

Avance y Perspectiva

Revista de divulgación del CINVESTAV

Los otolitos, la caja negra de los peces

Karina Galache · Sunday, June 26th, 2022

Categorías: Ciencias Naturales y de la Salud, Zona Abierta

Al igual que un avión, un animal puede tener una caja negra, un artefacto con la capacidad de registrar muchos de los eventos sufridos durante toda su vida. Para los peces teleósteos (una clase de pez óseo), su caja negra son sus otolitos; un término acuñado por Lecomte-Finiger en 1999 para estas piezas duras, que son estructuras pares compuestas por carbonato de calcio (CaCO_3), uno de los minerales más abundantes del planeta. Al igual que las cajas negras de los aviones, los otolitos se encuentran resguardados y protegidos de los posibles embates externos, pues se ubican dentro de la cabeza en el oído interno de los peces; se compone de dos cápsulas óticas ubicadas en ambos lados del cráneo. Cada una cuenta con tres cámaras membranosas denominadas utrículo, sáculo y lagena, que están unidas por tres canales semicirculares que dan forma al laberinto membranoso. Dentro de cada cámara se encuentra un otolito, envuelto en una membrana semipermeable y sumergido en el líquido endolinfático. Dependiendo de su ubicación, los otolitos adquieren diferentes nombres, estando la *sagitta* dentro del sáculo, el *asteriscus* en la lagena y el *lapillus* en el utrículo. De estos tres, la *sagitta* es generalmente el más grande en tamaño y, en consecuencia, constituye la estructura más estudiada por los biólogos debido a la facilidad con la que se puede coleccionar y analizar. Como puede apreciarse, los otolitos son parte de una estructura anatómica compleja encargada del equilibrio y de la audición de los peces (Figura 1).



Figura 1. Vista dorsal de la ubicación del oído interno y de los tres pares de otolitos en relación con la posición del cerebro, en un corte transversal de la parte superior del cráneo de un pez teleósteo típico (modificado de Secor et al. 1992) Cere: Cerebro, Lap: Lapillus (naranja), Semi: Canal semicircular, Ast: Asteriscus (azul), Sag: Sagitta (verde).

Los otolitos son quebradizos y pueden romperse con facilidad al manipularlos. Sin embargo, en gran medida son resistentes e inalterables en su composición. Tan es así, que se utilizan en los estudios de paleontología para la identificación de las especies de peces, ya que pueden soportar largos años las alteraciones del medio ambiente. De igual manera, en los estudios de biología trófica (caracterización del régimen alimenticio) los otolitos son utilizados para la identificación de los peces consumidos, pues ni los ácidos, ni la mecánica del estómago del depredador logran destruirlos con facilidad.

Los otolitos se desarrollan durante toda la vida del pez, llevando un registro exacto a través de su composición de las principales etapas de su ciclo vital. En particular, se puede observar la presencia en su estructura de anillos de crecimiento llamados *anulli*. Estos podrían compararse con los que se encuentran en los árboles, y cuya formación depende de la influencia de las variaciones ambientales estacionales sobre la tasa de crecimiento del organismo. En vista de que la formación de estos anillos puede ser diaria, estacional o anual, los otolitos permiten asignar edades a los organismos, convirtiéndose en una de las herramientas más importantes en biología-pesquera para el estudio del crecimiento de los individuos y de la dinámica poblacional de los peces (Figura 2). Así, la edad de un individuo al momento de su captura puede estimarse contando el número de anillos de sus otolitos, o bien con el método de retrocálculo (que supone una relación entre el tamaño del pez y el de su otolito) que posibilita estimar la talla que presentaba el individuo al momento de la formación de cada uno de sus anillos de crecimiento (= año de vida) en los otolitos.



Figura 2. Corte transversal de un otolito sagitta donde se observan seis anillos de crecimiento marcados con puntos negros. El otolito perteneció a un ejemplar de una especie de mero *Mycteroperca bonaci* (Longitud total, LT= 724 mm) capturado en la plataforma continental de la Península de Yucatán (Banco de Campeche).

A lo largo de muchos años y debido a su éxito, el uso de los otolitos fue a menudo restringido al mismo tipo de estudios: la determinación de la edad y del crecimiento de los peces a través del conteo de los *anulli*. Sin embargo, tal como relatan Williams y colaboradores en su artículo “Evaluación del desempeño de la morfometría de otolitos en la derivación de composiciones de edad y tasas de mortalidad para la evaluación de pesquerías tropicales con pocos datos”, era un proceso complicado que requería habilidad, experiencia, elevados costos de operación y una gran inversión de tiempo para la preparación y posterior lectura de los anillos de crecimiento. Este tipo de problemas orilló a los investigadores a emplear diferentes estrategias para la estimación de la edad, entre las cuales se encuentran los métodos que utilizan la morfología (forma), y en particular la morfometría de los otolitos.

Con el tiempo, los biólogos se dieron cuenta de que el estudio de la forma de los otolitos de los peces podría generar información sobre algunos aspectos de la ecología de las especies. Para tener una mejor idea es importante considerar que la variación de la forma de estas estructuras está íntimamente influenciada por factores ambientales como son: profundidad, temperatura y salinidad del agua, tipo de sustrato y disponibilidad de alimento donde los organismos se distribuyen, así como por factores intrínsecos de los peces como: sexo, edad, dieta y capacidad de absorción de nutrientes, la de audición y emisión de sonidos, la ontogenia y la filogenia. En resumen, la forma de los otolitos está estrechamente relacionada con los factores externos (ambientales) e internos (e.g. genéticos) de los organismos. Su morfología es tan variable que sirve para identificar entre especies, lo cual ha dejado como fruto extensas colecciones que describen e ilustran las múltiples formas existentes de otolitos de los peces en los mares que habitan (Figura 3).



Figura 3. Fotos de otolitos sagittae de diferentes especies de mero (*Epinephelidae*), de pargo (*Lutjanidae*) y de doncella (*Labridae*) obtenidas con un microscopio electrónico de barrido (MEB). A) *Cephalopholis fulva* (LT: 300 mm), B) *Epinephelus guttatus* (LT: 463 mm), C) *Epinephelus striatus* (LT: 462 mm), D) *Hyporthodus mystacinus* (LT: 610 mm), E) *Hyporthodus nigritus* (LT: 930 mm), F) *Mycteroperca venenosa* (LT: 810 mm), G) *Lutjanus synagris* (LT: 250 mm), H) *Ocyurus chrysurus* (LT:

328 mm) e I) *Lachnolaimus maximus* (LT: 328 mm).

El desarrollo tecnológico amplió el horizonte de estos estudios, pues los sistemas de análisis de imágenes permitieron investigar aspectos como el contorno de los otolitos y calcular índices, añadiendo valores cuantitativos a lo que antes era solo una descripción subjetiva de su morfología. Mediante el uso de fotografías digitales de microscopía fotónica óptica o electrónicas de barrido, el estudio de la estructura de los otolitos fue posible evaluar los procesos de cambio ocurridos en los organismos durante su crecimiento. Entre los principales descriptores cuantitativos de la forma de los otolitos, el análisis del *sulcus acusticus* representa un paso primordial para evidenciar las diferencias inter e intraespecíficas en su forma, lo que permite clasificar las especies, y explicar los cambios ecológicos sufridos por los individuos a lo largo de su ciclo de vida (Figura 4).



Figura 4. Áreas morfológicas más importantes en un otolito sagitta de *Ocyurus chrysurus*.

De pronto no sólo contábamos con una herramienta que pudiera servir para diferenciar especies, sino que sus implicaciones eran mayores, ya que era posible identificar algunos componentes de los contenidos estomacales; diferenciar y discriminar stocks pesqueros; detectar diferentes zonas de reproducción o agrupación de desove. Disciplinas científicas como la biología pesquera, la taxonomía, la sistemática, la biogeografía y la ecología de las especies resultaron beneficiadas.

En 2015, Volpedo y Vaz-dos-Santos en su libro “Métodos de estudio con otolitos: principios y aplicaciones” notaron que, gracias a los progresos tecnológicos recientes, el estudio de los otolitos incluye métodos avanzados de exámenes tridimensionales de su forma. Estos análisis al ser relativamente nuevos no cuentan con un método estandarizado, lo cual enfrenta a los investigadores a la tarea de homogeneizar el proceso para comparar resultados de diferentes estudios.

Mendoza, en su artículo “Otoliths and Their Applications in Fishery Science”, señala que los otolitos son inertes químicamente, lo que significa que los elementos incorporados en su estructura física durante su formación no se modifican con el tiempo. Aun cuando están compuestos principalmente por carbonato de calcio, la microquímica de los otolitos es la llave secreta para develar información sobre la historia de vida de los individuos. Al igual que la forma, la variación de la composición química de los otolitos se regulada por factores externos e internos. Claramente los más importantes son: el agua por su salinidad, su temperatura y otros procesos fisicoquímicos, así como los alimentos que ingiere el pez. Los elementos químicos penetran en el organismo del pez a través de sus branquias mediante la respiración o en su defecto por el intestino por la ingestión de presas, para permear, a partir de la vía sanguínea, hacia el líquido contenido en las cápsulas óticas (perilinf) y después a la endolinfa del laberinto membranoso para ser incorporados finalmente a los otolitos. Es así, que se observan variaciones en la composición química del otolito en su superficie, como si fuera una manta, o en pequeños espacios de su estructura, justo del mismo modo que se encuentran burbujas de aire internas durante la formación del hielo. A diferencia del análisis de su forma, el estudio de la microquímica de los otolitos permite a los científicos obtener información sobre los sitios de distribución geográfica de los peces, así como observar los cambios ocurridos en su ambiente de predilección, lo que podría ser de primera utilidad para los estudios de contaminación marina o bien del efecto del cambio climático en los

océanos.

Las aplicaciones de los estudios de los otolitos de peces pueden rebasar los límites de la ciencia pesquera. Por ejemplo, Piezzi, en 2006 a través de su artículo “Investigación en Biomedicina: Encendiendo luces en las penumbras de la vida humana”, enunció que en biomedicina la percepción de la importancia de los elementos naturales que nos rodean; de sus procesos y de su aprovechamiento, ha permitido el desarrollo de nuevas aplicaciones medicinales. Así, los investigadores descubrieron que los minerales que componen a los otolitos pueden utilizarse para regenerar los dientes e incluso los huesos de los humanos.

Los otolitos ofrecen gran cantidad de información contenida en un volumen muy reducido. Mediante la evolución de las técnicas científicas hemos podido utilizarlos para diferentes finalidades y aplicaciones prácticas. Pero ¿qué más podremos encontrar en los años venideros? ¿Qué secreto podremos descubrir? Conforme las tecnologías sigan avanzando, los retos seguirán surgiendo y con ellos, más respuestas.

Referencias

Lecomte-Finiger, R. 1999. L’otolithe: la “boîte noire” des téléostéens. *L Année Biologique*, 38, 107-116.

Piezzi, R. S. 2006. Investigación en Biomedicina: Encendiendo luces en las penumbras de la vida humana. *Revista Médica Universitaria*, 2(2). <http://bdigital.uncu.edu.ar/3734>

Volpedo, A. V., Vaz-dos-Santos, A. M., Rossi-Wongtschowski, C. L. del B., Lombarte Carrera, A., Tuset Andujar, V. M., Avigliano, E., Queiroz de Albuquerque, C., Fernández Cirrelli, A., y Correia, A. T. 2015. *Métodos de estudios con otolitos: principios y aplicaciones*. 1ª ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. ISBN 978-33-8884-2.

Williams, A. J., Newman, S. J., Wakefield, C. B., Bunel, M., Halafihi, T., Kaltavara, J., y Nicol, S. J. 2015. Evaluating the performance of otolith morphometrics in deriving age compositions and mortality rates for assessment of data-poor tropical fisheries. *Tropical Fisheries*, 72, 2098–2109.

Mendoza, R. P. R. 2006. Otoliths and Their Applications in Fishery Science. *Croatian Journal of Fisheries?: Ribarstvo*, 64(3), 89–102.

This entry was posted on Sunday, June 26th, 2022 at 5:56 pm and is filed under [Ciencias Naturales y de la Salud, Zona Abierta](#)

You can follow any responses to this entry through the [Comments \(RSS\)](#) feed. Both comments and pings are currently closed.

