

UNA CURIOSIDAD PARA LA CIENCIA. REPRODUCCIÓN VIVÍPARA EN UN ROTÍFERO DEL FANGO ACTIVADO.

Andrés Zornoza (EDAR Quart Benager) y Grupo Bioindicación Sevilla: Eva Rodríguez (Licenciada en Biología, SEAFSA), Laura Isac (Licenciada en Biología, Universidad de Sevilla), Natividad Fernández (Licenciada en Química, SEAFSA) y M^a Dolores Salas (Licenciada en Biología, Itsmo'94).

<http://www.grupobioindicacionsevilla.com>

RESUMEN:

En este trabajo se ofrece la posibilidad de presenciar un momento maravilloso en la naturaleza: el nacimiento de un nuevo ser. Si además tenemos en cuenta que hablamos de organismos de menos de 500 μm y de tiempos de vida de pocos días es, cuanto menos, una experiencia inolvidable. Nos encontramos ante el milagro de la vida a nivel microscópico.

En esta comunicación se ofrece la posibilidad de conocer algo más sobre la fisiología de esta Clase animal, *Rotatoria*, la cual forma parte de la microfauna de un fango activo.

PALABRAS CLAVES.

Ameiosis: Meiosis atípica en la que no se produce una reducción del número de cromosomas, como en la partenogénesis.

Ameiótico: Relativo o perteneciente a la ameiosis.

Amíctico: Relativo al huevo que no puede ser fertilizado y que se desarrolla partenogenéticamente. También se aplica a la hembra productora de dichos huevos.

Diploide: Dotación cromosómica por célula con $2n$ cromosomas.

Haploide: Dotación cromosómica celular dotada de una sola serie de cromosomas (n).

Heterogonia: Partenogénesis cíclica. Alternancia de reproducción sexual y partenogénica.

Meiosis: Proceso de división celular, consistente en la división sucesiva de los núcleos que resulta en la reducción del número de cromosomas de diploide a haploide.

Meiótico: Relativo a la meiosis.

Míctico: Fase de reproducción sexual, en la cual se produce la fusión de los gametos.

Ovíparo: Animal que nace de un huevo. El desarrollo del embrión se produce en un huevo que contiene el alimento necesario para su nutrición. Existe un caso particular dentro del desarrollo ovíparo, según el cual los huevos permanecen en el interior de la madre: es el *ovoviviparismo*. Tras el nacimiento de la cría en el interior de la madre, se produce su expulsión.

Partenogénesis: Reproducción sin mediación de sexo masculino. Los nuevos individuos son clones de las madres.

Vivíparo: Animal cuyo desarrollo embrionario transcurre en el interior de la madre.

INTRODUCCIÓN.

El Grupo Bioindicación Sevilla lleva realizando interlaboratorios desde 1998 con muestras de fangos activos muy diversas. La experiencia de sus integrantes les ha permitido comprobar que en situaciones en las que el porcentaje de rotíferos se encuentra en torno al 10% y no existen alteraciones en la macroestructura flocular por el crecimiento filamentososo, los Índices de Fango (Jiménez *et al.*, 2001) se mantienen en las categorías "bueno" y "muy bueno" (Figura 1), consiguiéndose clarificados muy aceptables en la V30.

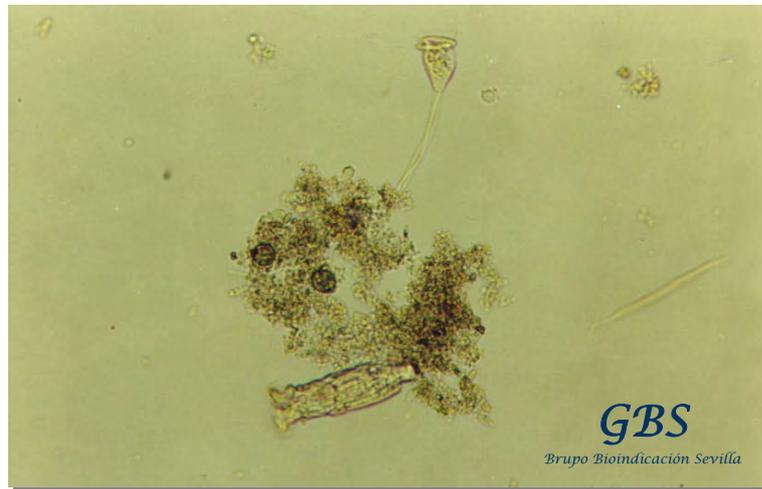


Figura 1: Flóculo de fango activo de oxidación total con rotífero.

Estas observaciones han sido confirmadas ampliamente en el trabajo de Lapinski y Tunnacliffe (2003). Estos autores informaron del importante papel desempeñado por los rotíferos Bdelloideos en la reducción de partículas en suspensión en sistemas de depuración de aguas residuales, tanto por el consumo de dichas partículas como por el efecto biofloculador que estos microorganismos ejercen.

Dada la importancia de este grupo animal y teniendo en cuenta que son organismos que pueden encontrarse fácilmente en muestras de EDAR convencionales, hemos considerado interesante publicar una secuencia de imágenes, ciertamente curiosa, en la que se observa la fase final del ciclo reproductivo de un representante ovovivíparo de este grupo (Figura 6). La muestra de fango activo procede de un sistema de tratamiento en el

que se trabaja con altos tiempos de retención celular y en el que, coincidentemente con la realización de estas imágenes, se produjeron deficiencias de oxígeno.

MORFOLOGÍA.

A la Clase *Rotatoria* pertenecen los metazoarios más pequeños (Barners, 1987). Los rotíferos son organismos pluricelulares, con simetría bilateral y órganos especializados, que se presentan en fangos activados de forma común, si se trabaja con edades de fango medias y altas.

La longitud del cuerpo raramente supera los 2 mm de longitud y en el caso de los machos, inferior al de las hembras, se aproxima a las 60 µm en algunas ocasiones. El cuerpo de todas las especies es alargado y consiste en un número constante de células, las cuales pueden ser consideradas como "áreas de plasma", según lo cual el desarrollo del animal viene dado por el aumento de plasma y no por la división celular.

El cuerpo del rotífero se diferencia en tres partes distintas: cabeza, tronco y pie (Figura 2). La epidermis contiene una capa densamente empaquetada de proteínas similar a la queratina denominada lóriga.

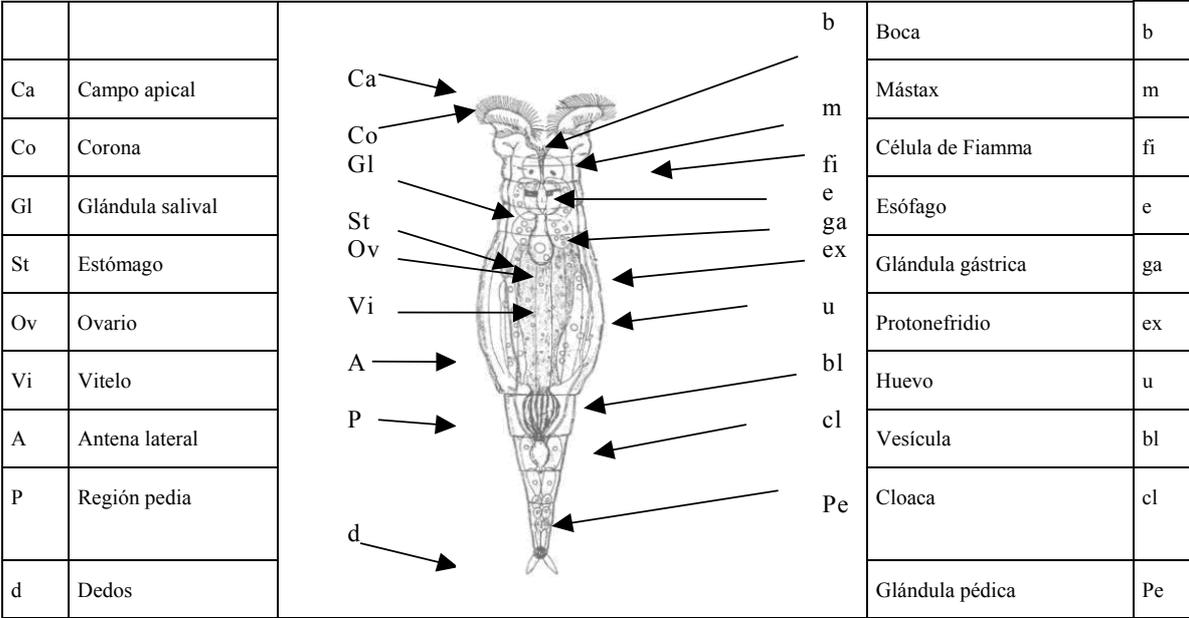


Figura 2: Esquema de un rotífero del género *Rotaria* (Braioni y Gelmini, 1983).

La cabeza o sección cefálica lleva el órgano rotatorio o corona, más o menos desarrollado según las especies y reconocido fácilmente por sus cilios anulares, dispuestos en dos campos que dan nombre al grupo. La corona retráctil asegura la locomoción y un movimiento del agua en forma de remolino que facilita la captación de pequeñas partículas alimenticias (algas, detrito, protozoos, bacterias filamentosas, etc.).

La sección torácica tiene capacidad de contracción y contiene el tracto digestivo, formado por un *mástax* (que muele las partículas ingeridas), el esófago, el estómago con glándulas gástricas y el intestino. El sistema excretor consiste en un par de protonefridios con células terminales, el conducto y la vesícula. Los protonefridios expulsan el líquido excretorio y juegan un importante papel en la regulación osmótica. El órgano genital es impar (Orden *Monogononta*) o pareado (Órdenes *Seisonidea* y *Bdelloidea*). La apertura del conjunto externo, vesícula y oviducto, se denomina cloaca.

El pie es retráctil y presenta una cutícula anillada sin segmentación, terminada en uno o cuatro dedos dotados de glándulas pedales (excretan una sustancia adhesiva en rotíferos reptantes y sésiles). Se utiliza como órgano de fijación y, al igual que la corona, el pie presenta diversos tamaños, llegando casi a desaparecer en algunas especies.

Si bien existen rotíferos sésiles, en fangos activados sólo aparecen algunos grupos de especies nadadoras. Entre ellas los géneros: *Lecane*, *Philodina* y *Rotaria* (Figura 3).

Como consecuencia de las especializaciones del hábitat, se encuentran diversas estructuras como espinas, alas, etc., que adaptan a cada especie a su nicho ecológico concreto (planctónico, pelágico...).

DESARROLLO Y CICLO DE VIDA.

La mayoría de rotíferos son filtradores omnívoros que se alimentan de materia orgánica, bacterias presentes en el fango activado y algunas algas filamentosas (Barners, 1974). Esta capacidad filtradora, debida a la corona u órgano rotatorio, es realizada sobre el espacio interflocular. De esta forma, con un número no excesivo de rotíferos, en torno al 10% de la microfauna presente en un fango activo, pueden conseguirse unas calidades adecuadas en los efluentes de las depuradoras.

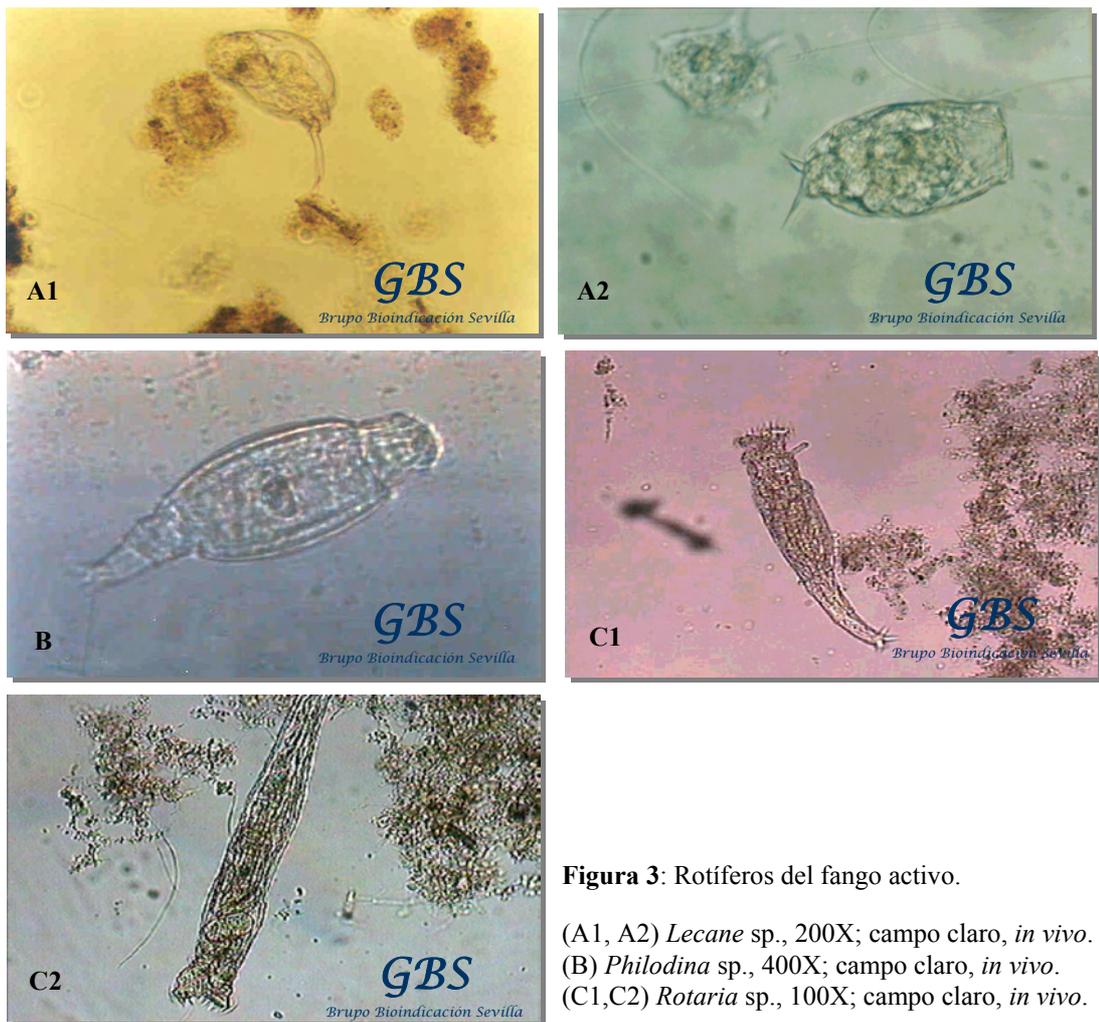


Figura 3: Rotíferos del fango activo.

(A1, A2) *Lecane* sp., 200X; campo claro, *in vivo*.
 (B) *Philodina* sp., 400X; campo claro, *in vivo*.
 (C1,C2) *Rotaria* sp., 100X; campo claro, *in vivo*.

Los rotíferos presentan dos modos de reproducción (asexual y sexual), que les permiten adaptarse a ambientes con alta heterogeneidad (Ricci *et al.*, 2000), como pueden ser los ciclos del fitoplancton (Yoshinaga, 2003). El género *Brachionus* ha sido ampliamente estudiado en su ciclo reproductivo, característico por presentar alternancia entre reproducción sexual y partenogénica (heterogonia). Sin embargo, existe dominancia en la población de hembras dimícticas, que producen dos tipos de huevos: mícticos y amícticos (Braioni, 1983). Los ciclos normales son amícticos, resultando una descendencia que es clónica de la madre. Durante la partenogénesis las hembras amícticas producen huevos amícticos (diploides, $2n$), de los que se desarrollan nuevamente hembras amícticas.

Esta es la manera más rápida de reproducción, aunque el ciclo de vida puede volverse en reproducción sexual (más compleja) por condiciones ambientales desfavorables. Los mecanismos de la reproducción sexual o mítica dependen de factores

tanto externos como internos (Gallardo *et al.*, 2000). Durante la reproducción sexual se producen hembras míticas y amíticas. Aunque ambas no son morfológicamente distintas, las hembras míticas producen huevos haploides (n). Algunos de estos huevos míticos infértiles son significativamente menores en tamaño que los huevos míticos fertilizados y se desarrollarán en diminutos machos haploides (Margalef, 1983). Los machos presentan aproximadamente la cuarta parte del tamaño de una hembra y no poseen tracto digestivo ni vesícula, pero están dotados de un gran testículo repleto de esperma maduro.

El cruce entre un macho haploide y una hembra mítica produce un huevo diploide especial (huevo latente) del que surgen hembras partenogénicas con intercambio de ADN (Figura 4). Este hecho permite a la población adecuarse a las distintas situaciones medioambientales, generando clones plenamente adaptados (Margalef, 1983). Los huevos míticos fertilizados son "huevos latentes"; de hecho, se han encontrado huevos viables de más de 65 años (Kaen, 2000). De ellos únicamente eclosionarán hembras amíticas bajo cambios repentinos en las condiciones ambientales: variaciones en la temperatura, salinidad, cantidad de alimento disponible, etc. Aunque el mecanismo por el cual se producen los huevos latentes no es totalmente comprendido, se entiende que el sentido biológico es asegurar la supervivencia de la población.

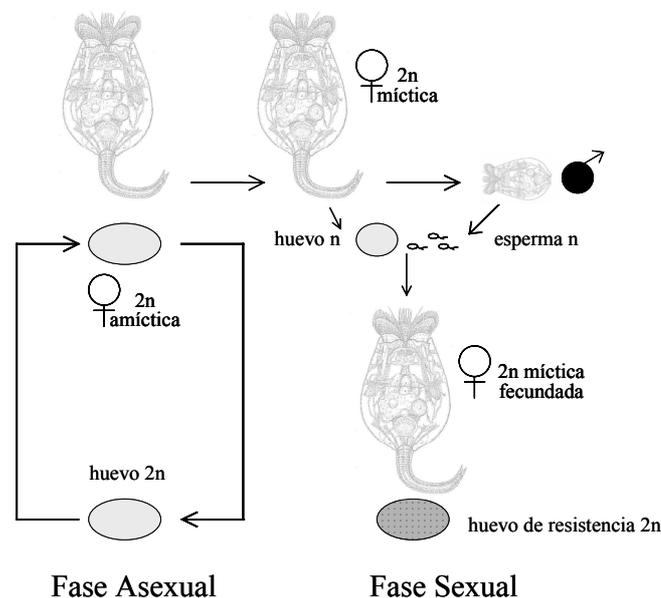


Figura 4: Diagrama de reproducción heterogónica en el rotífero *Brachionus calyciflorus*. El proceso comprende una fase asexual (amítica) y una fase sexual (mítica) (Preston y Snell, 2001). Las hembras diploides asexuales emergen de los huevos latentes. Cuando se producen las condiciones ambientales apropiadas (temperatura, disponibilidad de alimento, densidad de población, etc.), las hembras asexuales producen hembras diploides míticas. Si éstas no son fecundadas, producen huevos que eclosionan en machos haploides; si son fecundadas, producen huevos diploides en estado latente.

La mayoría de las especies de rotíferos son ovíparas, aunque existen algunas especies ovovivíparas en las cuales la forma joven emerge directamente del útero del animal (Ruttner-Kalisco, 1974). Los géneros *Asplanchna* y *Rotaria* incuban sus huevos internamente (Barners, 1987). Las sucesivas divisiones del huevo permiten al animal joven ir desarrollando los órganos necesarios para su crecimiento mediante modificaciones morfológicas, generando los sistemas embriológicos rudimentarios (Figura 5).

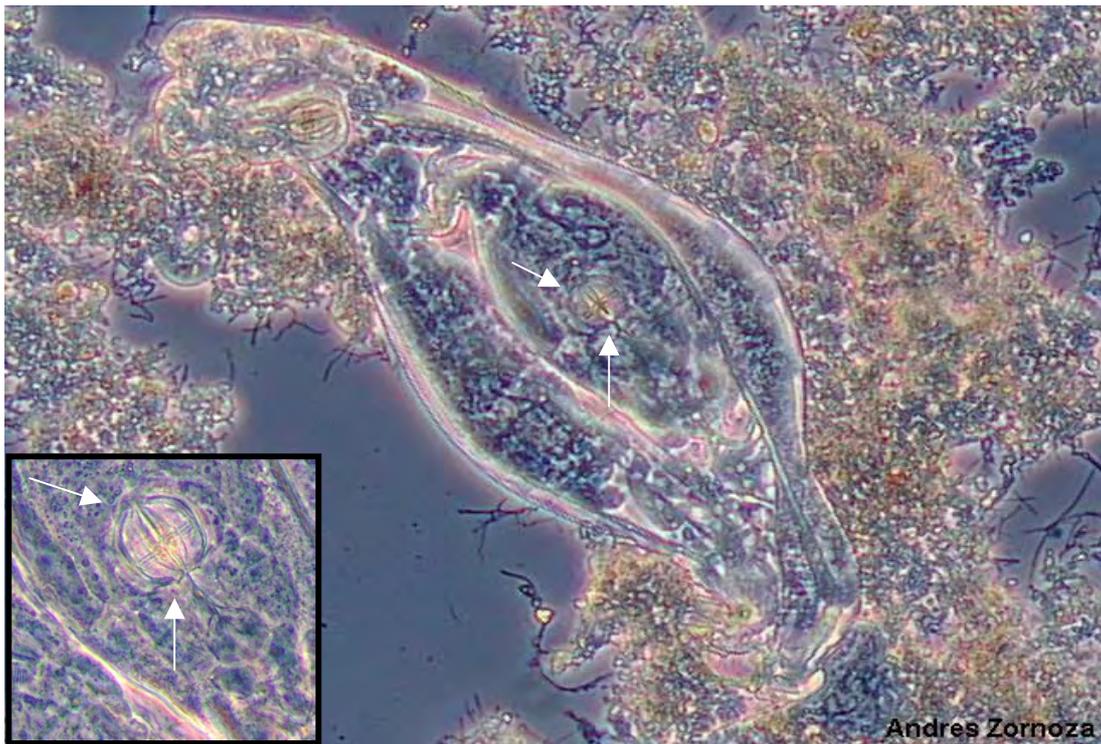


Figura 5: Rotífero juvenil en el interior de la madre (100X). Obsérvese el detalle del mástax, perfectamente formado, en el individuo juvenil (400X).

El joven rotífero ve la luz como un adulto en miniatura, que se ha desarrollado en el interior de la madre desde la forma de huevo (Hom, 1999). Esta forma de desarrollo permite la adaptación a la vida libre y la obtención del propio alimento desde el primer momento. Los cambios en los ciclos de vida de estos organismos como crecimiento, maduración, reproducción, etc., se optimizan en función de diversos factores ambientales (Yoshinaga *et al.*, 2000). La posibilidad de desarrollar de forma interna un nuevo organismo permite aumentar la posibilidad de supervivencia del nuevo ser, así como controlar que el momento de expulsión sea el adecuado. Los niveles internos de reserva

son uno de los factores que controlan la reproducción, pues en ambientes naturales raramente hay suficientes recursos para los organismos (Yoshinaga *et al.*, 2003).

Las fotografías que se muestran a continuación representan a una hembra del género *Rotaria*, en cuyo interior se encuentra un embrión totalmente desarrollado (Figura 6). En la secuencia de imágenes se muestra la expulsión del individuo joven a través del oviducto, que desemboca en la cloaca.

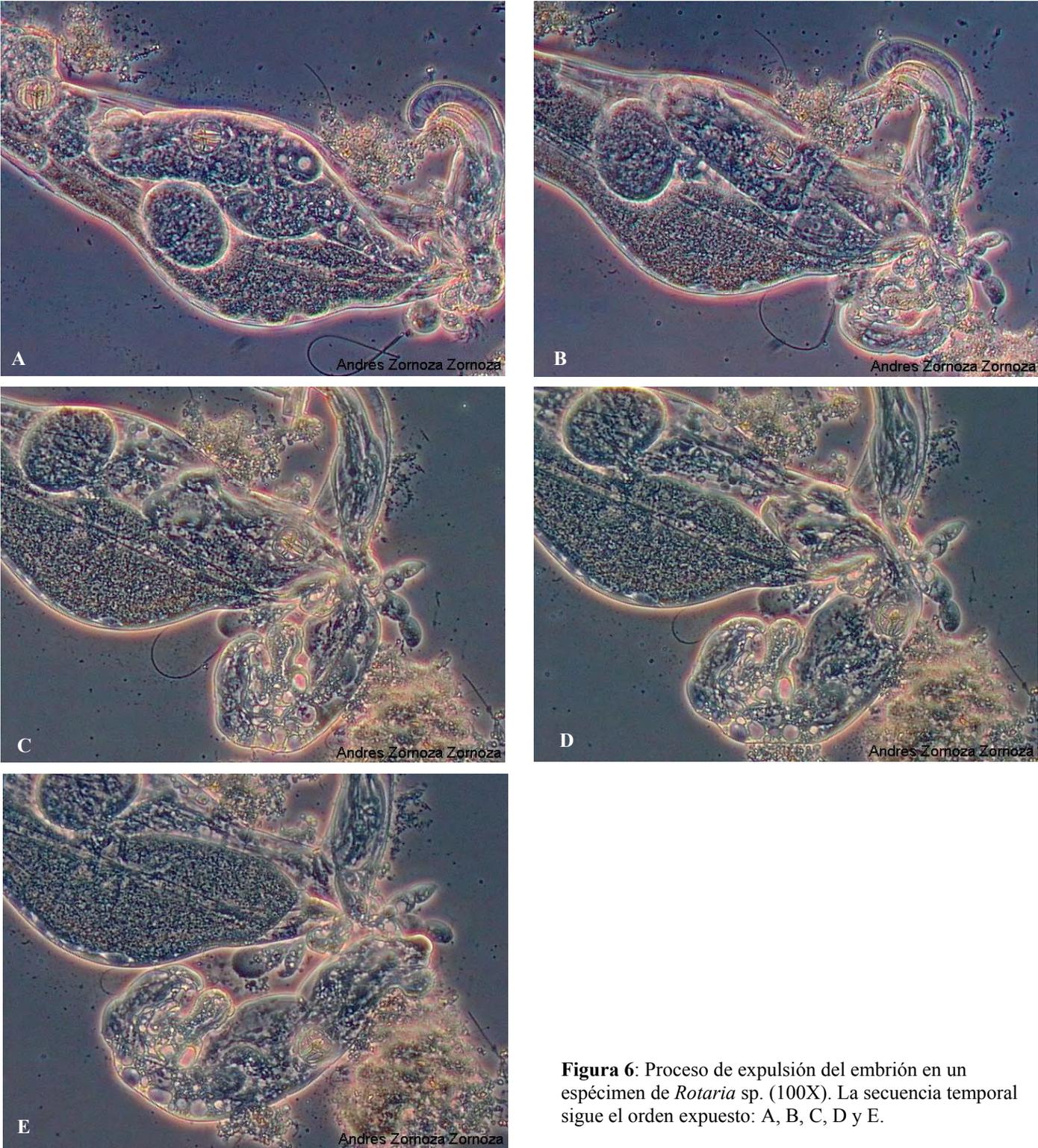


Figura 6: Proceso de expulsión del embrión en un espécimen de *Rotaria* sp. (100X). La secuencia temporal sigue el orden expuesto: A, B, C, D y E.

Este tipo de situación no es general en rotíferos, pero no deja de ser una adaptación progresiva a la vida pelágica (Ruttner-Kalisko, 1974).

La belleza intrínseca de estas imágenes nos permite sumergirnos en el momento culminante del ciclo vital de un organismo: la preservación de la especie.

AGRADECIMIENTOS.

Nuestro agradecimiento a la Doctora Laura Serrano (Departamento de Biología y Ecología de la Facultad de Biología de la Universidad de Sevilla), por su colaboración inmediata ante nuestras consultas. A nuestras empresas y a EMASESA, por su continuo respaldo.

BIBLIOGRAFÍA.

- Barners, R. D. (1987). *Zoología de los invertebrados*. Nueva Editorial Interamericana. México D.F.
- Braioni, M. G. y Gelmini, D. (1983). *Guide per il ricognoscimento delle specie animali delle acque interne italiani*. Tomo 23. Rotíferos monogontos. Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- Curds, C. R. y Hawkes H. A. (1975). *Ecological Aspects of Used-Water Treatment*. Ed. Academic Press Inc. (London) LTD.
- Gallardo, W., Hagiwara, A. y Snell, T. (2000). Effects of juvenile hormone and serotonin (5-HT) on miosis induction of the rotifer *Brachionus plicatilis* Müller. *Journal of experimental Marine Biology and Ecology* 252, 97-107.
- Hom, A. (1999). Rotífera. The "Wheel Beares". www.microscopy-uk.org.uk/mag/winstall/extra/rotif6.html
- Jiménez, C., Fernández, N., de la Horra, J. M., Rodríguez, E., Isac, L., Salas, D. y Gómez, E. (2001). Sistema rápido de estimación de los rendimientos en depuración de una E.D.A.R. en función de las características macroscópicas y microscópicas del fango activado. *Tecnología del Agua* 216, 40-44.

- Ricci, C., Serra, M. y Snell, T. W. (2000). Small, beautiful and sexy: What rotifers tell us about ecology and evolution. *Trends in Ecology & Evolution* 15, 6, 220-221.
- Lapinski, J. y Tunnacliffe (2003). Reduction of suspended biomass in municipal wastewater using bdelloid rotifers. *Wat. Res.* 37, 2027-2034.
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Editorial Omega. Barcelona.
- Preston, B. L. y Snell, T. W. (2001). Full life-cycle toxicity assessment using rotifer resting egg production: implications for ecological risk assessment. *Environmental Pollution* 114, 399-406.
- Ruttner-Kalisko, A. (1974). *Plankton rotifers. Biology and Taxonomy*. Stuttgart. Werbart Che Verlage Bcuhh.
- Yoshinaga, T., Hagiwara, A. y Tsukamoto, K. (2000). Effect of periodical starvation on the life history of *Brachionus Plicatilis* O.F. Müller (Rotifera): a possible strategy for population stability. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 253, 253-260.
- Yoshinaga, T., Hagiwara, A. y Tsukamoto, K. (2003). Life history response and age-specific tolerance to starvation in *Brachionus plicatilis* O. F. Müller (Rotifera). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 287, 261-271.