

# Evaluación de la resistencia terramecánica a tres presiones laterales de cámara de un suelo ultisol de sabana del estado Monagas, Venezuela

Evaluation of the shear stresses under three camera lateral pressures of a Monagas state Ultisol savanna soil of Venezuela

Hossne G., A.; Christopher, J.; Santaella, E. y Malaver, J.

Departamento de Ingeniería Agrícola, Escuela de Ingeniería Agronómica, Universidad de Oriente. *Campus* Los Guaritos. Avenida Universidad, Maturín, estado Monagas. Telefax: 0291-6521192.  
E-mail: ahossne@monagas.udo.edu.ve y americohossne@cantv.net

## RESUMEN

Las presiones laterales de un suelo debido a cargas verticales o producto de las presiones del mismo, producen efectos en especial sobre las raíces. De acuerdo a Otto Mohr el límite de rotura de un material es determinado por las tensiones en el plano de deslizamiento. Se podría considerar que el crecimiento radical y la máxima tracción de los tractores son resultantes de la falla de Coulomb-Mohr de un elemento de suelo. Esto posiblemente conlleva a la simulación de un elemento de suelo bajo presiones laterales y verticales, al evaluar la falla de un espécimen de suelo en el equipo triaxial bajo presiones de cámaras constantes. El objetivo específico consiste en evaluar el esfuerzo de cizalleo ( $\tau$ ), el esfuerzo principal ( $\sigma_1$ ) y el ángulo de falla ( $\alpha$ ) a tres presiones de cámaras constantes de 60 kPa, 120 kPa y 180 kPa a diferentes niveles de humedad. En la metodología se utilizó el aparato triaxial para determinar a  $\tau$ ,  $\sigma_1$ ,  $\alpha$  y regresión para interpretar la proporción de la variancia entre los parámetros. Se concluye que el suelo resiste a la falla a medida que aumenta la presión de cámara y disminuye inversamente proporcional a la humedad edáfica, el ángulo del plano de falla disminuye con la humedad, la resistencia del suelo aumenta proporcionalmente a las presiones de cámara y tiende a cero cuando la humedad se acerca al límite líquido, la tensión cortante se mantiene lineal en función del esfuerzo principal sin influencia de las presiones de cámara y el ángulo del plano de falla a la presión de cámara de 180 kPa disminuye exponencialmente con el aumento de la humedad y cae rápidamente al pasar más allá de la capacidad de campo de este suelo (11 a 13 %).

**Palabras clave:** Cizalleo del suelo, tensión principal, presión de cámara, ángulo de falla

## ABSTRACT

The lateral pressures of a soil due to vertical loads or product of the pressures of the same one, produce effects especially on the roots. According to Otto Mohr the limit of failure of a material is determined by the tensions in the slip plane. One could consider that the radical growth and the maximum traction of tractors happen for effect of Coulomb-Mohr failure of a soil element. This bears to the possible simulation of a soil specimen under lateral and vertical pressures, when evaluating the failure of a soil specimen in the triaxial equipment under constant camera pressures. The specific objective consists on evaluating the shear stress ( $\tau$ ), the mayor stress ( $\sigma_1$ ) and the angle of failure ( $\alpha$ ) under three constant camera pressures of 60 kPa, 120 kPa and 180 kPa at different levels of humidity. In the methodology it was used the triaxial apparatus to determine  $\tau$ ,  $\sigma_1$ ,  $\alpha$  and regression to interpret the proportion of the variance among the parameters. On concludes that the soil resists the Coulomb-Mohr failure as the camera pressure increases and it diminishes inversely proportional to the soil humidity and that the angle of the failure plane diminishes with humidity, the resistance of the soil increases proportionally to the camera pressures and it tends to zero when the humidity comes closer to the liquid limit, the shear stress keeps lineal in function of the mayor stress without influence of the pressure cameras and the shear stress stays lineal in function of the vertical load and the angle of the failure plane versus the chamber pressures of 180 kPa diminishes exponentially with the increase of the humidity and it falls quickly when passing beyond the field capacity of this soil (11 to 13%).

**Key words:** Shearing of the soil, principal stress, chamber pressure, failure angle

## INTRODUCCIÓN

La explicación de como se sucede el crecimiento radical se encuentra muy incierto, y para establecer las respuestas es necesario muchos

conocimientos numéricos en especial para realizar simulaciones del proceso. Las raíces de las planta son de diferentes tipos, siendo las más delgadas importantes por su funcionamiento fisiológico entre 0 y 40 cm de profundidad; éstas son fácilmente

alteradas por las condiciones fisicoterramecánicas del suelo, Ouden y Vogels, 1997. Las raíces más delgadas no deben encontrar obstáculos al desarrollarse al través de los poros con esfuerzos muy leves. Si la penetrabilidad de las raíces es inhibida éstas empiezan a engrosar (Ouden and Vogels, 1997; Vine *et al.* 1981). Conocer la falla de los suelos sometidos a diferentes presiones es necesario para establecer las presiones de cámara como posiblemente existen en el suelo. Este trabajo se planificó para cuantificar la falla de los suelos agrícolas con el uso del equipo triaxial simulando situaciones normales del suelo. Ende el objetivo específico consiste en evaluar el esfuerzo de cizalleo y el ángulo de falla a tres presiones de cámaras constantes de 60 kPa, 120 kPa y 180 kPa a diferentes niveles de humedad. Las presiones de cámara utilizadas están en el rango de las presiones ejercidas por los sistemas tractivos del tractor con el fin de establecer los valores de la tensión cortante y el ángulo de falla que podrían producir condiciones anómalas en el desarrollo de las plantas. La metodología utilizó el aparato triaxial para determinar a  $\tau$ ,  $\sigma_1$ ,  $\alpha$  y regresión para interpretar la proporción de la variancia entre los parámetros.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en la Estación Experimental Agrícola de Sabana de la Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Oriente, Jusepín, Estado Monagas, situada a 147 m.s.n.m. y coordenadas geográficas de 9° 41' 33'' latitud Norte y 63° 23' de longitud Oeste; con una precipitación anual de 1127 mm y una temperatura media anual de 27,5 °C. Bajo una vegetación típica de sabana como: Chaparro (*Curatella americana (Dilleniaceae)*), Merey (*Anacardium occidentale*), Paja Peluda (*Trachypogon y Axonopas sp*), Manteco (*Byrsonima crassifolia Malpighiaceae*), Mastranto (*Hyptis suaveolens Lamiaceae*, Gramineous, Ciperaceas, etc..

El área de trabajo del suelo en estudio seleccionado dentro de la Unidad II (Espinoza, 1970), pertenece a las condiciones de un Ultisol de sabana y al grupo de los Oxic Paleustult Isohipertérmic, y en condiciones de suelo virgen.

El muestreo estratificado se basó en el trabajo realizado por Espinoza, 1970, donde se practicó una estratificación de los suelos presentes en la Estación Experimental Agrícola, en el cual el estrato que corresponde a la Unidad Maturín está clasificado como Unidad II con textura superficial franco arenosa, comprendida en una superficie aproximada de 55 ha. Se perforaron 10 hoyos de muestreo con profundidades de 0 – 30 cm y de 30 – 60 cm para la recolección de las muestras y se conformó una muestra compuesta. La recolección de las muestras y ubicación de los hoyos se realizó apoyado en el método de muestreo aleatorio simple. En cada uno de las áreas de muestreo se realizó un muestreo de las profundidades comprendidas entre 0 - 30 cm y 30 - 60 cm tomando tres (3) muestras por profundidad por hoyo al azar del mismo. El Cuadro 1 muestra los componentes edáficos del suelo en estudio. La Figura 1 presenta gráficamente los valores y cantidades de los componentes físicos del suelo relacionados con las curvas representativas del tamaño de las partículas para las profundidades estudiadas.

Se utilizaron los procedimientos de Mecánica de Suelos en el uso del Triaxial para determinar los parámetros terramecánicos procesados por Christopher (1999), Malaver (1999) y Santaella (1999). Las pruebas triaxiales se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar, Estado Bolívar. El análisis de regresión fue utilizado para interpretar la proporción de la variancia entre los parámetros de las curvas de regresión.

Cuadro 1. Componentes físicos en porcentajes y diámetro de las partículas (mm) de la Unidad II de sabana del Estado Monagas.

Profundidad (cm)	SERIES							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Componentes Edáficos (%)							
	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Limo	Arcilla	Materia orgánica
00 – 30	0,52	2,23	11,07	41,09	10,51	18,38	16,2	0,27
30 – 60	0,33	2,64	10,84	30,69	14,63	20,67	20,2	0,13
Diámetro de las partículas (mm)	1,411	0,72	0,37	0,1511	0,07	0,053	0,024	

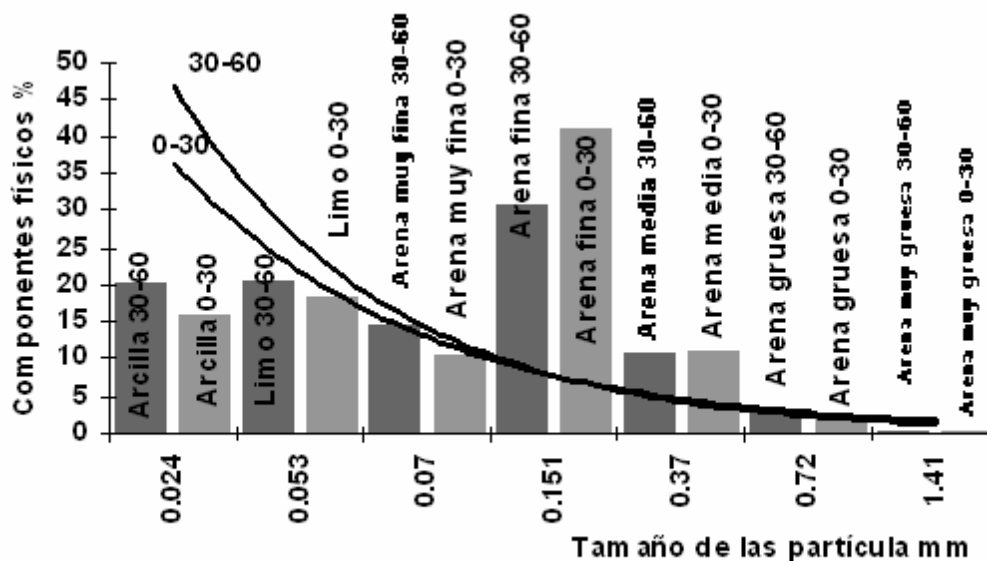


Figura 1. Representación gráfica de los componentes físicos del suelo en estudio y en relación del tamaño de las partículas

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 muestra la tensión cortante para tres presiones de cámara en función de la humedad del suelo. A medida que aumenta la presión de cámara aumenta la resistencia del suelo. Esto explica el comportamiento de las presiones que recibe el suelo por las diferentes formas que se mueven sobre él tales como: animales, tractores e implementos. Según Lull (1959) la presión estática debido al ganado es de  $172,32 \text{ kN/m}^2$  para un peso promedio de 612 kg. Un caucho de tractor alrededor de unos  $200 \text{ kN/m}^2$  y la presión del suelo a 300 mm de profundidad es de alrededor  $7,8 \text{ kN/m}^2$  para el suelo en estudio, posibles informaciones para simularlas con las presiones de cámara. Stupica (1974) señala que el uso de pesadas cosechadoras incrementa la densidad de los suelos, demostró que altos contenidos de agua con un pF entre 1,5 y 2,7 y presiones de  $9.050 \text{ Pa}$  ( $9,05 \text{ kN/m}^2$ ) a  $196.200 \text{ Pa}$  ( $196,2 \text{ kN/m}^2$ ) provocó alta compactación en tres tipos de suelos, entre los que se encontraban un arcilloso y un franco arenoso. Se podría inferir que los suelos de sabana sometidos a procesos compactantes reducen su resistencia al aumentar contenido de humedad. Según Hossne (1999) la humedad es el índice de suelo más influyente en el desarrollo adecuado de las raíces, y Hossne (1996) establece algebraicamente que la densidad del suelo como índice de compactación es influenciado por la humedad inversamente proporcional. Ecuaciones regresión:  $\tau_{180} = 1928,1 \cdot e^{-0,2159 \cdot w}$ ,  $R^2 = 0,9204$ ;  $\tau_{120} = 1124,6 \cdot e^{-0,1935 \cdot w}$ ,  $R^2 = 0,9401$ ;  $\tau_{60} = 432,31 \cdot e^{-0,1187 \cdot w}$ ,  $R^2 = 0,8683$ .

La Figura 3 presenta los ángulos ( $\alpha$ ) del plano de falla de las muestras de suelo versus la humedad edáfica a tres presiones de cámara. Se puede calcular que la curva para  $120 \text{ kN/m}^2$  y  $180 \text{ kN/m}^2$  tienen los puntos de corte para  $w = 7,326 \%$  y  $w = 14,674 \%$ ; después de este porcentaje los valores de  $\alpha_{180}$  se hacen menores que los de  $\alpha_{120}$ . Los resultados anteriores son corroborados por Paredes y Carvajal (1999) y Cova (1998) y Cova y Hossne (1998). Esto se explica por la disminución de la tensión cortante en el plano de falla y lo más alto de la tensión normal, Árpád, 1974. Los valores óptimos de  $\alpha$  están alrededor de los  $59^\circ$  para humedades iguales o menores a  $9 \%$ , aproximadamente. Todo esto podría explicar fallas para el suelo dependiendo de la presión digamos de los cauchos del tractor. Por ejemplo, para mayor lastraje menor la posibilidad de patinaje o deslizamiento. Kitani e Ichikawa (1971) trabajando con el aparato Triaxial observó que al comprimir una muestra de suelo axialmente a través de un vástago de acero y lateralmente con presión hidrostática, la tensión lateral no afecta el esfuerzo de falla, y el esfuerzo cortante se halla en el punto central más alto del círculo de Mohr, ellos no nombran la humedad. Las ecuaciones de regresión son respectivamente:

$$\alpha_{60} = -0,1481 \cdot w^2 + 2,0502 \cdot w + 52,036, R^2 = 0,9986;$$

$$\alpha_{120} = -0,0569 \cdot w^2 + 0,5195 \cdot w + 58,459, R^2 = 0,9463;$$

$$\alpha_{180} = -0,1007 \cdot w^2 + 1,424 \cdot w + 54,207, R^2 = 0,9869.$$

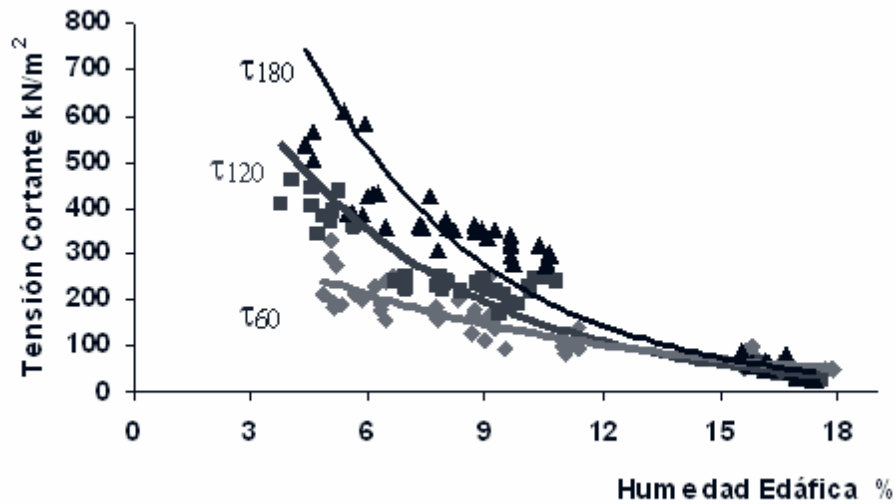


Figura 2. Tensiones cortantes bajo presiones constantes de cámara a 60, 120 y 180 kN/m<sup>2</sup> para un suelo Ultisol de sabana franco arenoso fino.

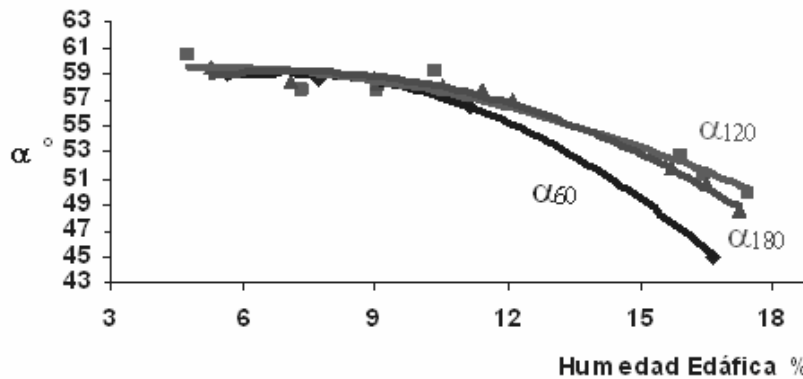


Figura 3. El ángulo del plano de falla  $\alpha$  versus la humedad edáfica a las presiones de cámara de 60, 120 y 180 kN/m<sup>2</sup> de un suelo Utisol de sabana franco fino arenosos.

La Figura 4 muestra la variación del esfuerzo cortante versus presiones principales para tres presiones laterales. El comportamiento del suelo estudiado muestra que para mayores presiones laterales, el esfuerzo cortante aumenta. Este comportamiento se observa físicamente con los sistemas tractivos del tractor; que a mayor peso vertical en el área tractiva, mayor es la tracción. Las

ecuaciones de regresión son respectivamente:  $\tau_{180} = -28,08 + 0,89 \cdot \sigma_1$  con probabilidad de  $9,3E-10$  y  $2,8E-56$  respectivamente para  $P = 2,8E-56$  y  $R^2 = 0,996$ ;  $\tau_{120} = -19,67 + 0,89 \cdot \sigma_1$  con probabilidad de  $0,0012$  y  $4,76E-41$  para  $P = 4,76E-41$  y  $R^2 = 0,977$ ;  $\tau_{60} = -49,68 + 0,97 \cdot \sigma_1$  con probabilidad de  $2,58E-09$  y  $5,01E-33$  para  $P = 5,01E-33$  y  $R^2 = 0,951$ .

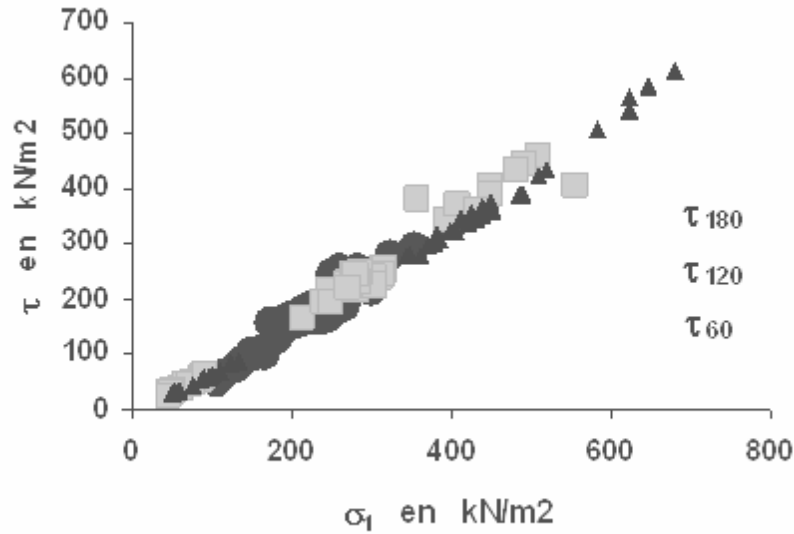


Figura 4. Tensión cortante del suelo para las tres presiones de cámara estudiadas en función del esfuerzo de carga  $\sigma_1$ .

## CONCLUSIONES

La resistencia del suelo aumenta proporcionalmente a las presiones de cámara como ha de esperarse y tienden a cero cuando la humedad se acerca al límite líquido. Esto bien podría ser utilizado como información para simular el comportamiento del suelo sometido a presión radical.

El ángulo del plano de falla disminuye exponencialmente con el aumento de la humedad. El ángulo del plano de falla a la presión de cámara de 180 kPa disminuye exponencialmente con el aumento de la humedad y cae rápidamente al pasar más allá de la capacidad de campo de este suelo (11 a 13 %).

La tensión cortante se mantiene lineal en función del esfuerzo principal para un ángulo de inclinación casi igual ( $\phi$ ) para las diferentes presiones laterales. Se observa que a mayor presión lateral, o presión de cámara, mayor es el esfuerzo cortante o resistencia del suelo.

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento al Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente por el financiamiento de esta investigación.

## LITERATURA CITADA

- Árpád Kézdi. 1974. Handbook of Soil Mechanics. Elsevier Scientific Publishing Company. 288 pp.
- Cova, A. y Hossne, G. A. 1998. El Esfuerzo Cortante y su Interrelación con la Humedad de un Suelo Utisol Agrícola Franco Arenoso. XIV Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo. Núcleo Universitario Rafael Rangel, Trujillo, Estado Trujillo. Del 2 al 7 de noviembre. 7 p.
- Cova, A. 1998. El Esfuerzo Cortante y su Interrelación con la Humedad de un Suelo Utisol Agrícola Franco Arenoso. Trabajo de Grado para Ingeniero Agrónomo. Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería Agronómica. 211 p.
- Christopher, J. A. 1999. Determinación del Esfuerzo Cortante con Mediciones del Ángulo de Falla a una Presión de Cámara de 60 kPa y su Interrelación con la Humedad de un Suelo Utisol Franco Arenoso. Trabajo de Grado para Ingeniero Agrónomo. Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería Agronómica. 101 p.
- Espinoza, J. 1970. Estudio de las Series de Suelo y Levantamiento Agrológico del Campo Experimental Agrícola de la Sabana de Jusepín. Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería

- Agronómica, Campus Los Guaritos, Maturín, Estado Monagas Venezuela: 42 p.
- Paredes, G. E. y Carvajal, R. R. 1999. Efecto del Esfuerzo Cortante y su Interrelación con la Humedad y la Densidad Seca en un Suelo Utisol Franco Arenoso. Trabajo de Grado para Ingeniero Agrónomo. Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería Agronómica. 231 p.
- Hossne, G. A. 1996. Investigaciones sobre las Interrelaciones Terramecánicas entre la Densidad y Humedad de los Suelos Agrícolas. Memorias del III Congreso Científico de la UDO, Maturín, Estado Monagas, del 3-7 de noviembre. Vol. 8 página 272.
- Hossne, G. A. 1999. Valoración del Acondicionamiento Físico del ambiente Edáfico de la Rizósfera. XV Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Decanato de Agronomía. Del 30 al 4 de diciembre.
- Kitani, O. and Ichikawa, M. T. 1971. Studies on soil failure criterion under tensile stress. 1, Triaxial tensile test. Bulletin, Faculty Agriculture. Mie University Tsu, Japan 42. 133-140 p.
- Lull, H. W. 1959. Soil Compaction on forest and range lands. U. S. Dept. Agr., Misc. Pub.768
- Malaver, A. J. 1999. Determinación del Esfuerzo Cortante con Mediciones del Ángulo de Falla a una Presión de Cámara de 180 kPa y su Interrelación con la Humedad de un Suelo Utisol Franco Arenoso. Trabajo de Grado para Ingeniero Agrónomo. Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería Agronómica. 101 p.
- Ouden, Jan den and Vogels, D. 1997. Mechanical Resistance by an Ectorganic soil on Root Development of Seedling *Pinus Sylvestri*. Plant and Soil 197:200-217.
- Vine, P. N., Lal, R. and Payne, D. 1981. The Influence of Sands and Gravels on Root Growth of Maize Seedlings. Soil Science, Vol. 131 No 2. p 124-129.
- Santaella, E. J. 1999. Determinación del Esfuerzo Cortante con Mediciones del Ángulo de Falla a una Presión de Cámara de 120 kPa y su Interrelación con la Humedad de un Suelo Utisol Franco Arenoso. Trabajo de Grado para Ingeniero Agrónomo. Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería Agronómica. 94 p.
- Stupica, T. 1974. Soil Compaction and Pore Size Distribution as Affected by Soil Cultivation. Zbornik Bioteh ke Fakultete Univerze Ljubljani Kmettystreo. 23. 35-55 p.