

Los dientes más duros

David Romero Camarena

El Dr. Romero es investigador del Centro de Ciencias Genómicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, en Cuernavaca, Morelos. Su área de especialidad es la genómica bacteriana, con énfasis en mecanismos de cambio en genomas. Es miembro y expresidente de la Academia de Ciencias de Morelos.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Frontera de los besos
serán mañana,
cuando en la dentadura
sientas un arma.
Sientas un fuego
correr dientes abajo
buscando el centro.
Nanas de la cebolla
Miguel Hernández (1910-1942)

En mis desafortunadamente frecuentes visitas al dentista, he tenido la posibilidad de agradecer, pero también de lamentar, la dureza de mis dientes. A veces me pasa como a *Scrat*, la ardilla amante de las bellotas en la serie de películas *La Era del Hielo*. Al igual que ella, hay alimentos que me enloquecen (en mi caso, los cacahuates japoneses, las almendras y las avellanas) pero tengo peor suerte al comerlos. A veces, gana la dureza de esos alimentos y se fractura uno de mis dientes. En esos momentos, desearía tener dientes más duros. La

curiosidad me ha llevado a buscar qué especie en el reino animal tiene los dientes más resistentes. Para mi sorpresa, podemos descartar a los candidatos usuales: no son los elefantes, los tigres, los castores o los tiburones. Estos animales no se andan con vaciladas y tienen una dentición espectacular, pero no poseen los dientes más duros. El récord de dureza y resistencia dental lo tiene un molusco, conocido como *quitón*. Sí, un molusco, un animal de cuerpo blando protegido por una concha.

¡Ah caray! No sabía que había moluscos con dientes. ¿Dónde los tienen? ¿Para qué les sirven? ¿Por qué son tan duros? ¿Cómo los hacen? Y a todo esto, ¿qué rayos es un quitón?

Un molusco parduzco
Los quitones (l) son un grupo de moluscos que habitan en los mares, hallados frecuentemente fijos a la superficie de rocas expuestas a la resaca (Figura 1A). Hay diferentes especies, que varían tanto en su tamaño (desde 3 hasta 30 cm) como en la coloración de su concha. Como muchos moluscos, poseen

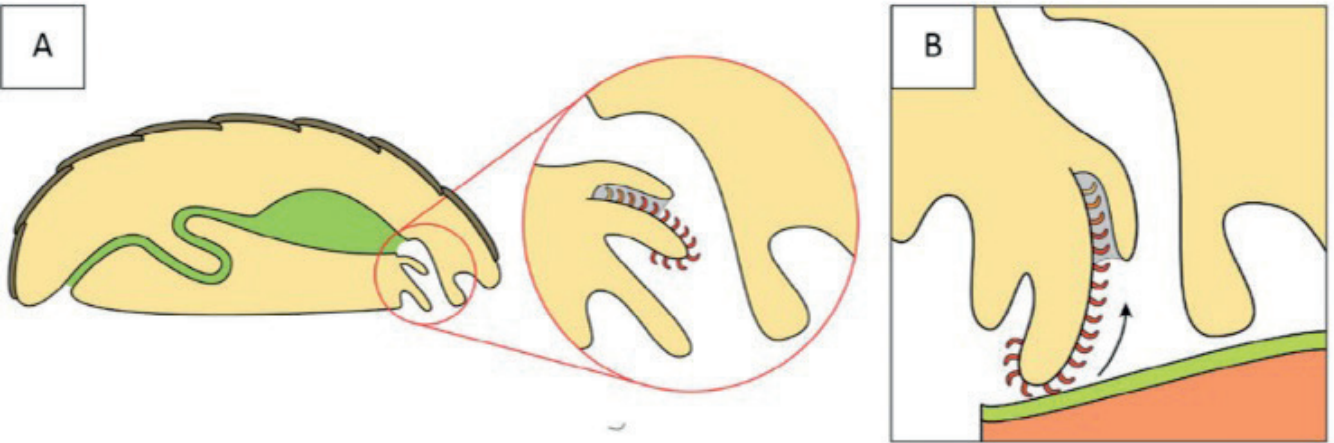


FIGURA 2. LA rádula de los quitones. A, localización de la boca en un quitón, mostrando en expansión la rádula con los dientes. B, la acción de raspado que ejercen los dientes. Figura tomada de la referencia 2.

una concha, pero en el caso de los quitones es una concha articulada que tiene ocho segmentos o placas (Figura 1B). Es precisamente esta característica la que da el nombre a la clase a la que pertenecen, Polyplacophora (del griego “que portan muchas placas”). Gracias a esta concha articulada, los quitones pueden enrollarse sobre sí mismos en caso de detectar algún peligro, de manera similar a como

lo hacen las conocidas cochinillas terrestres. La concha protege un cuerpo blando, visible en una vista ventral (Figura 1C). En México habitan 59 especies diferentes. Una de ellas, *Chiton articulatus*, es muy abundante en la costa del Pacífico, encontrándose desde Oaxaca hasta Sinaloa. Esta especie es comúnmente referida como lengua de perro o menos atractivamente como cucaracha de mar.

En la boca de los quitones (Figura 1C) hay una estructura sobre la cual se encuentran los dientes del animal, llamada rádula (Figura 2A). En la rádula hay decenas de dientes, en diferentes estados de maduración. Al extenderse la rádula le permite al quitón alimentarse, raspando con los dientes algas y otros residuos de la superficie de la roca (Figura 2B). Los dientes de los quitones son diminutos, de poco menos de medio milímetro, pero son extremadamente duros y

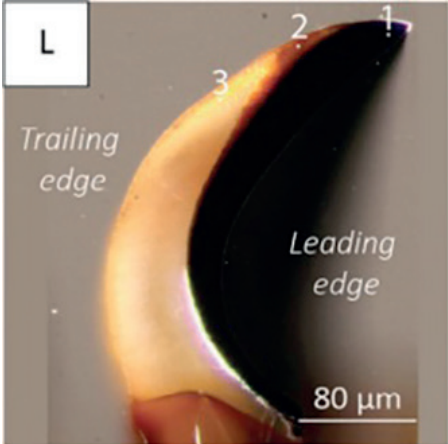


FIGURA 3. MICROSCOPÍA óptica de un diente del quitón *C. articulatus*. El lado marcado *leading edge* se refiere al borde de ataque del diente (aquél con el que comienza el raspado en las rocas), mientras que la etiqueta *trailing edge* marca el extremo posterior. Los números 1 a 3 marcan zonas con colores diferentes en el diente (negro, rojo y blanco, respectivamente). Figura tomada de la referencia 2.

REFERENCIAS

- Wikipedia. Chiton. <https://es.wikipedia.org/wiki/Chiton>
- Montroni, D., Sarmiento, E., Zhao, R., Dasika, P. S., Connolly, J. M., Wuhrer, R., et al. (2024). The multiphasic teeth of Chiton articulatus, an abrasion-resistant and self-sharpening tool for hard algae collection. *Adv. Funct. Mater.* 34. doi: 10.1002/adfm.202401658
- Wikipedia. Ultimate tensile strength. https://en.wikipedia.org/wiki/Ultimate_tensile_strength

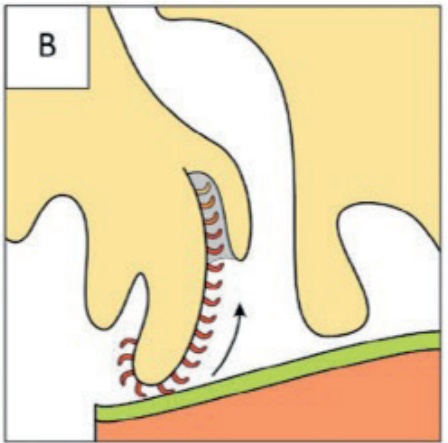


FIGURA 4. EL color de los dientes en la rádula de los quitones. La flecha va en dirección al borde de la boca. Figura tomada de la ref 2.

como en los de un molusco relacionado, la lapa, arrojan valores extremadamente altos, de entre 3 y 6 GigaPascals (2,4). Los valores de resistencia a tensión de los dientes de los quitones son cerca de 200 veces superiores a los de los dientes humanos y 100 veces superiores a los dientes de los tigres; son también superiores a los del concreto (explicando por qué los quitones pueden producir estrías en la roca). Su resistencia a la tensión es equivalente a la del *kevlar*, una fibra que se emplea para producir chalecos antibalas y la de algunos tipos de acero. Su resistencia es menor, desde luego, a la del diamante y los nanotubos de carbono de alta resistencia, pero es sin duda el biomaterial más resistente conocido hasta ahora. ¿Qué hace tan resistentes los dientes de los quitones?

Midiendo la dureza de los dientes de los quitones

El medir la dureza de estructuras tan pequeñas como los dientes de los quitones no es una tarea fácil, por lo que ha llevado a colaboraciones entre biólogos y científicos de materiales. Aunque hay varias maneras de medirla, en general se utilizan dos medidas, la *resistencia a la tensión* y la *dureza*. La resistencia a la tensión (*tensile strength*) se refiere a la máxima fuerza de estiramiento que puede soportar un material antes de romperse (3). La dureza (*hardness*) es la fuerza que debe de aplicarse sobre un material para producir una muesca en él. En ambos casos, la fuerza se expresa en *pascals*, que en el Sistema Internacional de Unidades es la unidad de presión-fuerza aplicada sobre un área. Para darse una idea, la presión atmosférica a nivel del mar es de aproximadamente cien mil pascals o 0.1 MegaPascals. Fuerzas mayores suelen expresarse en GigaPascals, equivalente a mil millones de pascals. Empleando ambas mediciones tanto en los dientes de los quitones

oxidación (no únicamente minerales de calcio, como en los dientes de los mamíferos). Las diferencias en color se deben a diferentes grados de deposición del mineral de hierro, es decir, cuánto hierro hay, además de diferencias en su estado de oxidación.

El mineral de hierro que se deposita es especial: es un mineral magnético, la *magnetita* u óxido ferroso-diférrico (Fe_2O_4 , también conocido como $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$). Los dientes de un molusco relacionado, la lapa, contienen otro mineral de hierro, la *goethita* u oxihidróxido de hierro III ($\alpha\text{-FeO}_2\text{H}$). Recientemente se reportó (2) que los dientes de *Chiton articulatus* contienen, además de magnetita y goethita, un tercer mineral de hierro, la *lepidocrocita*, otro oxihidróxido de hierro (III) con una estructura particular ($\gamma\text{-Fe}^{3+}\text{O(OH)}$). La estructura cristalina de estos minerales de hierro puede apreciarse en la Figura 5. Los dientes de *C. articulatus* contienen además *hidroxipatita*, un fosfato de calcio ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$) también existente en los dientes humanos (2). Esto hace que los dientes de *C. articulatus* tengan una estructura en varias capas, con una capa externa compuesta de magnetita, seguida de otra con goethita, otra con lepidocrocita y por último una con hidroxipatita. Los minerales de hierro contribuyen a la ex-

Dientes muy especiales

Como pueden imaginarse, el interés por entender qué hace tan duros a los dientes de los quitones va más allá que comprender su biología. Un biomaterial tan duro podría tener aplicaciones muy amplias, desde la industria hasta la generación de materiales dentales biocompatibles con los humanos. Esto ha motivado un estudio muy detallado de su estructura y composición. Algo que llamó la atención desde muy temprano en la investigación fue la diferencia en color de los dientes en la rádula de los quitones. Los dientes más alejados del borde de la boca muestran un color rojizo, mientras que los dientes más cercanos al borde tienen un color negro (Figura 4). Estas diferencias en color pueden apreciarse aún en diferentes zonas de los dientes (Figura 3). Sabemos ahora que en los dientes de los quitones, sobre una estructura de un polisacárido llamado *quitina* (de lo que está hecha la cubierta de los camarones, por cierto) se depositan minerales de hierro en diferentes estados de

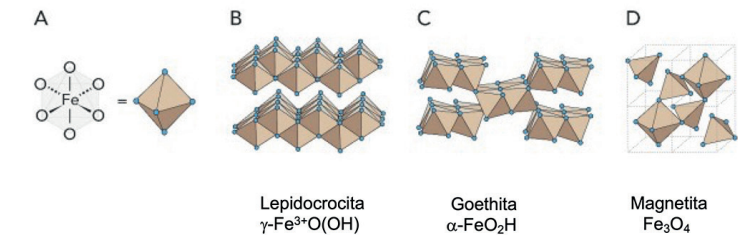


FIGURA 5. ESTRUCTURA cristalina de los óxidos de hierro presentes en los dientes de *C. articulatus*. A, geometría octaédrica del hierro; B, lepidocrocita; C, goethita; D, magnetita. Los átomos de oxígeno se representan con esferas azules, mientras que el hierro se localiza en el centro de cada poliedro (se omiten los átomos de hidrógeno). Figura adaptada de la referencia 5.



FIGURA 6. LOS quitones como alimento. Figura de <https://psykdeliasmith.wordpress.com/2013/03/01/strange-local-delicacies-cucarachas-del-mar-would-you-eat-them/>

podría estar cerca.

Comamos un ceviche de cucaracha de mar

Aunque no son muy conocidos, en muchas partes del mundo los quitones son parte de las delicias culinarias que nos ofrece el mar. En México también se comen, particularmente *C. articulatus*, la cucaracha de mar. Se prepara en ceviches o a la mexicana, y tiene fama de tener un sabor muy delicado (7). Otras partes del quitón, como las conchas, se utilizan para la elaboración de joyería.

El consumo de los quitones como alimento va creciendo, particularmente en Guerrero. Si están preocupados de que ingerirán en su plato unos dientes de dureza extrema, pierdan ese temor. Durante su preparación, se remueven todos los órganos internos, incluyendo la rádula y los dientes, en un proceso conocido como “desvenado”. La próxima vez que visiten una playa en el Pacífico mexicano sean aventureros y prueben un plato nuevo, como el ceviche de cucaracha de mar (Figura 6). Siéntense a la orilla del mar y piensen en este viaje por la “odontología de moluscos” que podría proveernos de biomateriales nuevos. La ciencia no deja de asombrarnos.

Agradezco a mi dentista, el Dr. Antonio González Ortiz, por el cuidado de mi dentadura y por varias pláticas que despertaron mi curiosidad acerca de la dureza de los dientes en el reino animal.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos.

ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos?
CONTACTANOS: coord.comite.editorial.acmor@gmail.com