

## REPARACIÓN Y TECNOLOGÍA MECÁNICA *REPAIRING AND MECHANICAL TECHNOLOGICAL*

# Determinación del desgaste de los aperos de labranzas de suelo en condiciones de campo

## *Determination of the wear of soil tillage tools under conditions of field*

Ángel Lázaro Sánchez Iznaga<sup>1</sup>, Miguel Herrera Suárez<sup>2</sup>, Carlos Alberto Recarey Morfa<sup>3</sup>,  
Elvis López Bravo<sup>4</sup> y Omar González Cueto<sup>4</sup>

**RESUMEN.** Para enfrentar el fenómeno de las inundaciones resulta imprescindible realizar análisis hidrológicos a escalas pequeñas de tiempo en muchos de los casos a escala horaria. Esto dificulta los estudios, debido a la necesidad de contar con mediciones de gastos que satisfagan esta condición. Es por esta razón que este trabajo brinda una propuesta de metodología para enfrentar situaciones con estas características, basado en varios estudios realizados en cuencas cubanas de máxima prioridad nacional.

**Palabras clave:** gastos, Hec-HMS, ArcView, variantes, inundación.

**ABSTRACT.** To face the phenomenon of the floods it is indispensable to carry out hydrological analysis to small scales of times, in many of the cases to scale hourly. This hinders the studies, due to the necessity of having expenses measurements that satisfy this condition. For this reason, this investigation proposes a methodology to face situations like these, based on several studies carried out in some important Cuban basins.

**Keywords:** expenses, Hec-HMS, ArcView, variants, flooding.

## INTRODUCCIÓN

El desgaste de los aperos de labranza es un fenómeno de gran complejidad que trae como consecuencia la pérdida de material, lo cual provoca la variación de la geometría de la herramienta de labranza, causa directa del aumento del consumo energético, disminución de la calidad de la labor, etcétera.

Entre los factores que influyen en el desgaste de los aperos de labranza se encuentran la geometría y la dureza del material del órgano de trabajo, las condiciones climáticas, la velocidad de trabajo, y las partículas de suelo.

En Cuba, entre los suelos de mayor importancia económica se encuentran los Ferralíticos Cuarcítico Amarillento

Rojizo Lixiviados, que en la mayoría de los casos están destinados a la producción de tabaco, hortalizas, granos, además de raíces y tubérculos, así como al desarrollo de la ganadería. Los mismos se encuentran ampliamente difundidos en el país (Figura 1), ocupando una extensión territorial de 611 332,75 ha, distribuidas en las provincia de Pinar del Río (8,42%), en la Habana (0,89%), en Matanzas (6%), en Villa Clara (10%), en Cienfuegos (3,72%), en Sancti Spiritus (7,13%), en Ciego de Ávila (10,43%), en Camagüey (29,33%), en las Tunas (10%), en Holguín (0,74%), en Granma (11,22%), en Santiago de Cuba (1,09%), y en el municipio especial Isla de la Juventud (0,80%) (Nápoles *et al.*, 1992).

**Recibido** 04/04/09, aprobado 22/09/10, trabajo 55/10, investigación.

<sup>1</sup> Ing., Prof. Asistente, Universidad Central de Las Villas, Dpto. Mecanización Agropecuaria, Villa Clara, Cuba, CP 54830, E-✉: [angelsi@uclv.edu.cu](mailto:angelsi@uclv.edu.cu)

<sup>2</sup> Dr. C., Prof. Titular, Universidad Central de Las Villas, Dpto. Mecanización Agropecuaria, Villa Clara, Cuba.

<sup>3</sup> Dr.C., Inv. Titular, Centro Internacional de Métodos Numéricos en la Ingeniería, CIMNE. Universidad Central de Las Villas Villa Clara.

<sup>4</sup> M.Sc., Prof. Auxiliar, Universidad Central de Las Villas, Dpto. Mecanización Agropecuaria, Villa Clara, Cuba.

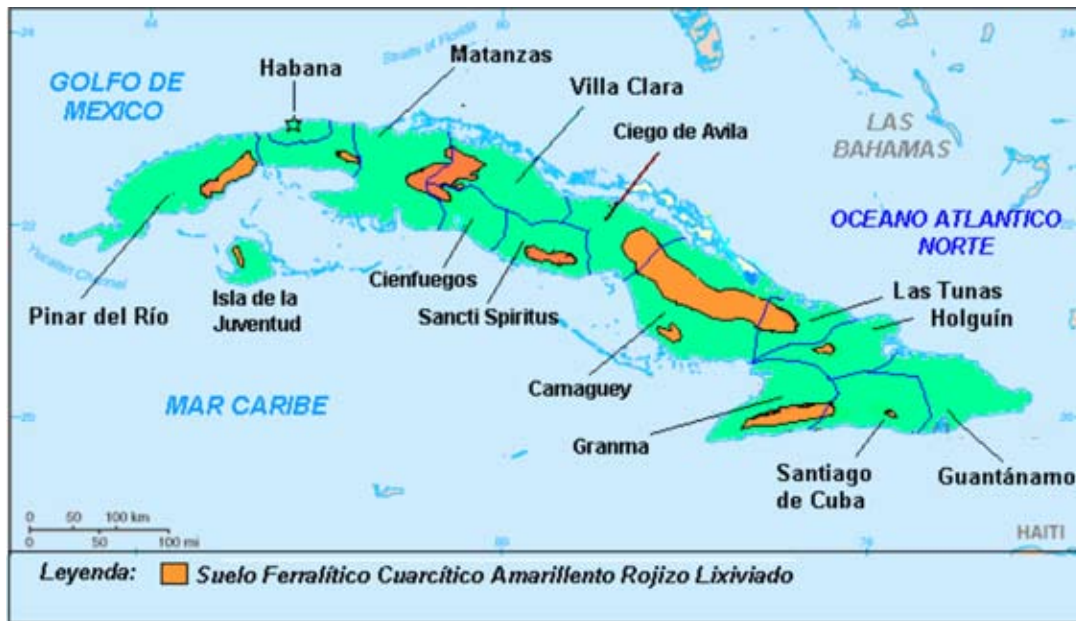


FIGURA 1. Distribución geográfica, en Cuba, de los suelos Ferralíticos Cuarcítico Amarillento Rojizo Lixiviados.

Estos suelos son considerados como suelos altamente abrasivos para las herramientas de labranza, lo cual está dado por su composición granulométrica donde predominan las partículas de arena (hasta 80%), así como la presencia de partículas de gran dureza como el hierro y el cuarzo.

Tomando en cuenta que la provincia de Villa Clara es una de las provincias con mayor cantidad de áreas productivas con este tipo de suelos (10,08% del área cultivable del país), así como que, el municipio de Santo Domingo y en especial la zona donde se encuentra enclavada la Empresa Cultivos Varios Manacas, es la más representativa de esta problemática en la provincia, se decide realizar el presente trabajo que tiene como objetivo:

- Determinar experimentalmente la variación de la temperatura ambiente durante los experimentos de desgaste;
- Conocer los valores de la humedad relativa en la zona de experimentación;
- Determinar experimentalmente los estados de humedad y densidad aparente del suelo en estudio;
- Determinar experimentalmente la velocidad de trabajo del agregado;
- Determinar la pérdida de masa de una herramienta de labranza en función del tiempo de trabajo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación del desgaste de los aperos de labranza de suelo en condiciones de campo se realizó en la Empresa de Cultivos Varios de Manacas, perteneciente al municipio de Santo Domingo, provincia de Villa Clara, entre los meses de enero y abril del 2010. En este estudio se empleó el agregado formado por un Jumz-6m y un Tiller de preparación de suelos de 10 órganos de trabajo (Figura 2).



FIGURA 2. Agregado empleado en los experimentos de desgaste.

El suelo donde se realizó el experimento de desgaste se clasifica como un suelo ferralítico cuarcítico amarillento rojizo lixiviado, según la Segunda Clasificación Genética de los Suelos en Cuba (Cairo y Quintero, 1980), y como un Ultisol según la clasificación USDA Soil Taxonomy (Tarragona, 1985). El mismo es el predominante en la Empresa de Cultivos Varios de Manacas, y está caracterizado como un suelo altamente abrasivo. En la Tabla 1 se muestran los constituyentes y las propiedades físicas de este suelo.

Para cumplimentar el objetivo planteado, inicialmente se recurrirá al empleo de la Metodología para la determinación de las condiciones de los ensayos, que se encuentra plasmada en la norma NC 34-47 (2003), a partir de la cual se determinó la humedad y la densidad aparente del suelo. Posteriormente se determinará la velocidad de trabajo del agregado mediante el empleo de una quinta rueda que se coloca al tractor. Por último se determinará el desgaste de las rejas estudiadas mediante la pérdida de masa.

**TABLA 1. Constituyentes y propiedades físicas del suelo en estudio**

Profundidad, cm		Gs, g/cm <sup>3</sup>	Relaciones moleculares			Granulometría, %				
desde	hasta		$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ 1,0-2,0	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ 1,0-3,0	$\frac{SiO_2}{F_2O_3}$ 10-15	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Coloide
0	15	2,69				5,8	75,8	14,2	2,2	2,2
16	30	2,71				13,5	67,2	14,8	3,7	0,8
31	50	2,73				8,5	75,7	12,2	2,3	1,2

**Metodología para la determinación de la temperatura y humedad relativa del ambiente**

La determinación de la temperatura ambiente se realizó mediante el empleo del termómetro digital de procedencia China que se muestra en la Figura 3. La precisión de este instrumento es de ±1 °C (±2 °F) entre -50 a 200 °C (-58 a +392 °F).

El procedimiento empleado para la determinación de esta variable se describe a continuación:

La medición de la temperatura ambiente se realizó antes de comenzar y al finalizar el experimento, para conocer la variación de esta variable durante el desarrollo del mismo.



FIGURA 3. Termómetro digital para medir la temperatura ambiente.

Por su parte, la determinación de la humedad relativa se realizó en la estación meteorológica del Instituto de Investigaciones de Viandas y Tubérculos (INIVIT), ubicada en el municipio de Santo Domingo, provincia de Villa Clara.

**Metodología para la determinación del contenido de humedad en el suelo (Wd)**

La determinación del contenido de humedad del suelo se realizará mediante el método gravimétrico, consistente en pesar la muestra de suelo antes y después del proceso de secado.

El procedimiento empleado para realizar la determinación de esta variable se describe a continuación:

Como paso previo a la determinación de la humedad del suelo se seleccionarán cinco puntos al azar en la diagonal de la parcela de pruebas, y se tomarán cinco muestras de suelo en cada punto, a la profundidad de trabajo del apero en el experimento. Las muestras de suelos se depositarán en recipientes o pesafiltros (Figura 4), los cuales se pesarán con una balanza de 10 ± 0,01 kg de precisión, determinándoseles su masa húmeda. Los recipientes con las muestras se colocarán en una estufa a una temperatura de 105 °C, durante un período de tiempo de 8 a 12 h, hasta alcanzar una masa constante, la cual se pesará para determinar su masa seca.



FIGURA 4. Pesafiltros empleados para tomar las muestras de suelo.

El contenido de humedad del suelo se expresará en porcentaje, y se calculó mediante la expresión siguiente:

$$W_d = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - T} \cdot 100 \tag{1}$$

donde:

Wd-humedad del suelo, %;

m<sub>1</sub>-masa del recipiente con la muestra de suelo húmeda, g;

m<sub>2</sub>-masa del recipiente con la muestra de suelo seca, g;

T-masa del recipiente sin muestra (Tara), g.

**Metodología para la determinación de la densidad aparente del suelo (γ<sub>d</sub>).** La determinación de la densidad aparente del suelo, se basa en el método de los anillos de Kopecky, para el cual se empleará un cilindro de 70 mm de alto por 70 mm de diámetro, y un volumen total de 244 cm<sup>3</sup> (Figura 5).



FIGURA 5. Cilindro para la determinación de la densidad aparente del suelo.

Para la determinación de esta variable se seleccionarán los mismos puntos, la misma cantidad de muestras y a la misma profundidad que en el caso de la determinación de la humedad del suelo.

El procedimiento empleado para realizar la determinación de esta variable se describe a continuación:

Al cilindro metálico se le agregará una película fina de aceite en toda su superficie para facilitar su penetración en el suelo. Posteriormente se colocará en la superficie del suelo y se golpeará por la parte superior hasta penetrar completamente en el interior del mismo. Este cilindro se extraerá con la muestra de suelo en su interior y se eliminarán cuidadosamente la parte de suelo que sobrepasaba los bordes superior e inferior del cilindro. Las muestras de suelo se depositarán en recipientes con peso conocido y se colocarán en una estufa a una temperatura constante de 105 °C. El pesaje de las muestras se realizará con una balanza de 10 ± 0,01 kg de precisión, a intervalos de 2 h, hasta obtener valores constantes de las masas de suelo.

La densidad aparente del suelo se calculará a través de la siguiente expresión:

$$\gamma_d = \frac{G_n}{V_c} \quad (2)$$

donde:

$\gamma_d$ -densidad aparente del suelo, g/cm<sup>3</sup>;

$G_n$ -masa de la muestra del suelo después de secada, g;

$V_c$ -volumen del cilindro para la toma de muestra, cm<sup>3</sup>.

### Metodología para la determinación de la velocidad de trabajo del tractor (Vt)

La velocidad de trabajo se determinó mediante el empleo de una quinta rueda que se colocó al tractor (Figura 6).



FIGURA 6. Esquema de la quinta rueda.

El procedimiento para la determinación de esta variable se describe a continuación:

La quinta rueda que se colocó en el tractor tiene un dispositivo instalado que al ponerse en movimiento dicha rueda interrumpe la continuidad de la corriente en una bobina, provocando una caída de voltaje que genera una señal que se registra en un Datalogger que va colocado en el tractor. Cada señal significa una vuelta completa de la quinta rueda, por lo tanto, conociendo el perímetro de la rueda y el tiempo que demora en realizar cada vuelta, se puede determinar la velocidad de movimiento del tractor.

Este experimento se realizó durante una hora de trabajo.

### Metodología para la determinación experimental del desgaste gravimétrico (Wg)

El desgaste de las rejas se determinará mediante el método gravimétrico, consistente en relacionar la pérdida de masa con la pérdida de material, por lo que antes de iniciar las pruebas, las rejas se fregarán, se secarán y pesarán para conocer su peso inicial.

Para la realización del experimento de desgaste se seleccionarán tres rejas (Figura 7) de acero de construcción CT-3 (Norma AISI), cuya composición química se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2. Composición química del material de las rejas

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
0,19	0,036	0,38	0,1	0,098	0,049	< 0,01	0,028	0,071

Estas rejas se fabricarán en la Empresa Enrique Villegas, ubicada en el municipio de Santa Clara, provincia de Villa Clara. Esta empresa se dedica a la construcción de implementos agrícolas, para el MINAZ y MINAG.



FIGURA 7. Reja empleada en el experimento de desgaste.

Las rejas objeto de estudio poseen una masa nominal de 913, 915 y 918 kg, y sus dimensiones exteriores son 194 mm de longitud por 58 mm de ancho, y un espesor de 12 mm, como se observa en la Figura 8. El espesor del filo de las rejas es 12 mm, la rugosidad de 12,5 µm, y la dureza de 165 HB.

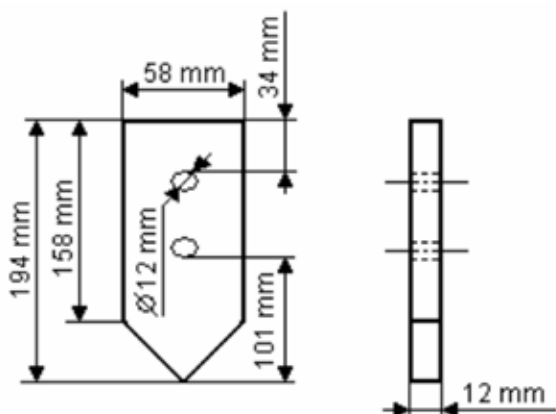


FIGURA 8. Dimensiones de las rejas.

El procedimiento empleado para realizar el experimento de desgaste se describe a continuación:

Una vez iniciada las pruebas de desgaste el tractor permanecerá trabajando por un período de tiempo de 1 h, tiempo que se estableció para desmontar, lavar y pesar las rejas para determinar la masa perdida en ese intervalo. Este proceso se repite hasta que la masa perdida de la reja sea significativa con respecto al peso inicial de la reja.

El tiempo limpio de trabajo en el experimento se determinará mediante el empleo de un cronómetro que se pone en marcha al unísono con el tractor, y se detiene cada vez que el tractor llega al otro extremo del área de trabajo.

Durante el ensayo la profundidad de trabajo se mantendrá constante a 100 mm, y el pesaje de las rejas se realizará con una balanza de procedencia China con una precisión de  $10 \pm 0,01$  kg.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Temperatura ambiente.** Los resultados experimentales muestran (Tabla 2) que la temperatura ambiente en la zona de experimentación se mantuvo entre 23,8 a 31 °C, valores que permiten afirmar que los experimentos se realizaron a valores de temperatura medias.

**Humedad relativa.** Los resultados experimentales muestran (Tabla 2) que la humedad relativa en la zona de experimentación alcanzó valores promedios de 72,5%, cuyo comportamiento coincide con los valores medios obtenidos en otros años.

**Humedad del suelo.** Los resultados obtenidos en las investigaciones experimentales (Tabla 2), muestran que el contenido de humedad en este suelo alcanzó valores promedios de 5,28%, lo cual permite afirmar que estos son suelos muy secos, comportamiento típico de los suelos arenosos.

**Densidad aparente del suelo.** Los resultados de las investigaciones experimentales muestran que la densidad aparente en este suelo alcanzó valores promedios de 1,55 g/cm<sup>3</sup> (Tabla 2), por lo que se considera un suelo poco denso. Sin embargo, este valor se encuentra entre el rango típico a alcanzar en los suelos arenosos, el cual oscila entre 1,193 y 1,985 g/cm<sup>3</sup>.

**Velocidad de trabajo del agregado.** Los resultados experimentales muestran que la velocidad de trabajo del agregado, que alcanzó valores promedios de 5,52 km/h (Tabla 2), se encuentra entre los valores de velocidad que se recomiendan para realizar la labranza del suelo, los cuales oscilan entre los 2 y 8 km/h.

TABLA 2. Variables en estudio

Capa de suelo, cm	Humedad del suelo, %	Densidad del suelo, g/cm <sup>3</sup>	Variables		
			Velocidad de trabajo, km/h	Temperatura ambiente, °C	Humedad relativa, %
0 a 10	5,28	1,55	5,52	23,8 a 31	72,5

### Determinación de la pérdida de masa promedio de las rejas objeto de estudio

Con el objetivo de determinar la pérdida de masa promedio de las rejas objeto de estudio en función del tiempo de trabajo (Figura 9), se realizó este experimento, obteniendo como resultado que la pérdida de masa de las rejas investigadas en las tres primeras horas de trabajo, mostró un ligero incremento en su magnitud, cuyo valor creció desde 0 a 6,75 g, debido a que este es el período de asentamiento de las rejas, en el cual se producen los picos más altos de la rugosidad superficial, generando altas presiones y deformaciones entre la reja y el suelo. La pérdida de masa de las rejas, obtenida en el período comprendido entre 3 a 6 h de trabajo, alcanzó valores promedios que varían de 6,75 a 8 g, mostrando una ligera reducción en la magnitud del desgaste, debido a que en este período al aumentar el área de contacto entre la reja y el suelo, la veloci-

dad del desgaste se hace constante, y el desgaste se incrementa pero a un ritmo más lento. A partir de las 9 hasta las 24 h de trabajo, la pérdida de masa promedio de las rejas inicia un prolongado incremento en su magnitud, tomando valores que oscilan entre 8 a 180,3 g, lo que se debe a que este es el período de desgaste catastrófico, donde la magnitud del desgaste es tal, que se generan cargas dinámicas entre la reja y el suelo.

Las rejas investigadas en 24 h de trabajo perdieron la mitad de la zona de trabajo como consecuencia del desgaste (Figura 10), por lo que se estima que a ese ritmo de trabajo y en un intervalo de tiempo similar al del experimento (24 h), las rejas perderán la superficie de trabajo restante. Estos resultados permiten afirmar que estos son suelos altamente friccio-nantes para las herramientas de labranza, y más cuando sus órganos de trabajo son fabricados con acero de construcción CT-3, el cual presenta poca resistencia al desgaste.

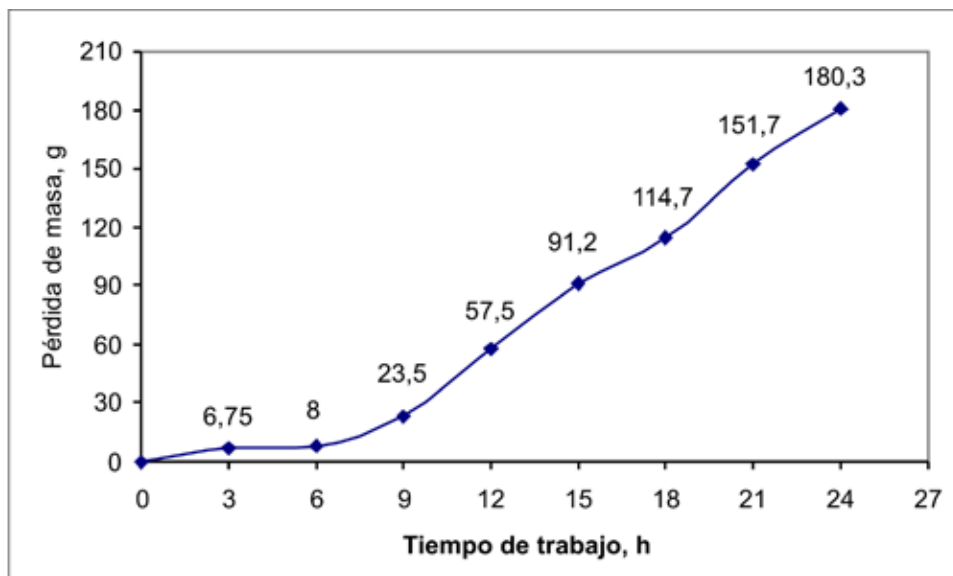


FIGURA 9. Pérdida de masa en función del tiempo de trabajo del experimento.

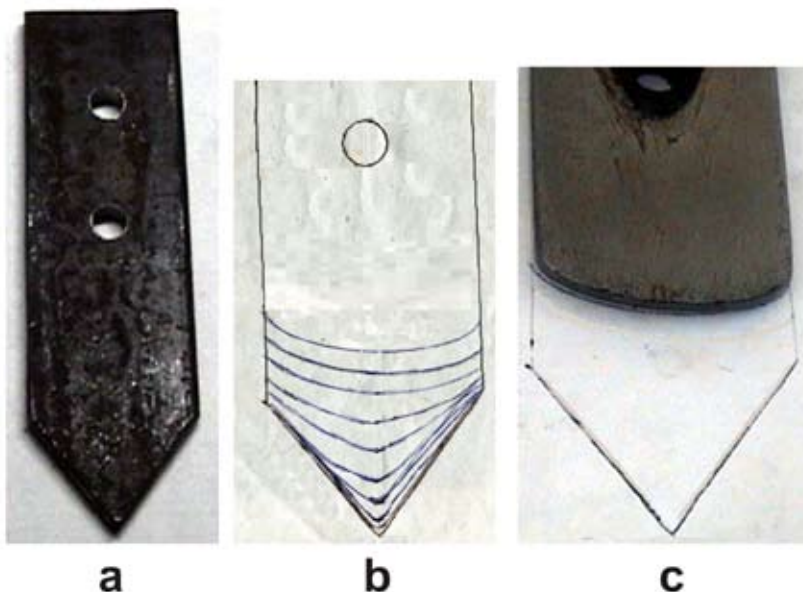


FIGURA 10. Geometría de las rejas. a) antes del ensayo, b) durante todo el ensayo, c) después del ensayo.

## CONCLUSIONES

Después de analizados los resultados se arriba a las siguientes conclusiones:

- La temperatura ambiente en la zona de experimentación, tomó valores entre los 23,5 a 31 °C, coincidiendo con los valores medios históricos obtenidos en esa zona;
- La humedad relativa alcanzó valores cercanos a los 72,5%, coincidiendo con los valores medios registrados en los últimos años en esa zona;
- Los suelos ferralíticos cuarcíticos amarillentos rojizos lixiviados son suelos de poca humedad y poco densos;

- La magnitud del desgaste de las rejas objeto de estudio se pudo determinar mediante los experimentos en el campo;
- La pérdida de masa promedio de las rejas objeto de estudio tomó valores que oscilan desde 0 a 180,3 g para un tiempo de trabajo de 24 h;
- Se estima que las rejas ensayadas pierdan la superficie de trabajo total en un plazo de tiempo de 48 h;
- Los suelos ferralíticos cuarcíticos amarillentos rojizos lixiviados son suelos altamente friccionantes para las herramientas de labranza.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAYHAN, Y.: "Reduction of wear via hardfacing of chiesel ploughshare", *Tribology International*, 39: 570-574, 2006.
- CAIRO, C. Py G. QUINTERO: *Suelos*, 367pp., Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1980.
- CASAL, O.R. R.: *Aspectos teóricos sobre el desgaste abrasivo en los elementos de trabajo de las máquinas agrícolas en Cuba*. [en línea] 1997, Disponible en: <http://www.Monografias.Com> [Consulta: mayo 18 2009].
- FIELKE, M.J., T.W. RILEY, M.G. STATTERRY AND R.W. FITZPATRICK: "Comparación o tillage forces and wear rates of pressed and cast cultivador shares", Elsevier Sciene publishers B. V., Ámsterdam, *Soil & Tillage Research*, 25: 317-328, 1992.
- HERRERA S. M.: *Proyecto de investigación: Estudio de nuevos materiales para la construcción de órganos de trabajo empleados en la labranza de suelos abrasivos*, B-27. CITMA, La Habana, Cuba, 2004.
- KUSHWAHA, R. L. and J. SHI: "Investigation of wear of agricultural tillage tools", *J. Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, 47(3): 219-222, 1991.
- MARTÍNEZ, P. F. y G. RODRÍGUEZ: "Vías para incrementar la vida útil de los elementos de máquinas agrícolas", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 1(1): 10-16, 1987.
- NÁPOLES, M.A., C. ALEMANY, A. GONZÁLEZ, J. VÉLEZ and O. DÍAZ: *Características Edafológicas de Cuba*, Dirección Nacional de Suelos, La Habana, Cuba, 1992.
- NC 34-47: 2003: *Máquinas agrícolas y forestales. Metodología para la determinación de las condiciones de ensayos*, Vig. febrero 2003.
- TARRAGONA HERNÁNDEZ, A.: *Mecánica de suelos*, pp. 66-94, Ediciones EIMAV, La Habana, Cuba, 1985.



**GIAF**