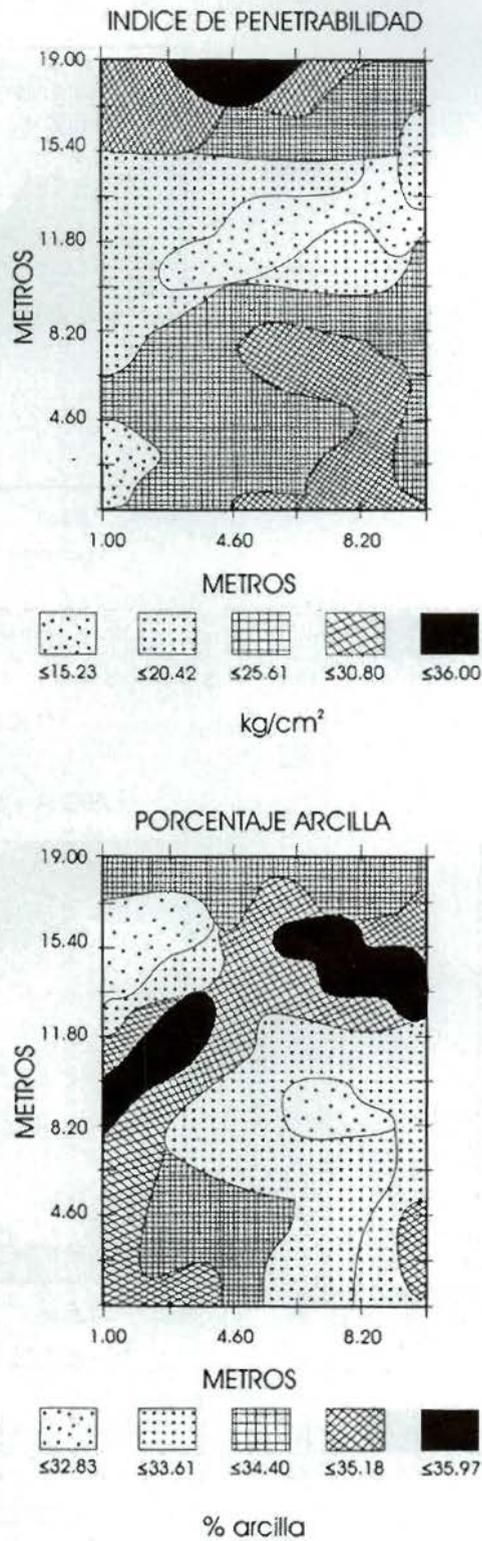


FIGURA 3. Distribución geográfica del índice de penetrabilidad (kg/cm²) y el contenido de arcillas (%) en 5-15 cm, en labranza rastra

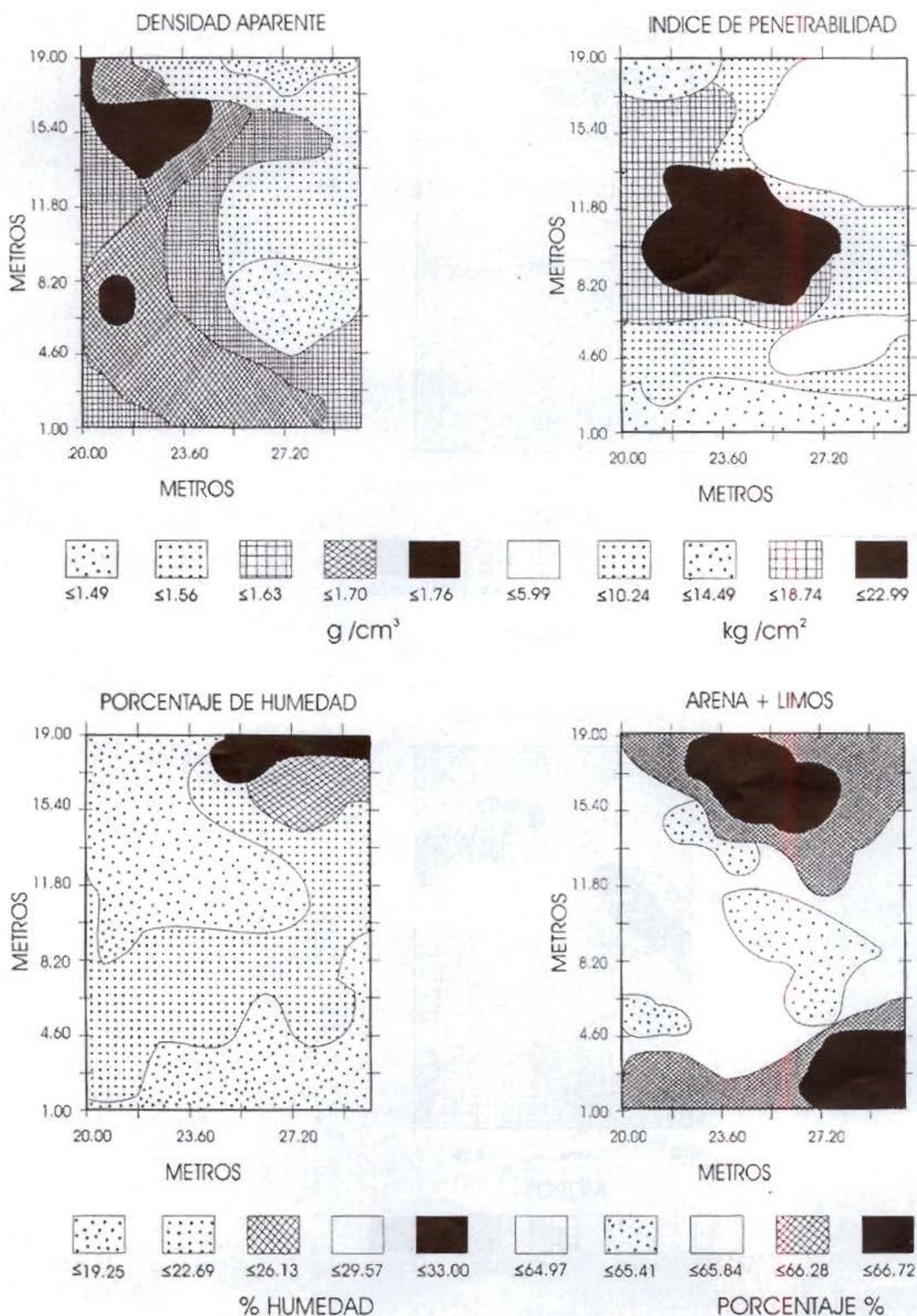


FIGURA 4. Distribución geográfica de la densidad aparente (g/cm³), índice de penetrabilidad (kg/cm²), humedad (%) y arenas + limos (%) en 5-15 cm, en labranza combinada

CUADRO 2. Variación de la densidad aparente a dos profundidades; valores promedio (g/m³)

TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD	$\bar{X}A$	$\bar{X}B$	DESVIACION ESTANDAR A	DESVIACION ESTANDAR B	S ² A	S ² B
L - Convencional		1.32	1.49	0.14	0.13	0.02	0.016
L - Reducida Cincel		1.37	1.53	0.12	0.12	0.01	0.014
L - Reducida Rastra	5 - 15 cm	1.41	1.43	0.09	0.12	0.009	0.014
L - Combinada		1.42	1.51	0.11	0.12	0.012	0.014
L - Convencional		1.59	1.43	0.09	0.08	0.008	0.006
L - Reducida Cincel		1.57	1.50	0.06	0.07	0.004	0.005
L - Reducida Rastra	15 - 25 cm	1.58	1.52	0.03	0.07	0.001	0.005
L - Combinada		1.60	1.50	0.05	0.07	0.004	0.005

 $\bar{X}A$ = Media de datos iniciales $\bar{X}B$ = Media de datos finalesS²A = Varianza datos inicialesS²B = Varianza datos finales**CUADRO 3. Variación del índice de penetrabilidad a dos profundidades en el transcurso del semestre; valores promedio (kg /cm²)**

TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD	$\bar{X}A$	$\bar{X}B$	DESVIACION ESTANDAR A	DESVIACION ESTANDAR B	S ² A	S ² B
L - Convencional		11.99	16.00	2.97	5.52	8.87	30.47
L - Reducida Cincel		9.79	15.00	2.77	4.61	7.75	21.25
L - Reducida Rastra	5 - 15 cm	10.01	16.00	3.40	4.60	11.60	21.16
L - Combinada		8.97	11.70	1.69	4.62	2.86	21.34
L - Convencional		17.35	16.00	3.19	4.38	10.21	19.18
L - Reducida Cincel		16.85	17.00	3.56	4.50	12.72	20.25
L - Reducida Rastra	15 - 25 cm	18.58	14.00	4.78	4.50	22.87	20.25
L - Combinada		15.33	15.00	2.73	4.51	7.47	20.34

 $\bar{X}A$ = Media de datos iniciales $\bar{X}B$ = Media de datos finalesS²A = Varianza datos inicialesS²B = Varianza datos finales

CUADRO 4. Variación del porcentaje de humedad a dos profundidades valores promedio (%)

TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD	$\bar{X}A$	$\bar{X}B$	DESVIACION ESTANDAR A	DESVIACION ESTANDAR B	S ² A	S ² B
L - Convencional		19.30	22.51	1.01	3.98	1.03	15.84
L - Reducida Cincel		19.66	19.81	2.23	3.90	4.99	15.21
L - Reducida Rastra	5 - 15 cm	21.90	18.62	10.65	3.90	113.4	15.21
L - Combinada		21.33	21.40	2.37	3.90	65.64	15.21
L - Convencional		19.78	23.40	3.29	3.28	10.83	10.75
L - Reducida Cincel		21.22	19.70	4.06	3.06	16.56	9.36
L - Reducida Rastra	15 - 25 cm	17.57	19.07	2.98	3.06	8.90	9.36
L - Combinada		21.44	22.01	4.21	3.06	17.80	9.36

 $\bar{X}A$ = Media de datos iniciales $\bar{X}B$ = Media de datos finalesS²A = Varianza datos inicialesS²B = Varianza datos finales**CUADRO 5. Producción total, altura final de plantas y pérdida promedio de población en cada uno de los tratamientos**

TRATAMIENTO	PRODUCCION	POBLACION INICIAL	POBLACION FINAL	ALTURA FINAL	PERDIDA PLANTAS	PERDIDA PLANTAS
		\bar{X} PLAN/m	\bar{X} PLAN / m	PLANTAS cm	\bar{X} /m	%
	g/m2					
	\bar{X} g/m2					
T1	1 650					
L-Convenc.	2 637.1 629.4	29.42	16.88	147.02	10.7	36.6
	3 604.1					
T2	1 628.5					
L-Cincel	2 585 618	28.47	16.88	144.47	10.9	34.6
	3 640.7					
T3	1 738.5					
L-Rastra	2 652.8 665.1	26.71	16.70	140.9	10.2	38.9
	3 604.2					
T4	1 648.5					
L-Convenc.	2 578.5 583.7	22.09	16.36	143.0	10.7	34.6
	3 524.2					

 \bar{X} Promedio

Si bien no se observaron diferencias en la **pérdida de población**, las diferencias porcentuales respecto a la población inicial fueron apreciables, presentándose los mayores valores en L - rastra y LC, en su orden; sin embargo y paradójicamente, estos dos tratamientos mostraron los más altos rendimientos. Lo anterior se explicaría porque la población final se niveló en todas las unidades experimentales de manera natural debido, probablemente, a factores medioambientales (Cuadro 5).

En cuanto al **rendimiento**, el mayor valor promedio correspondió a L - rastra, seguido de lejos por LC; L - cincel y L - combinada se efectuaron en condiciones menos graves en cuanto a humedad de labranza y, sin embargo, el rendimiento en estas parcelas ocupó el tercer y cuarto lugar, de mayor a menor, respectivamente. No obstante, un ataque de pájaros en las proximidades de la cosecha interfirió en los valores de

rendimiento, razón que no permite concluir acerca del efecto de la labranza sobre el rendimiento.

Con relación a la altura final de plantas, se detectó diferencia entre los tratamientos LC (147.02 cm, el mayor de todos), y L-rastra (140.9 cm, el más bajo del ensayo). Los tratamientos L - cincel y L - combinada presentaron alturas promedio de 144.7 y 143.0 cm, respectivamente (Cuadro 5).

En general, no se observó relación directa entre el mejoramiento (o empeoramiento) de la condición física del suelo y las variables de respuesta del cultivo. Hay que considerar, entonces, como sucedió en el caso del rendimiento, que la interferencia de otros factores medioambientales no controlados no permitió precisar el efecto de la condición física del suelo creada por la labranza, sobre las variables de respuesta del cultivo.

BIBLIOGRAFIA

- AMEZQUITA, E. et al. Efecto de la labranza en algunas propiedades físicas de un suelo andino. *En: Suelos Ecuatoriales*. 21 (1): 68-75. 1991.
- ARGUELLO, R. Influencia de la labranza en la estabilidad estructural de un suelo andino. Santafé de Bogotá, 1991, 92 p. Tesis (Agrólogo). Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Agrología.
- CARRILLO, A. L.; HERRERA, O. A. y MADERO, E. E. Alivio físico de un vertisol ústico mediante prácticas mecánicas y su efecto sobre la producción de soya *Glycine max* Merr. *En: Acta Agron.* 47 (2): 32-38. 1997.
- GONZALEZ, A. E. Anotaciones sobre física de suelos. Palmira : Universidad Nacional de Colombia, 1983. 108 p.
- GONZALEZ, A. Alteraciones de las variables fisiológicas de la soya bajo diferentes sistemas de labranza. Palmira, 1985. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia.
- GONZALEZ, W. y TERREROS, G. Producción de soya bajo tres sistemas de labranza. Palmira, 1986, 94 p. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia.
- GUERRERO, L. Análisis de la siembra sin labranza S.L., S.E. 1.985. 7 p. (Documento mimeografiado del programa de maquinaria agrícola ICA).
- GUROVICH, L. A. Estructura de la variabilidad espacial de las propiedades hidrodinámicas de los suelos. *En: Ciencia e Investigación Agraria (Chile)*. 9 (3): 243-254. 1982.
- HAYHOE, H.; DWYER, L.; BALCHIN, D. and CULLEY, L. Tillage effects on corn emergence rates. *En: Soil Till. Res.* 26 (3): 45-53. 1993.
- HILL, R. L. Long-term conventional and No-tillage effects on selected soil properties. *En: Soil Sci. Soc. Am. J.*, 5: 161-166. 1990.
- MENESES, O. Efecto de cuatro sistemas de labranza e incorporación de abono verde sobre las propiedades físicas de un suelo del CNIAP. Palmira, 1988, 111 p. Tesis (M.Sc.). Universidad Nacional de Colombia.
- NIELSEN, D. R.; TILLOTSON, P. M. and VIERA, S. R. Analysing field measured soil water properties. *En: Agr. Water Manag.* 6 (2): 93-109. 1983.
- REICHARDT, K.; VIERA, S. R. y LIBARDI, P. L. Variabilidad espacial de solo e experimentacao de campo. *En: Rev. Bras. Ciencia Solo*, 10 (1): 1-6. 1986.
- RODRIGUEZ, J. C. y SOTO, V. M. Influencia de tres sistemas de preparación en algunas propiedades del suelo. Palmira, 1992, 103p. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia.
- ROJAS, G. Comparación de tres sistemas de labranzas en maíz durante cuatro temporadas. *En: Ciencias e Investigación Agraria (Chile)*. 12 : 9-12. 1986.
- VIEIRA, W. R.; HATFIELD, J.W. and NIELSEN, D. R. Spatial variability of field measured infiltration rate. *En: Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45 (5): 1082-1086. 1982.
- WEBSTER, R. and BURGESS, T.M. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties, III. Changing drift and universal kriging. *En: J. Soil Sc.*, 31 (2): 505 - 524. 1980.
- YANG, S. y QUINTERO, R. Efecto de los métodos de preparación del suelo en el desarrollo y producción de la caña de azúcar en el Valle del Cauca. *En: Suelos Ecuatoriales*, 17 (2): 64-71. 1987.