

# Aplicación del Biomimetismo para el diseño de una herramienta agrícola

Rodrigo E. Taboada, Eduardo A. Favret, Omar Tesouro, Adrian M. Canzian.

## Resumen

En el presente trabajo se analiza la modificación de la topografía de una púa escarificadora (SAE 1045) inspirada en la cutícula del bicho toro (*Diloboderus abderus*), que habita en nuestro suelo, con el objeto de reducir la adherencia del suelo. Por tal motivo, se reportan resultados experimentales de pruebas de campo que corresponden a una dada distribución geométrica de cavidades.

**Palabras clave:** Biomimetismo, púa escarificadora, metalografía

## Abstract

This paper analyses how the modification of the topography of a plowshare (SAE 1045) inspired on the cuticle of a beetle called *Diloboderus abderus* reduces soil adhesion. Experimental results of field tests corresponding to a specific pattern distribution of cavities are reported.

**Keywords:** Biomimetics, plowshare, metallography

## INTRODUCCIÓN

La naturaleza debe responder a una multiplicidad de estímulos y desafíos, por ello, su evolución involucra un desarrollo que va desde la macro hasta la nanoescala<sup>[1]</sup>. Este desempeño que en principio resulta complejo por la cantidad de factores involucrados, a la vez resulta fascinante. En efecto, solo en años recientes y gracias al auxilio de nuevas herramientas experimentales se ha podido analizar y caracterizar muchas de esas funcionalidades. Dichos avances y logros se deben a la interacción entre botánicos, biólogos, físicos, químicos e ingenieros. Entre las aplicaciones se pueden destacar el efecto Lotus; en el año 1998 los biólogos Barthlott y Neinhuis<sup>[2-5]</sup> logran una patente (Eur. Pat., EP 0772514, 1998) basada en dicho principio. La hoja de loto (*Nelumbo nucifera*) es una planta acuática de origen asiático. En algunas culturas orientales es considerada un símbolo de pureza por su propiedad autolimpiante, dado que al mojarse con agua, se forman gotas perfectamente esféricas que ante la menor inclinación de la hoja comienzan a rodar, atrapando las partículas de suciedad que se encuentran en la superficie. La piel del tiburón ha sido el centro de atención de diversos trabajos de investigación. Su morfología, compuesta por escamas con una topografía que varía de acuerdo a la posición del cuerpo, otorga características aerodinámicas al movimiento del tiburón. Basada en dicha funcionalidad la empresa Speedo en conjunto con la NASA diseñaron trajes de baño que permitieron obtener, en las olimpiadas de Sydney 2000, 27 medallas de oro. Asimismo, la empresa 3M diseñó un film que, aplicado al fuselaje del Airbus, permitió un ahorro del 3% en el combustible.

Recientemente se reportó que la modificación de la topografía de un arado inspirada en un escarabajo *Copris ochus* Motschulsky hembra<sup>[6-8]</sup> ha permitido una disminución del orden del 30% en la fuerza de tracción. En dichos trabajos la topografía de la superficie del arado se modifica a partir de domos convexos, sin embargo los resultados están referidos a estudios de laboratorio. El suelo se adhiere a la superficie de la herramienta generando un aumento de la fuerza de tracción y afectando la calidad del trabajo. Por ejemplo, en la labranza se necesita el 50% de la energía para compensar la adhesión y fricción del suelo al herramienta agrícola.

A la hora de pensar y generar un diseño biomimético hay que realizar varias consideraciones. Como se estableció anteriormente, la naturaleza en su evolución solo nos deja a la vista el producto terminado. Lamentablemente no nos

indica cómo hacerlo. Es ahí donde diseñadores, ingenieros e investigadores comienzan su tarea. Por eso resulta importante definir primero el problema que se quiere resolver, para luego encontrar alguna solución inspirada en la naturaleza. De esta manera, y luego de un análisis profundo, se pueden encontrar los parámetros más importantes para establecer correlaciones que permitan trasladarla a una aplicación ingenieril. Es por eso que investigadores como Shu *et al.* establecieron un criterio para poder enfrentar algún problema y resolverlo de forma biomimética<sup>[9]</sup>.

Ahora bien, cuando el bicho toro (*Diloboderus abderus*) hembra emerge a la superficie, se observa que no tiene suelo adherido a su cutícula. Allí radica una fuente de inspiración biomimética que es el punto de partida del presente trabajo.

## DESARROLLO Y RESULTADOS

En una primera etapa se caracterizó la topografía de la cutícula del bicho toro. Para ello se analizaron tanto el tórax como la cabeza del insecto. El mismo presenta cavidades que están distribuidas con mayor densidad en la cabeza que en el tórax. La figura 1 muestra cavidades para el bicho toro hembra, donde se observa que las mismas no son perfectamente circulares y, además, dentro de cada cavidad existe una protuberancia, similar a un pelo. Dado que las cavidades no tienen una forma circular perfecta, para cada una de ellas se calculó el promedio para distintos diámetros. Además, a partir de diferentes imágenes SEM se caracterizó la densidad media de cavidades. Otra dimensión característica importante es la distancia entre las mismas.

Los resultados se detallan a continuación:

- Densidad media de cavidades:

$$12,97 \pm 4,19 \frac{\text{cavidades}}{\text{mm}^2}$$

- Diámetro medio de las cavidades del bicho toro:

$$\bar{D}_{CBT} \approx 70,76 \pm 11,36 \mu\text{m}$$

- Distancia entre cavidades:

$$\bar{L}_{CBT} \approx 300 \mu\text{m}$$

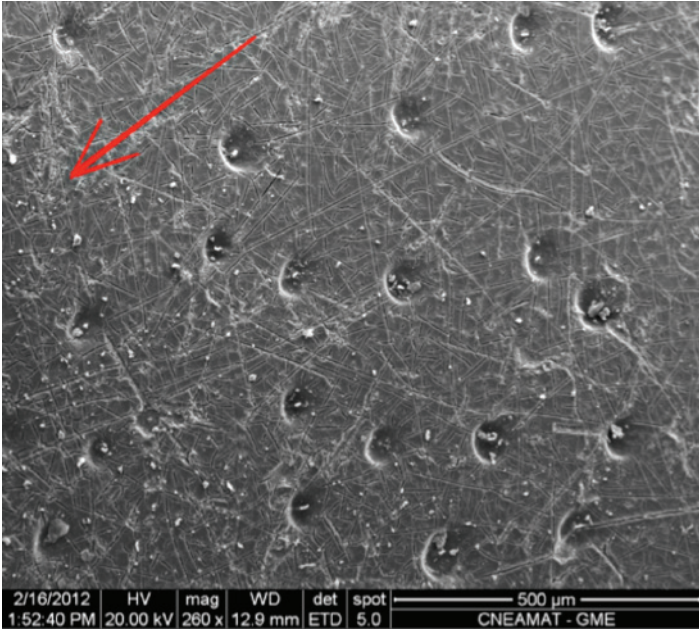


Fig. 1. Imagen obtenida con un microscopio electrónico de barrido (SEM) de cavidades correspondientes al tórax del bicho toro hembra. La flecha indica la dirección de avance.

Diseñar la superficie de la púa exactamente igual a la cutícula del bicho toro resulta imposible, máxime si se desea fabricarla de manera industrial. Por lo tanto es necesario realizar algunos supuestos o aproximaciones para lograr un acercamiento a la funcionalidad que se está buscando.

A raíz de lo anterior, se supuso:

1. Todas las cavidades son círculos del mismo diámetro ( $2r$ ) y profundidad ( $h$ ).
2. Las distancias entre cavidades es la misma ( $d$ ).
3. Las cavidades se distribuyen de acuerdo a los vértices de un triángulo equilátero, separados sus centros por  $d$ .

Para definir un factor de escala ( $F_e$ ) se tomó el  $\bar{D}_{CBT}$ , como dimensión característica del insecto y para la púa se tomó un diámetro de cavidad de 2 mm. Por ello,  $F_e \approx 30$ ; por lo tanto la distancia entre las cavidades de la púa fue:

$d = F_e \bar{L}_{CBT} \approx 10$  mm. En función de lo anterior, se construyó una púa (denominada Bio1), con  $r = 1$  mm;  $d = 10$  mm y  $h = 2$  mm. El ensayo de campo se realizó sobre un terreno de 2 hectáreas del INTA Castelar, donde se empleó un equipo de captura de fuerza triaxial diseñado (figura 2) y desarrollado en el laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos (IIR-INTA Castelar-Argentina). Dicho equipo fue diseñado como parte del proyecto INTA PE AEAI 1703 “Mejoramiento de la implantación de los principales cultivos». El dispositivo permite medir las reacciones del suelo en los órganos activos probados en las direcciones axial, vertical y transversal en relación con la dirección del movimiento, además de la velocidad de avance instantánea y la profundidad de trabajo.



Fig. 2. Detalle del equipo de medición empleado. El ensamble permite que la púa trabaje con un ángulo de inclinación de 45°.

Por último, los datos almacenados por el equipo se analizaron mediante un procesamiento estadístico de datos (ANOVA), para lo cual se empleó un Diseño Completo de Bloque Experimental Aleatorio (RCBD). El objetivo de este análisis es determinar si la media de varios conjuntos de datos es distinta de la del otro.

En la tabla 1 se presentan los resultados (salida del programa SAS/STAT) de la medición para una púa lisa y la Bio1.

Tratamiento	F1 media (kg)	N	Cuadros medios		GL	F	Pr > F
			Tratamiento	Error	Error		
Lisa	109.68	366	10734.04	1634.61	8	6.57	0.0335
Bio1	101.97	441					

Tabla 1. ANOVA de la fuerza de tracción correspondiente a las púas lisa y Bio1.

De lo anterior se concluye que la fuerza de tracción para la púa Bio1 requiere un 7% menos respecto de la púa lisa. La probabilidad de cometer un error al tomar esta decisión es de 0,0335.

## CONCLUSIONES

La modificación de la topografía de una púa escarificadora inspirada en la cutícula del bicho toro permite una disminución del orden del 7% en la fuerza media de tracción, al disminuir la adhesión del suelo a la superficie de la misma. Ahora bien, la fuerza F1 está en relación directa con la fuerza que el equipo motriz necesita para realizar la labranza agrícola y, a su vez, está en relación con el consumo de combustible. De esta manera, los resultados preliminares indican que se puede conseguir un ahorro energético al modificar la topografía. Por otro lado, el experimento fue realizado en el campo, a diferencia de los trabajos citados en la bibliografía, los cuales fueron realizados en un laboratorio.

Actualmente se está intentando superponer una microrugosidad a la topografía de la púa Bio1, con la finalidad de aumentar la característica hidrofóbica de la misma. Dado que el suelo presenta características abrasivas, se debe proteger dicha microrugosidad por medio de un recubrimiento por plasma, por tal motivo, se está estudiando la posibilidad de realizar un recubrimiento de SiC por CVD (Chemical Vapor Deposition). ■

---

Rodrigo E. Taboada  
Instituto Sábato. CNEA-UNSAM

Eduardo A. Favret  
INTA- Suelos. CONICET

Omar Tesouro  
UTN.FRGP. Dpto. Ing. Mecánica

Adrian M. Canzian  
amcanzian@gmail.com

## Agradecimientos

Los autores agradecen especialmente a los señores Ramón Castillo Guerra y Ricardo Montero del Depto. Materiales del Centro Atómico Constituyentes de la Comisión Nacional de Energía Atómica. El trabajo forma parte del PID UTN 1300.

## Bibliografía

- [1] Bhushan Bharat. Biomimetics: lessons from nature-an overview. Phil. Trans. R. Soc. A 2009 367, 1445-1486.
- [2] Barthlott, Wilhelm; C. Neinhuis. The purity of sacred lotus or escape from contamination in biological surfaces. *Planta*, 202 (1998) 1-8.
- [3] Neinhuis, C.; Barthlott, W. Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces. *Annals of Botany* 79 (6), (1997) 667-677.
- [4] Barthlott, Wilhelm; Neinhuis, C. The lotus-effect: nature's model for self cleaning surfaces. *International Textile Bulletin* 1, (2001), 8-12.
- [5] Koch, K.; Bhushan, B. and Barthlott, W. Diversity of structure, Morphology and Wetting of Plant Surfaces. *Soft matter*. *Soft Matter* 4, 10, (2008), 1943.
- [6] Lu-Quan Ren, Jin Tong, Jian-Qiao li & Bing-Cong Chen 2001, Soil Adhesion and Biomimeticsos Soil-engaging Components: a Review, *J. agric. Engng Res.* 79(3), 239-263, 2001.
- [7] Muhammad Azam Khan, Rashid Qaisrani & Li Jian-Qiao, The Techniques of Reducing Adhesion and Scouring Soil by Bionic- Review of Literature, *Advances in Natural Science*, Vol. 3, No. 2, 41-50, 2010.
- [8] Mamdouh E. Abdelsalam, Philip N. Bartlett, Timothy Kelf & Jeremy Baumberg, Wetting of Regularly Structured Gold Surfaces, School of Chemistry and School of Physics and Astronomy, University of Southampton, Southampton SO17 1BJ, United Kingdom. *Langmuir*, 21, 1753-1757, 2005.
- [9] Shu, L. H., Ueda, K., Chiu, I., & Cheong, H., Biologically inspired design, *Cirp Annals - Manufacturing Technology*, 60(2), 673-693, 2011.