

# Efecto del modo de vibración y la velocidad de trabajo en la disminución de la resistencia traccional de los órganos escarificadores vibratorios

## *Effect of the vibration mode and forward speed in the reduction of draft force in the vibrating scarifiers*

Luis Orlando Marín Cabrera<sup>1</sup>; Osvaldo Leyva Santiesteban<sup>2</sup> y Miguel Herrera Suárez<sup>3</sup>

**RESUMEN.** El presente trabajo tiene como objetivo analizar el efecto del modo de vibración y la velocidad de trabajo en la disminución de la resistencia traccional de los órganos escarificadores vibratorios. Para cumplimentar dicho objetivo se desarrollan las investigaciones experimentales en las áreas de producción del Complejo Agroindustrial Azucarero “Boris Luis Santa Coloma”, perteneciente al municipio de Madruga, provincia de Mayabeque, en las mismas se analizan los efectos de las vibraciones libres y forzadas (factor A) en la resistencia traccional de un prototipo de escarificador vibratorio (Bayamo 81 M). Se analizan además los efectos de la velocidad de trabajo del conjunto (Factor B) en la reducción de la demanda traccional. Los resultados evidenciaron que de los factores analizados el modo de vibración es que ejerce una influencia significativa en la variabilidad de la resistencia traccional, pues la contribución de la velocidad no fue encontrada como significativa, al igual que los efectos de la interacción entre ambos factores. A pesar de no ser significativos los efectos de la velocidad, cuando esta tomó valores de 4,5 km/h los efectos en la variabilidad de la resistencia traccional fueron mayores que para el rango de velocidades de 1,044 a 3,96 km/h. De igual forma se comprobó que el empleo de las vibraciones forzadas en el escarificado profundo permite una reducción de la resistencia traccional en un nueve por ciento, en comparación con el empleo de vibraciones libres.

**Palabras clave:** prototipo, vibración, libre, forzada,

**ABSTRACT.** This paper aims to analyze the effect of the vibration mode and forward speed in the reduction of the draft force in the vibrating scarifiers. To complete this objective the experimental research was develop in the areas of production of Agroindustrial Complex Sugar “Boris Luis Santa Coloma”, belonging to the town of Madruga, Mayabeque province, where they analyzed the effects of self and forced vibrations (factor A) in the tensile strength of a prototype vibrating scarifiers. (Bayamo 81M). Also analyzed the effects of the forward speed (Factor B) in the draft force demand. The results showed that of these factors, the type of vibration exerted a significant influence on the variability of draft force, the forward speed effects was not found significant, as well as the interaction between both factors. Although was not significant the effects of speed, when exhibit values of 4,5 km/h the effects on the variability of draft force were higher than for the speed range of 1,044 to 3,96 km/h. Similarly it was found that the use of forced vibrations in scarification depth allows a reduction in draft force by nine percent, compared with the use of self vibrations.

**Keywords:** prototype, self, forced, vibration.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo en la construcción de máquinas agrícolas ha propiciado que en la actualidad exista una gran diversidad, con las características más disímiles en función del tipo de labor a realizar, las exigencias agrotécnicas de los cultivos, y las

condiciones de suelo y ambiente donde laboran. Los aperos de labranza no escapan a esta realidad, siendo uno de las que más acaparan la atención de productores e investigadores, debido a la gran variedad de condiciones de suelo a laborar.

Los escarificadores son aperos de labranza que han alcanzado gran utilización en las tecnologías actuales de pre-

**Recibido** 15/10/09, aprobado 11/06/11, trabajo 43/11, investigación.

<sup>1</sup> M.Sc., Prof. Asistente, Universidad de Granma, SUM Bayamo, Empresa Mecánica de Bayamo, Granma, Cuba, E-✉: [marin@emba.granma.inf.cu](mailto:marin@emba.granma.inf.cu). Teléf.: 0123-482102, 0123-482802.

<sup>2</sup> Dr.C., Prof. Asistente, Universidad de Granma, Departamento de Ingeniería, Bayamo, Granma, Cuba.

<sup>3</sup> Dr.C., Prof. Titular, Universidad Central de Las Villas. Dpto. Mecanización Agropecuaria, Villa Clara, Cuba.

paración de suelos, los mismos pueden ser de brazos rígidos, semirrígidos o flexibles, y vibratorios. Según Leyva (2009), los de brazos rígidos poseen un mayor requerimiento traccional, pero por lo general son los más sólidos y no tienen gran complejidad tecnológica, siendo los más difundidos en el ámbito internacional. Los órganos de trabajo de los escarificadores semirrígidos o flexibles no requieren ser accionados, sus vibraciones son libres, es decir la frecuencia y amplitud de las vibraciones no son controladas, son inducidas por las variaciones en la resistencia del suelo y la elasticidad de los elementos del órgano de trabajo, es decir vibran según el fenómeno de la vibración por libre excitación. Estos escarificadores demandan menos resistencia fraccional, disminuyéndola en 15...30%, respecto a los rígidos, aunque son un tanto más complejos que éstos últimos (Leyva, 2009).

Los escarificadores de brazos vibratorios poseen órganos de trabajo activos, o lo que es lo mismo, son sometidos a vibrar de manera forzada, al ser accionados por la fuente energética. Estos escarificadores reducen la resistencia traccional de 30 a 52% con respecto al rígido (Leyva *et al.*, 1998a; Soeharsono y Radite, 2010); además de ser idóneos para laboreo mínimo por el efecto que logran sobre el suelo en una pasada, aunque este tipo de escarificadores puede aumentar hasta un 50% el consumo de potencia con respecto a los rígidos (Yow y Smith, 1976), producto del aumento de la cantidad de energía que se requiere para imprimirle inercia a la herramienta de labranza y sus mecanismos (Soeharsono y Radite, 2010). Según el tipo de mecanismo generador de vibraciones pueden ser: de biela y manivela, hidrostáticos o neumáticos generadores de pulsaciones intermitentes e inerciales, ó de masas desbalanceadas (Leyva, 2009).

Según Shahgoli *et al.* (2010), los estudios realizados en los últimos cincuenta años revelan que, las oscilaciones de las herramientas de labranza pueden ser muy efectivas en la disminución de la fuerza de tiro y el aprovechamiento de la potencia transferida del motor del tractor durante la descompactación del suelo.

A pesar de las diferencias entre los distintos métodos de excitación en los escarificadores que vibran de manera forzada y libre, los resultados de las investigaciones experimentales muestran, que la demanda de resistencia traccional no difiere significativamente para ambos tipos de escarificadores (Soeharsono y Radite, 2010).

Según Awad-Allah *et al.* (2009) la velocidad de trabajo tiene efectos directos y proporcionales a la resistencia traccional de los escarificadores vibratorios; pues la misma se incrementa hasta en un seis por ciento cuando la velocidad de avance aumenta en un 200%. Kushwaha y Zhang, (1998), afirman que la fuerza de tiro se incrementa con el incremento de la velocidad de avance del apero, producto de la aceleración del suelo y la dependencia que tiene ésta de la resistencia intrínseca del suelo, pues los resultados investigativos de Wismer y Luth (1972), evidencian que las características de la variación de la fuerza de tiro con respecto a la velocidad de avance del apero están conectadas con el tipo de suelo a laborar.

Investigaciones realizadas por Shahgoli *et al.* (2010); de-

mostraron que a una velocidad de 3 km/h se reduce de manera significativa la resistencia traccional de los escarificadores vibratorios, mientras que Soeharsono y Radite (2010) afirmaron que cuando la proporción entre la velocidad de avance del apero y la de oscilación es menor que la unidad la resistencia traccional del escarificador vibratorio no se reduce de manera significativa, pues según se incrementa la proporción de velocidades se incrementa la reducción de demanda traccional.

Por tales motivos el presente trabajo tiene como objetivo analizar el efecto del modo de vibración y la velocidad de avance de los escarificadores en la disminución de la resistencia traccional de los órganos escarificadores vibratorios.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se desarrollaron en las áreas de producción del Complejo Agroindustrial Azucarero “Boris Luis Santa Coloma”, perteneciente al municipio de Madruga, provincia de Mayabeque, los suelos del área experimental se clasifican como ferralíticos rojos, según la *Nueva Versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba*, (1999), como un Rhodic Ferrasol según la clasificación de la FAO-UNESCO (FAO, 1988), y como un Oxisol según la clasificación USDA Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010). El relieve es llano con pendientes menores que un 2% de inclinación.

**Diseño de experimentos.** Se empleó un diseño experimento en bloques al azar con un arreglo bifactorial, donde los factores son: la velocidad de avance del conjunto (A) y el modo de vibración (B). La velocidad se tomó a cuatro niveles, correspondientes con las cuatro primeras velocidades de marcha del tractor. El factor vibraciones se tomó a dos niveles, que comprenden el modo de vibración (libre y forzada). Esto conformó un total de ocho tratamientos, los cuales fueron replicados cuatro veces.

El modelo matemático es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + E_{ij} \quad (1)$$

donde:

$\mu$ -efecto medio;

$A_i$ - efecto del *i*ésimo nivel del modo de vibraciones (factor A);

$B_j$ - efecto del *j*ésimo nivel del escalón de velocidad (factor B);

$(AB)_{ij}$ - efecto de la interacción del *i*ésimo nivel del factor A y el *j*ésimo nivel del factor B;

$E_{ij}$ - error experimental con media 0 y varianza 1;

$E_{ij}$ - (0,  $\sigma$ ).

La variable dependiente analizada fue la resistencia traccional del escarificador, expresada en kN. Como variables de control se determinaron además la humedad y densidad del suelo.

La experimentación se realizó en parcelas de 100 x 100 m, dejando 10 m por cada extremo para evitar los efectos de borde. El área experimental se dividió en ocho parcelas correspondiente a cada tratamiento, cada una de las cuales se subdividió en cinco secciones transversales a la dirección del desplazamiento del conjunto tractor-apero. En las secciones

I, III y V, se determinará la profundidad; ancho de trabajo; humedad y densidad del suelo. En las secciones II y IV se verificará la frecuencia; amplitud de las oscilaciones del apero; velocidad de trabajo del conjunto; y la resistencia traccional.

**Metodología para la determinación de la resistencia traccional.** Se utilizó un escarificador “Bayamo 81”, (Figura 1a), el cual fue modificado en el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA) de la Universidad Agraria de La Ha-

vana. Dicha modificación consistió en la adición de un mecanismo vibratorio de masas desbalanceadas que propicia las vibraciones forzadas de los órganos de trabajo, (Figura 1b), además de un resorte amortiguador en cada órgano de trabajo para favorecer el surgimiento de vibraciones libres del órgano de trabajo cuando el mecanismo de masas desbalanceadas no funciona. La estructura permanece rígida sin vibrar.

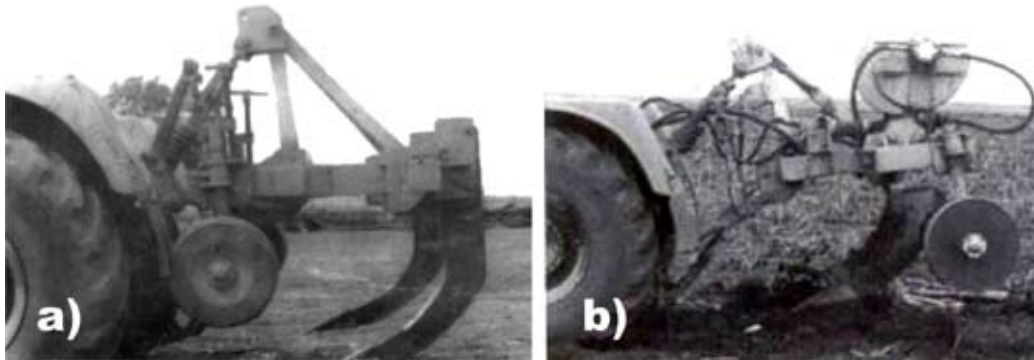


FIGURA 1. a) Escarificador “Bayamo 81”; b) Escarificador “Bayamo 81M”.

Para las mediciones de la resistencia traccional se utilizaron dos dinamómetros eléctricos de tracción de 30 y 60 kN respectivamente, modelo KRD-2, colocados entre el tractor que hace función de remolcador y el tractor que forma agregado con el escarificador (Figura 2). Dichos dinamómetros fueron calibrados en el laboratorio de tensometría del CEMA. Las señales captadas con el dinamómetro se enviaron a un amplificador de señales modelo 8ANCH- 4- 7M de nacionalidad rusa, el cual se encarga de amplificarlas y enviarlas al osciloscopio N- 700. El procesamiento de las mismas se realizó por el método de las ordenadas con intervalos de 0,1 s, coincidiendo éstos con las líneas de tiempo. Se midieron los valores máximos y mínimos mediante la planimetría.



FIGURA 2. Medición de la resistencia traccional.

La resistencia traccional se obtuvo por la expresión:

$$R = X_m \times \mu \text{ , kg} \quad (2)$$

Donde:

$X_m$  -ordenada de la curva en el papel, mm;  
 $\mu$ -coeficiente de calibración, kg.mm<sup>-1</sup>.

**Metodología para la determinación de la velocidad de trabajo.** Se determinó con un sistema de quinta rueda, utilizando un dispositivo contador eléctrico de impulsos, (Figura 3).

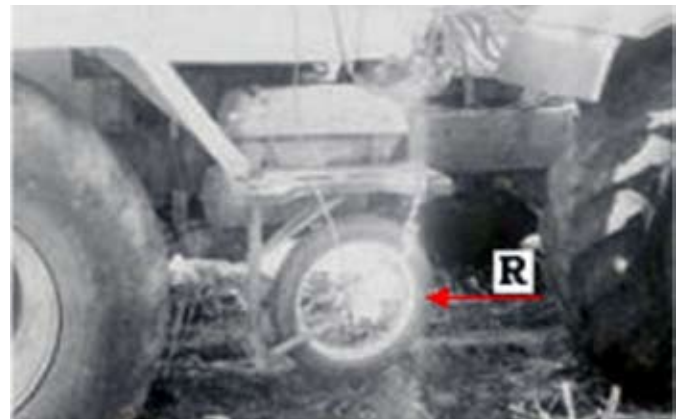


FIGURA 3. Dispositivo para medición de la velocidad. Quinta rueda (R) para la determinación de la velocidad real del apero.

El escarificador vibratorio “Bayamo 81 M”, durante la experimentación formó agregado con un tractor BELARUS del tipo T-150K, de procedencia ucraniana, como remolcador se empleó un tractor DT-75M de 66 kW (90CV). La frecuencia de las vibraciones forzadas del apero fue de 14 Hz y la amplitud 8 mm.

### Metodología para la determinación de los efectos sobre el suelo

**Determinación de la humedad del suelo.** Para determinar la humedad del suelo se tomaron cinco muestras con

cuatro réplicas cada una, en ambas diagonales de la parcela de ensayo (secciones I, III y V), así como en cuatro niveles de profundidad hasta alcanzar la profundidad máxima de trabajo (0 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m; 0,20 a 0,30 m; 0,30 a 0,40 m), (Figura 4). Dichas muestras se colocaron en recipientes herméticos de capacidad 300 cm<sup>3</sup>, determinándoseles su masa al instante de ser tomadas en una balanza de precisión (0,1g). El proceso de secado de las mismas se desarrolló en una estufa a una temperatura constante de 60°C, durante un período de tiempo de 24 h, hasta alcanzar una masa constante.

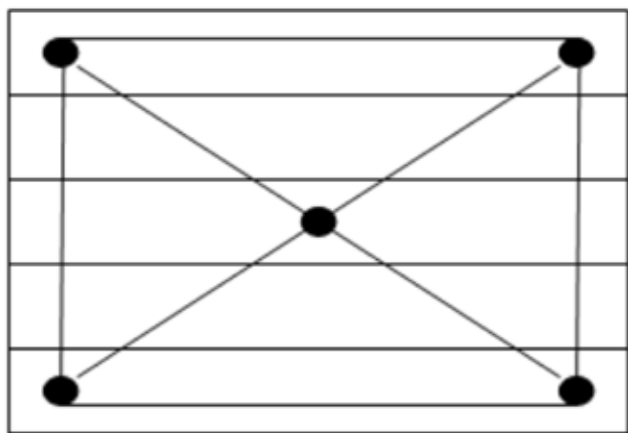


FIGURA 4. Zonas de muestreo del contenido de humedad y densidad del suelo.

El contenido de la humedad del suelo (W) se calculó mediante la expresión siguiente:

$$W = \frac{P1 - P2}{P2 - T} \times 100 \tag{3}$$

donde:

- W-humedad del suelo, %;
- P1-masa del recipiente con la muestra húmeda, g;
- P2-masa del recipiente con la muestra seca, g;
- T-masa del recipiente sin muestra (Tara), g.

**Determinación de la densidad aparente del suelo.** Para la determinación de la densidad aparente del suelo las muestras se tomaron en los mismos puntos y profundidades designadas para la humedad del suelo, (Fig. 5). Se procedió al secado de las muestras durante 24 h en la estufa a temperatura constante (60°C). La masa de suelo seca se determinó en una balanza de

precisión (0,1g), con intervalos de 2 h hasta obtener valores constantes. Su valor se determinó mediante la expresión:

$$DA = \frac{G_n}{V_c} \tag{4}$$

donde:

- DA-densidad aparente del suelo, g/cm<sup>3</sup>;
- Gn-masa de la muestra del suelo después de secada, g;
- Vc-volumen del cilindro para la toma de muestra, cm<sup>3</sup>.

La densidad del suelo se determinó antes y después del escarificado, con vistas a determinar el estado de compactación del suelo antes de la labor, además de los efectos de descompactación después de la misma.

### Metodología para el análisis estadístico de los resultados

Para el procesamiento estadístico de los resultados experimentales se desarrolló un análisis de varianza multifactorial, así como una prueba de comparación múltiple de Duncan, en función de definir la significancia estadística de los factores objeto de estudio en la variabilidad de la resistencia traccional. Como herramienta para el procesamiento se empleó el “STATGRAPHICS Centurion XV”

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de los efectos del modo de vibraciones y la velocidad de avance del conjunto en la resistencia traccional de los escarificadores vibratorios

Los resultados experimentales muestran que de los factores analizados, el modo de vibración es único que contribuye a la variabilidad de la resistencia traccional, evidenciando que este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la resistencia con un 95% del nivel de confianza. Resultados similares fueron encontrados por Leyva *et al.* (1998b) al estudiar la resistencia traccional en un escarificador vibratorio. Para el rango de velocidades analizadas 1,044 a 4,5 km/h; no se encontraron contribuciones de esta variable en la variabilidad de la resistencia traccional durante las labores de escarificado profundo mediante el uso de escarificadores vibratorios. En el análisis tampoco se encontró influencia de la interacción entre ambos factores en estudio.

TABLA 1. Análisis de Varianza. Factores que influyen en la resistencia traccional

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Factor A	88,2921	3	29,4307	2,82	0,0606
B:Factor B	51,8951	1	51,8951	4,97	
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	2,01531	3	0,67177	0,06	0,9782
RESIDUOS	250,687	24	10,4453		
TOTAL (CORREGIDO)	392,889	31			

**Comportamiento de la resistencia traccional en función de la velocidad de trabajo, con vibraciones libres y forzadas**

Los resultados muestran que la resistencia traccional se mantiene prácticamente constante para los tres primeros escalones de velocidad con independencia del modo de vibración que se emplee, es decir cuando el conjunto avanza a velocidades que oscilan entre 1,044 a 3,96 km/h. Sin embargo cuando la velocidad alcanza valores de 4,5 km/h se observa una variación de la resistencia traccional con respecto a la demandada en los tres primeros escalones de velocidad del tractor. Un análisis de comparación múltiple de Duncan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras mostró, que la resistencia traccional demandada en los tres primeros escalones de velocidad difiere significativamente de la resistencia cuando se trabaja en el cuarto escalón de velocidad del tractor, con un nivel del 95,0% de confianza. Estos resultados indican que a pesar de que la velocidad de trabajo del conjunto no posee una influencia significativa en la variabilidad de la resistencia traccional del apero, a partir de 4,5 km/h comienzan a incrementarse los efectos de la velocidad

en el incremento de la resistencia traccional, (Soeharsono y Radite, 2010).

**TABLA 2. Prueba de comparación múltiple para la determinación de diferencias entre las medias. Método: 95,0 porcentaje Duncan**

Factor A	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos homogéneos
1	8	26,054	1,14265	X
3	8	26,1768	1,14265	X
2	8	26,6685	1,14265	X
4	8	30,0989	1,14265	X

**Influencia del modo de vibración en la resistencia traccional del escarificador vibratorio**

Los resultados mostraron que la resistencia traccional fue mayor cuando el escarificador vibró mediante excitaciones libres, alcanzando valores que oscilaron de 26 a 30 kN (Tabla 3), valores que superaron la resistencia demandada cuando el escarificador vibró de manera forzada (24 a 28 kN).

**TABLA 3. Medias por Mínimos Cuadrados para resistencia con intervalos de confianza del 95,0%**

Nivel	Casos	Media	Error Est.	Límite inferior	Límite superior
MEDIA GLOBAL	32	27,2495			
Factor B					
1	16	28,523	0,807979	26,8554	30,1906
2	16	25,9761	0,807979	24,3085	27,6437

El análisis estadístico de comparación múltiple de las medias mostró que la resistencia disminuyó significativamente cuando las vibraciones del escarificador fueron excitadas de manera forzada en comparación con la excitación libre, alcanzándose una disminución promedio del orden de 2,54 kN, equivalente a un 9 %, (Tabla 4). Resultados similares a estos fueron obtenidos por varios investigadores en diferentes tipos de suelos y frecuencias de vibraciones, (Luna, 1979; Leyva y Luna, 1998a; Bandalan *et al.*, 1999; Leyva *et al.*, 2002).

**TABLA 4. Comparación de medias. Método: 95,0 porcentaje Duncan**

Contraste	Sig.	Diferencia
1 - 2	*	

\* indica una diferencia significativa.

**CONCLUSIONES**

- De los factores en estudio, el modo de vibración es único que contribuye a la variabilidad de la resistencia traccional.
- No se encontraron contribuciones de la velocidad en la variabilidad de la resistencia traccional para un rango de velocidades de trabajo de 1,044 a 3,96 km/h.
- A pesar de que la velocidad de trabajo del apero no posee una influencia significativa en la variabilidad de la resistencia traccional, a partir de 4,5 km/h comienzan a incrementarse los efectos de la velocidad en el aumento de la resistencia traccional.
- El empleo de vibraciones forzadas durante el escarificado profundo del suelo posibilita una reducción del 9 % de la resistencia traccional demandada cuando se emplean vibraciones libres.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AWAD-ALLAH, M. A.; H. M. MAHGOUB; M. E. ABO-ELNOR and M. A. SHAHIN: Experimental Investigation of the Effect of Vibration During Tillage Process of Multi Shank Plough Blade. In: **13th International Conference on AEROSPACE SCIENCES & AVIATION TECHNOLOGY, ASAT- 13**, May 26 - 28, 2009, pp. 16, Military Technical College, Kobry Elkobbah, Cairo, Egypt. 2009.

BANDALAN, E. P.; V. M. SALOKHE; C. P. GUPTAA and T. NIYAMAPAB: "Performance of an oscillating subsoiler in breaking a hardpan", *Journal of Terramechanics*, 36: 117-25, 1999.

FAO: *Soil map of the world, reviewed legend*, FAO-UNESCO, Roma. Italia, 1988.

KUSHWAHA, R. L. and Z. X. ZHANG: "Evaluation of factors and current approaches related to computerized design of tillage tools:a review", *Journal of Terramechanics*, 35: 69-86, 1998.

LEYVA, O.: *Fundamentación de una tecnología para laboreo mínimo de suelos vertisoles basada en la aplicación de una máquina compleja en caña de azúcar*, 143pp., **Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias)**, Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba, 2009.

LEYVA, O.; A. LUNA, M. TORRES y M. MONTEJO: “Evaluación de diferentes tecnologías de laboreo mínimo en suelos ferralíticos rojos”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 7(3): 13-16, 1998a.

LEYVA, O.; A. LUNA, R. TORRES y A. MORALES: “Comportamiento de la resistencia traccional en un escarificador vibratorio”, *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 7(3): 17-20, 1998b.

LEYVA, O.; L. R. PARRA; M. SERRANO y B. G. GASKINS: “Valoración de la reducción de la resistencia traccional de los órganos de trabajo de un escarificador vibratorio”, *Revista Electrónica Granma Ciencia*, 6(2): 2002.

LUNA, A.: *Efecto de las vibraciones en los requerimientos energéticos del laboreo profundo* 107pp., **Tesis (en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas)**, Universidad Técnica de Budapest, Hungría, 1979.

*Nueva Versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba*: Instituto de Suelos (ed.). MINAG, La Habana, Cuba, 1999.

SHAHGOLI, G.; J. M. FIELKE; J. DESBIOLLES and C. SAUNDERS: “Optimising oscillation frequency in oscillatory tillage”, *Soil & Tillage Research*, 106: 202-210, 2010.
















SOEHARSONO, G. and P. A. S. RADITE: “analytical study of self-excited vibration on single degree of freedom vibratory-tillage”, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(6): 61-66, 2010.

*Soil Survey Staff: Keys to Soil Taxonomy*. 11th ed. Washinton, DC: USDA-Natural Resources Conservation Service, Washinton, DC, USA, 2010.

WISMER, R. D. and H. J. LUTH: “Rate effects in soil cutting”, *Journal of Terramechanics*, 8(3): 11-21, 1972.

YOW, J. and U. J. SMITH: “Sinusoidal Vibratory Tillage”, *Journal of Terramechanics*, 13(4): 211-226, 1976.

**Logos representativos**  
de las diferentes secciones  
que usted encontrará en la  
**Revista Ciencias Técnicas**  
**Agropecuarias**

	Máquinas a Prueba	Mecanización Pecuaria	
	Explotación y Procesos Mecanizados	Tracción Animal	
	Agricultura de Precisión	Reparación y Tecnología Mecánica	
	Tractores y Máquinas Agrícolas	Electrificación y Construcciones Rurales	
	Utilización de la Energía en la Agricultura	Computación y Matemática Aplicada	
	Suelo y Agua	Docencia y Capacitación	
	Oleohidráulica	Agricultura Conservacionista	
	Postcosecha		

**Suscríbase**