

**INFLUENCIA DE LA PROFUNDIDAD DE LA COMPACTACION  
EN LA PRODUCTIVIDAD DE HORTALIZAS EN UN SUELO ANDICO  
DE LA SABANA DE BOGOTA**

*Amézquita C. E. Hernandez R. y O.J. Moreno O.*

**RESUMEN**

026886

Con el fin de evaluar la influencia de la profundidad de la capa compactada en la producción de hortalizas, en suelos de la serie Tibaitata, se prepararon parcelas con capas compactadas a 5, 10, 15 y 30 cm de profundidad, semejando la compactación generada por el uso constante de rotovator, rastra liviana, rastra pesada y arado respectivamente, implementos que normalmente son utilizados en la preparación de suelos en la sabana y cuyos efectos negativos comúnmente se encuentran en el campo.

Se utilizó un diseño de parcelas divididas en el cual la profundidad de la compactación constituía la parcela principal y la especie de hortaliza (repollo, acelga, zanahoria) la subparcela. Se presentaron grandes diferencias en los rendimientos de las tres especies a medida que la capa compactada estaba más cercana a la superficie del suelo. Si se toma como 100% los rendimientos obtenidos cuando la capa se presenta a 30 cm de profundidad y se contrasta con los conseguidos cuando ella se presenta a 5 cm de profundidad, se determina que ellos fueron de aproximadamente 38, 32 y 22% para acelga, repollo y zanahoria respectivamente, mostrando la drasticidad de la caída de rendimiento en función de la profundidad de la capa compactada, la cual además de afectar el desarrollo de las raíces, afecta los procesos de almacenamiento de agua por el suelo y por ende absorción de nutrientes disminuyendo la calidad y rendimientos de los productos.

Sección Física de Suelos, Programa de Trópico Bajo, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia

Resumen de tesis de pregrado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional, Santafé de Bogotá, D.C., Colombia.

## SUMMARY

To evaluate the influence of the depth of a compacted layer in the yields of some vegetables, in an Andisol, (Tibaitata, Sabana de Bogota) experimental plots compacted to 5, 10, 15 and 30 cm were used. Each depth resembled the compactation caused by the constant use of rotovator, light harrow, heavy harrow and disk plough, tools that are commonly used by farmers in tillage operations in "La Sabana de Bogota".

To test the influence of depth of compaction a split plot design experiment was used in which the main plot was the depth of compaction and the subplots the type of vegetables (cabbage, silver beet and carrots). The depth of the compacted layer had a big influence in the yields of all the tested vegetables. Assuming that the 30 cm depth of compacted layer produced 100%, when it was 5 cm the relative yields decreased down to 38, 32 and 22% for the same crops respectively, showing the negative influence of compaction, which affects soil water storage capacity and nutrient absorption by reducing the available soil volume for rooting.

**Palabras claves:** compactación, penetrabilidad, densidad aparente, porosidad, profundidad de compactación, hortalizas, rendimiento.

### 1. INTRODUCCION

Para que un suelo sea productivo se requiere que brinde a las raíces de las plantas buenas propiedades físicas, químicas y biológicas para que ellas no encuentren ninguna limitación y la planta pueda expresar su máximo potencial genético. Usualmente los suelos no presentan esas condiciones y ellas deben crearse a partir de sistemas acertados de manejo de suelos. Uno de los problemas más comunes de campo es la compactación, la cual debe ser identificada y corregida.

Hace un siglo King (1895) predicaba que el suelo superficial debe poseer abundancia de poros bien aireados para permitir el crecimiento de raíces en toda dirección, de tal forma que sus superficies absorbentes puedan ponerse en contacto con los granos y con la humedad del suelo. De esta forma las raíces obtendrían el máximo contacto con la superficie en el menor tiempo. King descartaba cualquier tipo de impedimento mecánico dentro de la capa arable.

El término impedimento o "impedancia" mecánica se refiere usualmente al poco crecimiento de las raíces de las plantas, cuando ellas deben crecer en un volumen restringido de suelo. El impedimento mecánico para crecimiento de las raíces dentro de los primeros 30 cm de suelo, reduce la productividad potencial de los cultivos (Bowen, 1981).

Las raíces de las plantas se elongan cuando el turgor de presión de las células nuevas, es superior a la resistencia a la deformación que opone el suelo circundante (Gill y Bolt, 1955). Varios investigadores (Stolzy y Barley, 1968; Eavis et al, 1968; etc) han confirmado que las presiones axiales de crecimiento de las raíces de la mayoría de los cultivos varían entre 9 y 15 bares. Russell

y Goss (1974) demostraron que una presión de 0.2 bares en una cama de crecimiento, redujo la elongación de las raíces de cebada en un 50% y una de 0.5 bares en un 80%, lo cual demuestra la sensibilidad de las raíces a los problemas de compactación.

La compactación es el aumento de la densidad de un suelo en respuesta a la aplicación de una fuerza externa (Bowen, 1981 y Baver et al, 1975). La compactación del suelo reduce el volumen ocupado por los poros, especialmente el de los macroporos y aumenta la densidad aparente del suelo. Este aumento en la densidad aparente es función de la fuerza aplicada y del contenido de humedad actual del suelo.

Los términos utilizados en la literatura para indicar el efecto de una presión aplicada sobre una área del suelo son definidos por Braford y Gupta (1986), de la siguiente manera:

**Compresión:** Se refiere a un proceso que describe la disminución de volumen del suelo (densificación del suelo) mediante la aplicación de una presión externa.

**Consolidación:** Se refiere a la compresión de suelos saturados, durante ella se expulsa agua de los poros del suelo.

**Compactación:** Se refiere a la compresión de suelos no saturados, en este proceso se expulsa aire de los poros del suelo.

La compactación del suelo, afecta el crecimiento de las plantas, debido a que causa disminución en el contenido de oxígeno, aumento en el dióxido de carbono y causa efectos negativos sobre la disponibilidad de agua y nutrientes Taylor (1971). Veilmeyer y Hendrickson (1948), en un estudio para entender la relación entre la densidad de diferentes tipos de suelos y la penetración de las raíces del girasol, hallaron que el umbral de densidad aparente de las arenas era 1.75 Mg/t, en tanto que la de las arcillas variaba entre 1.46 y 1.63 Mg/t.

Existe una considerable interacción entre los factores físicos de crecimiento de las plantas (succión del agua, aireación, penetrabilidad y temperatura) y los nutricionales, respecto a la proliferación de raíces. Por ejemplo, el agua del suelo afecta el crecimiento y funcionamiento de las raíces, la aireación del suelo, la respuesta del suelo a la aplicación de presiones externas por implementos agrícolas y la temperatura (Bowen, 1981). Un suelo se compacta cuando la carga a que es sometido es superior a la resistencia que su conformación estructural opone a la presión aplicada.

Varios hechos significativos concernientes al alargamiento de las raíces son comentados por Barley (1970). Primero, a bajas presiones donde el impedimento físico es un factor mínimo, la concentración de oxígeno determina el grado de crecimiento de las raíces. Segundo, las raíces no se alargan bajo efectos de altos niveles de impedimento mecánico, cualquiera que sea el nivel de oxígeno. Tercero, para una concentración de oxígeno dada, el alargamiento de las raíces decrece en proporción logarítmica con el aumento de la presión aplicada (impedimento mecánico).

La interacción entre la aireación, el impedimento mecánico y la humedad del suelo han sido

analizados por Eavis y Payne (1968) y Eavis (1972). Estos resultados muestran que la resistencia mecánica a la penetración se incrementa al aumentar la densidad global del suelo y la tensión de humedad, que la penetración de raíces es inversamente proporcional al nivel del impedimento mecánico y que el alargamiento de las raíces aumenta con el incremento en la tensión de humedad hasta alcanzar un máximo y luego disminuye al seguir aumentando la tensión.

La compactación del suelo es un problema mundial y es ocasionado por: a) la utilización de equipos de labranza pesada; b) el uso intensivo de prácticas de labranza y c) la incorporación de nuevas tierras a la vida agropecuaria, particularmente en los trópicos húmedos donde los suelos son muy susceptibles a compactación. Diaz y Nortclif (1985), encontraron en un oxisol de Manaos, Brasil, que la compactación aumentaba con la profundidad por efecto de la mecanización, presentándose una reducción de 5 cm en el espesor del primer horizonte. El grado de compactación fue de 14.7 Kg/cm<sup>2</sup> y generó reducción en la habilidad de las raíces para penetrar en el suelo. Algunas características físicas como la densidad aparente, la infiltración, la porosidad y la estructura, se afectaron negativamente al utilizar la maquinaria.

Sánchez y Bandey (1982), encontraron en suelos del Perú (oxisoles), que la compactación ocasionada por maquinaria modificaba la infiltración de 10.5 cm/hr a 0.5 cm/hr.

El uso permanente de implementos agrícolas a la misma profundidad, causa el conocido "pie de arado" mencionado por Baver, et al (1975). En Colombia, además del pie de arado se encuentra el "pie de rastra" y el "pie rotavator" en las áreas cultivadas de la Sabana de Bogotá (E. Amézquita, comunicación personal).

### **Causas de la compactación:**

Chancellor (1977) indica las siguientes: a) consolidación natural del suelo durante el proceso de formación, b) pisoteo por animales incluyendo al hombre, c) contracción de suelos debido a secamiento, d) respuesta del suelo a la aplicación de presiones y deformaciones impuestas por las llantas de los tractores y los implementos agrícolas y e) respuesta del suelo al impacto de las gotas de agua lluvia, al riego por aspersión y al riego por inundación.

## **2. MATERIALES Y METODOS**

El experimento se realizó en el lote No 6 del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias ICA, Tibaitatá, ubicado en la Sabana de Bogotá, municipio de Mosquera a una altitud de 2550 msnm, en un suelo de la antigua serie Tibaitatá, clasificado taxonómicamente como Dystric haplustand medial isomésico mezclado. Para el ensayo se utilizaron tres especies de hortalizas, una cuya producción final fuera hojas (acelga), otra cuya cosecha fueran raíces (zanahoria) y otra cuyo producto final fuera cabeza (repollo). Se utilizó un diseño de parcelas divididas con tres repeticiones, en el que las parcelas principales fueron la profundidad de la capa compactada (5, 10 15 y 30 cm) y las subparcelas las conformaron las especies.

Para crear las capas compactadas (tratamientos) se procedió a delimitar cada parcela (12 m<sup>2</sup>) con la ayuda de un marco de madera de 3 x 4 m y a extraer los primeros 5, 10, 15 ó 30 cm de suelo con la ayuda de palas para alcanzar la profundidad a la cual debería compactarse los suelos. Posteriormente se nivelaba el fondo de la parcela y se procedía a compactar el suelo a la profundidad deseada mediante el uso de varios pases consecutivos de un vibrocompactador manual (rana) hasta que se alcanzaba un espesor de 2 cm de suelo compactado con resistencia de alrededor de 4.5 kgf medidos con un penetrómetro cono CN970. A la profundidad de 30 cm no se compactó el suelo pero sí se flojó hasta ella para que esta profundidad actuara como testigo no compactado.

Obtenida la compactación se procedió a rellenar la excavación devolviendo el suelo a su sitio y procurando que quedara a una densidad aparente equivalente a la de suelo preparado. Posteriormente se procedió a la siembra de las hortalizas. Antes y durante la ocupación del suelo se hicieron muestreos para determinación de: densidad aparente, densidad real, porosidad, humedad gravimétrica, humedad volumétrica, lámina de agua acumulada, penetrabilidad, desarrollo de las plantas, longitud de raíces y rendimiento.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

**Densidad aparente:** El valor de densidad aparente en la capa compactada al momento de la siembra (cuadro 1) osciló entre 1.77 Mg/t y 1.9 Mg/t, valores considerados como muy altos y capaces de restringir el crecimiento de las raíces según los límites encontrados por Veihmeyer y Hendrickson (1948). Los altos valores de densidad aparente que se lograron al compactar el suelo son indicativos de la susceptibilidad de estos suelos a la compactación. La densidad aparente del suelo no compactado, el que quedaba por encima de la capa compactada vario, entre 1.07 y 1.14 Mg/t indicando que al momento de la siembra no se presentaban limitaciones para el crecimiento de las raíces y que solo éste podría esperarse a la profundidad de las capas que se compactaron.

Al momento de la cosecha, es notoria la disminución de la densidad aparente de la capa compactada respecto a la obtenida inicialmente. Para esta época los valores oscilaron entre 1.38 y 1.41 Mg/t, indicando que había habido una evolución de la densidad aparente hacia valores normales. Dicha disminución se puede atribuir a la influencia que pudieron haber tenido las raíces al tratar de vencer la diferencia de las capas compactadas o a respuesta elástica del suelo o debido al reordenamiento de agregados, microagregados y partículas, en función de tiempo.

**Porosidad total:** Al momento de la siembra la porosidad total (cuadro 2) en la profundidad de la capa compactada era muy baja variando entre 12.8 y 23.7% en los primeros 15 cm. A 30 cm era normal por cuanto a esa profundidad no se compactó el suelo. Al igual que lo que ocurrió con densidad aparente hubo un aumento de la porosidad cuando esta se determino al tiempo de la cosecha, debido a la presión ejercida por las raíces al tratar de penetrar la capa compactada. Biológicamente la condición de compactación obligó a las plantas a disminuir su producción de hojas como sucedió en el caso del repollo y de la acelga deformación de la raíz en el caso de la zanahoria.

Cuadro 1. Valores de la densidad aparente (Mg/t) a diferentes profundidades en las capas no compactadas y compactadas y a siembra y cosecha.

PROF. CAPA COMPACTADA (cm)	CULTIVO	SUELO NO COMPACTADO	CAPA	COMPACTADA
			Siembra	Cosecha
5	Acelga	1.14	1.77	1.38
10		1.08	1.90	1.39
15		1.07	1.90	1.39
30		1.07	*1.07	1.07
5	Repollo	1.11	1.78	1.44
10		1.08	1.90	1.44
15		1.07	1.89	1.44
30		1.07	*1.07	1.07
5	Zanahoria	1.10	1.85	1.42
10		1.09	1.83	1.42
15		1.08	1.90	1.41
30		1.07	*1.07	1.07

\* Testigo sin compactación.

Cuadro 2. Variación porcentual de la porosidad total de la capa compactada al momento de la siembra y después de la cosecha.

Prof. capa compactada (cm)	Al momento de la siembra			Después de la cosecha		
	Zanahoria	Acelga	Repollo	Zanahoria	Acelga	Repollo
5	20.3	23.7	23.3	38.8	40.5	37.9
10	19.4	15.9	15.0	36.6	38.8	36.6
15	12.8	13.2	16.7	37.9	30.0	36.6
30	47.3	48.2	48.7	47.3	49.2	48.7

En la capa del suelo suelto, aquel que quedaba por encima de la capa compactada, la porosidad total fue superior al 50% (cuadro 3). Esta condición es favorable para el desarrollo radicular y reflejaría que cualquier efecto negativo de la compactación es debida solamente al hecho de haber compactado los suelos.

Cuadro 3. Variación porcentual de la porosidad total (%) a diferentes la profundidades de muestreo en el suelo por encima de la capa compactada.

Prof (cm)	PROFUNDIDAD DE MUESTREO (cm)											
	0 - 5			5 - 10			10 - 15			15 - 30		
	Acel	Rep	Zan	Acel	Rep	Zan	Acel	Rep	Zan	Acel	Rep	Zan
5	51.5	41.4	51.1									
10	52.2	46.1	52.2	52.2	51.2	53.1						
15	53.2	57.7	53.2	53.2	53.7	53.2	53.2	53.7	54.1			
30	53.5	53.9	53.3	53.9	53.5	53.0	53.0	53.5	53.5	53.9	53.0	53.5

**Humedad volumétrica:** La determinaciones de humedad volumétrica que se hicieron a través del tiempo, mostraron que siembre hubo diferencia en el contenido de humedad y que ellas fueron altamente significativas, presentandose mayores contenidos en los tratamientos que poseían la capa compactada a mayor profundidad. Los valores obtenidos en este parámetro se presenta en el cuadro 4. Se observa claramente la influencia de la profundidad en los valores tanto en suelo suelto como en suelo compactado. No se presentaron diferencia significativas entre cultivos.

La explicación de mayor contenido de humedad a mayor profundidad de la capa compactada, radica en que el suelo posee mayor volumen para almacenamiento de agua y bajo una misma demanda evaporativa siempre abrá mayor economía de agua en el suelo más profudo.

**Lámina de agua:** Al igual que la humedad volumétrica, la lámina de agua almacenada por encima de la capa compactada refleja la diferencia en volumen de almacenamiento. En la capa compactada no se observa diferencia por cuanto su porosidad de almacenamiento fue alterada por la compactación. Los datos se muestran en el cuadro 5 en el cual por ejemplo en Febrero la lámina de agua en acelga era de solo 12.12 mm a 5cm de compactación mientras que a 30 cm era de 71.77 mm. Los datos del cuadro 5, expresan que las plantas que crecieron en parcerla cuyas capas compactadas eran profundas, dispusieron de mayor contenido de agua y por lo tanto de mejores condiciones nutricionales. Esto necesariamen se reflejo en los rendimientos.

Cuadro 4. Valores promedios de la humedad volumétrica (%) tomados de suelo no compactado y capa compactada.

Prof. (cm)	Suelo suelto			Suelo compactado		
	Acelga	Repollo	Zanah	Acelga	Repollo	Zanah
0-5	29.82	28.39	29.33	36.23	36.19	36.38
0-10	31.54	31.42	31.09	36.82	36.84	36.48
0-15	35.23	35.35	36.24	38.02	36.84	37.20
0-30	38.63	38.75	38.43	41.69	42.99	43.64

Cuadro 5. Lámina de agua almacenada (mm) en suelo no compactado (por encima de la capa compactada) y en la capa compactada. Datos promedios.

Prof. capa compactada (cm)	Especie	Febrero		Abril		Junio	
		No comp	Compac	No comp	Compac	No comp	Compac
5	Acel	12.12	9.0	13.15	10.10	14.20	12.80
10	Acel	53.17	9.33	28.45	11.27	27.91	12.60
15	Acel	57.85	9.59	52.15	10.42	46.31	12.58
30	Acel	71.67	--	65.38	--	62.40	--
5	Repo	13.44	9.16	14.51	10.92	13.6	13.12
10	Repo	33.52	10.11	32.75	11.63	28.45	13.24
15	Repo	51.25	10.37	44.83	12.77	53.42	14.31
30	Repo	71.67	--	54.97	--	64.51	--
5	Zana	14.23	8.0	13.15	10.98	13.91	13.42
10	Zana	39.25	9.31	28.55	11.36	29.60	12.27
15	Zana	52.25	9.81	44.87	11.76	44.21	14.21
30	Zana	76.31	--	60.43	--	62.27	--



**Crecimiento radicular:** Al comparar la longitud de las raíces de la acelga, el repollo y la zanahoria se halló diferencias altamente significativas, tanto entre tratamientos como entre especies. Se notó mayor crecimiento de raíces a medida que la capa compactada era más profunda (cuadro 6). Se observó que la acelga presentó mayor crecimiento radicular en todos los tratamientos debido a su fortaleza, por ser raíz pivotante y de gran desarrollo. Las raíces de repollo por ser fibrosas se extendían a lo largo de la capa compactada, y solo en contados casos lograban pasarla. La zanahoria por su típico sistema radicular sufrió deformaciones al encontrar la capa compactada, su crecimiento se alteró y se observó la formación de bifurcaciones.

Cuadro 6. Crecimiento radicular a diferente profundidad de la capa compactada. Datos en (cm).

Tratamiento (cm)	DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA								
	ACELGA			REPOLLO			ZANAHORIA		
	45	90	135	45	90	135	45	90	135
5	5.30	14.83	16.43	4.74	9.36	11.50	3.42	10.10	11.53
10	6.66	17.80	19.92	5.23	12.36	12.76	3.84	12.63	13.50
15	7.58	21.46	21.88	6.07	16.53	16.60	4.48	15.70	14.50
Testigo	9.33	28.36	28.79	8.85	19.63	21.60	6.99	17.66	15.53

**Rendimiento:** En los tres cultivos se pudo apreciar que la producción máxima correspondió a la presencia de la capa compactada a 30 cm (testigo) y que los rendimientos disminuían a medida que la capa compactada se encontraba mas cerca de la superficie, por lo tanto los rendimientos más bajos se registraron cuando la capa compactada estaba a 30 cm de profundidad (cuadro 7).

En el repollo, la disminución en la producción obedeció a la reducción en el tamaño de las cabezas cuando la capa compactada se aproximaba a la superficie. En zanahoria, además de la disminución de rendimiento se apreció una disminución en la calidad, al presentarse raíces bifurcadas. En acelga, a pesar de que presento raíces fuertes capaces de vencer la capa compactada hubo también disminución drástica en los rendimientos, disminuyendo de 41.8 t/ha a 30 cm de profundidad hasta 15.5 t/ha a una profundidad de 5 cm de capa compactada (cuadro 7).

Cuadro 7. Rendimiento real y relativo obtenido en acelga, repollo y zanahoria como respuesta a la profundidad de la capa compactada.

Prof. capa compactada (cm)	Acelga t/ha	%	Repollo t/ha	%	Zanahoria t/ha	%
5	15.5	63.0	21.2	67.1	12.6	80.0
10	21.3	50.0	30.0	53.4	23.8	61.8
15	34.6	18.0	38.3	40.6	51.6	17.2
30	41.8	100	64.5	100	62.3	100

#### 4. CONCLUSIONES

La profundidad a la cual se presenta la capa compactada afecta drásticamente la cantidad de agua que puede almacenar el suelo y esto afecta notablemente los rendimientos. A medida que la capa es más superficial su efecto es más negativo.

El uso de implementos agrícolas a una misma profundidad causa compactación y origina graves problemas de rendimiento. Antes de tomar cualquier decisión sobre labranza de suelos, se debe ir al campo y evaluar cuales son los requerimientos de labranza que exige el suelo.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BARLEY, K. P. 1970. The configuration of the root system in relation to nutrient uptake. *Advances in Agronomy*. Vol. 22, 159 - 201 p.
- BAVER, L. D; W. H. GARDNER; W.R.GARDNER. 1975. Física de suelos. Unión tipográfica editorial Hispano - Americana. Méjico. 529 p.
- BOWEN, H.D. 1981. Alleviating mechanical impedance. In, G.F. ARKIN y H.M. TAYLOR. 1981. *Modifying the root environment to reduce crop stress*. American Society of Agricultural Engineers. No 4. 21 - 57 p.
- BRADFORD, J. M. y S.C.GUPTA. 1986. Soil compressibility. In *methods of soil analysis*. A.S.A. Madison. 479 - 492 p.

CHANCELLOR, W.J. 1977. Compaction of soil by agricultural equipment. Div. Agric. Sci., Univ. Calif., Berkeley, Bull. 1881.

DIAZ, C. P. y S. NORTCLIF. 1985. Effects of tractor passes on the physical properties of an oxisol in the Brazilian Amazon. Tropical Agriculture. Vol. 62 No. 3. 328 - 335 p.

EAVIS, B. W. 1972. Soil physical conditions affecting seedling root growth. Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by bulk density and moisture levels in a sandy loam soil. Plant soil 36: 613 - 622

EAVIS, B.W y D. PAYNE. 1968. Soil physical conditions and root growth. Proceeding of the fifteenth easter school in agricultural science, University of Nottingham, 1968. Butterworths, London. 315 - 338 p

GILL, W. R. and W. R. and G. H. BOLT. 1955. Pfeffer's studies of the root growth pressures exerted by plants. Agron. J. 47: 166 - 168.

KING, F.H. 1895. The soil. p. 277. The McMillan Co; New York, NY.

RUSSEL, R. S. and M. J. GOSS. 1974. Physical aspects of soil fertility - The response of roots to mechanical impedance. Neth. J. Agric. Sci. 22: 305 - 318.

SANCHEZ, J. y S. BANDEY. 1982. Suelos de la Amazonia y su manejo para la producción continua de cultivos. Suelos ecuatoriales. VI. XII. No. 2. 1982.

STOLZY, L. H. and K. P. BARLEY. (1968). Mechanical resistance encountered by roots entering compact soils. Soil Sci. 105: 297 - 301.

TAYLOR, H.M. 1980. Mechanical impedance to root growth. In, Soil - related constraints to food production in the tropics. IRRI. 89 - 404 P.

VEIHMEYER, F. J y A.H. HENDRICKSON. 1948. Soil density and root penetration. Soil Sci. 65: 487 - 493