

# Efecto de las Propiedades Mecánicas sobre Suelos Rojo-Arcillosos del Centro-Sur de Chile<sup>1</sup>

A. Ellies\*, R. Mac Donald\*, C. Ramírez\*

## ABSTRACT

Inadequate use has caused degradation of red clay soils of southern Chile resulting in alteration of their physical/mechanical properties. This study determined the normal variation of these properties in three different red clay soils of the IX and X Regions. Characteristics of the principal soil series of the area were obtained, selecting those with the most significant agricultural activity. Penetration resistance and torsion shear of 30 sites of each soil series was measured in winter every 10 cm, up to a depth of 40 cm. In addition, undisturbed soil samples were taken to determine pore space. Information obtained was subjected to cluster analysis, selecting three sites of each soil series that represented different compaction groups (high, medium and low). In the same sites, a vegetation census was carried out to determine plant coverage and soil samples were taken to separate roots by the floatation method. The number of plant species diminished as compaction increased in the soils, and those with thick roots dominated. Total root biomass decreased in the same way, being more strongly expressed in those soils under marked seasonal precipitation. Biomass variation mainly affected fine roots.

## COMPENDIO

El uso inadecuado de los suelos rojo-arcillosos de la zona sur de Chile ha provocado su degradación, alterando sus propiedades físico-mecánicas. En este estudio se determinan los rangos más comunes de estas propiedades en tres tipos de suelos rojo-arcillosos de las regiones IX y X. Se procedió a fijar los parámetros físico-mecánicos de las principales series de la zona, seleccionando aquellas con las áreas agropecuarias más significativas. Durante el período invernal, en 30 lugares de cada serie de suelo, se precisó la resistencia a la penetración y a la torsión, por estrato de 10 cm, hasta una profundidad de 40 centímetros. Paralelamente, se recolectaron muestras de suelo sin revolver para determinar la magnitud del espacio poroso. Los antecedentes fueron sometidos a un análisis de conglomerados, para lo cual se seleccionaron tres lugares por serie, que difirieron en el grado de compactación (alto, intermedio y suelto). En los lugares seleccionados se levantaron censos de vegetación para establecer el grado de cobertura y se tomaron muestras del suelo para separar raíces mediante flotación. El número de especies disminuyó al aumentar el grado de compactación en los suelos, dominando aquéllas con raíces gruesas. La biomasa radicular disminuyó en el mismo sentido, acentuándose en los suelos sujetos a una distribución más estacional de las precipitaciones. La variación en la biomasa afectó principalmente las raíces finas. Igual efecto se observó con un aumento en la resistencia a la penetración y, en menor grado, con el incremento de la resistencia a la torsión.

## INTRODUCCION

La maquinaria agrícola, actualmente en uso, ha incrementado notablemente su potencia y peso. Ello en muchas ocasiones provoca una disminución en el rendimiento por compactación del suelo. En la mayoría de los casos, el efecto compactante es negativo para el desarrollo vegetal, y en especial, cuando el subsuelo es muy denso (2, 9). Las interrogantes sobre las presiones aceptables que se pueden ejercer sobre el suelo son frecuentes. La aparente ventaja en la utilización de equipos pesados

reside en que las labores de preparación del suelo se pueden efectuar más rápido y fácilmente. Pero dicha utilización puede proveer una compactación en la profundidad del suelo, especialmente cuando el laboreo se ejecuta en condiciones de humedad inadecuada (10).

Sobre la compactación del suelo inciden factores internos y externos. En los primeros, se incluyen la composición mecánica, la estructura, la estabilidad, la densidad aparente, la distribución de poros por tamaño y el contenido de carbono. Los factores externos son la magnitud de la carga, tipo de presión y sistema de tiro. Todos estos factores inciden, en uno u otro grado, sobre la compactación del suelo y alteran las condiciones de crecimiento vegetal (3, 7).

La evaluación de la compactación es difícil ante la gran variedad de condiciones en que es posible un desarrollo vegetal. Con la compactación disminuyen

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 22 de enero de 1990. Financiado por el Fondo de Ciencia y Tecnología (FONDECYT) 913-88 y por la Dirección de Investigación y Desarrollo RS-88-29, Universidad Austral de Chile.

\* Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

los poros gruesos en magnitudes que dependen de las condiciones de humedad y textura del suelo. El factor que más frecuentemente afecta el crecimiento vegetal es el balance del agua (5). Para determinar la capacidad de arraigamiento en un suelo existen varios métodos, ninguno exacto en términos absolutos, por lo que es mejor elegir una combinación de ellos (6).

Existen variables que permiten inferir la capacidad de arraigamiento de las plantas: densidad aparente, resistencia a la penetración, resistencia cortante y capacidad de aire de un suelo. Al degradarse un suelo por un manejo compactante, estos factores sufren una alteración. Por ejemplo, la resistencia a la penetración es una medida usada para diagnosticar el estado estructural del suelo, desde el punto de vista del desarrollo radicular. Las principales propiedades que interactúan sobre la resistencia a la penetración son: contenido de humedad, velocidad de secado, manejo agrícola y propiedades a las penetraciones; por lo tanto, constituye un elemento útil para diagnosticar el suelo en cuanto a su susceptibilidad de arraigamiento. Pero esta medida no indica las causas que dificultan la exploración del suelo por parte de las raíces, lo que se debe evaluar a partir de otros antecedentes (1). La intensidad del arraigamiento de los vegetales depende del sistema poroso del suelo, destacándose la magnitud del espacio, el tamaño de los poros y la continuidad y sentido de éstos. La penetración, desarrollo y ramificación del sistema radicular en la masa del suelo dependen, finalmente, de sus propiedades físico-mecánicas.

La variación de las propiedades físico-mecánicas de los suelos del sur de Chile se debe a los procesos pedogenéticos y a las medidas de manejo. Las praderas permanentes que se desarrollan sobre los suelos rojo-arcillosos están formadas por hierbas de origen europeo. Como su composición florística refleja las condiciones edáficas, la proporción de especies permitirá deducir las características del suelo (4). La proporción entre biomasa aérea y subterránea, también, refleja las condiciones en que prospera la planta (8).

En este trabajo se determinarán los rangos físico-mecánicos más comunes en tres series de suelos rojo-arcillosos de las regiones IX y X de Chile, y se evaluará el efecto sobre el desarrollo radicular. Estos antecedentes son una base necesaria en el diseño de normas para un mejor uso de los suelos rojo-arcillosos, evitando su erosión y, con ello, los problemas sociales.

#### MATERIALES Y METODOS

Como material edáfico se seleccionaron suelos rojo-arcillosos ubicados en las regiones IX y X de Chile, los cuales corresponden a las series Metrenco, Cúdico y Fresia. Se eligieron estas series porque tienen gran

extensión y muchas áreas con cultivos, incluidas en las distintas zonas agroclimáticas. Durante los meses de junio a julio de 1988 se recolectó material edáfico en 30 lugares cubiertos con pradera natural. Su selección abarcó toda la distribución espacial y, por lo tanto, la variabilidad que espera de los suelos, cuidando además que todos los lugares tuvieran una posición topográfica y pendiente similar. En cada lugar se determinó la resistencia a la penetración y a la torsión y la densidad aparente por estrato de 10 cm, desde la superficie hasta una profundidad de 40 centímetros. La resistencia a la penetración y al corte por torsión se midió siete veces. Para determinar la densidad aparente y porosidad, las muestras de suelo se tomaron con cilindros de 369 centímetros cúbicos.

En laboratorio se determinaron la densidad real y la aparente a humedad de campo, con muestras secadas a 105°C, calculándose la porosidad total.

Los valores individuales para estrato de cada lugar y por serie de suelo fueron sometidos a un análisis de conglomerados por variable, para seleccionar sitios de cada serie de suelo que representaran poblaciones con distintas propiedades físicas. De cada serie de suelo se escogieron tres sitios, usando como criterios de selección la porosidad total del suelo seco y la resistencia a la torsión.

Los sitios seleccionados por porosidad, resistencia a la penetración y resistencia al corte por torsión de la serie Fresia quedaron muy próximos entre sí, mientras en los de las series de Cúdico y Metrenco estaban ligeramente más separados.

En cada lugar seleccionado se levantó un censo vegetativo y se extrajeron muestras no removidas de suelo para determinar la cantidad de raíces: las más grandes fueron separadas manualmente y las más finas mediante flotación.

#### RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan las variaciones de las propiedades físico-mecánicas considerando la totalidad del perfil de las tres series de suelos analizadas. De Norte a Sur existe un orden de mayor a menor en las tres series de suelo analizadas, en la densidad aparente y en la resistencia a la torsión y, por lo tanto, una relación inversa para la porosidad total. Para la resistencia a la penetración no se observa una ordenación geográfica. Los suelos con menor porosidad presentan mayor resistencia a la torsión y están ubicados en áreas con una estacionalidad en las precipitaciones más marcada.

**Cuadro 1. Variabilidad de las propiedades físico-mecánicas de los suelos Metrenco, Cúdico y Fresia.**

Suelos	Metrenco				Cúdico				Fresia			
	media	de	máx.	mín.	media	de	máx.	mín.	media	de	máx.	mín.
R. P.	9.6	2.2	17.2	2.7	10.2	2.0	16.0	4.8	10.0	2.4	18.5	2.8
R. T.	10.8	4.3	24.0	1.6	8.3	2.4	21.6	1.0	7.3	2.1	16.4	1.6
Da. C.	1.17	0.11	1.39	0.74	1.03	0.14	1.29	0.64	0.84	0.13	1.04	0.45
Da. S.	1.32	0.14	1.62	0.84	1.20	0.16	1.52	0.74	1.02	0.14	1.24	0.61
Ep. C.	54.2	4.0	69.9	47.1	58.1	5.1	72.3	48.2	64.5	5.1	79.8	52.4
Ep. S.	48.5	5.2	65.9	37.1	51.0	5.7	67.3	37.6	56.5	5.4	71.2	42.5

**Notas:**

- R. P. = Resistencia a la penetración (kg/cm<sup>2</sup>)  
R. T. = Resistencia a la torsión (kg/cm<sup>2</sup>)  
Da. C. = Densidad aparente de campo (g/cm<sup>3</sup>)  
Da. S. = Densidad aparente suelo seco (g/cm<sup>3</sup>)  
Ep. C. = Espacio poroso campo (%)  
Ep. S. = Espacio poroso suelo seco (%)  
de = desviación estándar

Los valores de densidad aparente y porosidad total difieren en las condiciones de campo y en las muestras secadas. Ello se debe a que este tipo de suelo tiene mucho material coloidal inorgánico, que afecta su capacidad de hinchamiento. En el período estival estos suelos se secan completamente en la superficie, de manera que alcanzan una porosidad similar a la mínima. La distribución por tamaño del espacio poroso también debería variar en el transcurso del año al cambiar la porosidad de condiciones húmedas a secas.

La resistencia a la penetración y a la torsión se midió en condiciones invernales y, por lo tanto, representan valores mínimos. En condiciones secas estas resistencias serán mayores por la cohesión de la textura del suelo. En el período estival existe por ello una mayor resistencia al arraigamiento de las plantas.

En el Cuadro 2 se detallan las propiedades físico-mecánicas de los puntos con distintos grados de compactación de los suelos seleccionados, mediante el análisis de conglomerados. Estos puntos representan las distintas poblaciones de alta, media y baja porosidad total.

En las series Metrenco y Fresia, los suelos representantes de los tipos de compactación difieren considerablemente entre sí en su porosidad, mientras que en el suelo Cúdico los dos primeros grupos se asemejan. El grupo más compactado del suelo Fresia es más suelto que el más suelto del suelo Metrenco y, también, más suelto que el grupo de compactación intermedia del suelo Cúdico.

La resistencia a la torsión media por perfil se incrementa con el aumento de la densidad aparente, pero en los estratos superiores no siempre se encuentra esta relación. Similar es la tendencia entre resistencia a la penetración y densidad aparente.

En el Cuadro 3 se presentan la cantidad y distribución por tamaño de las raíces en los tres suelos para las distintas condiciones de compactación. La cantidad de raíces por volumen del suelo Metrenco, aumenta fuertemente, junto con el incremento del espacio poroso, en especial para las raíces más finas. El incremento del arraigamiento en la condición más suelta de este suelo, puede deberse a un mayor espacio poroso, como también a la menor resistencia a la torsión y penetración en estas condiciones.

En el suelo Cúdico también aumentan las raíces, en especial las finas en condiciones de alta porosidad. La cantidad de raíces para el rango de compactación alta e intermedia es similar, ya que en las dos condiciones no difiere significativamente el monto del espacio poroso. En un suelo con porosidad intermedia existe incluso una disminución en la cantidad de raíces, lo cual se puede explicar por la alta resistencia a la penetración medida en este caso. En el suelo Cúdico se esperaba un incremento aún mayor en la cantidad de raíces para la condición menos compactada, pero esto probablemente fue impedido por la alta resistencia a la penetración observada en el primer estrato. Algo similar ocurre con la resistencia a la torsión.

**Cuadro 2. Propiedades físico-mecánicas de los grupos poblacionales de las tres series de suelos analizados.**

Suelo	Profundidad (cm)	Resistencia		Densidad		Porosidad	
		Penetración	Torsión m(kg/cm <sup>3</sup> )	Campo (g/cm <sup>3</sup> )	Seco	Campo (%)	Seco
<b>Metrenco</b>							
Compactado	0-10	12.2	7.8	1.37	1.52	47.3	41.5
	10-20	10.7	8.3	1.23	1.42	51.3	43.9
	20-30	11.5	7.0	1.32	1.53	50.6	42.7
	30-40	10.3	9.8	1.39	1.61	47.6	39.3
Intermedio	0-10	9.2	8.5	1.09	1.26	58.1	51.5
	10-20	11.0	7.8	1.11	1.27	57.3	51.2
	20-30	11.7	8.1	1.13	1.29	56.7	47.5
	30-40	11.2	8.8	1.15	1.34	54.9	47.5
Suelto	0-10	3.8	5.3	0.94	1.02	60.2	56.8
	10-20	8.3	7.2	1.06	1.14	56.6	53.3
	20-30	8.0	6.3	1.04	1.11	60.2	57.5
	30-40	8.5	11.1	1.13	1.26	56.4	51.4
<b>Cúdico</b>							
Compactado	0-10	10.7	10.0	1.16	1.30	52.3	46.5
	10-20	10.4	9.7	1.24	1.36	51.4	46.7
	20-30	11.6	11.1	1.23	1.43	49.0	40.7
	30-40	10.9	8.4	1.29	1.43	48.2	42.6
Intermedio	0-10	13.1	8.7	1.12	1.27	54.1	48.0
	10-20	13.0	10.0	1.12	1.31	55.9	48.4
	20-30	11.2	6.9	1.09	1.19	56.7	52.6
	30-40	10.8	7.7	1.15	1.27	56.1	51.5
Suelto	0-10	12.3	9.7	0.78	0.93	65.2	58.5
	10-20	8.2	7.8	0.72	0.85	67.4	61.5
	20-30	7.0	6.8	0.64	0.74	71.7	67.3
	30-40	6.5	5.6	0.67	0.80	71.6	66.1
<b>Fresia</b>							
Compactado	0-10	10.4	8.7	0.91	1.14	60.3	50.2
	10-20	10.0	8.1	1.01	1.22	52.4	42.5
	20-30	9.4	7.2	0.94	1.10	60.4	53.5
	30-40	7.3	4.9	0.84	1.16	62.3	48.0
Intermedio	0-10	14.4	10.1	0.78	0.95	69.3	62.6
	10-20	11.5	7.7	0.72	0.87	67.0	60.1
	20-30	11.8	7.2	0.64	0.79	72.1	65.5
	30-40	7.3	6.7	0.76	0.95	68.6	60.7
Suelto	0-10	13.0	8.5	0.55	0.72	73.8	65.7
	10-20	12.4	8.0	0.56	0.75	73.3	64.3
	20-30	6.5	5.4	0.47	0.73	78.2	66.2
	30-40	5.9	4.5	0.50	0.79	77.9	65.0

Cuadro 3. Monto y distribución por tamaño de las raíces en los suelos analizados para tres condiciones de compactación.

Suelo	Profundidad (cm)	Tamaño > 0.2 mm (g/l)	Raíces		Monto total	
			< 0.2 mm	Estrato (g/l)	Perfil acumulado (g/l)	
<b>Metrengo</b>						
Compactado	0-10	1.22	6.71	7.93	7.93	
	10-20	0.67	0.69	0.76	8.69	
	20-30	0.05	0.43	0.48	9.17	
	30-40	0.05	0.24	0.29	9.46	
Intermedio	0-10	5.91	8.65	14.56	14.56	
	10-20	2.12	1.70	3.82	18.38	
	20-30	0.99	0.66	1.65	20.03	
	30-40	0.61	0.39	1.00	21.03	
Suelto	0-10	4.52	30.62	35.14	35.14	
	10-20	0.82	9.57	10.39	45.53	
	20-30	0.14	1.07	1.21	46.74	
	30-40	0.18	0.77	0.95	47.69	
<b>Cúdico</b>						
Compactado	0-10	5.36	11.96	17.32	17.32	
	10-20	0.65	1.50	2.15	19.47	
	20-30	0.41	0.96	1.37	20.87	
	30-40	0.20	0.50	0.70	21.57	
Intermedio	0-10	2.75	10.60	13.35	13.35	
	10-20	0.42	3.90	4.32	17.57	
	20-30	0.46	0.57	1.03	18.60	
	30-40	0.14	0.28	0.42	19.02	
Suelto	0-10	4.56	20.24	24.80	24.80	
	10-20	1.15	6.62	7.77	32.65	
	20-30	0.35	1.22	1.57	34.22	
	30-40	0.15	1.12	1.27	35.49	
<b>Fresia</b>						
Compactado	0-10	3.33	15.08	18.41	18.41	
	10-20	1.28	5.82	7.10	25.51	
	20-30	0.57	2.12	2.69	28.20	
	30-40	0.22	1.40	1.62	29.82	
Intermedio	0-10	2.11	14.51	16.62	16.62	
	10-20	0.70	8.61	9.31	25.93	
	20-30	0.51	8.34	8.85	34.78	
	30-40	0.35	0.82	1.17	35.95	
Suelto	0-10	1.70	7.99	9.69	9.69	
	10-20	0.32	3.47	3.79	13.48	
	20-30	0.49	3.04	3.53	17.01	
	30-40	0.27	1.16	1.43	18.44	

La relación observada entre porosidad total, resistencia a la penetración con la cantidad y distribución por tamaño de raíces en los suelos Cúdico y Metrenco, es similar. Esto se explica porque tienen un rango semejante de propiedades físico-mecánicas. También las condiciones climáticas para estos suelos se asemejan. Distinta es la situación para el suelo Fresia que mantiene una alta porosidad en los tres rangos de compactación. Sólo se observa un leve aumento en la cantidad de raíces en los dos primeros rangos de compactación. En la condición más suelta hay una disminución en la cantidad de raíces. Por ser más poroso, este suelo debe presentar un mayor grado de macroporosidad, lo que constituye una ventaja para climas muy lluviosos. Sin embargo, con una precipitación estacional, como ocurre en este caso, una porosidad gruesa abundante no presenta ventajas, debido a la menor capacidad de acumulación de agua en el suelo.

En el suelo Fresia no se encontró una asociación entre resistencia a la penetración y desarrollo radicular. Esta resistencia parece ser una limitación para el arraigamiento sólo cuando se presenta junto con una alta densidad aparente o baja porosidad. Con una alta porosidad, una mayor resistencia a la penetración no afecta el desarrollo vegetal, sino más bien la mayor o menor cantidad de agua que se almacena en el suelo.

La composición florística de los suelos Metrenco y Cúdico presentó una gran variación entre los diferentes niveles de compactación, dominando especies diferentes en cada situación. Los cambios más extremos los presentó el suelo Metrenco, en el cual para la situación menos suelta dominaron chépica (*Agrostis capillaris*) y cola de zorro (*Cynosurus echinatus*); con compactación intermedia: paja ratonera (*Anthoxanthum utriculatum*) y pasto cebolla (*Arrhenatherum bulbosum*); y con compactación alta, trébol (*Trifolium cf. arvense*) y zanahoria silvestre (*Daucus carota*). En el suelo Cúdico con la compactación intermedia aumenta la cobertura de porotillo (*Lotus subpinnatus*) y un incremento a niveles altos, se reflejó en una abundancia de aquilea o mil en ramas (*Achillea millefolium*). En el suelo Fresia, la flora fue más uniforme y sólo destacó un aumento en la cobertura de la hierba del chancho (*Hypochaeris radicata*), en los niveles medios de compactación.

En el suelo Metrenco compactado se presentaron especies vegetales con raíces pivotantes, grandes y gruesas, mientras que en los más sueltos dominaron hierbas con raíces finas superficiales. En el suelo Cúdico estas diferencias no existen. En el suelo Fresia se encontró cierta disminución del tamaño de las raíces de algunas especies hacia los niveles de mayor compactación.

En el Cuadro 4 se presentan las especies vegetales que dominan en los suelos analizados para los distintos grados de compactación. En los suelos Metrenco y Cúdico aumentan las especies terófitas o anuales para las condiciones más compactadas, mientras en el suelo Fresia éstas sólo están presentes en las más sueltas. Aparentemente, su presencia responde a la falta de agua, común denominador para las situaciones descritas. En efecto, esta forma de vida es propia de climas secos.

**Cuadro 4. Composición florística estival para los suelos Metrenco, Cúdico y Fresia, con distinto grado de compactación.**

Formas de vida	Hemicriptófitos		Terófitos	Otras especies
	En roseta	Cespitosos		
<b>Metrenco</b>				
Compactado	2	4	7	4
Intermedio	3	6	3	0
Suelto	4	7	2	1
<b>Cúdico</b>				
Compactado	4	4	6	1
Intermedio	5	4	7	1
Suelto	3	10	2	2
<b>Fresia</b>				
Compactado	4	9	0	2
Intermedio	2	6	3	3
Suelto	4	11	2	2

A medida que aumenta la porosidad en los suelos, también aumentan las especies hemicriptófitas, es decir hierbas perennes con yemas a nivel del suelo. Dentro de este grupo de vegetales incrementan preferentemente las especies cespitosas. Estas últimas se caracterizan por tener raíces menos gruesas y una distribución radicular más profusa.

La supervivencia de la parte aérea verde de este grupo de plantas depende de la permanente disponibilidad de agua; en caso contrario, y con breves períodos de sequía, dichos órganos mueren rápidamente. Los hemicriptófitos cespitosos presentan grandes cambios estacionales de su biomasa en condiciones poco favorables de humedad. En caso de sequía prolongada, ellos reducen su biomasa y, entonces, son fácilmente superados por especies más resistentes, como los hemicriptófitos en roseta.

## CONCLUSIONES

Existe un orden Norte-Sur, de mayor a menor, en el grado de compactación de los suelos analizados. Los

suelos más compactados presentan también una mayor resistencia a la torsión y en un menor grado para la resistencia a la torsión.

Los suelos más compactados en relación con los sueltos tienen menos raíces por unidad de volumen. Al aumentar el grado de porosidad aumentan principalmente las raíces finas.

En los suelos compactados se incrementa el número de especies terófitas, mientras que en los suelos más sueltos el de las hemicriptofíticas, destacándose entre éstas las cespitosas.

#### LITERATURA CITADA

1. BARLEY, K.P.; FARELL, D.A.; GREACEN, E.I. 1965. The influence of soil strength on the penetration of a loam by plant roots. *Australian Journal of Soil Research* 3:69-73.
2. BLACK, G.R. 1964. Soil compaction: Is it critical? *Crops and Soils* 16:9-12.
3. COLEMAN, G.E.; PERUMPAL, J.V. 1974. The infinite element analysis of soil compaction. *Transactions of ASAE* 17(5):856-860.
4. ELLENBERG, H. 1974. Zeigerwerte mitteleuropäischer Gefaesspflanzen. *Scripta Geobotanica (Goettingen)* 9:1-97.
5. HARTGE, K.H.; EHLERS, W. 1985. Zur Wirkung Physikalischer Bodeneigenschaften auf den Ertrag von Kulturpflanzen. *Kali-Briefe* 16(6):477-488.
6. HARRACH, T. 1978. Die Durchwurzelbarkeit von Boeden als wichtiges Kriterium des Ertragspotenciales. *Kali-Briefe* 14(2):115-122.
7. HORN, R. 1986. Compressibility of arable land. In *Impact of water and external forces on soil structure*. *Catena Supplement* 11:53-72.
8. KAUSCH, W.; HEINRICH, E. 1959. Beziehungen zwischen Transpiration und Wurzelwerk. *Planta* 53:434-448.
9. SOMMER, H., STEINKAMPF, M.; ZACH, M.; CZERATZKI, W. 1976. Ein Beitrag zum Problem der Bodenverdichtung beim Einsatz leistungsstarker Schlepper. *Landbau Voelkerode* 25(2):69-74.
10. VOMOCIL, J.A.; FLOCKER, W. 1965. Degradation of structure of Yolo loam by compaction. *ASSSP* 29:7-12.