

LA HISTORIA QUE CUENTAN LAS ALMEJAS

Las almejas que pueblan lagos y ríos patagónicos son un archivo viviente: Los anillos de crecimiento de sus conchillas nos revelan información sobre el clima y el ambiente en el que han vivido.

Analia L. Soldati

Almejas nacaríferas: microingeniería de la naturaleza

La almeja *Diplodon chilensis* es un habitante nativo de los cuerpos de agua dulce ubicados a ambos lados de la Cordillera de los Andes, entre las latitudes de Mendoza y Chubut (para más información, leer además *Desde la Patagonia, difundiendo saberes*, Vol. 2, Nº3: La almeja de agua dulce: su importancia ecológica). Este molusco, del que se han encontrado ejemplares que alcanzan edades cercanas a los cien años, vive semienterrado en aguas profundas y poco profundas. Aunque los adultos de esta especie llegan a medir alrededor de 10 cm de largo y unos 3 cm de alto (ver Figura 1A), generalmente pasan desapercibidos debido al color marrón oscuro de su *periostraco*, una capa muy fina de tejido orgánico que protege la valva por fuera. Debajo de este *periostraco* se encuentra el *ostraco*, la parte más gruesa y dura de la conchilla de *Diplodon chilensis*, compuesta en su mayor parte por carbonato de calcio (CaCO_3) *biomineral* (ver Glosario). Un corte transversal de la conchilla a nivel del *ostraco* muestra que el CaCO_3 tiene dos tipos de estructuras distintas en la valva: por un lado, una capa más fina, en contacto con el *periostraco*, que posee una estructura prismática; y por otro, una capa más gruesa ubicada entre la capa prismática y las partes blandas del molusco (ver Figura 1A). Esta última es conocida con el nombre de "nácar" o "madreperla" (ver Figura 1B).

El nácar está compuesto principalmente por carbonato de calcio, el mismo material del que están compuestas la piedra caliza y la cáscara de huevo. Sin embargo, a diferencia de éstas, la estructura del nácar, observada bajo los aumentos de un microscopio electrónico, se asemeja a una "pared de ladrillos" de dimensiones *micrométricas* (ver Glosario y Figura 2). Los "ladrillos" son polígonos muy delgados nanoestructurados de carbonato de calcio y sustancias orgánicas, íntimamente unidas, que presentan unos 10 μm (micrómetros) de diámetro y 0,5 μm de espesor. El "cemento" que une estos ladrillos unos con otros para formar la "pared" de nácar es una capa de proteínas, *polímeros* (ver Glosario) y azúcares. Gracias a este diseño tan particular y al hecho que la estructura está compuesta de elementos orgánicos e inorgánicos, el *biomineral* que forma las valvas de *Diplodon chilensis* es mucho más duro y resistente que otros carbonatos de calcio de origen geológico. Bajo condiciones adecuadas, incluso luego de cientos de años de muerto el molusco, las valvas del mismo pueden llegar a conservarse en un muy buen estado.

Descubriendo la escala temporal

Durante toda su vida, *Diplodon chilensis* crece en espesor, alto y largo de su valva, depositando año a año una nueva porción de carbonato de calcio. El lugar en donde más material se deposita es el borde de la conchilla a lo largo de todo su perímetro, por lo que comúnmente se habla de la formación de un "anillo" de crecimiento. Así, a través de los años, se observa una sucesión de anillos concéntricos desde el *umbo* hacia el margen; el *umbo* es la parte más antigua de la valva de un bivalvo y coincide con el punto en donde se inicia por primera vez la deposición de carbonato de calcio; el margen (es decir, el borde de la valva) es la porción depositada más recientemente (ver Figura 1A). Estudios de proporciones relativas de algunos *isótopos* (ver Glosario) y observaciones experimentales mostraron que los anillos de crecimiento se forman una vez por año a lo largo de toda la vida de la almeja y sirven, por lo tanto, para calcular su edad. Conociendo la fecha de muerte del molusco, es decir, el momento en que fue depositado el último anillo, se puede datar toda la valva en forma regresiva y así

Palabras clave: *Diplodon chilensis*, esclerocronología, clima.

Analia L. Soldati

Dra. en Ciencias, Universität Johannes Gutenberg, Mainz, Alemania.

Cjo. Nac. de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina – Grupo de Caracterización de Materiales, Ctro. Atómico Bariloche, Argentina.
asoldati@cab.cnea.gov.ar

Recibido: 02/08/2010. Aceptado: 03/12/2010.

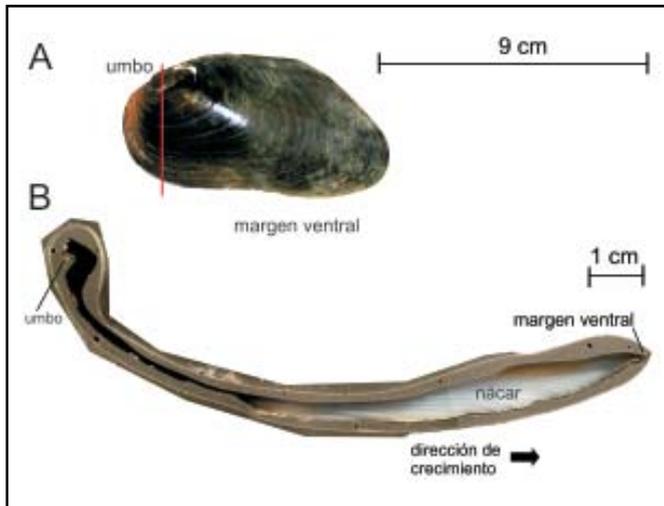


Figura 1: (A) Valva izquierda de *Diplodon chilensis* mostrando las líneas de crecimiento externas. (B) Sección de la valva obtenida en el sentido marcado con la línea vertical en A, con la superficie externa de la valva hacia abajo. La capa prismática es tan delgada que no llega a observarse. Fotos: modificadas de Soldati et al., 2010 b.

obtener una escala cronológica que indique la fecha en que se formó cada anillo de carbonato de calcio, desde el nacimiento hasta la muerte de la almeja. Gracias a esta escala, si un anillo determinado de la valva es interesante por alguna característica en particular (por ejemplo, por ser más ancho o más angosto que lo normal) se podrá saber con precisión en qué año fue formado. Dado que las características del crecimiento de una especie están asociadas en mayor o menor medida a lo que ocurre en el ambiente en el que vive, conociendo la fecha de deposición de un anillo en particular, se puede intentar asociar las características de ese anillo (como su espesor, color, composición, etc.) a eventos o características climáticas y/o ambientales ocurridas durante el año en que fue depositado.

Esta técnica usada para definir una escala temporal en la valva se denomina esclero-cronología (del griego *sklhro*: rígido, duro al tacto, seco; *chronos*: tiempo) y se basa en el mismo tipo de métodos prácticos y estadísticos de una disciplina que es usada hace más tiempo: la dendro-cronología (del griego, *dendros*: árbol), que estudia anillos de crecimiento en los troncos de los árboles (para más información, leer además *Desde la Patagonia, difundiendo saberes*, Vol. 5, N° 6: Los lagartos de la Patagonia).

Los primeros anillos de la valva de *Diplodon chilensis* son fáciles de distinguir y contar, ya que el molusco crece a razón de varios milímetros por año (mm/año) durante sus primeros años de vida (la tasa de crecimiento es alta). Sin embargo, a medida que el molusco envejece, crece más lentamente (la tasa de crecimiento es más baja). En ejemplares muy longevos, los anillos se hacen cada vez más y más cercanos, dificultando o imposibilitando un adecuado recuento. Sin embargo, son justamente estas almejas más longevas las más interesantes, ya que pueden brindar información sobre períodos más largos de tiempo. Para estudiar el crecimiento en estos casos se utiliza un método que permite observar los anillos de la valva

desde el interior de la misma, en un corte transversal (ver Figura 1B).

Cortando y puliendo una sección transversal de la valva en dirección perpendicular a los anillos de crecimiento (por la línea, en el caso de la Figura 1A), se obtiene una superficie espejada (ver Figura 1B). En la misma se ve nítidamente una sucesión periódica de “bandas” claras y oscuras, de diferentes espesores. Cada par de estas bandas internas corresponde a un anillo de crecimiento: la banda clara se deposita durante el período invernal y la banda oscura durante la temporada estival. La suma de los espesores de una banda clara y de una banda oscura sucesiva, corresponde entonces a un período de un año. Un tratamiento con el colorante azul Alcian, permite resaltar en distintas tonalidades de color azul las épocas de verano e invierno, y ayuda a visualizar dónde comienza un año y termina el anterior (ver Figura 2A).

Una vez alcanzada la madurez sexual, *Diplodon chilensis* desacelera (o incluso a veces detiene) su crecimiento durante algunas semanas al año, coincidiendo con el comienzo del verano, cuando la almeja canaliza la mayor parte de su energía en procesos fisiológicos relacionados a la reproducción. Durante esta época, los ladrillos de carbonato depositados en la valva son más delgados que durante el resto del año, por lo que la proporción de componentes orgánicos (el “cemento”) respecto de los inorgánicos (los “ladrillos”) aumenta. Algunos de los componentes orgánicos de la valva son más sensibles al azul Alcian, y se tiñen más intensamente en aquellas zonas donde están más concentrados, dando lugar a nítidas líneas azules denominadas “marcas anuales internas” (ver flechas blancas en la Figura 2A). Esta metodología proporciona una escala cronológica mucho más precisa que el estudio equivalente realizado sobre las líneas de crecimiento externas (observables como repliegues del periostraco sobre la superficie externa de la valva). Incluso, la esclero-cronología en las bandas internas puede utilizarse para datar ejemplares muy longevos en los que las marcas anuales cercanas al margen de la valva aparecen sumamente apretadas debido a la disminución de la tasa de crecimiento que tiene lugar con la edad.

LA HISTORIA QUE CUENTAN LAS ALMEJAS

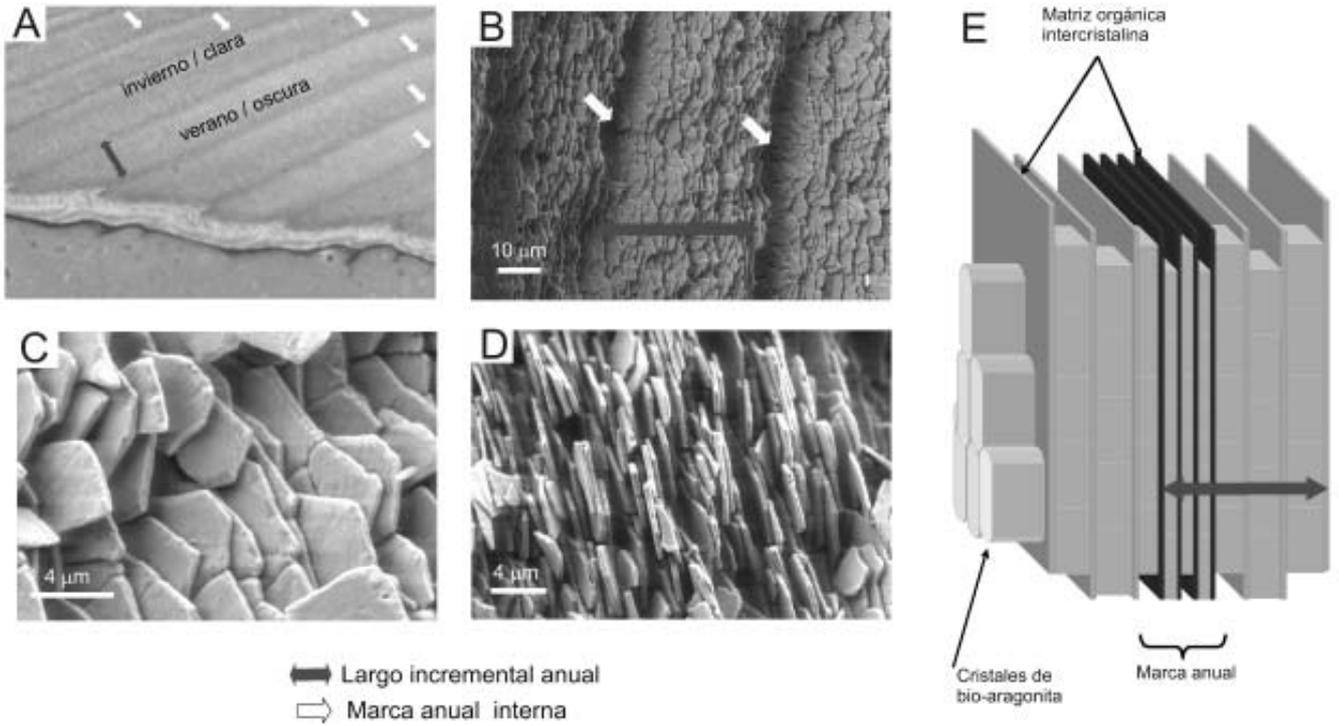


Figura 2: (A) Porción de una valva de *Diplodon chilensis* teñida con azul Alcian. Las flechas simples blancas muestran líneas más nítidas (las marcas anuales) que dividen claramente un año del siguiente. La doble flecha negra indica la forma de medir el ancho de una de estas bandas anuales. (B-C-D) Imágenes del aspecto de las láminas poligonales que forman el nácar tomadas con un microscopio electrónico de barrido. (E) Esquema de una valva, mostrando las zonas de crecimiento desacelerado (marca anual) y de crecimiento rápido. Fotos e imagen: modificadas de Soldati et al., 2010 b.

galilea & Cia
Viajes y Ecoturismo
E.V.yT. Lic.Prov. 11494 Disp. 478/02

Pasajes nacionales e internacionales

Tarifas especiales a docentes y estudiantes

Elflein 89 of. 2 Bariloche Tel. 02944 43 7657

Naipes Patagónicos

Flores de la Patagonia
Los bosques y estepas de los Andes patagónicos albergan numerosas flores variadas y coloridas. Este mazo de cartas ilustradas muestra tan solo algunas de su gran riqueza y diversidad. Las imágenes del Joker y del dorso de las cartas corresponden a pinturas rupestres de la Patagonia.

Pesca con mosca
Una mosca es un señuelo artificial fabricado por el propio pescador de manera artesanal, utilizando para ello plumas, pelos e hilos que imitan los insectos naturales que integran la dieta del pez. Las hoy famosas truchas, fueron introducidas en la Patagonia a principios del siglo XX. Las más comunes son la trucha arcoíris, la trucha marrón y la trucha de arroyo o fontinalis.

Tel. 02944 442854 - www.naipespatagonicos.com.ar

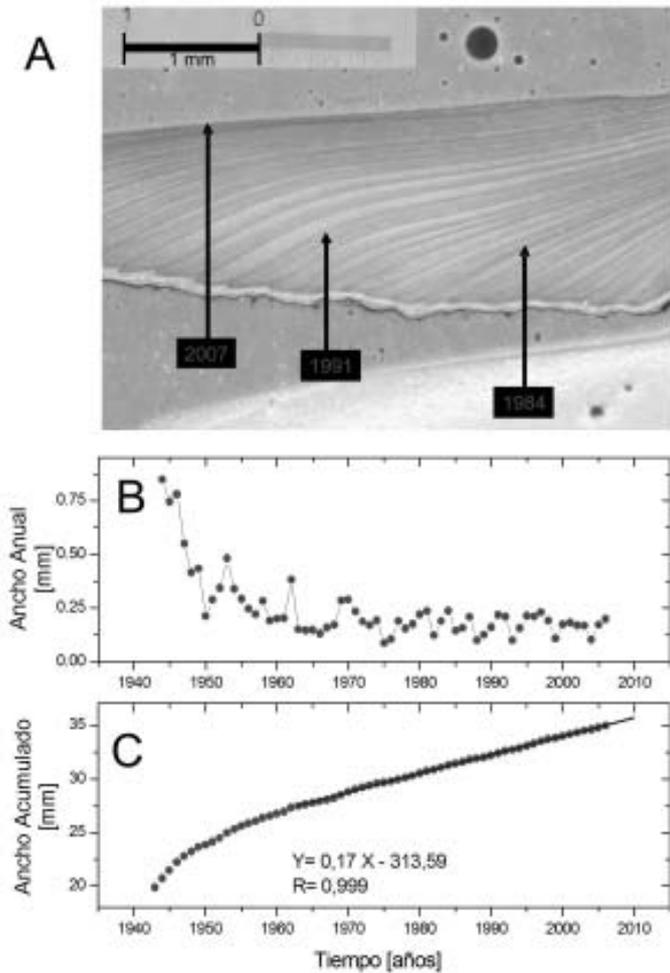


Figura 3: (A) Valva teñida con azul Alcian de un ejemplar de *Diplodon chilensis* capturado en la laguna El Trébol en 2007, de más de 60 años de edad. Imagen: modificada de Soldati et al., 2010 b. (B) Crecimiento (ancho) de las bandas anuales correspondientes a la valva mostrada en A, medido como muestra la doble flecha negra en la Figura 2A. (C) Crecimiento (ancho) acumulado para la misma valva; se obtuvo sumando año a año el ancho de todas las bandas de crecimiento B. La tasa de crecimiento en los últimos 40 años de vida se calcula como la pendiente de esta curva, y resulta en 0,17 mm por año. Imagen y gráficos: modificados de Soldati et al., 2009.

Información sobre el crecimiento

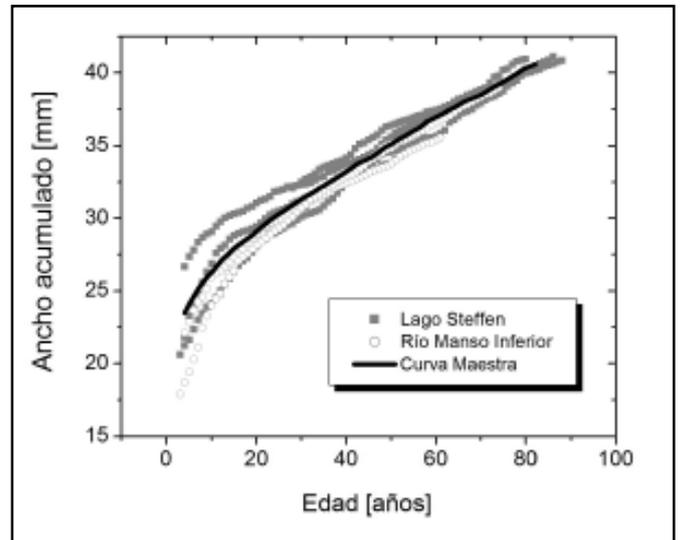
Fotografiando las valvas teñidas (ver Figura 3A) con una cámara digital acoplada a un microscopio de luz reflejada y utilizando una escala con divisiones submilimétricas (ver Glosario y Apartado: Microscopios utilizados) es posible determinar el ancho de cada banda anual (es decir la suma del ancho de las bandas clara y oscura, para un año dado), y así no sólo conocer la edad del individuo, sino también calcular la tasa de crecimiento para un determinado año, en cierta almeja (ver Figuras 3B y C). Para la almeja mostrada en la Figura 3 por ejemplo, que fue capturada en la laguna El Trébol en marzo de 2007, se obtiene una edad mayor a 70 años y una tasa de crecimiento promedio de 0,17 mm/año durante los últimos 40 años (ver Apartados La matemática del crecimiento). Asimismo, algunos ejemplares obtenidos en el lago Steffen y en

Microscopios utilizados

Las imágenes mostradas en este trabajo fueron tomadas con dos tipos de microscopios: el más simple es un microscopio de luz reflejada, en el cual se utiliza luz para formar la imagen. La muestra no requiere de ninguna preparación especial; distintas lentes de cristal enfocan y magnifican la luz que se refleja del objeto en cuestión y se obtiene una imagen en colores reales -aumentada unas 500 a 1000 veces-, que es captada por una máquina fotográfica digital. Sin embargo, como la física de este microscopio está dominada por las propiedades físicas de la luz (como su longitud de onda), no es posible lograr mayores aumentos. El otro tipo de microscopio utilizado, que permite ver mayores detalles a escalas micrométricas y nanométricas (Ver Glosario), es un microscopio electrónico de barrido o SEM (del inglés, *Scanning Electron Microscope*). En este caso, se obtiene la imagen barriendo la muestra con un haz de electrones en vez de un haz de luz. Los electrones tienen una longitud de onda mucho menor que la de la luz y permiten entonces trabajar con mayores aumentos y con mejor profundidad de campo (esto es, el espesor de la muestra que se puede ver en foco). Debido a la corta penetración de los electrones en la muestra, las imágenes revelan sólo detalles de las superficies, como su relieve, y al no tratarse de luz se pierde la información del color real de la muestra: la imagen está formada por distintos tonos de grises, que se interpretan como distintas intensidades de electrones reflejados. La preparación de las muestras es en este caso algo más engorrosa, ya que en general se requiere recubrir la muestra con una capa fina de grafito u oro, para hacerla conductora a los electrones. Sin embargo, se tiene en compensación la ventaja de poder llegar fácilmente a unos 200 mil aumentos (para más información, leer además *Desde la Patagonia, difundiendo saberes*, Vol. 5, N°6: Para captar el mundo muy pequeño: Los microscopios electrónicos).

Figura 4: Curvas de crecimiento (ancho acumulado) para 8 ejemplares de *Diplodon chilensis* mayores a 70 años obtenidos en el lago Steffen y en el río Manso Inferior. Nótese que la curva de crecimiento cambia de pendiente alcanzados unos 10 a 15 años de edad, volviéndose muy similar en todas las valvas. La curva maestra da una idea del crecimiento de una almeja característica de esa zona. Gráfico: modificado de Soldati et al., 2009.

las nacientes de río Manso Inferior, cuyas edades rondaban los 90 y 70 años respectivamente, ayudaron a calcular las tasas de crecimiento de esta especie en esa zona. Los anchos de las bandas anuales variaron entre un máximo de 4,32 mm y un mínimo de 0,02 mm, con un crecimiento promedio de 1,05 mm/año en las secciones más jóvenes (próximas al umbo, <15 años de edad) y de 0,16 mm/año en las secciones



La matemática del crecimiento

Los modelos teóricos que describen el crecimiento

Las valvas de *Diplodon chilensis* están formadas por anillos de crecimiento anuales, que en un corte transversal (ver Figuras 1B y 2A) se observan como una sucesión de bandas claramente definidas. El ancho de cada banda anual (ver doble flecha negra en la Figura 2A) es una medida de lo que ha crecido la valva durante ese año, y por ende la suma de los anchos (ancho acumulado) describe en cierta forma el crecimiento de la valva en el tiempo. Para poder utilizar la información acerca del crecimiento archivada en las valvas, es necesario primero encontrar una función matemática que permita describir las características del crecimiento. El modelo teórico que mejor prediga los datos reales es aquel que se usará luego en los cálculos posteriores. Un método para encontrar el modelo más adecuado es por ejemplo el llamado «método de cuadrados mínimos». En el caso de las valvas de *Diplodon chilensis*, la función que mejor representaría el crecimiento es una curva que crezca mucho al principio (cuando el molusco es joven) y luego se fuera aplanando (cuando el molusco envejece). Si sólo interesa la parte más adulta de la valva (por ejemplo, el crecimiento a edades mayores de los 30 años) el modelo puede simplificarse y el crecimiento se puede representar en forma fidedigna por una línea recta del tipo $Y(X)=A+B.X$ (como la línea llena

de la Figura 3C). Una medida de cuánto coincide la recta teórica con los datos reales de crecimiento medidos es el coeficiente R; un $R=1$ significa que coinciden perfectamente, mientras que un $R=0$ significa que no coinciden para nada. En la Figura 3C, el coeficiente R obtenido es muy cercano a 1, indicando que se ha elegido un buen modelo para explicar como varía el crecimiento de esa valva.

Los promedios

A veces es útil conocer como varía el crecimiento anual es decir, cuánto se incrementa el valor de una determinada dimensión de un individuo (largo, altura, etc.) en el lapso de un año, tomando como base un conjunto de años, pero sin evaluar cada año en particular. Para ello se usa un «truco» matemático: se busca el «promedio aritmético» del crecimiento en esos años. En este trabajo se promediaron, por ejemplo, los anchos anuales de las bandas de crecimiento. El promedio (también llamado media aritmética) de un conjunto de mediciones, es la suma de los valores individuales, dividida el número de sumandos. Una medida de la dispersión de los datos individuales alrededor de ese promedio es la «desviación estándar» (SD). Así, un crecimiento promedio de 0,16 mm/año con una SD de $\pm 0,02$ mm/año indica que el ancho de las bandas anuales observadas en ese conjunto de datos variaron entre 0,14 y 0,18 mm/año.

correspondientes a edades mayores a 30 años (ver Figura 4).

A partir de las curvas de crecimiento de varios ejemplares de un mismo lugar se puede generar una curva de crecimiento teórica para las almejas de ese lugar (también llamada curva de crecimiento "maestra"). Sin embargo, como las curvas a comparar contienen mediciones sucesivas de un mismo individuo, éstas no son independientes. La solución a este tipo de problema es compleja y se resuelve mediante la aplicación de modelos mixtos para datos de longitud. Estudios de este tipo permiten entonces comparar las tasas de crecimiento y longevidades de distintas poblaciones y así inferir acerca de la relación entre el crecimiento y las características ambientales de los lugares en los que viven las almejas.

Información sobre aspectos climático-ambientales

Otro aspecto interesante de los estudios esclero-cronológicos en las valvas de *Diplodon chilensis* radica en que también permiten hacer inferencias acerca de las condiciones ambientales históricas en que se produjo la deposición de carbonato de calcio. Así, por ejemplo, se pueden observar años en los que las bandas de crecimiento son atípicamente más anchas o más angostas que el resto. Una banda atípicamente ancha significa que durante ese año el ambiente en el que vivía el molusco era extremadamente favorable para el crecimiento (por ejemplo, un invierno de temperaturas más cálidas, mayor cantidad de alimento disponible, etc.), mientras que una banda de un ancho mucho menor al promedio indica un ambiente o un evento desfavorable (por ejemplo, una temperatura media invernal mucho menor de lo habitual, falta de nutrientes, exceso de población, enfermedades, contaminación, etc.). El estudio de estas variaciones puede entonces arrojar luz sobre eventos climáticos y ambientales que ocurrieron durante la vida de la almeja, abarcando incluso un período de tiempo mayor al promedio de una vida humana!

Almejas haciendo historia

Las almejas de agua dulce no eran desconocidas para las poblaciones nativas de la región, quienes hace más de 5.000 años atrás utilizaban su carne como un complemento dietario, usando también sus valvas ocasionalmente para confeccionar cuentas y adornos de nácar. Como mencionamos en la primera parte, el nácar de *Diplodon chilensis* es un material biológico - o biomaterial- muy resistente al paso del tiempo, de allí que muchas de las valvas encontradas en sitios arqueológicos se hayan conservado enteras y en un muy buen estado. Aunque en algunas de ellas el periostraco se encuentra parcial o totalmente destruido, las bandas de crecimiento internas se mantienen

intactas. El estudio esclero-cronológico de las mismas brinda, por lo tanto, una oportunidad única de estudiar las variaciones ambientales y climáticas características del ambiente en que vivieron estas almejas patagónicas en épocas anteriores a cualquier registro instrumental.

Glosario

Biomíneral: mineral sintetizado por un organismo vivo.

Isótopo: átomos de un mismo elemento químico, que difieren en su número de neutrones en el núcleo. Por ejemplo dos isótopos del oxígeno son el ^{16}O y ^{18}O : ambos tienen 8 protones en el núcleo, pero el primero tiene 8 neutrones y el segundo 10.

Micrómetro: es la millonésima parte de un metro.

Nanómetro: es la milésima parte del micrómetro.

Polímero: material formado por la repetición de una unidad estructural o cadena de moléculas.

Submilimétrico: dicese de algo más pequeño que un milímetro.

Lecturas sugeridas

Soldati, A., Jacob, D., Schone, B., Bianchi, M. y Hajduk, A. (2009). Seasonal periodicity of growth and composition in valves of *Diplodon chilensis patagonicus* (D'Orbigny, 1835). *Journal of Molluscan Studies*, 75, pp. 75-85.

Soldati, A., Götzlicher, J., Jacob, D. y Vicente Vilas, V. (2010 a). Mn speciation in *Diplodon* shells: a XANES study. *Journal of Synchrotron Radiation*, 17, pp. 193-201.

Soldati, A., Jacob, D., Bianchi, M. y Hajduk, A. (2010 b). Microestructura y polimorfismo en valvas recientes de *Diplodon chilensis patagonicus* (D'Orbigny, 1835). *Gayana*, 74, pp. 61-69.

Johannes Gutenberg Universität Mainz. *Biomíneralisation*. En URL: www.biomin.uni-mainz.de