



ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

Effect of Geometry and Type of Material in Tillage Implements Wear

Efecto de la geometría y tipo de material en el desgaste de aperos de labranza

Dr.C. Angel Lázaro Sánchez Iznaga¹, Dr.C. Miguel Herrera Suárez^{II}, Ing. Jorge Daniel López Morfa^{III},
M.Sc. Yoandris Socarrás Armenteros¹, M.Sc. Anabel Machado Guevara¹

¹ Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba.

^{II} Universidad Técnica de Manabí (UTM). Portoviejo, Manabí, Ecuador.

^{III} Taller de Santa Elena, Rodas, Cienfuegos, Cuba.

ABSTRACT. Abrasive wear of working organs of tillage implements is a phenomenon that brings losses of material in a short period, causing the variation of its geometry. Therefore, the present work has as objective to determine the abrasive wear in field conditions of chisel and rectangular organs of tillage implements of ultrasoles. The experimental research was developed in areas of “Cultivos Varios” Company of Manacas, belonging to Santo Domingo Municipality, Villa Clara Province, between the months of January and April 2013. The determination of abrasive wear was made by the gravimetric method, which consisted in relating the weight loss of the organ with its mass loss. For this, an experimental design with three treatments and four replications was elaborated. Treatments were aimed at quantifying the influence of the type of work organ geometry and steel. Statistical analysis was carried out using STATGRAPHICS Centurión XV software. The results showed that mass loss in G-60 steel reached average values of 79.81 and in CT-3 steel of 304.02 g. On the other hand, the chisel and rectangular organs reached average values of 180.3 and 304.02 g, respectively. It was quantified that in only 24 h the lost material volume in the chisel-type organs averaged 17.51 cm³ and in the rectangular ones, 34.96 cm³. Finally, it was found that the loss of mass was dependent on the type of geometry and material.

Keywords: mass loss, wear, abrasive, implement, gravimetric method, work organs.

RESUMEN. El desgaste abrasivo de los órganos de trabajo de los aperos de labranza, es un fenómeno que trae pérdidas de material en poco período de tiempo, provocando la variación de su geometría. Por lo que el presente trabajo tiene como objetivo: determinar el desgaste abrasivo en condiciones de campo de órganos tipo cincel y rectangulares de los aperos de labranza de los ultasoles. La investigación experimental se desarrolló en áreas de la Empresa de Cultivos Varios de Manacas, perteneciente al municipio Santo Domingo, provincia Villa Clara, entre los meses de enero y abril del 2013. La determinación de desgaste abrasivo se realizó mediante el método gravimétrico, que consistió en relacionar la pérdida de peso del órgano con la pérdida de masa del mismo. Para esto se elaboró un diseño experimental con tres tratamientos y cuatro réplicas. Los tratamientos estuvieron dirigidos a cuantificar la influencia del tipo de acero y la geometría del órgano de trabajo. El análisis estadístico se realizó mediante el software STATGRAPHICS Centurión XV. Los resultados mostraron que la pérdida de masa en el acero G-60 alcanzó valores promedios de 79,81 y el acero CT-3 de 304,02 g. Por otra parte, los órganos de cincel y rectangulares alcanzaron valores promedios de 180,3 y 304,02 g respectivamente. Se cuantificó que en solo 24 h el volumen de material perdido en los órganos tipo cincel promedió 17,51 cm³ y en los rectangulares 34,96 cm³. Finalmente se encontró que la pérdida de masa fue dependiente del tipo de geometría y material.

Palabras clave: pérdida de masa, desgaste, abrasivo, apero, método gravimétrico, órganos de trabajo.

INTRODUCTION

Abrasive wear is a phenomenon that has brought large economic losses internationally which have exceeded 15 billion dollars in countries with a high degree of mechani-

INTRODUCCIÓN

El desgaste abrasivo es un fenómeno que ha traído grandes pérdidas económicas a nivel internacional, las cuales han superado los 15 mil millones de dólares en países con un alto grado

zation of agriculture Bayhan (2006), Fechete *et al.* (2014). However, in Cuba, last century this figure reached 200.000 pesos per year (Martínez and Rodríguez, 1985).

Various factors influence in the abrasive wear of working organs of tillage implements. Some of them are medium characteristics (humidity, corrosive atmosphere, presence of abrasive particles) and characteristics of implements (materials, chemical composition, hardness, dimensions and geometry, surface roughness, microstructure). Others are soil, operating or operating conditions (applied load, speed, temperature, types of movement, type of friction, friction path, working time, working depth) organizational and humans factors, among others (Martínez & Rodríguez, 1988; Herrera *et al.*, 2010; Jagseer *et al.*, 2017).

Among the factors that have the greatest impact on the abrasive wear of the working organs of tillage implements are the exploitation conditions, since these include nature and type of soil to be worked (abrasive medium), environmental conditions and working regime of the implement during the interaction with the soil. (Herrera *et al.*, 2010).

In Cuba, among the most economically important soils are the Yellowish Ferrallitic, according to the New Version of Genetic Classification of Soils in Cuba (Hernández, 2015) and Ultrasol, according to the USDA Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010).

These soils are highly abrasive for tillage implements due to the high content of quartz and iron shots.

In the central region of Cuba, specifically in Villa Clara province, a large number of areas with these soils are located, reaching 10% of the total of that soil, being one of the most representatives in Cuba. Among them, in the area of Manacas, it is located one of the largest sectors of horticultural production in the country, in which the work is fully mechanized.

In these areas, one of the main associated problems with the use of mechanized means is the accelerated wear of their work organs, due to the use of inadequate materials, as well as manufacturing methods that do not guarantee their quality. Besides that, long periods of parking and weathering affect these organs and the appearance of oxidation-corrosion processes on work surfaces increase this problem (Martínez and Rodríguez, 1987; Herrera *et al.*, 2010).

Taking into account the above, it is decided to carry out the present work that has as objective to determine the effect of geometry and type of material on tillage implements wear.

METHODS

The research was carried out in areas of "Cultivos Varios" Company of Manacas (Figure 1a), belonging to Santo Domingo Municipality, Villa Clara Province, between the months of January and April 2013. A set consisting of a Russian Yumz-6M Belarus tractor, with 14 kN of power and a plow of chisels (Tiller) with rigid arms, of 11 work organs (Figure 1b).

de mecanización de la agricultura Bayhan (2006), Fechete *et al.* (2014), sin embargo, en Cuba, el siglo pasado esta cifra alcanzó los 200 000 pesos anuales (Martínez y Rodríguez, 1985).

En el desgaste abrasivo de los órganos de trabajo de los aperos de labranza influyen diversos factores entre los que se encuentran: las características del medio (humedad, atmósfera corrosiva, presencia de partículas abrasivas), características de los aperos (materiales, composición química, dureza, dimensiones y geometría, rugosidad superficial, microestructura) y del suelo, condiciones de explotación o de operación (carga aplicada, velocidad, temperatura, tipos de movimiento, tipo de fricción, recorrido de fricción, tiempo de trabajo, profundidad de trabajo) factores organizativos y humanos, entre otros (Martínez y Rodríguez, 1988; Herrera *et al.*, 2010; Jagseer *et al.*, 2017).

Según Herrera *et al.* (2010) entre los factores que mayor incidencia tienen en el desgaste abrasivo de los órganos de trabajo de los aperos de labranza se encuentran las condiciones de explotación, ya que estas incluyen la naturaleza y tipo de suelo a laborar (medio abrasivo); las condiciones ambientales donde se desarrolla y el régimen de trabajo del apero durante la interacción con el suelo.

En Cuba, entre los suelos de mayor importancia económica se encuentran los Ferralítico Amarillentos, según la Versión Nueva de Clasificación Genética de los Suelos en Cuba (Hernández, 2015) y como Ultrasol, según la USDA Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010).

Estos suelos son altamente abrasivos para los aperos de labranza por el alto contenido de cuarzo y perdigones de hierro que presentan.

En la región central de Cuba, específicamente en la provincia de Villa Clara, se localizan gran cantidad de áreas con estos suelos, alcanzando el 10% del total de este suelo, siendo una de las más representativas en Cuba. Dentro de estas en la zona de Manacas se ubica uno de los mayores sectores de producción hortícola del país, en el cual las labores están totalmente mecanizadas.

En estas zonas uno de los principales problemas asociados al empleo de medios mecanizados es el acelerado desgaste de sus órganos de trabajo, debido a que se emplean materiales inadecuados, así como métodos de fabricación que no garantizan la calidad de los mismos. A esto se le suman los prolongados períodos de parqueo y conservación a intemperie a los que estos órganos son sometidos, donde la aparición de los procesos de oxidación-corrosión en las superficies de trabajo acrecientan esta problemática (Martínez y Rodríguez, 1987; Herrera *et al.*, 2010).

Tomando en cuenta lo anterior, se decide realizar el presente trabajo que tiene como objetivo: determinar el efecto de la geometría y el tipo de material en el desgaste de los aperos de labranza.

MÉTODOS

La investigación se realizó en áreas de la Empresa de Cultivos Varios de Manacas (Figura 1a), perteneciente al municipio de Santo Domingo, provincia de Villa Clara, entre los meses de enero y abril del 2013. Se empleó un conjunto conformado por el tractor Belarus de nacionalidad rusa, marca Yumz-6M, con 14 kN de potencia y un arado de cinceles (Tiller) con brazos rígidos, de 11 órganos de trabajo (Figura 1b).

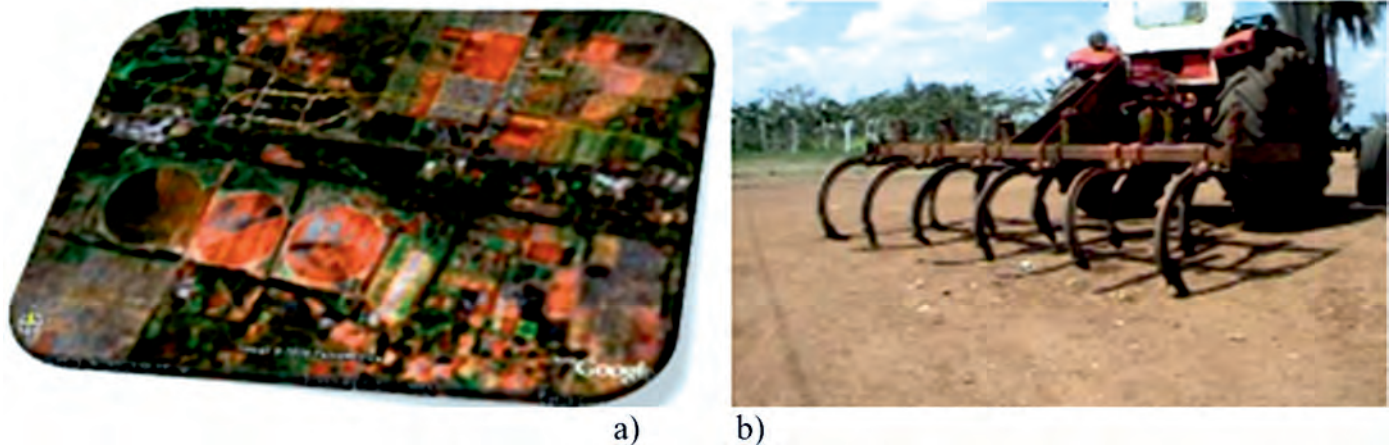


FIGURE 1a. Experimental areas, and b) Set used in wear experiments.
 FIGURA 1a. Áreas de experimentación, y b) Conjunto empleado en los experimentos de desgaste.

The soil where the experiment was carried out is classified as a Yellowish Ferrallitic soil, according to the New Version of Genetic Classification of Soils in Cuba (Hernandez, 2015) and as Ultrasol, according to the USDA Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010). It is characterized as a highly abrasive soil. The constituents and physical properties of this soil are shown in Table 1.

The soil where the experiment was carried out is classified as a Yellowish Ferrallitic soil, according to the New Version of Genetic Classification of Soils in Cuba (Hernandez, 2015) and as Ultrasol, according to the USDA Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010). It is characterized as a highly abrasive soil. The constituents and physical properties of this soil are shown in Table 1.

El suelo donde se realizó el experimento de desgaste se clasifica como un suelo Ferralítico Amarillento, según la Versión Nueva de Clasificación Genética de los Suelos en Cuba (Hernández, 2015) y como Ultrasol, según la USDA Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010). El mismo está caracterizado como un suelo altamente abrasivo. Los constituyentes y las propiedades físicas de este suelo se muestran en la Tabla 1.

TABLE 1. Constituents and physical properties of the soil under study
 TABLA 1. Constituyentes y propiedades físicas del suelo en estudio

Depth, cm		Gs, g/cm ³	Molecular relationships			Granulometry, %				
Since	until		Gravel	Sand	Silt	Clay	colloid			
0	15	2,69	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ 1,0 – 2,0	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ 1,0 – 3,0	$\frac{SiO_2}{F_2O_3}$ 10 – 15	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

Methodology for Experimental Determination of Abrasive Wear

The wear of the work organs was determined by the gravimetric method, consisting in relating mass loss with the loss of material, so before starting the tests the cutting elements (bars) of the working organs will be washed, dried and weighed to know their initial weight. The weighing was performed with a 10 ± 0.01 kg precision balance.

For these purposes, an experimental design was prepared with three treatments and four replications. Treatments T1 and T2 were aimed at quantifying the influence of the type of material on the loss of mass, and treatments T1 and T3 to quantify the influence of the type of geometry on the loss of mass (Table 2). Working speed of the tractor was 7.38 km h^{-1} , working depth of 15 cm and the time of the experiment was 24 hours of clean work of the tractor.

Metodología para la determinación experimental del desgaste abrasivo

El desgaste de los órganos de trabajo se determinó mediante el método gravimétrico, consistente en relacionar la pérdida de masa con la pérdida de material, por lo que antes de iniciar las pruebas los elementos cortantes (rejas) de los órganos de trabajo se lavarán, secarán y pesarán para conocer su peso inicial. El pesaje se realizó con una balanza de $10 \pm 0,01$ kg de precisión.

Para dichos fines se confeccionó un diseño experimental con tres tratamientos y 4 réplicas. Los tratamientos (T1 y T2) estuvieron dirigidos a cuantificar la influencia del tipo de material sobre la pérdida de masa, y los tratamientos (T1 y T3) para cuantificar la influencia del tipo de geometría en la pérdida de masa (Tabla 2). La velocidad de trabajo del tractor fue $7,38 \text{ km h}^{-1}$, la profundidad de trabajo de 15 cm y el tiempo del experimento fue 24 horas de trabajo limpio del tractor.

TABLE 2. Experiment Designs
TABLA 2. Diseños de experimentos

Treatments	Geometry	Materials
T1	Rectangular	CT-3
T2	Rectangular	G-60
T3	Cinzel	CT-3

To carry out the wear experiment, working organs (Figure 2 and 3) of CT-3 steel with a hardness of 110 HB were selected, and steel G-60, with a hardness of 165 HB. In both cases, the surface roughness was 12.5 μm , and without thermal treatment. Chemical composition of these materials is shown in Table 3.

Para la realización del experimento de desgaste se seleccionaron órganos de trabajo (Figuras 2 y 3) de acero CT-3 con una dureza de 110 HB, y el acero G-60, con una dureza de 165 HB. En ambos casos la rugosidad superficial fue de 12,5 μm , y sin tratamiento térmico. La composición química de estos materiales se muestra en la Tabla 3.

TABLE 3. Material Chemical Composition of the Working Organs
TABLA 3. Composición química del material de los órganos de trabajo

Material	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mg	%Ni	%Cu
CT-3	0,19	0,036	0,38	0,1	0,098	0,049	< 0,01	0,028	0,071
G-60	0,607	1,26	1,06	0,033	0,0160	0,04	0,04	0,1	0,13

These organs were manufactured in Enrique Villegas Company, located in Santa Clara Municipality, Villa Clara Province. This company is dedicated to the construction of agricultural implements for AZCUBA Business Group, which is responsible for marketing sugar and its derivatives in the national market, and the Ministry of Agriculture (MINAG).

Estos órganos fueron fabricados 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 Grupo Empresarial AZCUBA que se encarga de la comercialización en el mercado nacional del azúcar y sus derivados, y El Ministerio de la Agricultura (MINAG).

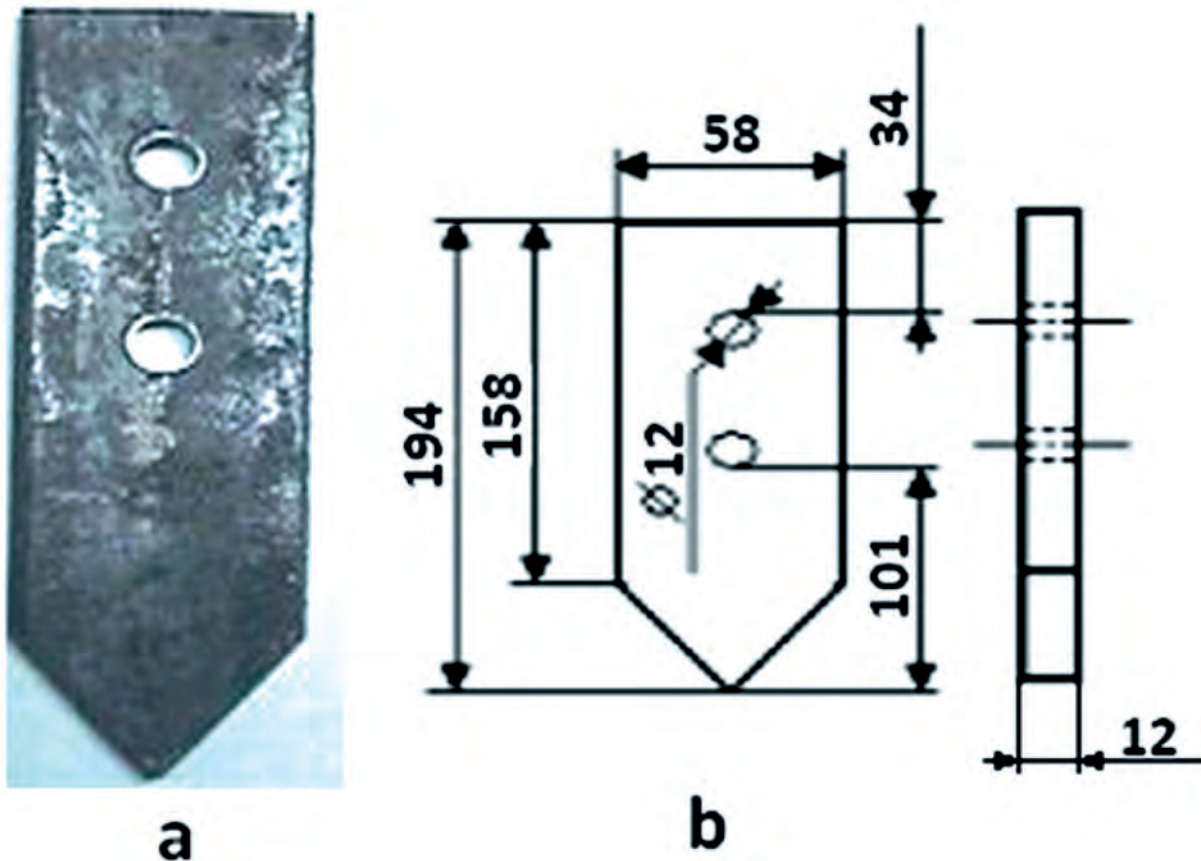


FIGURE 2. Geometry and dimensions of the bars to be used in the experiments. a) Geometry of the chisel type grating b) dimensions.
FIGURA 2. Geometrías y dimensiones de las rejas a emplear en los experimentos. a) Geometría de la reja tipo cinzel, b) dimensiones.

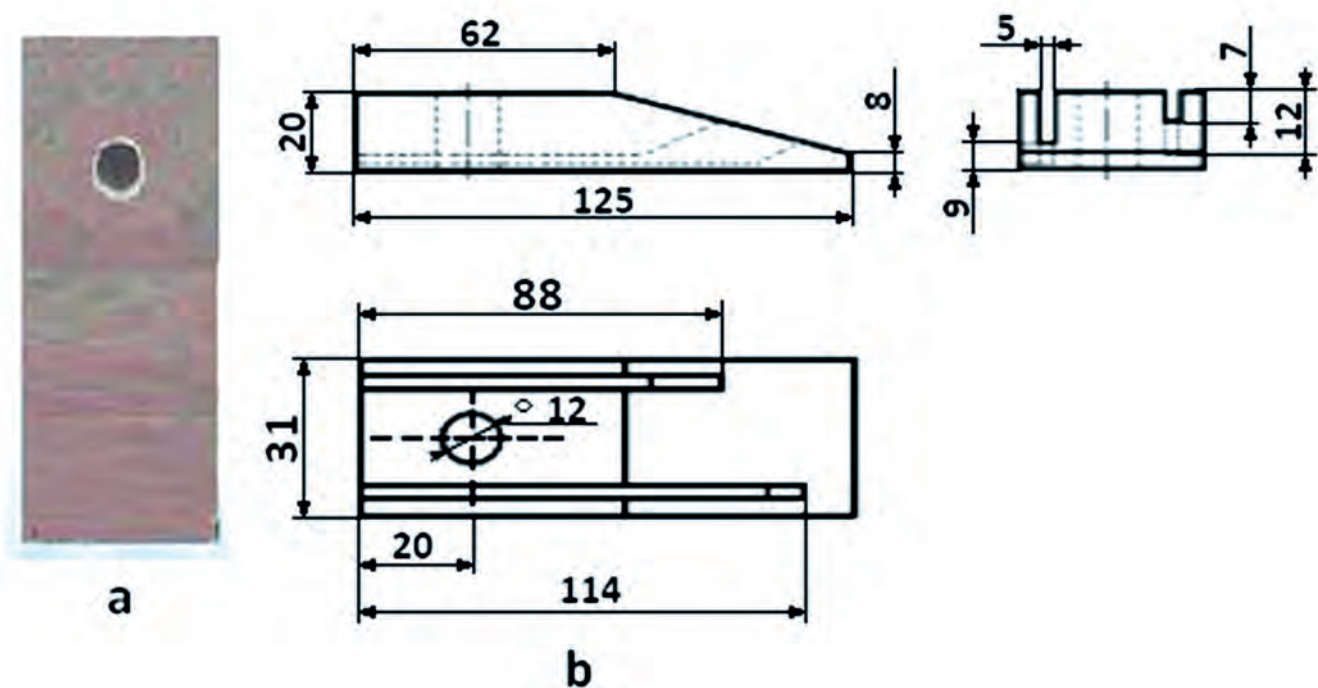


FIGURE 3. Geometry and dimensions of the bars to be used in the experiments. a) Geometry of the rectangular type grating b) dimensions.
 FIGURA 3. Geometrías y dimensiones de las rejas a emplear en los experimentos. a) Geometría de la reja tipo rectangular, b) dimensiones.

Methodology for the Statistical Processing of Results

The statistical processing of the experimental results was carried out with STATGRAPHICS Centurión XV software. The analysis of means comparison and Kolmogorov-Smirnov tests were carried out with the purpose of finding the existing relations between the variables under study with a confidence level of 95%. Kolmogorov-Smirnov test was performed to compare the distributions of the two samples.

As control variables, soil conditions were determined, so their homogeneity was guaranteed in each experiment. The determination of soil moisture content was made by the gravimetric method, consisting in weighing the soil sample before and after the drying process. That experiment was carried out according to the procedures of NC: 67 2000. The determination of soil density was carried out by means of Kopecky Rings Method, for which a cylinder of 70 mm high by 70 mm diameter was used, and a total volume of 244 cm³. That procedure was developed according to CN 34-47: 2003 regulations.

RESULTS AND DISCUSSION

Results of the Determination of Wear in Working Conditions

Influence of Geometry of the Work Organ in the Loss of Mass. The experimental results showed a tendency to increase the loss of mass as the exploitation time and the distance traveled by them increased, reaching total values of 180.3 and 304.02 g for the chisel and rectangular organs, respectively (Figure

Metodología para el procesamiento estadístico de los resultados

El procesamiento estadístico de los resultados experimentales se realizó con el Software STATGRAPHICS Centurión XV, recurriéndose al análisis de comparación de medias y pruebas de Kolmogorov-Smirnov, con el propósito de encontrar las relaciones existentes entre las variables en estudio con un nivel de confianza de 95%. La prueba de Kolmogorov-Smirnov se realiza para comparar las distribuciones de las dos muestras.

Como variables de control se determinaron las condiciones del suelo, de forma que se garantizara que fueran homogéneas en cada experimento. La determinación del contenido de humedad del suelo se realizó mediante el método gravimétrico, consistente en pesar la muestra de suelo antes y después del proceso de secado. Dicho experimento se realizó según los procedimientos de la NC: 67 2000. La determinación de la densidad del suelo se realizó mediante el método de los anillos de Kopecky, para el cual se empleó un cilindro de 70 mm de alto por 70 mm de diámetro, y un volumen total de 244 cm³, procedimiento que se ajusta a las normativas establecidas en la NC 34-47: 2003.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la determinación del desgaste en condiciones de trabajo

Influencia de la geometría del órgano de trabajo en la pérdida de masa. Los resultados experimentales mostraron una tendencia al aumento de la pérdida de masa en la medida que aumentó el tiempo de explotación y la distancia recorrida por los mismos, alcanzando valores totales de 180,3 y 304,02 g para los órganos tipo cincel y

4). The rectangular organs showed greater wear because they have a greater area of contact or confrontation with the ground in the area of the edge. Ucgul *et al.* (2015) & Kostencki *et al.* (2016) previously reported this behavior.

rectangulares, respectivamente (Figura 4). Los órganos rectangulares mostraron mayor desgaste debido a que poseen mayor área de contacto o enfrentamiento con el suelo en la zona del filo. Este comportamiento fue reportado con anterioridad por Ucgul *et al.* (2015) y Kostencki *et al.* (2016).

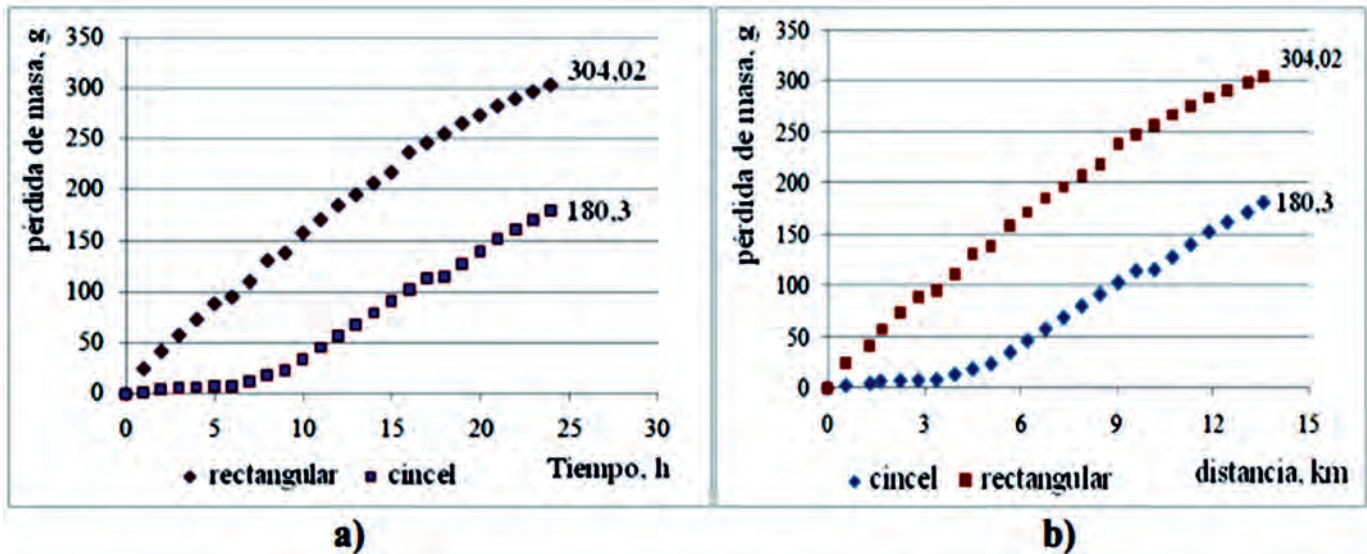


FIGURE 4. Loss of mass of the working organs of the tools, depending on the geometry of the grid, a) as a function of time and b) as a function of distance. FIGURA 4. Pérdida de masa de los órganos de trabajo de los aperos, en función de la geometría de la reja. a) en función del tiempo, b) en función de la distancia.

Kolmogorov-Smirnov test showed that there is a statistically significant difference between the two distributions with a confidence level of $\alpha = 95.0\%$. On the other hand, the mean comparison analysis showed a statistically significant difference ($P < 0.05$) between the loss of mass of the chisel-type organs with respect to that of rectangular organs, with a confidence level $\alpha = 95.0\%$ (Figure 5).

La prueba de Kolmogorov-Smirnov mostró que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones con un nivel de confianza del $\alpha = 95,0\%$. Por su parte, el análisis de comparación de medias mostró una diferencia estadísticamente significativa ($P < 0,05$) entre la pérdida de masa de los órganos tipo cincel con respecto a la de órganos rectangulares, con un nivel de confianza $\alpha = 95,0\%$ (Figura 5).

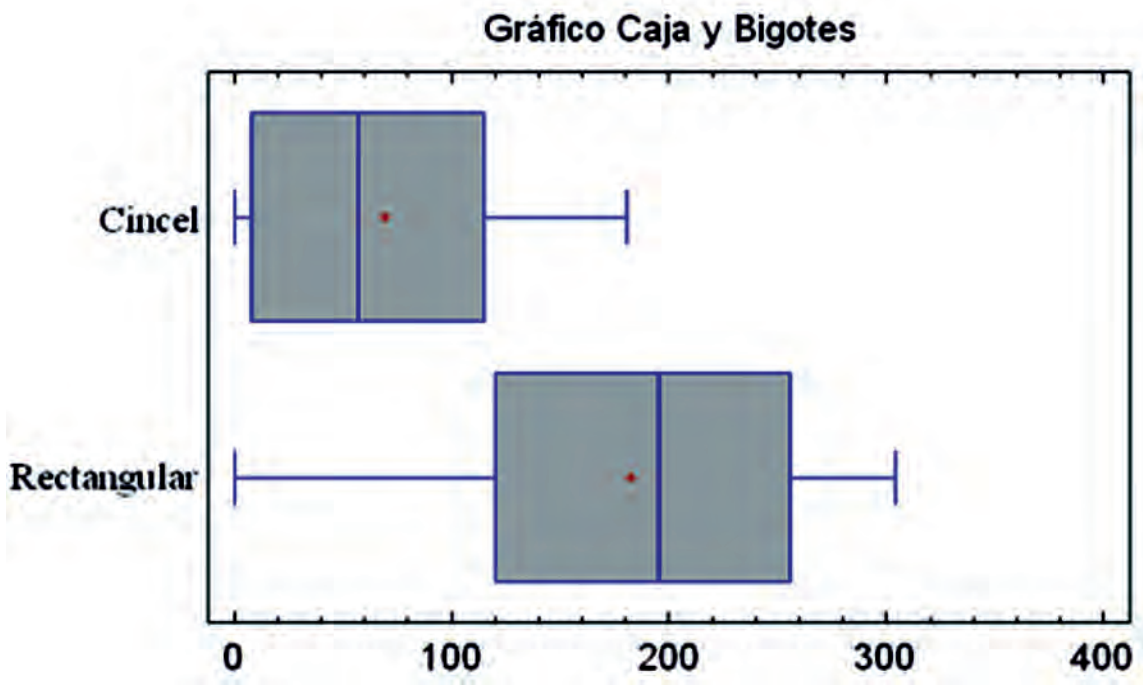


FIGURE 5. Comparison of means for steel types. FIGURA 5. Comparación de medias para tipos de acero.

Influence of the Type of Material of the Work Organ in the Loss of Mass. For this case, the experimental results showed (Figure 6), a tendency to increase the mass loss of the organ in relation to the working time and the distance traveled by the tractor (Figure 6), exhibiting steel G-60 loss values of mass of 79.81 g and 304.02 g in the CT-3 steel. The above is due to the fact that steel G-60 has greater hardness than steel CT-3. Er y Par (2006), Kang *et al.* (2014), Bialobrzaska & Kostencki (2015), Singh *et al.* (2017), Ucgul *et al.* (2017 when comparing different materials found this same tendency.

Influencia del tipo de material del órgano de trabajo en la pérdida de masa. Para este caso los resultados experimentales mostraron (Figura 6), una tendencia al aumento de la pérdida de masa del órgano con relación al tiempo de trabajo y la distancia recorrida por el mismo (Figura 6), exhibiendo el acero G-60 valores de pérdida de masa de 79,81 g y de 304,02 g en el acero CT-3. Lo anterior se debe a que el acero G-60 posee mayor dureza que el acero CT-3. Esta misma tendencia fue encontrada por Er y Par (2006), Kang *et al.* (2014), Bialobrzaska y Kostencki (2015), Singh *et al.* (2017), Ucgul *et al.* (2017al comparar diferentes materiales.

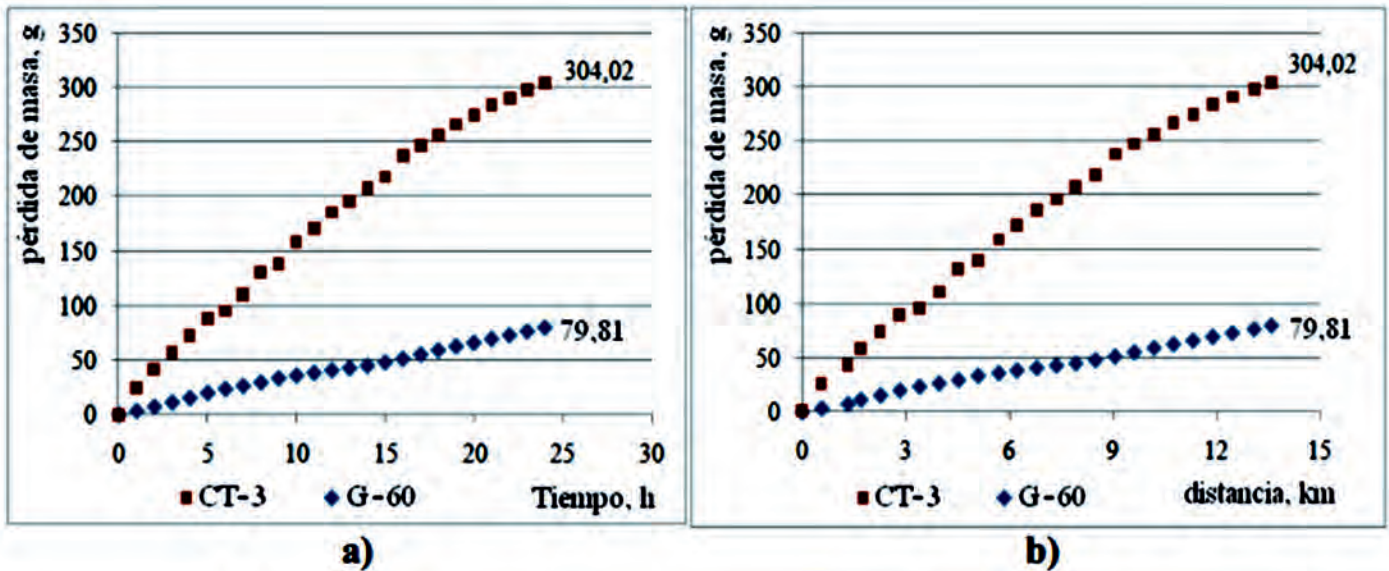


FIGURE 6. Loss of mass of steel gratings CT-3 and G-60, a) as a function of time, b) as a function of distance.
 FIGURA 6. Pérdida de masa de las rejas de acero CT-3 y G-60. a) en función del tiempo, b) en función de la distancia.

Kolmogorov-Smirnov test showed that there is a statistically significant difference between the two distributions with a confidence level of $\alpha = 95.0\%$. The mean comparison analysis showed a statistically significant difference ($P < 0.05$) between the mass loss of the CT-3 steel with respect to the G-60 steel with a confidence level of 95.0% (Figure 7). These results agree with those reported by (Bayhan, 2006; Er y Par, 2006; Kang *et al.*, 2014; Bialobrzaska y Kostencki, 2015; Singh *et al.*, 2017) in non-agricultural soils.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov mostró que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones con un nivel de confianza del $\alpha = 95,0\%$. El análisis de comparación de medias mostró una diferencia estadísticamente significativa ($P < 0,05$) entre la pérdida de masa del acero CT-3 con respecto al acero G-60 con un nivel de confianza del 95,0% (Figura 7). Estos resultados concuerdan con los reportados por (Bayhan, 2006; Er y Par, 2006; Kang *et al.*, 2014; Bialobrzaska y Kostencki, 2015; Singh *et al.*, 2017) en suelos no agrícolas.

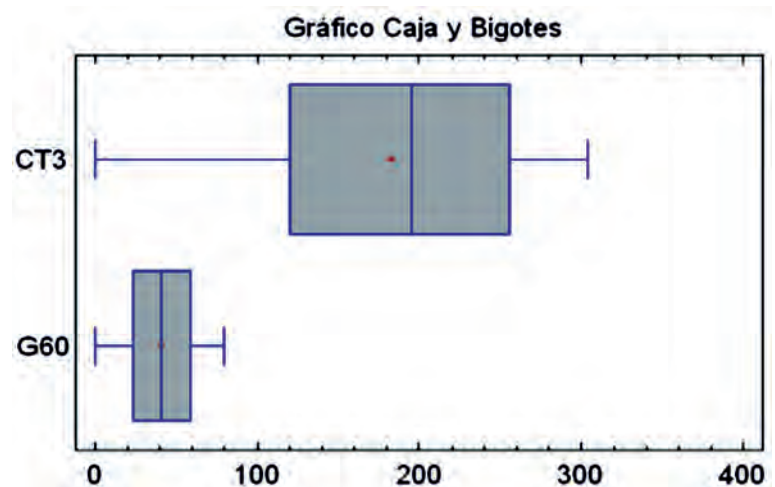


FIGURE 7. Comparison of means for steel types.
 FIGURA 7. Comparación de medias para tipos de acero.

Of particular interest is the approximate P-value for the test. Because P-value is less than 0.05, there is a statistically significant difference between the two distributions with a confidence level of 95.0%.

Variation of Geometry and Dimensions of the Work Organs. The determination of variation of the working organs under study showed that after 24 hours of clean work of the implement, the working organs lose their initial geometrical characteristics, that is, the edge and the inclination angles of the sharp edges are lost (Figures 8c, d, g, h). That behavior is similar to that found by Bayhan (2006), but in greater working time interval. (Fechete *et al.*, 2014; Ucgul *et al.*, 2015; Kostencki *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2016; Sun *et al.*, 2018). It was quantified that the volume of material lost in the chisel-type organs was 17.51 cm³ on average and in the rectangular ones 34.96 cm³.

The amount of material lost in both types of organs produced by the action of wear, was equivalent to the loss of 50% of the total area of the organs in 24 hours of clean work (Figure 8). These results allow estimating that at that rate of wear for the rectangular type organ, only 48 h of clean work of the implement will be enough for the total loss of the work surface in the area of confrontation with the soil, showing the highly abrasive nature of this soil in study.

De particular interés es el valor-P aproximado para la prueba. Debido a que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones con un nivel de confianza del 95,0%.

Variación de la geometría y dimensiones de los órganos de trabajo. La determinación de la variación de la geometría y dimensiones de los órganos objeto de estudio mostró, que a las 24 h de trabajo limpio del apero los órganos de trabajo pierden sus características geométricas iniciales, es decir se pierde el filo y los ángulos de inclinación de los bordes cortantes (Figuras 8c, 8d, 8g, 8h), comportamiento similar el encontrado por Bayhan (2006), pero en mayor intervalo de tiempo de trabajo. (Fechete *et al.*, 2014; Ucgul *et al.*, 2015; Kostencki *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2016; Sun *et al.*, 2018). Se cuantificó que el volumen de material perdido en los órganos tipo cincel fue 17,51 cm³ como promedio y en los rectangulares 34,96 cm³.

La cantidad de material perdido en ambos tipos de órganos producto de la acción del desgaste, fue equivalente a la pérdida del 50% del área total de los órganos en 24 horas de trabajo limpio (Figura 8). Estos resultados permiten estimar que a ese ritmo de desgaste para el órgano tipo rectangular sólo bastarán 48 h de trabajo limpio del apero para la pérdida total de la superficie de trabajo en la zona de enfrentamiento con el suelo, mostrando la naturaleza altamente abrasiva de este suelo en estudio.

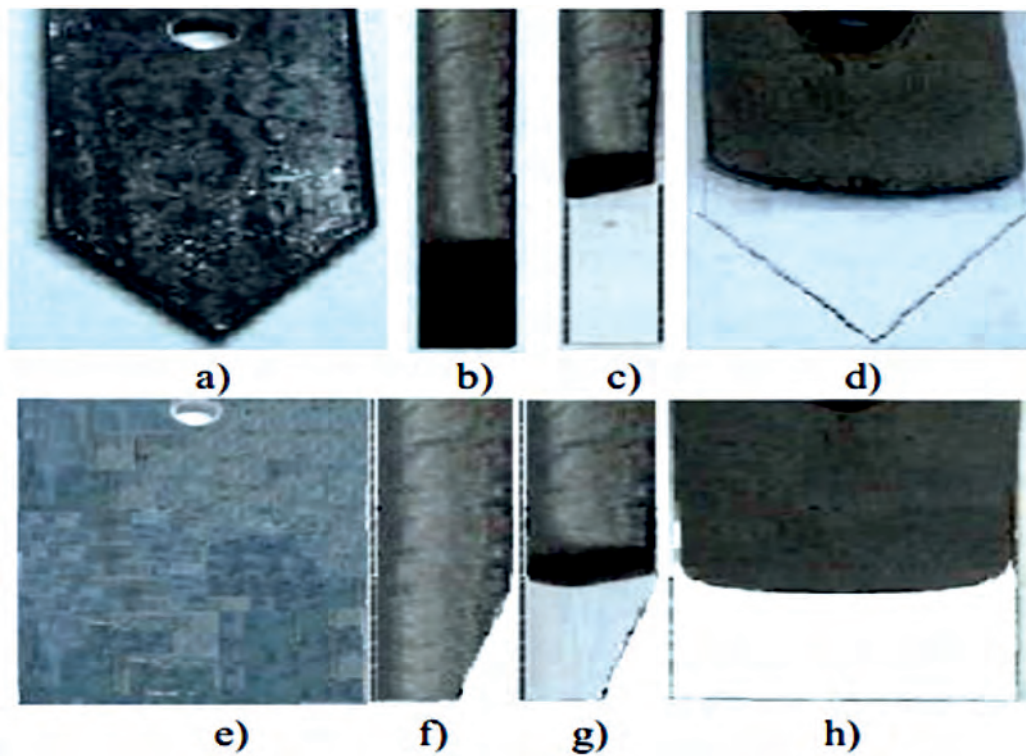


FIGURE 8. Variation of the grid geometry during the experimentation. a) Front view and b) side view of the chisel grid before test T1 = 0 h; e) front view and f) side view of the rectangular grid before test T1 = 0 h; c) and d) chisel grids after test T2 = 24 h, g) and h) rectangular grille after test T2 = 24 h.

FIGURA 8. Variación de la geometría de las rejas durante la experimentación. a) vista frontal y b) vista lateral de la reja de cincel antes del ensayo T1= 0 h; e) vista frontal y f) vista lateral de la reja rectangular antes del ensayo T1= 0 h; c) y d) rejas cincel después del ensayo T2= 24 h, g) y h) reja rectangular después del ensayo T2= 24 h.

The analysis of the effects of wear on the geometry and dimensions in the work organs of different materials showed a 50% total mass loss in the first 24 h of clean work for CT-3 steel, completely deforming its geometry (Figure 9c and d), which is due to the low hardness.

El análisis de los efectos del desgaste en la geometría y dimensiones en los órganos de trabajos de diferentes materiales, mostró una pérdida del 50% de la masa total en las primeras 24 h de trabajo limpio para el acero CT-3, deformándose completamente su geometría (Figura 9c y 9d), lo cual se debe a la poca dureza.

For G-60 steel, the total mass lost as a result of wear equaled 10.64% of the nominal mass of the work organs. This result allowed estimating that at this rate of wear, the bars of this material will lose 50% of its total mass at 150 h, thus extending its useful life with respect to the CT-3 steel.

Para el acero G-60, la masa total perdida producto al desgaste equivalió a 10,64% de la masa nominal de los órganos de trabajo. Este resultado permitió estimar que a este ritmo de desgaste las rejas de este material perderán el 50% de su masa total a las 150 h, extendiendo de esta forma su vida útil con respecto al acero CT-3.

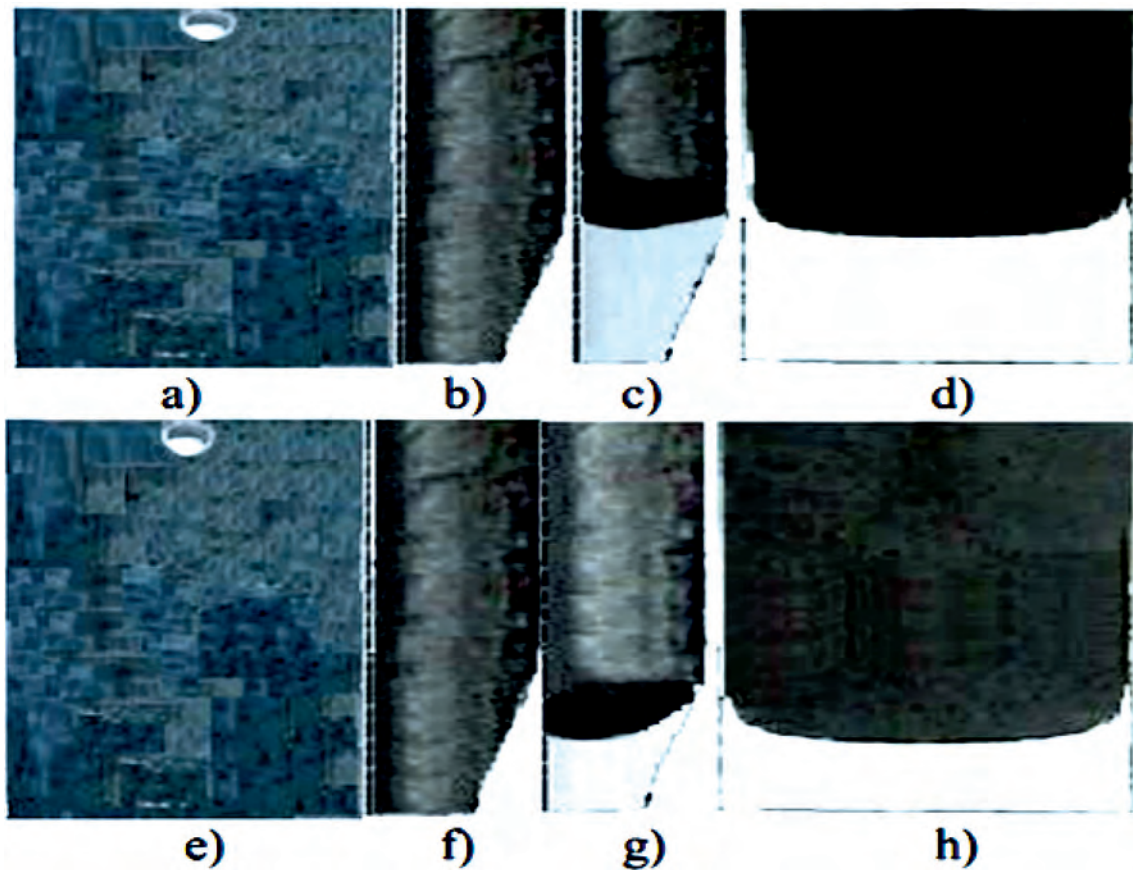


FIGURE 9. Variation of the geometry of the steel gratings CT-3 and G-60. a) front view and b) side view of the steel grating CT-3 before test T1 = 0 h; e) front view and f) side view of the steel grate G-60 before test T1 = 0 h; c) and d) steel gratings CT-3 after test T2 = 24 h, g) and h) grills steel G-60 after test T2 = 24 h.

FIGURA 9. Variación de la geometría de las rejas de acero CT-3 y G-60. a) vista frontal y b) vista lateral de la reja de acero CT-3 antes del ensayo T1= 0 h; e) vista frontal y f) vista lateral de la reja de acero G-60 antes del ensayo T1= 0 h; c) y d) rejas de acero CT-3 después del ensayo T2= 24 h, g) y h) rejas acero G-60 después del ensayo T2= 24 h.

CONCLUSIONS

- It is estimated that in these experimental conditions, CT-3 steel rectangular work organs lose total work surface in 48 hours of clean work and G-60 steel in 150 hours of clean work. The results of the statistical analyzes showed that both types of geometry and types of materials used in the experiments have a high influence on the mass loss of the working organs.

CONCLUSIONES

- Se estima que en estas condiciones de experimentación los órganos de trabajo rectangulares de acero CT-3 pierdan la superficie de trabajo total en 48 h de trabajo limpio y el acero G-60 en 150 h de trabajo limpio; Los resultados de los análisis estadísticos mostraron que tanto los tipos de geometrías como los tipos de materiales empleados en los experimentos tienen alta influencia en la pérdida de masa de los órganos de trabajo.

REFERENCES/REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAYHAN, Y.: "Reduction of wear via hardfacing of chisel ploughshare", Tribology International, 39(6): 570-574, 2006, ISSN: 0301-679X, DOI: 10.1016/j.triboint.2005.06.005.
- BIALOBRZESKA, B.; KOSTENCKI, P.: "Abrasive wear characteristics of selected low-alloy boron steels as measured in both field experiments and laboratory tests", Wear, 328-329: 149-159, 2015, ISSN: 0043-1648, DOI: 10.1016/J.WEAR.2015.02.003.2015. ISBN: 0012-7353
- ER, U.; PAR, B.: "Wear of plowshare components in SAE 950C steel surface hardened by powder boriding", 261(3-4): 251-255, 2006, ISSN:

0043-1648, DOI: 10.1016/J.WEAR.2005.10.003.

- FECHETE, T.L.V.; NAGY, E.M.; COȚA, C. -TL.: "Influence of tillage tools cutting edge wear over technical and economic indicators", *INMATEH - Agricultural Engineering*, 44(3): 5-12, 2014, ISSN: 2068-4215.
- HERNÁNDEZ, J.A.; PÉREZ, J.M.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.; RUÍZ, J.; SALGADO, E.J.; MARSÁN, R.; OBREGÓN, A.; TORRES, J.M.; GONZÁLES, J.E.; ORELLANA, R.; PANEQUE, J.; RUIZ, J.M.; MESA, A.; FUENTES, E.; DURÁN, J.L.; PENA, J.; CID, G.; PONCE DE LEÓN, D.; HERNÁNDEZ, M.; FRÓMETA, E.; FERNÁNDEZ, L.; GARCÉS, N.; MORALES, M.; SUÁREZ, E.; MARTÍNEZ, E.: Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba, Ed. AGROINFOR, La Habana, Cuba, 64 P., 1999, ISBN: 959-246-022-1..
- HERRERA, S.M.; IGLESIAS, C.C.E.; CONTRERAS, M.Y.; LÓPEZ, B.E.; SÁNCHEZ, I.Á.: "Análisis de los factores que inciden en el desgaste de los órganos de trabajo de los aperos de labranza", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(2): 1-9, 2010, ISSN: 2071-0054.
- JAGSEER, S.; SUKHPAL, S.C.; BUTA, S.S.: "Influence of soil conditions on abrasion wear behaviour of tillage implements", *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology, (Special Issue AFTMME)*: 258-263, 2017, ISSN: 2278-621X, DOI: 10.21172.
- KANG, A.S.; CHEEMA, G.S.; SINGLA, S.: "Wear Behavior of Hardfacings on Rotary Tiller Blades", *Procedia Engineering*, 97: 1442-1451, 2014, ISSN: 1877-7058, DOI: 10.1016/j.proeng.2014.12.426.
- KOSTENCKI, P.; STAWICKI, T.; BIAŁOBRZESKA, B.: "Durability and wear geometry of subsoiler shanks provided with sintered carbide plates", *Tribology International*, 104: 19-35, 2016, ISSN: 0301-679X, DOI: 10.1016/j.triboint.2016.08.020.
- MARTÍNEZ, P.F.; RODRÍGUEZ, V.G.: "Vías para incrementar la vida útil de los elementos de máquinas agrícolas", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 1(1): 10-16, 1987, ISSN: 2071-0054.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: Metodología para la determinación de las condiciones de ensayo, Máquinas Agrícolas y Forestales, no. NC: 3447, La Habana, Cuba, 2003.
- SINGH, K.A.; SINGH, G.; SINGH, C.G.: "Improving wear resistance via hardfacing of cultivator shovel", *Materials Today: Proceedings*, 4(8): 7991-7999, 2017, ISSN: 2214-7853, DOI: 10.1016/j.matpr.2017.07.136.
- SOIL SURVEY STAFF: Keys to Soil Taxonomy, [en línea], Natural Resources Conservation Service y Agriculture Dept (eds.), Ed. Natural Resources Conservation Service, 11.a ed., Washington, 344 p., 12 de mayo de 2010, ISBN: 978-0-16-085427-9, Disponible en: <https://www.amazon.com/Keys-Soil-Taxonomy-Survey-Staff/dp/016085427X>, [Consulta: 27 de junio de 2016].
- STATPOINT TECHNOLOGIES: Statgraphics Centurion, [en línea], (Versión XV), [Windows], ser. Centurion, 21 de mayo de 2010, Disponible en: <http://statgraphics-centurion.software.informer.com/download/>.
- SUN, J.; WANG, Y.; MA, Y.; TONG, J.; ZHANG, Z.: "DEM simulation of bionic subsoilers (tillage depth 40 cm) with drag reduction and lower soil disturbance characteristics", *Advances in Engineering Software*, 119: 30-37, 2018, ISSN: 0965-9978, DOI: 10.1016/j.advengsoft.2018.02.001.
- UCGUL, M.; FIELKE, J.M.; SAUNDERS, C.: "Defining the effect of sweep tillage tool cutting edge geometry on tillage forces using 3D discrete element modelling", *Information Processing in Agriculture*, 2(2): 130-141, 2015, ISSN: 2214-3173, DOI: 10.1016/j.inpa.2015.07.001.
- UCGUL, M.; SAUNDERS, C.; FIELKE, J.M.: "Discrete element modelling of tillage forces and soil movement of a one-third scale mouldboard plough", *Biosystems Engineering*, 155: 44-54, 2017, ISSN: 1537-5110, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.12.002.
- WANG, Z.; GAO, K.; SUN, Y.; ZHANG, Z.; ZHANG, S.; LIANG, Y.; LI, X.; REN, L.: "Effects of Bionic Units in Different Scales on the Wear Behavior of Bionic Impregnated Diamond Bits", *Journal of Bionic Engineering*, 13(4): 659-668, 2016, ISSN: 1672-6529, DOI: 10.1016/S1672-6529(16)60337-2.

Received: 20/07/2017.

Approved: 22/12/2017.

Ángel Lázaro Sánchez Iznaga, Profesor Auxiliar, Director del Centro de Estudios para la Transformación Agraria Sostenible (CETAS), Coordinador Provincial del eje Monitoreo y Evaluación (PIAL), Universidad de Cienfuegos, Facultad de Ciencias Agrarias. Cuatro caminos, carretera a Rodas km 3 1/2, CP 59430 Cienfuegos, Cuba. e-mail: alsanchez@ucf.edu.cu

Miguel Herrera Suárez, e-mail: miguelhs2000@yahoo.com

Jorge Daniel López Morfa, e-mail: alsanchez@ucf.edu.cu

Yoandris Socarrás Armenteros, e-mail: alsanchez@ucf.edu.cu

Anabel Machado Guevara, e-mail: alsanchez@ucf.edu.cu

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.