

# **DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE TRANSPORTE DE LA CAÑA DE AZÚCAR.**

## **AUTORES:**

M. C. Omar González Cueto  
Dr. Miguel Rodríguez Orozco

## **RESUMEN:**

Este trabajo se realizó en las áreas cañeras de la zona norte de Villa Clara, pertenecientes al Complejo Agroindustrial “José María Pérez”, donde predominan los vertisoles, los cuales tienen propiedades físicas que favorecen la compactación del suelo. Los objetivos principales del trabajo fueron determinar las principales características técnicas de los equipos de cosecha y transporte que influyen en la compactación del suelo. Además se comparan los resultados del equipamiento actual con el de un semirremolque con neumáticos de alta flotación. Los resultados muestran que la tecnología para la cosecha y el transporte son altamente compactadoras del suelo, que el paso del semirremolque autobasculante solo origina un incremento de la compactación de 1.54 % con respecto al paso de las cosechadoras y que la utilización del semirremolque autobasculante en el ciclo interno en lugar del remolque RC 10 significa una reducción de la compactación originada en el suelo de 48.6 %, o una disminución de la resistencia del suelo a la compresión de 459 kPa.

**PALABRAS CLAVES:** tractor, transporte, suelo, compactación.

## **DUMP SEMITRAILER WITH HIGHT FLOTATION TYRE FOR SUGAR CANE TRANSPORT.**

### **ABSTRACT**

This work was carried out in the sugar cane areas in the north of Villa Clara, belonging to the Sugar mill “José María Pérez”, where the vertisols prevail, which has physical properties that favor soil compaction. The main objectives were to determine the main technical characteristics of the semitrailer object of test that has influence in the soil compaction, and to determine the effect of the semitrailer traffic on the soil and to compare it with the traffic of the tow RC 10. The results showed the dump semitrailer modified fulfills the main characteristics technical proposals at international level for the equipment of infield transport, that the traffic of the semitrailer originates an increment of the soil compaction of 1.54% respect to croppers traffic and that use of the dump semitrailer in the internal cycle instead of the tow RC 10 it means a reduction of the soil compaction of 48.6%, or a decrease of the resistance to the soil compression of 459 kPa.

**KEY WORDS:** tractor, transport, soil, compaction.

## **INTRODUCCIÓN**

La degradación estructural del suelo es uno de los principales problemas de las áreas cultivadas del mundo. Esta degradación puede incluir el sellado de la superficie, la disminución de estabilidad de agregados y la compactación superficial y subsuperficial; habiéndose identificado entre sus principales causas: el excesivo laboreo, la remoción de la cobertura vegetal y el tráfico indiscriminado de maquinaria pesada, Greenland, 1981.

Las pérdidas económicas por este concepto son de difícil estimación, pero a la consecuente disminución de los rendimientos habría que sumarle el mayor costo en labranzas y tareas culturales, necesidades de resiembras, mayores dosis y número de pasadas de agroquímicos, necesidades crecientes de fertilizantes e ineficiencia en el uso de la maquinaria, Botta y col, 2003.

La compactación del suelo es, básicamente, un proceso acumulativo de aumento de la densidad aparente y de la resistencia a la penetración, por una reducción de la macroporosidad, que causa efectos negativos sobre el desarrollo radicular, disminución de la actividad biológica e insuficiente aporte de oxígeno por mala ventilación del suelo; la tasa de infiltración disminuye y los campos se erosionan o permanecen largo tiempo inundados, Sánchez-Girón, 1996; Jorajuría y Draghi, 1997; Hetz y col, 2002.

Según Botta y col. 2002, el tráfico vehicular es el principal responsable de la compactación inducida en suelos bajo producción, siendo la textura y su contenido de humedad los aspectos más relevantes en relación a la reducción del espacio poroso. En tal sentido, estableció que en suelos arcillosos son mayores los riesgos de compactar el subsuelo a niveles que limiten la producción agrícola como mayor será también la persistencia del daño realizado.

Alakuku, 1996, determinó que la compactación inducida por el tráfico vehicular persistía entre 3 y 11 años en suelos con porcentajes de arcilla entre el 6% y el 85%, cuando el mismo fue transitado con altas cargas sobre el eje. El número de veces en que el sustrato es transitado, también es un factor determinante de la compactación inducida. Tanto la densidad aparente como la profundidad y la superficie de suelo compactado, aumentan progresivamente con el número de pasadas, Jorajuría y col. 1997. Por otra parte, Liebig y col. 1993, encontraron que los sectores traficados por los implementos agrícolas presentaban incrementos en la densidad aparente, en la resistencia del suelo, en el diámetro ponderal medio de agregados y en el contenido de humedad a capacidad de campo y en punto de marchites permanente, mientras que la conductividad hidráulica saturada, el contenido de agua a saturación y el agua gravitacional fueron menores, que en los sectores que no recibieron tráfico.

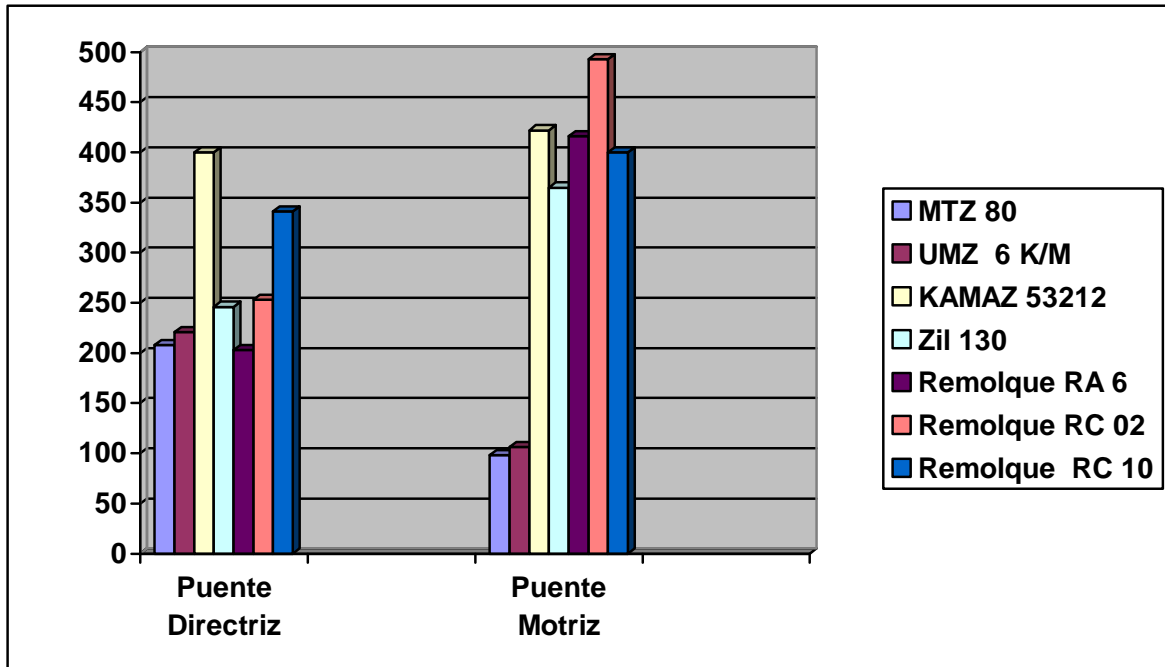
En Cuba, la degradación y deterioro de las propiedades físicas y químicas de los suelos, como resultado del uso agrícola, está presente en casi la totalidad de las áreas bajo cultivo. El anuario estadístico de Cuba del 2000 reporta que en 1996 el 37.3 % de las áreas agrícolas tenían erosión de muy fuerte a media y que el 40.3 % del área tenía problemas de drenaje.

La realización de la zafra con la tecnología tradicional, para la cosecha y el transporte, compuesta generalmente por la cosechadora cañera KTP 2M y tractotrenes (MTZ 80 o YUMZ 6M/K como unidades de tiro y remolques RA 6 y RC 02) o autotrenes (camión Kamaz 53212, ZIL 130, solos o con remolques) favorece la compactación del suelo, González y col, 2002.

Dick (1987) considera que la densidad aparente, la permeabilidad del aire, la distribución del espacio poroso y las características de drenaje son adversamente afectadas con presiones sobre el suelo superiores a 200 kPa. González y col (2002) determina las presiones específicas del equipamiento de transporte y obtiene que las presiones de los remolques es superior a los 300 kPa y en ocasiones alcanzan casi los 500 kPa como en el caso del RC 02.

Gráfico No. 1.

Presiones específicas del equipamiento para el transporte de la caña de azúcar.



Las características técnicas de este equipamiento como son: la no transferencia de peso del remolque al tractor y el alto valor de la interfase neumático-suelo (afectada por la utilización de neumáticos de alta presión y baja flotabilidad como es el caso de los neumáticos 14x20 y 10x20, y el alto peso por eje) no son compatibles con las características técnicas de los medios empleados en el mundo, para este tipo de trabajo. Fuelling (1985) plantea que los equipos de transporte intermedio deben poseer el punto de enganche del tractor diseñado para soportar en el eje trasero la mayor cantidad de peso proveniente del semirremolque, el punto de aplicación de esta fuerza debe estar situado delante del eje trasero, aplicando una presión positiva sobre el eje delantero y cargándolo también para mejorar su capacidad de tracción y considerar la utilización de neumáticos de alta flotación. Estas son las principales características de los remolques, los que se han extendido y hoy día representan la mayoría de los medios para el transporte intermedio, tanto para condiciones húmedas como seca.

Dentro de los trabajos realizados para la solución del problema del transporte de la caña de azúcar en el Departamento de Mecanización de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, se modificó un remolque de los utilizados para la plantación de caña de azúcar, llevándolo a las características propuestas por la literatura como más favorables para la disminución de la compactación del suelo.

Este trabajo se realizó en las áreas cañeras de la zona norte de Villa Clara, pertenecientes al Complejo Agroindustrial “José María Pérez”, donde predominan los vertisoles, los cuales tienen propiedades físicas que favorecen la compactación del suelo. Los objetivos principales de este trabajo son los siguientes:

1. Determinar las principales características técnicas del semirremolque objeto a prueba, que influyen en la compactación del suelo.

- Determinar el efecto sobre el suelo del paso del semirremolque y compararlo con el paso del remolque RC 10.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

- Obtención de las características técnica del semirremolque que determinan la compactación del suelo

- Transferencia de peso

Los remolques para caña de azúcar fabricados en Cuba no aprovechan las ventajas de la transferencia de peso y todo el peso que recae en ellos forma parte de su resistencia a la rodadura y a la vez determina la alta presión específica que poseen estos equipos en ambos puentes.

La determinación de la transferencia de peso se obtuvo de la forma experimental, a través del pesaje del semirremolque y el tractor en la pesa del central. Para esto se:

1 – Se obtuvo el peso total del tractor.

2 – Se obtuvo el peso del tractor, más la transferencia de peso del semirremolque, sin carga, hacia el tractor.

3 – Se determinó el peso transferido al semirremolque por la diferencia entre el peso del tractor más la transferencia de peso del semirremolque menos el peso del tractor.

4 – Se obtiene el % de la transferencia de peso del semirremolque, a partir de la relación entre el peso transferido y el peso total de semirremolque

- Determinación de la carga sobre el neumático del tractor.

El procedimiento utilizado fue el propuesto por Chudakov 1977.

Tabla 1. Dimensiones y parámetros constructivos del neumático utilizado en la remodelación del semirremolque autobasculante.

Tamaño	21.3 R24
Diámetro exterior. mm	1400+/-15
Anchura del perfil mm	540
Radio estático mm	640+/-8
Carga máxima permitida kg una rueda	2500 - 3400
Velocidad de trabajo km/h	30
Diámetro interior. mm	610

Tabla 2. Características constructivas del neumático utilizado por el tractor:

Tamaño	15.5R38
Diámetro exterior, mm	1570
Anchura del perfil, mm	394
Carga máxima permitida kg una rueda	2600
Velocidad de trabajo km/h	30
Diámetro interior, mm	965

- Determinación de la presión media específica sobre el suelo del semirremolque.

Se obtuvo a través del siguiente procedimiento:

$$P_{me} = CN / A_c$$

Donde:

$P_{me}$ : Presión media específica en kPa.

$A_c$ : Área de contacto del neumático con el suelo  $m^2$

CN: Carga sobre el neumático kN.

Sánchez Girón (1996) plantea la siguiente expresión para calcular el área de contacto del neumático con el suelo, en condiciones de suelo blando.

$$A_c = b * L$$

$$b = b_c * 0.87$$

$$\delta = 0.2 * h \quad \text{Considera una deformación en el neumático del 20 \%}$$

$$h = (d_c - d_i) / 2$$

$$L = 2 * \sqrt{\delta (d_c - \delta)^2}$$

Donde:

$b_c$ : Ancho constructivo del neumático. mm

L: Longitud de la huella. mm

$\delta$ : Deformación del neumático. mm

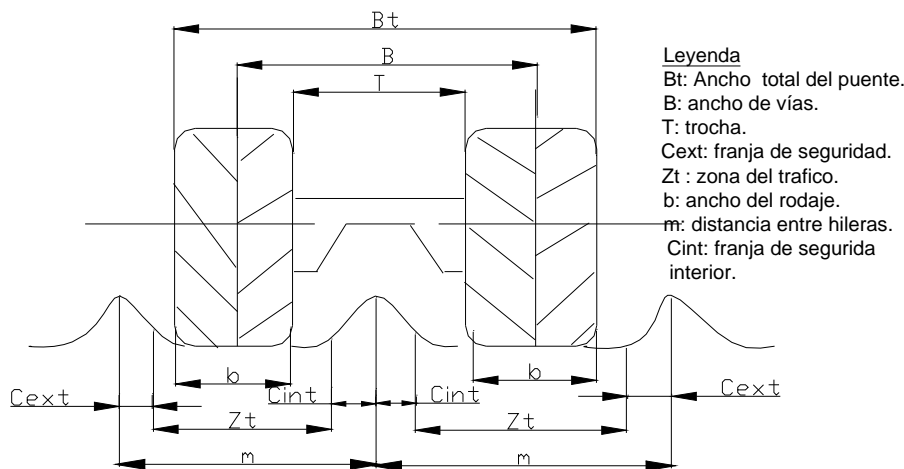
h: Altura del neumático. mm

$d_c$ : diámetro exterior del neumático. mm

- Determinación del ancho de vía del semirremolque.

El ancho de vía se determinó en función de lograr una adecuada estabilidad a partir de tener el mayor ancho de vía posible. Para esto se tuvo en cuenta el ancho de los neumáticos, el ancho de vía, la separación entre surcos, y siempre respetando la zona de seguridad del cultivo, considerada de 400 mm a ambos lados de la cepa.

Gráfico 2 Esquema del pasamiento entre surcos del semirremolque.



A partir de Chudacov (1977).

$$B = m(n+1) - 2C_{ext} - b$$

Donde:

$B$  - Ancho de vía.       $m$

$m$  - Distancia entre surcos.       $m$

$n$  - Número de surcos bajo el tractor.

$C_{ext}$  - Zona de protección exterior de la planta.       $m$

$b$  - Ancho del neumático.       $m$

$d_c$  - Diámetro exterior del neumático.       $m$

$d_i$  - Diámetro interior del neumático       $m$

## 2. Determinación del efecto sobre el suelo del paso del semirremolque

La investigación se realizó en el bloque cañero # 16, campo 6 y 7. La variedad de caña que se cosecha es la Cuba 323 con un rendimiento agrícola de 50 t/ha. El bloque cañero tiene una longitud de (866.76 m). El suelo no presenta obstáculos que limiten el uso de la mecanización, pero tiene grandes problemas de drenaje debido a la poca pendiente que tienen esos campos, la cercanía a la costa y al alto nivel de arcillas que presentan estos suelos.

En el ensayo se tomaron 4 parcelas de longitud 150m y 1.6 m de ancho, componiendo cada una un tratamiento.

Tratamiento 1 - Testigo –parcela sin tránsito de ningún equipo sobre ella.

Tratamiento 2 - parcela con dos pases de la combinada TOFT- 600

Tratamiento 3 - parcela con dos pases de combinada más dos pases del remolque autobasculante y el tractor.

Tratamiento 4 - parcela con dos pases de la combinada más dos pases del remolque de KAMAZ y el tractor

- Determinación del grado de compactación del suelo en % .

El grado de compactación da una medida del incremento o disminución de la compactación de un suelo después de realizar un operación tecnológica determinada, se puede expresar con la ecuación.

$$C = [(ICdt - ICat) / ICat] * 100 \quad \%$$

Donde:

ICdt: Índice de cono después del paso del equipo. kPa

ICat: Índice de cono antes del paso del equipo. kPa

C: Compactación del suelo.

Todos los datos muestreados fueron procesados con el paquete estadístico Statgraphics plus 4.1

### Resultados y Discusión

1. Resultados de las características técnicas relacionadas con la compactación del suelo.

Tabla No. 3 Características técnicas del semirremolque modificado

Peso sin carga	3500 kg
Peso de la carga nominal	5000 kg
Peso con carga	8500 kg
Relación carga/tara	1.42
Transferencia de peso del semirremolque cargado al tractor	850 kg
Tipo de neumático	21.3R24
Área de contacto del neumático con el suelo	0.30 m <sup>2</sup>
Presión media específica	127 kPa
Batalla	3.89 m
Ancho de vía	1.66 m

- Consideraciones sobre las características técnicas del semirremolque.

Se situó el rodaje del neumático a 3.89 m del punto de enganche del tractor, con lo que se garantizó que la transferencia de peso al tractor no fuera excesiva. Los tractores que se utilizan actualmente en Cuba, para el tiro de la caña de azúcar, no están diseñados para soportar altos pesos en su punto de enganche. Para evitar esto es necesario adaptar el punto de enganche, de forma que el punto de aplicación de la fuerza quede en una zona entre el puente delantero y el puente trasero del tractor, de tal manera que no se cree un momento que descargue las ruedas delanteras. Esta adaptación no fue posible hacerla y se decidió transferir solo 850 kg. Con esta cantidad se logra mantener en el puente delantero del tractor MTZ 80, que es el mas ligero de los utilizados en las pruebas 922 kg de los 3550 kg de peso total, que representa un 25 %, superior al peso mínimo que Chudakov (1977) recomienda mantener en el puente delantero para conservar la dirigibilidad del tractor.

La presión media específica con el remolque cargado, fue de 127 kPa, menor que la recomendada por Dick (1987). Además si se compara con la presión sobre el suelo de los demás medios de transporte empleados en Cuba, Gráfico No. 1 se comprueba que es muy inferior a los demás remolques cañeros. El incremento de 850 kg en el puente trasero del tractor MTZ 80, solo eleva su presión sobre el suelo hasta 130 kPa, lo que no representa un incremento significativo.



Foto No.1 y No.2 Semirremolque autobasculante trabajando durante las pruebas.

2. La humedad del suelo durante las pruebas de campo fue de 25 %, una condición seca para este tipo de suelo. La resistencia a la compresión medida con el penetrómetro de cono, mostró un índice de cono de 715 kPa. Según la clasificación de la dureza del suelo de Brixius (1987), reportada por Zoz y Grisso (2003) y Goering y col (2003), este valor de IC está en el límite inferior de los suelos de dureza media.



Fotos No. 2 y 3. Toma de muestras de suelo y obtención de la resistencia a la penetración del suelo

Los tratamientos se escogieron de forma que permitiera obtener el incremento de la compactación del suelo a medida que aumenta el tránsito de los equipos. Los datos de la resistencia a la penetración del suelo se tomaron inmediatamente después del tránsito, a una profundidad de 150 mm.



Tabla 4. Valores medios del índice de cono por tratamiento.

Tratamiento	IC (kPa)
1	715 a
2	974 b
3	989 b
4	1448 c

Letras distintas en sentido vertical denotan diferencias significativas entre los tratamientos.

Al analizar la resistencia a la penetración en los tratamientos 2 al 4, con respecto al testigo se encuentran diferencias significativas en los tres casos. Se observa que solo con el paso de la cosechadora Toft 6000, se incrementó el índice de cono en 259 kPa. Al comparar el efecto del tránsito del semirremolque autobasculante se aprecia que incrementa la resistencia a la penetración con respecto al paso de la cosechadora en 15 kPa, por lo que no existen diferencias significativas entre estos dos tratamientos. Al comparar el paso del RC 10, con el paso de la cosechadora se observa un incremento del índice de cono en 474 kPa, diferencia significativa. Este resultado se muestra también al evaluar la compactación ocasionada por los tres tratamientos con respecto al testigo, apreciándose el efecto negativo del tránsito del remolque RC 10 el cual duplica la compactación del suelo existente antes de la cosecha. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Braunack y Col (1993), el cual realiza estudios para evaluar la compactación, en suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar, ocasionada por equipamiento de transporte de alta flotación (baja presión sobre el suelo y por medios de transporte del tipo convencionales (de alta presión sobre el suelo). Los resultados mostraron que la densidad aparente y la resistencia a la penetración, fue menor en la superficie después del paso del equipamiento de alta flotación comparado con el equipo convencional.

Tabla 5. Compactación ocasionada por el paso de los medios de transporte sobre el suelo con respecto al testigo.

Tratamiento	Compactación en %
2	36.2
3	38.3
4	102.5

Tabla 6. Compactación ocasionada por el paso de los medios de transporte sobre el suelo con respecto al paso de la cosechadora.

Tratamiento	Compactación en %
2	1.54
3	48.6

Al evaluar el incremento de la compactación con respecto al paso de la cosechadora se aprecia que el paso del RC 10 ocasiona un incremento de la compactación del 48.6 %, muy superior al originado por el semirremolque autobasculante que es de 1.54%, casi despreciable. La causa fundamental de este resultado es debido a la alta presión sobre el suelo que ejerce este remolque, determinado por su gran peso por eje, neumáticos de poca área de contacto y altas presiones de inflado.

Los resultados finales de la evaluación del tránsito del remolque autobasculante muestra que la compactación ocasionada por su tráfico en el campo es inferior en un 47.06 % a la compactación ocasionada por el remolque RC -10, lo que da una medida de la importancia de su utilización futura en el transporte de la caña de azúcar en función de disminuir la compactación originada durante la cosecha y transporte.

#### Conclusiones

1. El semirremolque autobasculante modificado cumple con las principales características técnicas propuestas a nivel internacional para el equipamiento de transporte intermedio.
2. El paso del semirremolque autobasculante solo origina un incremento de la compactación de 1.54 % con respecto al paso de las cosechadoras.
3. La utilización del semirremolque autobasculante en el ciclo interno en lugar del remolque RC 10, significa una reducción de la compactación originada en el suelo de 48.6 %, o una disminución de la resistencia del suelo a la compresión de 459 kPa.

#### **BIBLIOGRAFÍA:**

ALAKUKU, L. 1996. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. I. Short term effects on the properties of clay and organic soils. *Soil & Tillage Research* 37: 211-222

BOTTA, G., JORAJURIA D., L. DRAGHI. 2002. Influence of the axle load, tire size and configuration, on the compaction of a freshly tilled clayey soil. *Journal of Terramechanics* 39: 47-54.

BOTTA, G., JORAJURÍA, D., ROSATTO, H., SPAIN, H., FERRERO C. 2003 Perfil de la compactación producida por el tráfico en un suelo bajo el sistema de siembra directa. Chile. *Revista Agro-Ciencia*. 19: 107 - 113.

BRAUNACK, M .V. 1993. The extent of soil compaction in sugarcane soils and a technique to minimize it. *Sugar Cane*. No. 5. 12-18

BRIXIUS, W. W. (1987), Traction prediction equations for bias ply tires. ASAE Paper No. 87-162

CHUDAKOV D. A.1977. Fundamentos de la teoría y el cálculo de tractores y automóviles. Editorial MIR.

CROVETTO, C. 2000. La cero labranza permanente y la disponibilidad de nutrientes para las plantas. En: *Anales del 8º Congreso Nacional de AAPRESID*. 1: 41-48.  
distintos sistemas continuos de labranza. *Carpeta de producción vegetal*. Estación Experimental de Pergamino INTA. Argentina. 4: 181-185.

DICK, R .G. 1987. Developers aim for optimum high flotation high capacity vehicle, *BSES Bulletin*, 20, October, Australia.

FUELLING, T. G. 1985. New scope for cane transporter design. *SUGAR CANE* No. 4 pp.7-10

GREENLAND, D. J. 1981. Soil management and degradation. *Journal of Soil Science* 32: 301-322.

GOERING, C. E., STONE, M. L., SMITH D. W., TURNQUIST, P. K. 2003 Off-road vehicle engineering principles. Editorial ASAE, Michigan, pp 474

- GONZÁLEZ, O., M. RODRIGUEZ, M. HERRERA., 2002. Determinación de cualidades de tracción del tractor MTZ 80 con neumáticos traseros dobles 15.5x38, con neumáticos de alta flotación 20.8x38 y del tractor Fiat New Holland 110-90. 48 Congreso de la ATAC.
- HAKANSSON, I., J. REEDER. 1994. Swedish experiments on subsoil compaction by vehicles with high axle load. *Soil use manage* 1:113 - 116.
- HETZ, E; P, CORNEJO; M LÓPEZ. 2002. Estimación de las presiones generadas en la interfase neumático/suelo por tractores agrícolas usados en Chile. *Agro-Ciencia* 17(2): 179-185.
- HILL, R.L. 1990. Long term conventional and no tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Science Society of American Journal*. 54: 161-166.
- ISMAIL, I., R.L., BLEVINS, W., W. FRYE. 1995. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Science Society of American Journal*. 58: 193-198.
- JORAJURÍA, D. Y L. DRAGHI. 1997. The distribution of soil compaction with depth and the response of a perennial forage crop. *Journal of Agricultural Engineering Research* 66(4):261-266.
- LARNEY, F., E. KLADIFVCO. 1989. Soil strength properties under four tillage systems and three long-term study sites in Indiana. *Soil Science Society of American Journal*. 53: 1539-1545.
- LEIVA, P., D. HANSEN.1984. Las resistencias mecánicas del suelo y el desarrollo radicular con distintos sistemas continuos de labranza. *Carpeta de producción vegetal. Estación Experimental de Pergamino INTA. Argentina*. 4: 181-185.
- LIEBIG, M. A., JONES, A.J., MIELKE, L.N., J. W. DORAN. 1993. Controlled wheel traffic effects on soil properties in ridge tillage. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 57: 1061-1066.
- NARRO FARIAS, E.1994. Física de suelos con enfoque agrícola, Trillas, México.
- RAGHAVAN, G. S., V. Mc. KYES 1989. Soil compaction by agricultural tires. *Transactions of ASAE*. 20: 218 - 220.
- SÁNCHEZ-GIRÓN, V. 1996. Dinámica y mecánica de suelos. Ediciones Agrotécnicas, Madrid. pp. 269-300.
- SENIGAGLESI, C. M. FERRARI. 1993. Soil and crop responses to alternative tillage practices. *Crop Science*. 33: 27-35.
- SOANE, B. D., VAN OUWERKERK, C. 1994. Compaction problems in world agriculture. Págs.1-21. En: Soane, B. D. and Van Ouwerkerk, C (Edit.) *Soil compaction in crop production*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Holanda.
- ZOZ, F.M., GRISSO, R.D. 2003. Traction and tractor performance. *ASAE Distinguished Lectures Series 27, ASAE Publication Number 913C0403, Michigan, ASAE*.