

## EFFECTOS DE TRATAMIENTOS DE LABRANZA SOBRE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION DE UN ANDISOL.

JAVIER JIMÉNEZ<sup>1</sup>, HAMER PUENTES<sup>1</sup> Y FABIO R. LEIVA<sup>2</sup>.

### RESUMEN

Se evaluó el efecto sobre la resistencia a la penetración de cuatro implementos de labranza (arado de cinceles, arado de discos, rastrillo californiano y arado rotatorio) en un Andisol (Andic-Eutropept) serie Tibaitatá. Para las medidas, se utilizó un penetrómetro registrador digital. Los resultados mostraron que los tratamientos que involucraron arado rotatorio y arado de discos y rastrillo fueron los que causaron el mayor grado de aflojamiento del suelo. Sin embargo, dichos tratamientos fueron los más susceptibles a la compactación por pase de llantas. No se pudo concluir lo planteado por la literatura de que el fondo de surco de arado es una zona de alto riesgo de compactación del subsuelo. La resistencia a la penetración resultó un buen indicador para evaluar efectos físicos sobre el suelo causados por implementos de labranza y por el tránsito de maquinaria.

**Palabras clave:** Labranza, resistencia a penetración, compactación, Física de suelos.

### EFFECTS OF TILLAGE TREATMENTS ON PENETRATION RESISTANCE ON AN ANDISOL.

### ABSTRACT

The effects on Cone Penetration Resistance caused by four tillage implements (chisel plow, disk plough, disk harrow and rototiller) were assessed on an Andisol, using a digital penetrometer. The results showed the treatments using rota-tiller and those using disk plough and disk harrow caused the maximum soil loosening. However those treatments were the most sensitive to compaction due to the traffic of tractor wheels. This work did not present conclusive evidence that bottom of furrow made by disk plough is a place of high risk for subsoil compaction. Cone penetration resistance looks like a good index to assess changes in physical properties of the soil caused by tillage operations and machinery traffic.

### INTRODUCCION

Recientemente, en el país, se ha venido tomando conciencia sobre el grave daño causado en suelos agrícolas, a causa de prácticas de labranza que involucran uso incorrecto de implementos agrícolas y tránsito excesivo de maquinaria durante las diferentes etapas del cultivo. Estas prácticas, generalmente, conllevan a compactar el suelo, repercutiendo negativamente sobre los rendimientos de los cultivos. El conocimiento y análisis de los factores que causan la compactación ayudará a tomar las medidas necesarias para evitarla en lo posible, o bien para hacer los correctivos del caso en suelos compactados. La resistencia a la penetración es uno de los pará-

1. Ingenieros Agrícolas Universidad Nacional.

2. Profesor, Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia. Apartado Aéreo 78299, Bogotá, Colombia.

metros más importantes para evaluar, cuando se quiere medir el efecto de implementos de labranza o de tránsito de maquinaria agrícola sobre la impedancia mecánica del suelo. Un suelo suelto tendrá una resistencia baja a la penetración, mientras que un suelo compacto tendrá una resistencia elevada. Con base en lo anterior, se planteó el presente trabajo con los siguientes objetivos:

-Determinar la variación de la resistencia a la penetración del suelo por efecto de la operación de implementos de labranza.

-Determinar el grado de compactación producida por el pase de ruedas de tractor sobre suelo labrado.

## REVISION DE LITERATURA

La resistencia de un suelo a la penetración de un instrumento de sondeo es un índice integrado de la compactación del suelo, contenido de humedad, textura y tipo de mineral de arcilla (Baver et al., 1973).

Una medida objetiva de la resistencia a la penetración de un suelo puede ser obtenida con un instrumento llamado penetrómetro de cono; el cual consiste de un cono con un ángulo de 30 grados en la punta de un eje graduado y con un medidor de la fuerza de la penetración, que es forzado dentro del suelo. En Ingeniería Agrícola, de acuerdo con la consistencia del suelo, es normal utilizar dos tamaños de cono ( 12,83 mm ó 20,27 mm). La resistencia a la penetración, comunmente, se expresa en términos de la fuerza dividida por el área de la base del cono, llamada el índice de cono (Ashburner y Sims, 1984).

La resistencia a la penetración del cono es afectada por factores, tales como presencia de piedras, fricción entre el suelo y el eje de metal, compactación del suelo cerca al cono (O'Sullivan et al., 1987),

contenido de humedad del suelo (Baver et al., 1973; Ayers y Perumpral, 1982; Mantovani, 1987) y densidad aparente del suelo (Ayers y Perumpral, 1982; Forsythe, 1985). De todos estos factores el más importante parece ser el contenido de humedad, sin que, aún, se haya encontrado una relación clara entre las lecturas con penetrómetro y la cantidad de agua del suelo (Baver et al., 1973).

La relación entre resistencia a la penetración y densidad aparente de un suelo varía de un tipo de suelo a otro y, para un determinado suelo, esa relación depende del contenido de humedad. Lo mismo sucede cuando un contenido de humedad es usado, pues la relación de lecturas de penetración y densidad aparente del suelo pueden ser diferentes entre un suelo compactado en condiciones de laboratorio, cuando es comparado con el mismo compactado en condiciones de campo (Mantovani, 1987).

La resistencia al cono ha sido empleada para varias aplicaciones, incluyendo la determinación de efectos residuales de labranza por máquinas agrícolas (Threadgill, 1982; O'Sullivan et al., 1987), compactación del suelo por tránsito vehicular (Shulka y Ravaló, 1976, Rowse y Goodman, 1984; CENICAÑA, 1985-1989; O'Sullivan et al., 1987). Otros autores mencionan otros usos, tales como la predicción de la fuerza de tiro (Gill y Vanden Berg, 1967), cálculo de la resistencia al rodamiento (Gee, 1980) y determinación de la resistencia a la penetración de raíces y emergencia del embrión de las semillas (Bowen, 1981; Hakansson et al., 1988).

Se ha encontrado una alta correlación entre la compactación del suelo y la resistencia a la penetración del cono. Varios autores citados por Threadgill (1982), aceptan el criterio de que los valores de resistencia al cono mayores a 2 megapascales (MPa<sup>2</sup>),

frecuentemente, reducen los rendimientos de los cultivos y valores por encima de 1,5 MPa, frecuentemente, reducen el crecimiento de las raíces. Rowse y Goodman (1984) afirman que no es posible definir un aceptable nivel de compactación, pero la mayoría de niveles de resistencia al cono de 2 MPa causados por el tractor en condiciones húmedas ocasionan severa compactación.

En muchos de los estudios de compactación de suelos, la resistencia del suelo ha sido caracterizada por medio de penetrómetros de varios tipos. Sin embargo, la utilidad y universalidad de las medidas con penetrómetro es, aún, limitada por la deficiencia en cuanto a la estandarización de diseño y procedimientos (Hillel, 1982). Pero, recientemente, tanto en Europa como en los EEUU, se ha popularizado el uso del penetrómetro de cono, principalmente del tipo registrador ( Threadgill, 1982; Rowse y Goodman, 1984; O'Sullivan et al., 1987).

## MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se realizó en el Centro Agropecuario "Marengo" de la Universidad Nacional de Colombia, ubicado en el Municipio de Mosquera, Departamento de Cundinamarca, sobre un Andisol serie Tibaitatá, cuyas características se pueden observar en el cuadro 1.

Los valores anteriores fueron determinados para la capa arable (0-30 cm). El tamaño de muestra fue definido con base en el modelo bietápico de Stein (Forshyte, 1985).

Para esas determinaciones, el número de muestras fue, en todos los casos, superior a diez.

Para la determinación de la Resistencia a la Penetración se, utilizó el penetrómetro registrador digital BUSH RECORDING SOIL PENETROMETER, MARK I MODEL 1976, equipado con un beeper audible ajustado a 50 Kg para protección de sobrecargas. Las lecturas tienen una precisión de 0,5 Kg y se hicieron con un cono de 30 grados, con diámetro de base de 12,83 mm. El intervalo de lectura en profundidad es de 3,5 cm.

### Maquinaria y equipo agrícola utilizado.

El tractor usado para los implementos de labranza y para las pruebas de compactación fue un Ford 5000 con un peso sin lastre de 26152,6 N (Nebraska Tractor Test, 1968). Las llantas delanteras fueron lollantas FF-4 7.50 x 16 y las llantas traseras lollantas R-1 13.6 x 38 infladas a una presión de 84 KPa. Las características de los implementos de labranza utilizados se resumen en el cuadro 2.

**Diseño y análisis estadístico.** Se definieron tres experimentos correspondientes a los distintos implementos utilizados (ver cuadro 3). Cada experimento incluyó diferentes tratamientos de labranza y de compactación por tránsito del tractor. Las lecturas de resistencia a penetración para cada tratamiento se realizaron mediante un muestreo al azar en parcelas de 10 m x 11 m. Para evitar interferencia y dependencia entre lecturas, se siguió la recomenda-

Cuadro 1. Características del suelo en estudio

Textura (%)			Materia Orgánica (%)	Índice Plástico (%)	Densidad Real (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)
arena	limo	arcilla					
28,08	25,9	46,02	7,99	29,17	1,92	1,31	31,77

**Tabla 2.** Características implementos de labranza usados

Implemento	marca	modelo	prof. opera. (cm)	ancho opera. (cm)	otras caract.
Arado de disco	Apolo	TD-17	25-30	90	Integral 3 discos
Arado de cincel vibratorio	International Harvester	-	25-30	290	De tiro 15 cinceles
Arado rotatorio	Intall	RC-B-155	15-20	155	Integral 36 cuchillas
Rastrillo californiano	Managro		10-12	210	De Tiro 20 discos

**Cuadro 3.** Experimentos y tratamientos

experimento	tratamiento (medida realizada)
1.Arado de cinceles	T1. antes de pasar la máquina (suelo sin disturbar) T2. un pase de cincel T3. dos pases de cincel (cruzados) T4. un pase de llanta sobre el suelo con dos pases de cincel.
2.Arado de discos y rastrillo californiano	T1. antes de pasar la máquina (suelo sin disturbar) T2. lecturas en terrones dejados por el arado T3. 1 arada + 1 rastrillada T4. un pase de llanta sobre el suelo, con 1 arada y 1 rastrillada T5. dos pases de llanta sobre el suelo con 1 arada y 1 rastrillada T6. arada + 2 rastrilladas T7. fondo del surco del arado T8. un pase de llanta sobre el fondo del surco del arado
3. Arado rotovator	T1. antes de pasar máquina (suelo sin disturbar) T2. un pase de rotovator T3. dos pases de rotovator T4. un pase de llanta sobre el suelo, con un pase de rotovator T5. un pase de llanta sobre el suelo, con dos pases de rotovator

ción dada por O'Sullivan et al., (1987), estableciendo planos perpendiculares al sentido de avance de la máquina, a intervalos entre sí de 2 m; sobre cada uno de estos planos y en sentido longitudinal se realizaron las penetraciones distanciadas

entre sí 1 metro. Simultáneamente, se tomaron muestras para densidad aparente y humedad, antes y después del paso de maquinaria. La cantidad promedia total de

penetraciones realizadas por tratamiento fue de 20.

El análisis estadístico de la información obtenida se realizó utilizando el paquete SAS, mediante un ANAVA, para cada experimento, comparando, los valores promedios por profundidad entre tratamientos. Para el manejo de datos, se empleó un análisis de varianza de una vía, planteando un modelo lineal aditivo tipo fijo. La compa-

**Cuadro 4.** Valores de resistencia a penetración (Mpa) para el Experimento 1.

PROFUNDIDAD (cm)	T1	T2	T3	T4	CV %
3,5	2,02a	0,71b	0,57b	0,70b	66,60
7,0	2,63a	1,47b	1,28b	1,32b	47,65
10,5	2,60a	1,86b	2,13ab	1,97ab	35,97
14,0	2,65a	2,48a	2,94a	2,76a	32,00

los valores promedios antes de pasar la máquina.

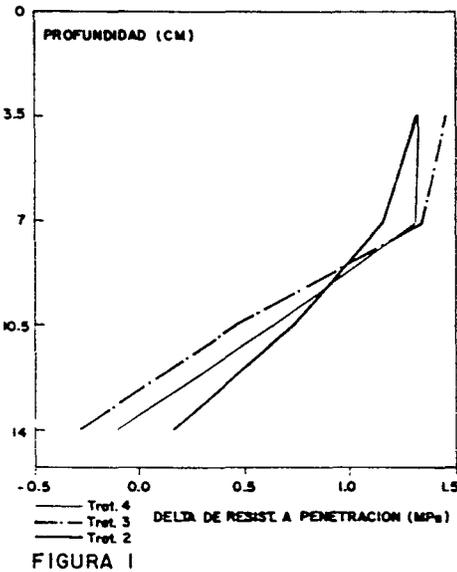
## RESULTADOS Y DISCUSION

### Experimento uno (tratamientos con arado de cinceles).

El efecto del arado de cinceles sobre el suelo alcanzó una profundidad cercana a los 10,5 cm. Esta escasa profundidad de la labor, posiblemente, se debió a la dureza del suelo durante la prueba y a que la potencia suministrada por el tractor para mover este implemento resultó escasa. La humedad promedio durante la prueba fue de 25,5%.

Los valores promedios de resistencia para profundidades hasta 7,0 cm no arrojaron diferencias significativas entre uno y dos pases con el cincel (ver cuadro 4). Los resultados de la prueba de compactación con la rueda del tractor (tratamiento cuatro) no fueron concluyentes, puesto que no causó aumento en la resistencia a la penetración. Este hecho es un indicador del grado de dureza del suelo y del relativamente bajo aflojamiento del suelo causado por el cincel. Dado el interés actual por el uso de arado de cinceles, se recomienda continuar evaluando este implemento.

Para visualizar mejor el efecto de este implemento, los resultados de las diferencias (deltas) entre el tratamiento 1 con los demás tratamientos (2, 3 y 4) se presentan en la figura 1.



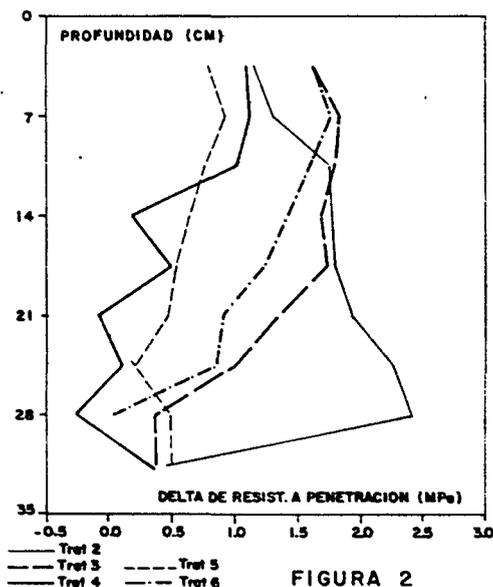
**FIGURA 1.** Deltas de resistencia a penetración para el Experimento 1.

ración entre medias se realizó mediante la prueba F, para niveles de significancia del 5% y 1%. Para la comparación de medias, donde la prueba F presentó significancia, se empleó la prueba de Duncan que permite hacer comparaciones múltiples (Steel y Torrie, 1985; Reyes Castañeda, 1978).

Para visualizar más claramente los efectos de las máquinas se realizaron curvas de deltas de resistencia a la penetración vs profundidad, tomando como datum inicial

**Cuadro 5.** Valores de resistencia a penetración (Mpa) para el Experimento 2 (no incluye fondo de surco)

Profundidad (cm)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	CV (%)
03,5	1,80a	0,640bc	0,18c	0,70b	1,00b	0,19c	78,15
07,0	2,08a	0,780b	0,25c	0,96b	1,15b	0,33c	49,67
10,5	2,16a	0,410c	0,37c	1,13b	1,40b	0,57c	52,21
14,0	2,29a	0,510b	0,60b	2,10a	1,63a	0,87b	57,94
17,5	2,49a	0,705c	0,77c	1,98ab	1,95ab	1,25bc	58,86
21,0	2,40a	0,476d	1,07cd	2,48a	1,93ab	1,48bc	52,10
24,5	2,78a	0,533b	1,77a	2,65a	2,57a	1,92a	45,37
28,0	2,77a	0,362b	2,40a	3,02a	2,73a	2,73a	38,72



**FIGURA 2**

**FIGURA 2.** Deltas de resistencia a penetración para el Experimento 2.

**Experimento dos (tratamientos con arado de discos y rastrillo californiano).**

La prueba con el arado de discos mostró que el efecto de este implemento, además de fallar el suelo y producir terrones, tiene que ver con la baja resistencia a la penetración de los terrones recién formados (ver cuadro 5). Este comportamiento se debe a

que los terrones formados no están sometidos a los esfuerzos de confinamiento que produce la masa de suelo que circunda las partículas del mismo cuando se encuentra inalterado. Adicionalmente, puede ocurrir debido a fisuras causadas en los terrones por el arado en su proceso de corte del suelo .

La profundidad de arada medida directamente fue de aproximadamente 24 cm. Nótese que los tratamientos tres (arado + rastrillada) y seis (arado + 2 rastrilladas) hasta una profundidad de 21,0 cm, muestran, diferencias significativas con respecto al testigo. Al comparar los tratamientos tres y seis entre sí, no se encontraron diferencias significativas en los primeros 14 cm de profundidad, a profundidades de 17.5 cm, y de 21 cm se presentó algún grado de significancia. Los valores de resistencia en el tratamiento seis fueron superiores a los valores obtenidos en el tratamiento tres, lo cual indica que el segundo pase del rastrillo causó algún efecto de compactación en el suelo, al contenido de humedad de la prueba (30,6 %).

En las pruebas de compactación (tratamientos cuatro y cinco), se presentó un incremento considerable en la resistencia a la penetración desde la superficie del

**Cuadro 6.** Valores de resistencia a penetración (Mpa) para el fondo de surco en Experimento 2 (arado de discos)

Profundidad (cm)	T7	T8	T9	CV %
17,5	1,60a	1,79a	2,01a	20,3
21,0	2,72a	2,37a	3,29a	23,6
24,5	3,35a	2,64a	3,32a	13,0

suelo hasta una profundidad de 21,0 cm. Obsérvese que a partir de los 14,0 cm de profundidad, el suelo, previamente arado y rastrillado, por efecto de compactación por tránsito del tractor, alcanza valores de resistencia similares a los del suelo inalterado. Al comparar el tratamiento cuatro con el tratamiento cinco, no se encontraron diferencias significativas, aún cuando los valores medios de resistencia con el tratamiento cinco son superiores en los primeros 10,5 cm. Este hecho concuerda con resultados de otras investigaciones, en el sentido de que, si bien es cierto que a mayor número de pases con el tractor, la compactación se incrementa por efecto acumulativo, el primer pase sobre suelo suelto produce mayor efecto.

En la figura 2, se muestran las diferencias (deltas) entre la resistencia a la penetración en suelo inalterado (tratamiento 1) y dicha resistencia para los diferentes tratamientos. Obsérvese el efecto considerable de los tratamientos con arado más rastrillo

(tratamientos 3 y 6), especialmente el del tratamiento 3 (una arada más un pase de rastrillo). Para el caso de los terrones, debe considerarse el hecho de que al introducir el cono puede llegar a fallar el terrón, por lo cual los valores de deltas resultan elevados a mayores profundidades.

En la prueba de resistencia del fondo de surco dejado por el arado de discos, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (ver cuadro 6). Sin embargo, los valores medios de resistencia en el fondo de surco antes de pasar el tractor (tratamiento siete) resultaron inferiores a aquéllos obtenidos después de pasar el tractor (tratamiento ocho). Si bien se observa esta tendencia, con los resultados obtenidos no se puede concluir lo planteado por diferentes autores, en el sentido de que el fondo de surco del arado es una zona de alto riesgo de compactación del subsuelo. La resistencia del suelo a los 17,5 cm de profundidad es menor frente a la del testigo, aún después de pasar la rueda del

**Cuadro 7.** Valores de resistencia a penetración (Mpa) para el Experimento 3.

Profundidad (cm)	T1	T2	T3	T4	T5	CV (%)
3,5	1,23a	0,14b	0,11b	0,51b	0,40b	100,2
7,0	2,19a	0,17c	0,17c	1,04b	0,61bc	39,5
10,5	2,28a	0,36bc	0,20c	2,34a	0,95b	44,4
14	2,55a	0,94bc	0,22c	2,62a	1,64ab	51,7
17,5	2,54a	1,83a	0,40b	2,49a	2,78a	42,2
21	2,55a	2,48a	0,56b	3,12a	3,24a	38,6
24,5	2,96a	2,5ab	1,47b	3,45a	2,86a	32,0
28	3,02a	2,46a	2,51a	3,12a	3,07a	25,9

tractor sobre el surco. Este hecho muestra el efecto sobre el subsuelo del alivio de carga al ser removido suelo. por acción del arado, en la formación del surco.

**Experimento tres (tratamientos con arado rotatorio).** Los tratamientos que involucraron el uso del arado rotatorio mostraron un efecto considerable en la disminución de la resistencia a la penetración con respecto al suelo inalterado (ver cuadro 7). El efecto se observa con un pase de arado rotatorio (tratamiento dos), hasta aproximadamente 17,0 cm y, hasta unos 25,0 cm con dos pases de arado rotatorio (tratamiento tres). No se encontraron diferencias significativas entre pasar una o dos veces el arado rotatorio, en los primeros 10,0 cm de profundidad. A partir de esta profundidad, se presentaron diferencias en favor del segundo pase del arado rotatorio. La mayor profundidad de

labor, cuando se sometió el suelo al tratamiento tres, se puede atribuir a las siguientes causas: a) el aflojamiento del suelo causado por el primer pase produce un alivio de esfuerzos geostáticos, debido a la disminución de la densidad aparente del suelo, lo cual permite un mayor efecto en profundidad del implemento en el segundo pase; b) el estado de aflojamiento del suelo que dejó el primer pase permite que el patín del arado rotatorio profundice más, aumentando la profundidad de operación de la máquina.

Las diferencias de resistencia entre el suelo inalterado (tratamiento 1) y los tratamientos a los cuales se sometió el suelo (tratamientos 2,3,4 y 5) se presentan en la figura 3.

Las pruebas de compactación (tratamientos cuatro y cinco) mostraron que un pase de llantas del tractor en suelo suelto es suficiente para causar una compactación considerable (ver cuadro 7). En el tratamiento cuatro (un pase de llantas del tractor después de un pase del arado rotatorio), la resistencia a la penetración alcanzó valores ligeramente mayores a los obtenidos en suelo inalterado a partir de 10 cm de profundidad. De otro lado en el tratamiento cinco (un pase de llantas del tractor después de dos pases de arado rotatorio), se presenta una situación similar a partir de los 17,0 cm.

**Comparación de los tres ensayos.**

Resumiendo, en forma general, los efectos encontrados, mediante el uso del penetrómetro, se puede afirmar lo siguiente:

Se pudo establecer la profundidad de operación de los implementos usados a partir del valor de la resistencia a la penetración del cono.

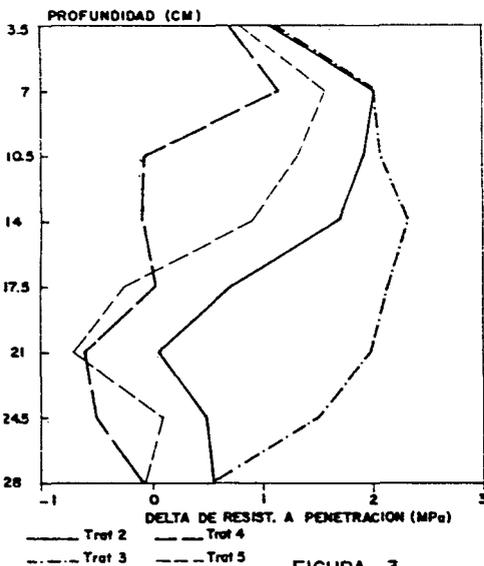


FIGURA 3

FIGURA 3. Deltas de resistencia a penetración para el Experimento 3.

Los ensayos con penetrómetro indicaron que, entre los diferentes tratamientos evaluados, dos pases con arado rotatorio presentó el mayor grado de aflojamiento del suelo, llegando a reducir la resistencia a la penetración con respecto al suelo inalterado hasta en 2,3 MPa. Este tratamiento y el tratamiento que involucró el uso combinado del arado de discos y el rastrillo californiano registraron los mayores valores de profundidad de la labor ( 25,0 cm y 24,0 cm respectivamente). De otro lado, los terrones formados por el arado de discos mostraron una considerable disminución en la resistencia a la penetración.

En relación a tránsito del tractor, fue evidente que un solo pase de llantas sobre terreno suelto (labrado) es suficiente para producir apreciable compactación. El mayor efecto de compactación por paso de las llantas del tractor se presentó en el tratamiento cuarto del experimento tres ( un pase de tractor después del pase del arado rotatorio).

Los resultados no fueron concluyentes sobre el alto riesgo de compactación del subsuelo a causa del paso del tractor sobre el fondo de surco dejado por el arado de discos.

Debido a que, en este trabajo, los ensayos con el arado de cincel vibratorio fueron afectados por la dureza del suelo y la baja potencia del tractor, se sugiere investigar más acerca del comportamiento de este equipo.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La resistencia a la penetración se presenta como un buen indicador para evaluar efectos físicos sobre el suelo causados por implementos de labranza y por el tránsito de maquinaria.

El penetrómetro registrador digital, utilizado en el trabajo, a pesar de su elevado costo, se mostró como un aparato confiable, fácil de usar y muy versátil.

La alta variación encontrada en los datos, a pesar del número elevado de repeticiones en cada tratamiento, indica que las evaluaciones con el penetrómetro deben ser intensivas en el número de penetraciones.

Para estudios posteriores, se recomienda evaluar la variación de la resistencia a la penetración en función del tiempo, como un modo de identificar efectos residuales de labranza.

También se recomienda evaluar correlaciones entre la resistencia a la penetración, la humedad y la densidad aparente del suelo.

## **LITERATURA CITADA**

1. ASHBURNER, J. y B. SIMS. Elementos de Diseño del Tractor y Herramientas de Labranza. IICACIDIA. San José, Costa Rica. 473 p. 1984.
2. AYERS, P.D. and J.V. PERUMPRAL. Moisture and Density Effects on Cone Index. Transactions of ASAE, 25: 1169-1172. 1982
3. BAVER, L.D.; W.H. GARDNER. y W.R. GARDNER. Física de Suelos. Uteha. México D.F. 529 p. 1973.
4. BOWEN, H.D. Alleviating Mechanical Impedance. In: Arkin G.F. and Taylor H.M. (Editors). Modifying The Root Environment to Reduce Crop Stress. ASAE Monograph Number 4. St Joseph, Michigan. USA. 1981
5. CENICAÑA. Informe anual. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE LA CAÑA DE AZUCAR, Colombia. 1984.
6. \_\_\_\_\_ Informe anual. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE LA CAÑA DE AZUCAR, Colombia. 1985.

7. \_\_\_\_\_ Informe anual. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE LA CAÑA DE AZÚCAR, Colombia. 1987
8. \_\_\_\_\_ Informe anual. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE LA CAÑA DE AZÚCAR, Colombia. 1989
9. FORSYTHE, W. Manual de Laboratorio-Física de suelos. IICA-CIDIA. San José, Costa Rica. 398 p. 1985.
10. GEE CLOUGH, D. Selection of Tyre Sizes for Agricultural Vehicles. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 25: 261-278. 1980
11. GILL, W.R. and G.E. VANDEN BERG. Soil Dynamics in Tillage and Traction. *Agricultural Handbook No.316*, USDA. 551 p. 1968.
12. HAKANSSON, J.; W.B. VOORHEES and H. RILEY. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. *Soil and Tillage Research*, 11:239-282. 1988
13. HILLEL, D. Introduction to soil physics. Academic Press Inc. London, United Kingdom Edition. 364 pp. 1982.
14. MANTOVANI, C.E. Compactação do Solo. Informe Agropecuario. Vol. 13.No.147. Belo horizonte, Brasil. 1987.
15. O'SULLIVAN, M.F.; J.W. DICKSON and D.J. CAMPBELL. Interpretation and Presentation of Cone Resistance Data in Tillage and Traffic Studies. *Journal of Soil Science*, 38:137-148. 1987
16. REYES CASTAÑEDA, P. Diseño de Experimentos Agrícolas. Trillas. México, D.F. pp 82-21. 1978.
17. ROWSE, H.R. and D. GOODMAN. Drilling Vegetables into Autumn Cultivated Soil with a Low Ground Pressure Vehicle: Effects on Timeliness and Soil Compaction. *Journal of Soil Science*, 35:347-355. 1984.
18. SHULKA, L.N. y E. J. RAVALO. Compactación del Suelo en los campos de Caña a causa de los Carros de Transporte. *Sugar y Azúcar*. Agosto pp 50-52.. 1976.
19. STEEL, R. y J. TORRIE. Bioestadística, Principios y Aplicaciones. Mc Graw Hill. 1980.
20. THREADGILL, E.D. Residual Tillage Effects as Determined by Cone Index. *Transactions of ASAE*, 25:859-863. 1982.
21. UNIVERSITY OF NEBRASKA. Nebraska Tractor Test Data 1968. Department of Agricultural Engineering. Lincoln, Nebraska 68503. 66p. 1968.