

Estudio mecánico preliminar de la mandíbula de un cerambícido como herramienta de corte

Roberto Martínez^a, José-A. Balmori^a, Gamaliel López^a, Luis Acuña^b, Milagros Casado^b, Luis-Alfonso Basterra^a

Grupo de Estructuras y Tecnología de la madera. Universidad de Valladolid

^a E.T.S. de arquitectura; ^b E.T.S. de Ingenierías Agrarias.

E-mail: robertomartinez@arq.uva.es

Palabras clave: Estudio biomecánico, cerambícidos, encina, protectores.

Resumen

Este estudio busca caracterizar los parámetros de una herramienta existente en la naturaleza y que la evolución ha perfeccionado durante millones de años, como es la mandíbula de un insecto xilófago. El objetivo principal es obtener los parámetros determinantes de la eficiencia de su mandíbula en el proceso de corte, así como el proceso de alimentación de madera. Para ello se utilizan metodologías y análisis biológicos aplicados a una especie de carcoma gigante (*Stromatium unicolor* (Olivier, 1795)) con la pretensión de distinguir los parámetros fundamentales de su morfología; los cuales le permiten horadar de una forma efectiva la madera de encina (*Quercus ilex* L.), una de las más duras que existen en la Península Ibérica.

El conocimiento de los mecanismos de alimentación de este tipo de insectos resulta de especial importancia para su detección y el desarrollo de mejores protectores de madera.

Introducción

La biónica es la disciplina que investiga las relaciones entre geometría, física, comportamiento químico del material, estructura y mecanismo de la especie y de su sistema. En 1997 se definió una especie de castor como objeto biónico para el estudio de la mordedura de la madera y, en otra investigación, se utilizó como referencia comparándolo con una herramienta de corte. Un proyecto realizado en Alemania en 2004 estudió el principio de la mordedura de los roedores, la geometría de los dientes, su dureza y su estructura (1). En cuanto a los insectos, se han realizado investigaciones del aparato bucal de varias especies. Todas las partes de la mandíbula, cuya función principal sea la de masticar, deben ser más rígidas, más duras, más fuertes y más resistentes que la comida ya que, de alguna forma, son las encargadas del proceso de corte, evitando que estas partes se rompan, desgasten o deformen (1).

La caracterización de la tribología del maxilar de la larva de la carcoma gigante, los parámetros geométricos de la mordida y el mecanismo de funcionamiento en la madera, puede ayudar en el diseño de herramientas de corte de metal y la tecnología de recubrimiento de los útiles (2), así como a impedir que aquellas causen daños a la madera.

Isley (1944) fue uno de los primeros investigadores que estudiaron en detalle las partes de la boca y las correlacionó con las características morfológicas de los hábitos de alimentación (2). En 1982 se determinó la dureza de las diferentes partes de la mandíbula de la especie de langosta *Locusta migratoria*, en la cual la cara exterior de la región de los incisivos izquierda y la cara interior de la región de los incisivos derechos eran mucho más duros que otras partes de la cutícula mandibular, incluyendo las dos superficies de cizallamiento. Esta investigación sugiere que las superficies duras forman los bordes de corte que muerden fragmentos de hojas y que, debido a la manera en la que las mandíbulas se mueven, estas son auto-afilables. En los bordes de corte de las mandíbulas de esta especie se encuentran varios elementos metálicos, incluyendo zinc, manganeso, hierro y calcio (3).

Existe diversa literatura relativa a los elementos que incorporan los insectos en su cutícula como refuerzo para aumentar su resistencia, habiéndose identificado la presencia, tipos y ubicaciones de metales en las cutículas de ciertos grupos de insectos (4)(5)(6). Las mandíbulas, entre otras estructuras, contienen frecuentemente cantidades significativas de metales (5)(7)(8)(9)(10). Las cantidades de metales en los bordes de corte son útiles para mejorar las propiedades mecánicas de las mandíbulas del insecto (11).

También se han llevado a cabo estudios relativos al movimiento de las mandíbulas y los músculos responsables del mismo. El movimiento de las mandíbulas se produce por un par de músculos insertados a cada lado de la línea de la articulación. El músculo en el lado más cercano a la boca cierra la mandíbula (músculo aductor), y el que se inserta en el borde lateral de la mandíbula, la abre (músculo abductor) (2).

Material y métodos

Para este trabajo, las larvas fueron extraídas de leña de encina recogida en el término municipal de Nombela, Toledo. La pila presentaba multitud de imagos de cerambícidos muertos y se oía roer a larvas en el interior de la madera. Se recogieron 10 imagos y 3 leños que presentaban actividad biológica. En laboratorio, los leños se abrieron dejando al descubierto las galerías con las larvas en estado vivo. De esta operación se extrajeron 21 larvas grandes pertenecientes al tercer estadio, las cuales fueron introducidas en una solución de etanol al 70%.

Al identificar los imagos emergidos de la madera, se pudo también determinar la especie de las larvas, mediante la clave dicotómica específica para esta familia que se recoge en "Fauna Ibérica, vol. 12: Coleoptera, Cerambycidae" (12). La especie de madera se identificó mediante microscopía óptica de luz transmitida. En este estudio en particular, los parámetros se definieron guiándose por las recomendaciones del libro "Técnicas en Histología y Biología Celular". (13)

Para realizar el estudio de la musculatura y parámetros geométricos de la mandíbula, en primer lugar, se realizó una inclusión en parafina para, a continuación, realizar cortes con el microtomo para poder realizar la observación mediante microscopio óptico con software de medición "IMAGE PRO PLUS 4.0".

Para el estudio superficial y análisis elemental se utilizó un microscopio electrónico de barrido FEI QUANTA 200 observando:

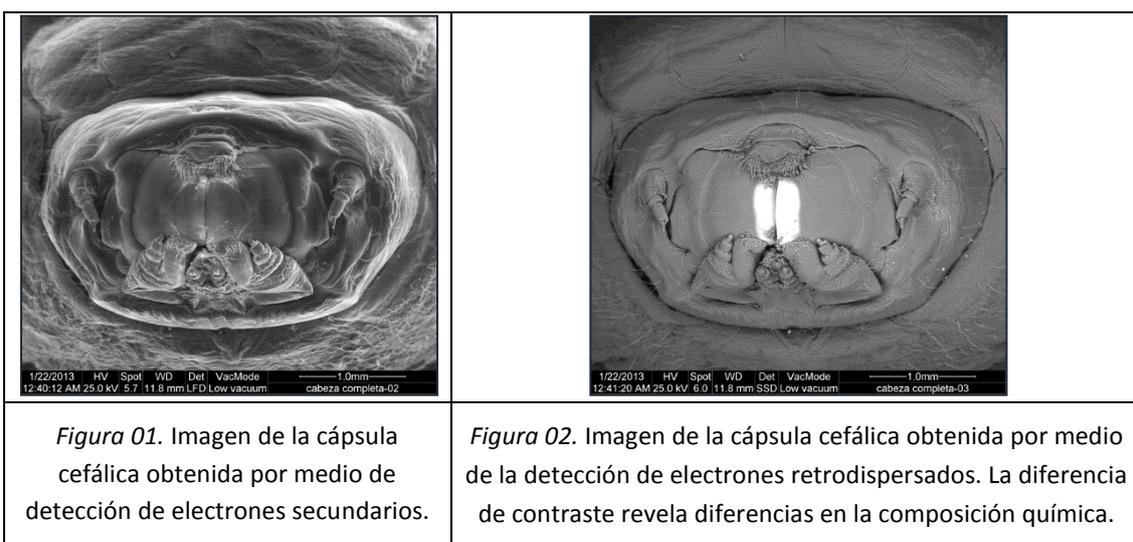
- Electrones secundarios: Para observar las características superficiales del insecto.
- Electrones retrodispersados: Para observar las diferentes composiciones químicas superficiales de las mandíbulas.
- El espectro de radiación X emitido por la muestra en el proceso: Para realizar un microanálisis químico semicuantitativo mediante espectrometría de dispersión de longitudes de onda.

Resultados

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la aplicación de los métodos propuestos, podemos afirmar que las piezas de madera recogidas, según el análisis descrito, corresponden a la especie *Quercus illex* L., y las larvas de insecto como pertenecientes a la especie *Stromatium unicolor* (Olivier 1795).

Análisis elemental

Los tejidos de la mandíbula del insecto que intervienen directamente en el corte están sometidos a las mayores tensiones y esfuerzos de desgaste. Por ello, se encuentran reforzados con elementos de mayor peso atómico, como el zinc y el manganeso (fig. 01 y fig. 02).



Por otro lado, los tejidos interiores, que no intervienen directamente en las tensiones de corte, no se encuentran reforzados (fig. 03).

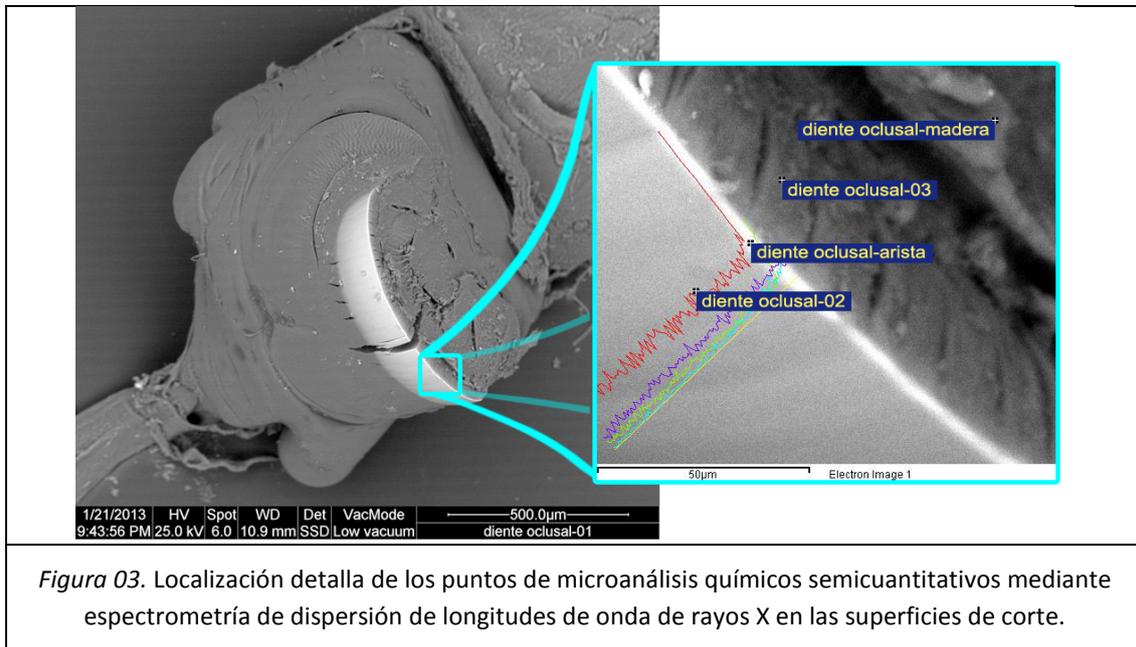


Figura 03. Localización detalla de los puntos de microanálisis químicos semicuantitativos mediante espectrometría de dispersión de longitudes de onda de rayos X en las superficies de corte.

Movimientos de corte

En el análisis de la musculatura y las articulaciones de la larva se aprecia que, de los 3 paquetes musculares principales que intervienen en el movimiento de corte, los aductores son los responsables del movimiento de cierre de la mandíbula y, por lo tanto, los mayores responsables del movimiento de corte (fig. 04).

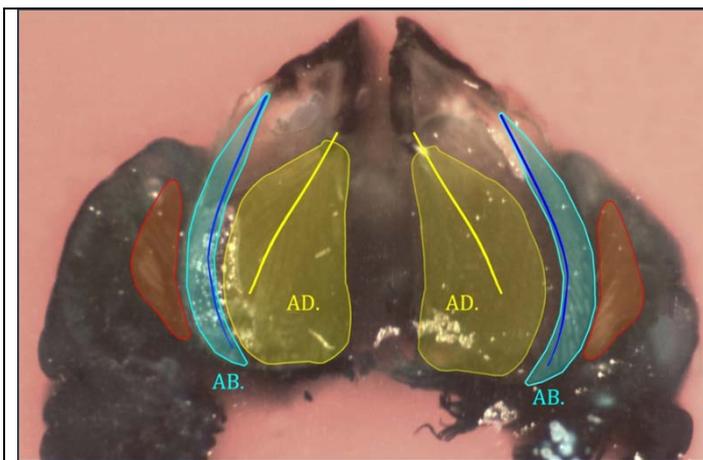


Figura 04. Microfotografía del corte longitudinal de la capsula cefálica y el protórax. Músculos aductores resaltados en amarillo, músculos abductores en celeste y músculos de salida y entrada de la capsula cefálica en naranja.



Figura 05. Montaje fotográfico de la larva realizando el corte.

En efecto, para horadar la madera, la larva se vale de 2 movimientos principales: en primer lugar, la cápsula cefálica sale del protórax para aproximar la mandíbula a la madera, a la vez que la abre; a continuación, una vez toma contacto con la madera, la mandíbula ejerce presión y se cierra, gracias a los músculos aductores, realizando el corte.

Por consiguiente, el mecanismo principal de corte de la larva consiste en utilizar una de las mandíbulas como ancla o tope, mientras la otra realiza el arranque de viruta, describiendo un movimiento semicircular hasta llegar a juntarlas (fig. 05).

Por otro lado, el análisis de la huella en la madera concluye que el corte producido por la mandíbula de la larva no es limpio y posee un acabado superficial basto, ya que produce desgarros de las fibras y roturas a diferentes profundidades por esfuerzos de flexión y cizallamiento.

Parámetros geométricos

El análisis de las articulaciones y la caracterización geométrica muestran que la arista de corte de la mandíbula es perpendicular a la dirección de avance del corte. Se concluye, por tanto, que el movimiento de corte del insecto es ortogonal.

Los parámetros geométricos más significativos son:

- El ángulo de filo (β) es de $77,3^\circ$ (fig. 06).
- La longitud de la mordida (F) obtenida fue de $800 \mu\text{m}$
- Los ángulos de desprendimiento (γ) y de incidencia (α) varían en función de la apertura mandibular.
- El radio de filo (r_3) posee un valor de $3 \mu\text{m}$ (fig. 07).
- La profundidad de pasada máxima del insecto (D) tiene un valor de $120 \mu\text{m}$.

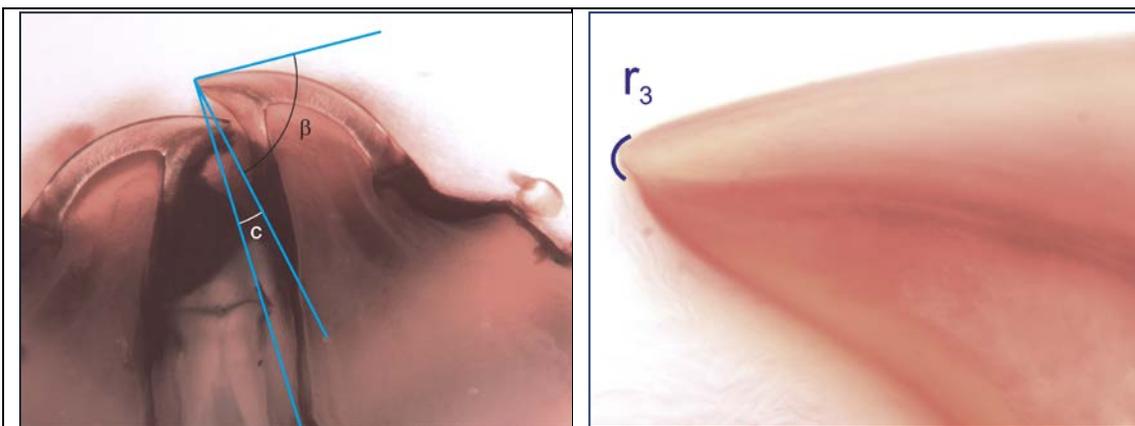


Figura 06. Ángulo de filo de la mandíbula $\beta=77,3^\circ$; Ángulo entre el segmento A y el plano de desprendimiento $c=9,6^\circ$ (x4).

Figura 07. Radio del filo $r_3=3 \mu\text{m}$ (x 40).

La arista de corte de la mandíbula de la larva es lisa, no presentando protuberancias; a diferencia de las observadas en larvas de *Hylotrupes bajulus* L. (14).

Las características superficiales antiadherentes de los planos de corte de las mandíbulas de la larva son un factor determinante en la eficiencia de corte.

Conclusiones y futuras líneas

Se obtuvieron los parámetros mecánicos de la mandíbula de un cerambícido (*Stromatium unicolor* (Olivier 1795)) como herramienta de corte. Con esta información se buscará desarrollar nuevas líneas de protectores antixilófagos que se basen en el desgaste de las piezas mandibulares y/o el secuestro de elementos de refuerzo cuticular (metales) para que, de esta manera, el insecto sea incapaz de horadar la madera.

Referencias

- (1) Zhang, K., Ji, B. Z., Liu, S. W., & Qing, Z. H. Primary Research of Bionic Design on Tools with Mouthpart of Larvae Long Horned Beetles. *Advanced Materials Research*, **2011**. Vol 142, pp 139-142.
- (2) Zhang, Kai, et al. Research of Bionic Design on Tools with Chewing Mouthparts of Insects. *Advanced Materials Research*, **2012**, Vol. 426, pp 270-274.
- (3) Hillerton, J. E., Reynolds, S. E. & Vincent, J. F. V. On the indentation hardness of insect cuticle. *Journal of Experimental Biology*, **1982**, Vol. 96, pp 45-52.
- (4) Cribb, B.W. et al. Insect mandibles-comparative mechanical properties and links with metal incorporation. *Naturwissenschaften* **2008** Vol.95, pp 17-23.
- (5) Edwards, A.J., J.D. Fawke, J.G. McClements, S.A. Smith, and P. Wyeth. Correlation of zinc distribution and enhanced hardness in the mandibular cuticle of the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa*. **1993**, Vol. 17 (7), pp 697-698.
- (6) Fawke, J.D., J.G. McClements, and P. Wyeth. Cuticular metals: quantification and mapping by complimentary techniques. *Cell Biology International*, **1997**, Vol. 21 (10), pp 675-678.
- (7) Hillerton, J.E., and Vincent J.F.V. The specific locations of zinc in insect mandibles. *Journal of Experimental Biology*, **1982**, Vol. 101, pp 333-336.
- (8) Hillerton, J.E., Robertson B., and Vincent J.F.V. The presence of zinc of manganese as the predominant metal in the mandibles of adult, stored-product beetles. *Journal of Stored Products Research*, **1984**, Vol. 20 (3), pp 133-137.
- (9) Schofield, R., and H. Lefevre. High concentrations of zinc in the fangs and manganese in the teeth of spiders. *Journal of Experimental Biology*, **1989**, Vol. 144, pp 577-581.
- (10) Vincent, J.F.V., and U.G.K. Wegst. Design and mechanical properties of insect cuticle. *Arthropod Structure and Development*, **2004**, Vol. 33, pp 187-199.
- (11) Fontaine, A.R., Olsen, N., Ring, R.A., Singla, C.L. Cuticular metal hardening of mouthparts and claws of some forest insects of British Columbia. *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, **1991**, Vol. 88, pp. 45-55.

- (12) Vives, E. Coleoptera, Cerambycidae. En: Fauna Ibérica, vol. 12. Ramos, M.A. et al (Eds.) Museo Nacional de Ciencias Naturales. **2000**, CSIC. Madrid. 716 pp., 5h. lám.
- (13) Montuenga, L., Esteban, F. & Calvo, A. Técnicas en histología y biología celular. Elsevier Masson España. Barcelona, **2009**.
- (14) Schmidt, H. and Parameswaran, N., Mandibeln des Hausbockkäfers (*Hylotrupes bajulus* L.) und Fraßstruktur des Holzes im Rasterelektronenmikroskop. Zeitschrift für Angewandte Entomologie, **1977**, Vol. 84, pp 407–412.