

## RESISTENCIA AL DESGASTE DE CUCHILLAS DE ARADOS ROTATIVOS EN OPERACIÓN EN SUELOS TROPICALES

### Wear resistance of rotary plow blades working on tropical soils

#### RESUMEN

Se estudió la resistencia al desgaste de cuchillas de tres tipos de arados rotativos (*grada rotativa, rotavator y motoazada*) en suelos tropicales del municipio de Santa Fe de Antioquia. También se realizaron ensayos de resistencia al desgaste en condiciones de laboratorio (norma ASTM G65). El desgaste más significativo en ensayos de campo lo presentaron las cuchillas tipo *grada rotativa y rotavator*. Se determinó que la frecuencia rotativa de operación y las fuerzas súbitas de impacto herramienta – suelo son los factores que más inciden. En los ensayos de laboratorio, no se presentaron diferencias significativas en el desgaste de las herramientas.

**PALABRAS CLAVES:** Arados rotativos, desgaste, Motoazada, Grada rotativa, Rotavator, Tribología.

#### ABSTRACT

*The wear resistance of blades of three types of rotary plows (rotavator, power harrows and motorhoes) in tropical soils of Santa Fe de Antioquia was studied. Also, rubber wheel-dry sand abrasive wear tests were performed in laboratory according to ASTM G65 standard. The maximum wear in field tests was found in blades from power harrows and rotavator. The high rotating speed and the sudden forces of impact in field tests were considered responsible of the differences between the results from laboratory and those from the actual rotary plows.*

**KEYWORDS:** Motorhoes, Rotary plow, Power harrows, Rotavator, Wear, Tribology.

#### 1. INTRODUCCIÓN

El desgaste asociado a partículas duras, fibras o contracuerpos duros y rugosos está presente en un sinnúmero de sistemas tribológicos comúnmente encontrados en aplicaciones industriales, herramientas agrícolas, sistemas de freno para automotores, entre otros. Los costos generados por la abrasión se acentúan en los países subdesarrollados por cuanto la reposición es mucho más onerosa debido al costo de las importaciones. Hechas las anteriores consideraciones, es clara la necesidad de realizar estudios sistemáticos sobre el comportamiento de materiales y piezas sometidos a abrasión en diferentes aplicaciones. En este proyecto el interés está centrado en cuchillas de arados rotativos, dada su alta utilización en el país y la incidencia de las pérdidas por desgaste a las que están sometidas. Se conoce el comportamiento de desgaste de otras herramientas agrícolas, pero no se tiene referencia en nuestro país sobre el comportamiento al desgaste abrasivo e impacto de cuchillas de arado rotativo que son de amplio uso a nivel nacional, tanto en máquinas

impulsadas por tractor, como en pequeñas máquinas (motocultores y motoazadas).

Los arados rotativos (rotavator, grada rotativa y motoazada), son herramientas rotacionales que roturan, cortan y mezclan el perfil del suelo (figura 1); constan de un rotor provisto de cuchillas accionado por la toma de potencia del tractor (excepto la motoazada accionada por su propio motor), de manera que en una sola pasada realizan el rompimiento y mezcla del suelo, quedando éste listo para la siembra [1]. Estos equipos pueden ser considerados implementos críticos bajo situaciones de clima tropical por su fuerte impacto sobre la estructura del suelo y el alto riesgo de erosión relacionado con ello [2].

Uno de los serios problemas en el uso de los arados rotativos es la rotura de las cuchillas cuando éstas chocan con rocas y/o suelos duros. Para evitar este problema se emplean varios sistemas que atenúan el impacto de las cuchillas y las protegen de las sobrecargas (por ejemplo embragues) [3]. El manejo de esta clase de implementos

#### HUGO GONZÁLEZ

Ingeniero Agrícola, M.Sc.  
Profesor Asistente  
Universidad Nacional de Colombia  
– Sede Medellín.  
[hagonzal@unal.edu.co](mailto:hagonzal@unal.edu.co)

#### WILMER PÉREZ

Ingeniero Agrícola (candidato a M.Sc).  
Universidad Nacional de Colombia  
Sede Medellín.

#### MARIA LUISA ANAYA

Estudiante de Ingeniería Agrícola –  
Universidad Nacional de Colombia  
Sede Medellín.

#### CARLOS RESTREPO

Estudiante de Ingeniería Agrícola –  
Universidad Nacional de Colombia  
Sede Medellín.

#### ALEJANDRO TORO

Ingeniero Mecánico, Ph.D.  
Profesor Asistente  
Universidad Nacional de Colombia  
Sede Medellín.  
[atoro@unal.edu.co](mailto:atoro@unal.edu.co)

de labranza precisa el conocimiento técnico de los mismos; el uso y operación de los arados rotativos es muy complejo, por lo tanto al definir su uso hay que realizar un minucioso estudio antes de introducirlo en un suelo en particular [1].

El desgaste abrasivo es una de las principales causas de falla y pérdida de desempeño de los arados rotativos, toda vez que las cuchillas entran en contacto permanente con partículas duras o abrasivas mientras son sometidas a elevados niveles de esfuerzos, lo que ocasiona deformación plástica y desprendimiento de material [4, 5].

Los aceros, que son la materia prima fundamental de las herramientas agrícolas, presentan diferente resistencia al desgaste en función de su microestructura y composición química. A manera de ejemplo, la martensita al compararla con la ferrita – perlita y ferrita - carburos presenta generalmente mayor resistencia a la abrasión, siempre y cuando las condiciones de operación no incluyan altos componentes de impacto [6]. Un material que ha venido siendo utilizado exitosamente en Colombia para herramientas agrícolas es el acero al boro AISI 15B30, debido a su ventajosa combinación de tenacidad y resistencia al desgaste. Además, el boro incrementa la templabilidad de los aceros hipoeutectoides al retardar la nucleación de la ferrita en los límites del grano austenítico [7].

Ante la poca y a veces contradictoria información existente (debido a la gran cantidad de variables involucradas) se propuso la elaboración de este estudio sobre interacción “arados rotivos – suelo” y el grado de desgaste que el suelo ocasiona en las diferentes herramientas. Si se desea preservar la sostenibilidad de las actividades productivas dependientes del suelo, es menester la realización de este tipo de investigaciones que relacionan maquinas y el medio edáfico.



(a)



(b)



(c)

Figura 1. Diferentes tipos de arados rotativos empleados en el estudio: (a) Rotavator (b) Grada rotativa (c) Motoazada.

Inicialmente se planteó la hipótesis de que las cuchillas de los arados rotativos deberían tener desgaste similar en los ensayos de laboratorio siguiendo la norma ASTM G65 debido a que su microestructura y dureza son semejantes, pero que en los ensayos de campo se deberían presentar diferencias significativas causadas por la geometría, el tipo de operación y condiciones variables del suelo.

Con la investigación se validó la hipótesis anterior, pues no se presentaron diferencias significativas de resistencia al desgaste de las cuchillas al emplear el equipo de laboratorio construido bajo la norma ASTM G65; mientras que sí se presentaron estas diferencias en las pruebas de campo, debido a la variabilidad de operación de las máquinas y las condiciones del suelo (se destaca el grado de pedregosidad). Por lo que la energía de impacto y condiciones de operación (frecuencias, profundidad de trabajo, número de cuchillas, etc) deben ser también consideradas.

## 2. METODOLOGÍA

**Área de estudio.** Los ensayos de campo se realizaron en el Centro agropecuario Cotové (Santa Fe de Antioquia), de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín; con bosque seco tropical, temperatura anual promedio de 27 °C, y altura de 540 msnm. El área experimental presentó un suelo con textura franco arcillosa, material parental aluvión y pendiente <1% [8].

**Materiales.** En todas las pruebas se utilizaron cuchillas comerciales para rotavator, grada rotativa y motoazada, las cuales son fabricadas en acero AISI 15B30. Las cuchillas fueron caracterizadas en términos de su microestructura y dureza antes de los ensayos, y después de ellos se analizó la superficie de trabajo con el propósito de identificar los mecanismos de desgaste actuantes sobre ella.

**Ensayos de desgaste en condiciones de campo.** Se dividió el terreno en nueve parcelas experimentales con área aproximada de 630 m<sup>2</sup> c/u y aleatoriamente se definió el tipo de tratamiento en cada parcela (ver en la tabla 1).

No. de parcela	Tipo de tratamiento	Observaciones
1	TRV	Ligeramente pedregoso
2	TGR	Ligeramente pedregoso
3	TMO	Medianamente pedregoso
4	TGR	Medianamente pedregoso
5	TMO	Medianamente pedregoso
6	TGR	Ligeramente pedregoso
7	TRV	Ligeramente pedregoso
8	TMO	Altamente pedregoso
9	TRV	Altamente pedregoso

Tratamientos: TRV (rotavator), TGR (grada rotativa), TMO (motoazada).

**Tabla 1.** Parcelas trabajadas con los equipos y estado general respecto a la cantidad de rocas.

Ver tabla 2 sobre la calibración previa de cada equipo.

Parámetros	Rotavator	Grada rotativa	Motoazada
Marca - modelo	(Howard – HR 27)	(Kuhn – HRB 182)	Agria – 3002 G
Fuente de potencia	Tractor	Tractor	Autopropulsada .
Velocidad (km/h)	2,2	2,2	0,7
Ancho teórico de trabajo (m)	1,6	1,8	1,0
Frecuencia del rotor (rpm)	141	253	164

Velocidad tangencial cuchillas (m/s)	3,9	3,6	2,8
Profundidad de trabajo (cm)	15	17	12
Número de cuchillas	36	12	32
Tipo de cuchillas	banana 135°	Recta	banana 135°
Potencia requerida	30 kW	40 kW	5 kW

**Tabla 2.** Parámetros utilizados para calibrar y estandarizar los equipos.

**Experimentos de desgaste abrasivo en laboratorio.** Se empleó una máquina estandarizada del tipo rueda de caucho-arena seca ASTM G65 [9], utilizándose como abrasivo arena de sílice con granulometría AFS 50-70 y con tiempos de experimento equivalentes para cada cuchilla. Todas las probetas fueron limpiadas en baño ultrasónico y secadas con aire caliente; los resultados de desgaste abrasivo fueron determinados mediante pérdida de masa, la cual fue medida en balanza analítica con 0,01 mg de resolución.

### 3. RESULTADOS

#### Microestructura y dureza de las cuchillas

En la figura 2 se puede observar la microestructura de una cuchilla de acero AISI 15B30 en condición de distribución comercial para uso en cuchillas de arados rotativos (las cuchillas de motoazada y rotavator son de fabricación nacional, la de grada de fabricación Europea; sin embargo las microestructuras son muy similares para los tres tipos de cuchillas). El micro-constituyente principal observado es martensita revenida, con dureza que oscila entre 458 y 484 HV<sub>62.5</sub> kgf (ver tabla 3). De acuerdo a la literatura, en este material se espera la presencia de boro-carburos de hierro y cromo, pero su tamaño es demasiado reducido (menos de 10 nm de diámetro medio) para observarlos en microscopio óptico y electrónico de barrido [7].

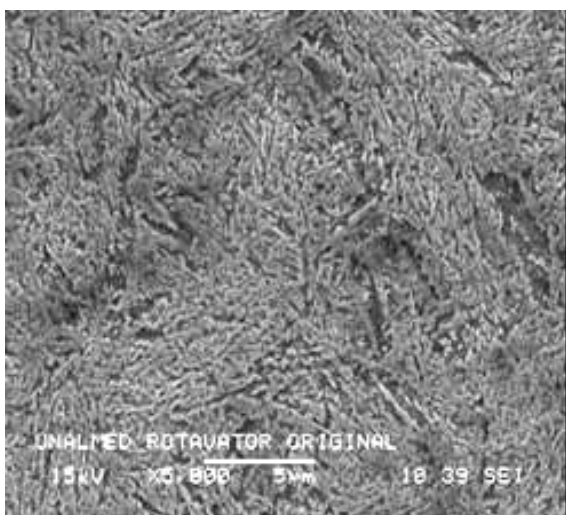


Figura 2. Microestructura de las cuchillas de rotavator fabricadas en acero AISI 15B30.

Tipo de cuchilla	Dureza (HV62,5 kg)
Rotavator	458±10
Grada rotativa	471±10
Motoazada	484±10

Tabla 3. Dureza de las cuchillas (medidas promedio tomadas en varios puntos de la superficie)

**Pérdida de masa de las cuchillas en campo.** En la figura 3 se grafica la pérdida de masa promedio de las cuchillas dividida por el tiempo real de trabajo en el campo, teniendo en cuenta que en la grada rotativa (eje vertical) las cuchillas están siempre en contacto con el suelo, mientras que en la motoazada y el rotavator (eje horizontal) el contacto es intermitente. En el ensayo 1 se trabajó con rotavator y grada, en el 2 se trabajó con los tres equipos y en el 3 se trabajó con la grada y la motoazada (lo anterior por disponibilidad de equipos). Se observa que la grada rotativa y el rotavator presentaron los mayores valores de pérdida de masa y la motoazada los menores valores. Aunque el tamaño muestral es reducido, se presentan diferencias significativas en el desgaste en condiciones de campo en los tres tipos de cuchillas. Se resalta el ensayo de campo número 3 con las cuchillas de grada rotativa, por su alta dispersión y su elevado valor de pérdida de masa.

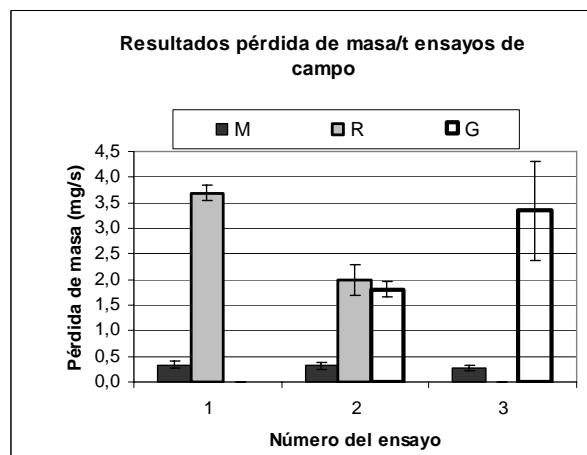


Figura 3. Pérdida de masa promedio dividida por el tiempo de trabajo real de cada tipo de cuchilla en condiciones de campo (M: motoazada; R: rotavator; G: grada rotativa).

**Pérdida de masa en condiciones de laboratorio.** Al promediar los valores de pérdida de masa en la figura 4, se observa que no se presentan diferencias significativas, aunque se resalta la alta variabilidad presentada en las cuchillas tipo grada rotativa.

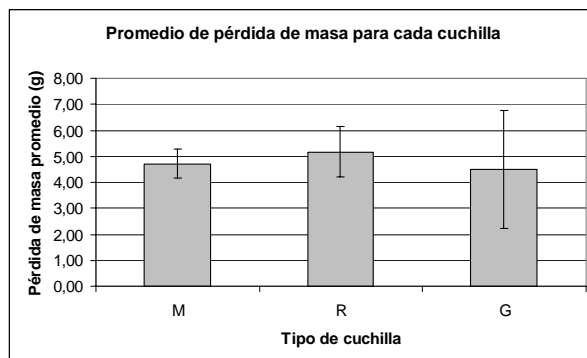


Figura 4. Pérdida de masa promedio en laboratorio para cada tipo de cuchilla de arado rotativo (M: motoazada; R: rotavator; G: grada rotativa). Abrasivo utilizado: arena normalizada de sílice con granulometría AFS 50-70.

Los factores relevantes que aceleran el desgaste de las cuchillas de la grada rotativa son (ver tabla 2): bajo número de cuchillas, la grada por su diseño siempre está en contacto con el suelo (las cuchillas de la motoazada y del rotavator tienen tiempos muertos en los cuales no hacen contacto con el suelo), mayor frecuencia de trabajo, mayor profundidad de trabajo, mayor consumo de potencia. Los factores que explican el bajo desgaste de las cuchillas de la motoazada son: menor ancho de trabajo, menor frecuencia, menor velocidad tangencial, menor profundidad de trabajo, menor consumo de potencia y mayor dureza de las cuchillas. Los factores relevantes que aceleran el desgaste de las cuchillas de rotavator son: mayor velocidad tangencial de las

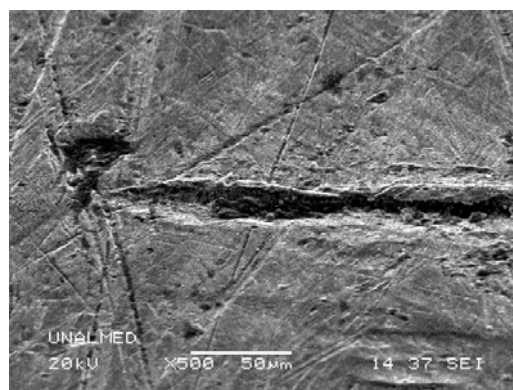
cuchillas, considerable profundidad de trabajo y alto consumo de potencia.

**Estado general del terreno.** En la figura 5 se observa una de las rocas (con una longitud aproximada de 150 mm) que fue impactada por una de las cuchillas de arados rotativos (con desprendimiento de material). Los esfuerzos de impacto son un factor aleatorio importante a considerar en próximas investigaciones. En la tabla 1 se reporta de manera cualitativa el grado de pedregosidad de los lotes en cada uno de los tratamientos, sin embargo se recomienda que se evalúe la cantidad de rocas en función de la profundidad de la herramienta, pues se presentan casos de herramientas que impactan rocas que se encuentran en horizontes inferiores del suelo.

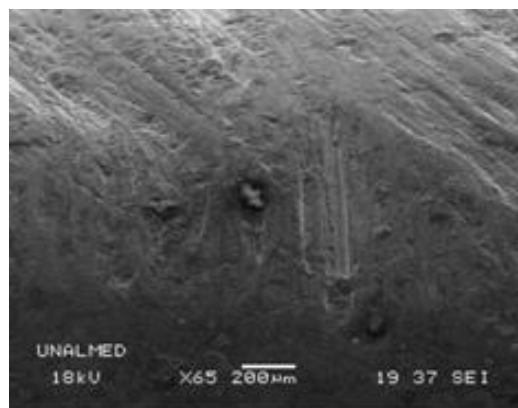


Figura 5. Suelo después de la labranza con rotavator. (Parcela 11).

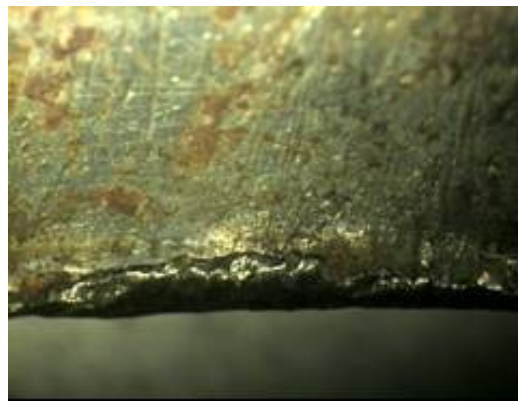
**Análisis de las superficies desgastadas.** Los resultados obtenidos (ver figura 6) indican una deformación plástica a lo largo de la superficie de las cuchillas en especial en el filo de corte, la cual se produce cuando las partículas abrasivas del suelo ejercen cargas incrementando los esfuerzos cortantes por la acción repetitiva del movimiento de las cuchillas. El aumento progresivo de la carga eventualmente produce micro-arado en los tres tipos de cuchillas. Se resalta que el material presenta un alto grado de ductilidad dado que no se observaron evidencias de fractura frágil en ninguno de los análisis de las zonas desgastadas.



(a)



(b)



(c)

Figura 6. Desgaste de las cuchillas. (a) imagen SEM del filo de la cuchilla de motoazada. (b) Imagen SEM de deformación plástica del filo de la cuchilla de rotavator. (c) Imagen en el microscopio estereoscópico de huellas de desgaste del filo del rotavator.

#### 4. CONCLUSIONES

- La pérdida de masa por unidad de tiempo de operación de las cuchillas en condiciones de campo presentó diferencias significativas entre las tres herramientas (registrándose mayores valores en las cuchillas de grada

rotativa, luego en las de rotavator y por último en las de motoazada), a diferencia de lo que se observó en las pruebas de laboratorio donde los valores fueron muy similares. Lo que indica que los mecanismos de desgaste en condiciones de campo son más complejos y diversos que la abrasión a dos cuerpos predominante en el ensayo normalizado.

- No solo la abrasión causa el desgaste en las herramientas agrícolas, siendo muy importante también el efecto de las fuerzas súbitas de impacto y la reología del suelo según su estado.

- El experimento de acuerdo a la norma ASTM G65 no es representativo para las condiciones de operación de los arados rotativos, al presentarse diferencias evidentes respecto a los ensayos de campo.

## 5. RECONOCIMIENTOS

A la dirección de investigaciones de la Universidad Nacional Sede Medellín (DIME) que financió el proyecto de investigación “*Interacción tribológica en pares cuchilla de arados rotativos – suelos de clima cálido*” (código 30805965).

A BONEM S.A. por el suministro de herramientas e información útil para el desarrollo de esta investigación.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

[1] VILLA, R.1998. Labranza del suelo. Universidad de Chile-Facultad de ciencias agrarias y forestales, Chile.

[2] FAO, 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas 8, Roma. 234 p

[3] WILKINSON, R. y BRAUNBECK, O. 1977. Elementos de maquinaria agrícola. FAO. Boletín de servicios agrícolas (12) FAO, Italia.

[4] HUTCHINGS, I.M.; Tribology, Friction and wear of engineering Materials. 1ª. publication. Reino Unido: ed. Edward Arnold, a Vivison of hodder Headline PLC, 1992. 273p.

[5] ASTM, Standard Terminology relating to wear and erosion, annual book of standards, Vol 03.02 ,1987, p243-250.

[6] MUÑOZ, Lina M. Estudio comparativo de la resistencia al desgaste abrasivo de una fundición nodular con microestructuras: bainíticas, perlíticas y martensíticas en la matriz, Universidad Nacional de Colombia, 2000.

[7] TOBON, Diana M. Estudio de la resistencia al desgaste abrasivo y al impacto del Acero 15B30, Universidad Nacional de Colombia.

[8] PÉREZ, E. y BARREIRO, H., Análisis de régimen de lluvias de la estación experimental El Espinal centro Cotové. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 1986, 111p.

[9] ASTM, G65 – 80 Standard practice for conducting dry sand / rubber wheel abrasion test.