

Felipe Becerril Morales



# El bentos en el diluvio universal

El ecosistema bentónico puede ser visto como un punto de inflexión entre la materia-energía que se hunde y la que se reincorpora, desde el fondo, a la columna de agua. El tamaño del grano del sedimento del fondo tiene un papel esencial. Desde el punto de vista ilustrativo y didáctico, se hace una interpretación imaginativa entre algunos aspectos de la ecología acuática y el escenario del diluvio universal.

## Introducción

El Charadrius es una misteriosa ave acuática de plumaje amarillo, hábitos nocturnos y capaz de curar la ictericia con su simple presencia (Papavero y cols., 2001). Así los antiguos observadores de la naturaleza, como Aristóteles, atribuían efectos curativos a algunos animales. Según relatos o versiones medievales, de cierta manera y en muchas ocasiones, estos atributos o virtudes significaron para muchas especies biológicas el pase de abordar a aquella



magna embarcación salvadora que alguna vez hubiesen construido el legendario Noé y sus hijos. Pero al parecer, los criterios de selección para los privilegiados que abordarían el arca de Noé, en particular para aquellos que vivían en el fondo de las aguas, no fueron muy claros. En general, fueron elegidos sólo algunos organismos del reino animal, particularmente sexuados, ya que insectos, gusanos y otros animales calificados como “sabandijas” fueron excluidos. Lo mismo ocurrió con las plantas, debido a que estas formas de vida podrían regenerarse en la faz de la Tierra –se pensaba– por el mecanismo de la generación espontánea. Por su parte, los peces y otros organismos similares, siendo seres acuáticos, simplemente no tendrían problema alguno con una inundación, incluso de dimensiones diluvianas.

En particular, los animales acuáticos que viven en el fondo de las aguas deberían también haber sido descartados por la misma razón; pero además, a juzgar por los credos y elucidaciones de algunos letrados del Medioevo, el diluvio habría sido una buena oportunidad para deshacerse de seres silvestres indeseables. Por mucho tiempo en la historia humana, los organismos del fondo de mares, lagos y ríos han sido tratados de manera distinta gracias a percepciones que les atañen algo de misterioso e incluso de malvado y despreciable. Se creía que alimañas y sabandijas surgían espontáneamente del fango, dado que las propiedades putrefactas de este sustrato producían seres deleznable, como gusanos,





larvas de insectos, renacuajos y demás organismos de aspecto desagradable. No es de extrañar, por lo tanto, el poco interés por incluir en el arca a estos organismos que ahora sabemos que representan, muchos de ellos, a los habitantes del bentos (del griego βένθος/benthos, “fondo marino”). Formalmente se conoce como bentos al conjunto de organismos que viven en o estrechamente asociados al fondo de un cuerpo de agua, en al menos alguna etapa de su ciclo de vida.

Athanasius Kircher (1602-1680), monje jesuita alemán y notable estudioso de las ciencias naturales y humanas, escribió el libro *Arca Noë* en 1675, en el cual ofrece explicaciones sobre aspectos logísticos del acomodo de la fauna silvestre en el arca salvadora. Según este monje, el *Charadrius* fue aceptado en el arca de Noé, en tanto que otras especies de aves playeras, como por ejemplo la agachadiza (*Gallinago gallinago*, orden Charadriiforme; véase la Figura 1), no tuvieron la misma suerte. Para Kircher, algunas aves ni servían de alimento para el viaje ni tenían alguna propiedad curativa, así que simplemente no fueron convocadas a formar parte del *Ornithotropheion*, es decir, el nivel superior del arca, donde se alojaron a todos los “volátiles útiles” (Papavero y cols., 2001).

Si la agachadiza fue dejada a su suerte en el diluvio, fue porque podía salvarse volando y sorteando la tempestad. La aparente confirmación de esto es que luego

de haber sobrevivido al diluvio estas aves siguen merodeando las orillas de los inquietos cuerpos de agua en busca de su alimento, el cual forma parte del bentos de lagunas, lagos o ríos. Se podría entonces pensar que mucha menor preocupación provocaría a Noé lo que sucedería con las comunidades bentónicas: si ya están bajo el agua, ¿qué problema podría suscitarse con una lluvia pertinaz de 40 días y 40 noches, sumados a un extenso periodo de retirada de las aguas?

En este ensayo propongo tomar como referencia un relato tal como el diluvio universal, como evocación para explorar conceptualmente las características y los atributos del sistema bentónico desde la perspectiva de la ecología acuática, y con una pretensión informativa y didáctica.

### En el fondo, el bentos

La sustancia del fondo de un cuerpo de agua está constituida por materia sedimentada, primordialmente roca y fango. Basta que una sección de una superficie cóncava del planeta sea cubierta de agua (un reservorio) para que el suelo mojado se transforme en lodo y roca lavada en distintas presentaciones. Existen fondos firmes donde dominan rocas, y otros suaves en los que domina arena, limo o arcilla. Las rocas, de todo tipo, se exponen a la intemperización y luego sus fragmentos

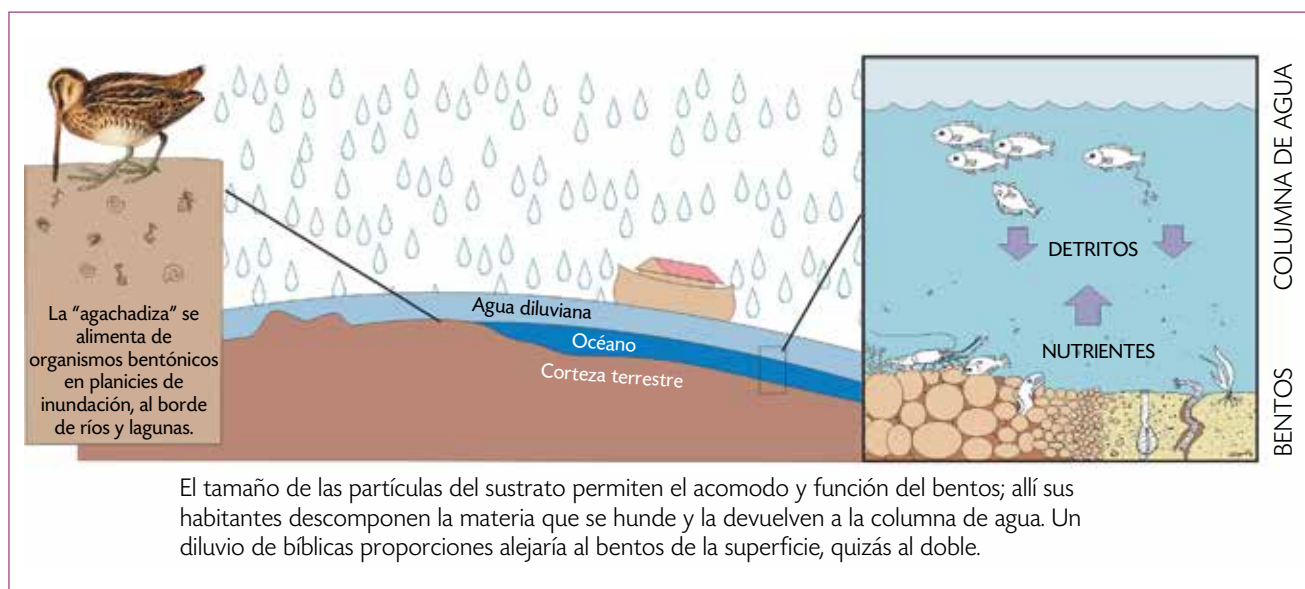


Figura 1. Modificada de: <[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/38/Gallinago\\_gallinago\\_%26\\_Lymnocyrtus\\_minimus\\_1921.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/38/Gallinago_gallinago_%26_Lymnocyrtus_minimus_1921.jpg)>.



se sedimentan en fondos donde eventualmente se hospedarán diversas formas de vida. Es en este medio y en su área de influencia donde transitan o se adhieren los organismos bentónicos. Por ello, una cosa es el fondo y otra, el bentos.

Por su parte, la agachadiza adquiere su nombre en virtud de su costumbre por comer agazapada, al introducir su largo pico en el lodo. Se alimenta de larvas, gusanos y otros invertebrados de talla pequeña que encuentra inmersos en las planicies lodosas, las cuales quedan al descubierto según los ritmos de inundación promovidos por lluvias y niveles fluctuantes de los ríos y las lagunas, o bien, según los pulsos mareales (en los litorales marinos).

Un aspecto interesante en la ecología acuática es el tropismo (movimiento en respuesta a un estímulo) de los organismos que, inmersos en el fondo, pueden percibir diferencias de presión hidrostática transmitidas a lo largo del seno fangoso. Estas diferencias advierten de la proximidad de un posible predador. La agachadiza inserta su pico y, sin extraerlo, captura y traga a su presa; con sus pasos y picotazos oprime el sustrato lodoso; el agua, que no es compresible, ejerce presiones que resultan en microcorrientes intersticiales; esto hace transitar a los organismos microbentónicos y se va aligerando la concreción.

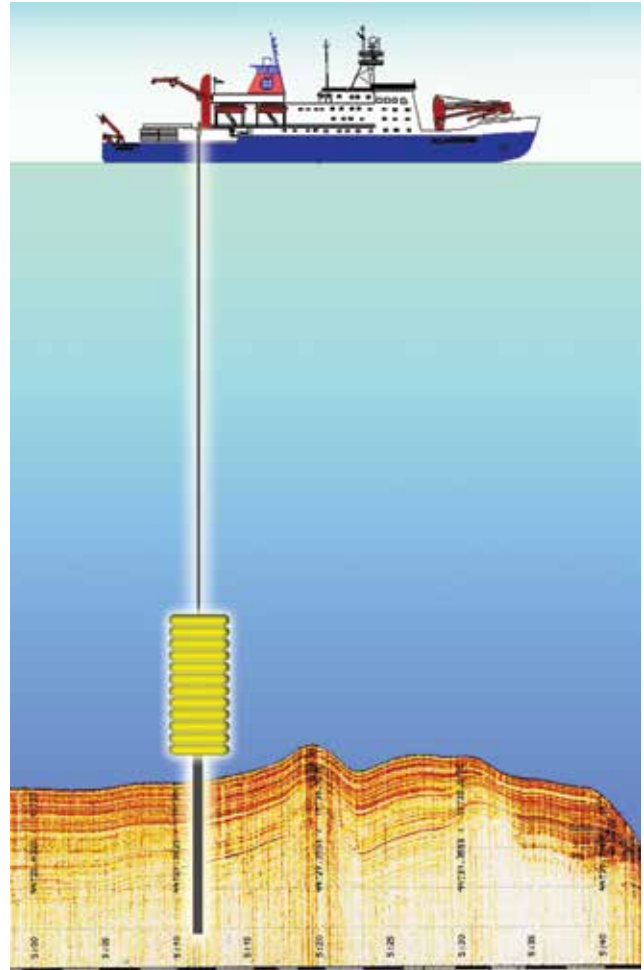
Algo análogo ocurre en el bentos, permanentemente cubierto por el agua. El proceso de perturbación del sustrato (llamado bioturbación), producido por la actividad de los animales vágiles bentónicos, significa la revitalización del fondo mediante la permeabilidad de elementos químicos involucrados en los llamados

ciclos biogeoquímicos. Éste es un aspecto importante de la trama trófica y que ahora se sabe es fundamental en el funcionamiento de las interacciones de mayor orden en el ecosistema acuático. La facilidad con que la agachadiza introduzca el pico en el lodo determinará los alcances y la tasa de su alimentación, dado que el tamaño del grano del sedimento desempeña un papel relevante en la suavidad del sustrato y, por lo tanto, en la selección del microhábitat donde pueda alimentarse con suficiencia.

### ● La ecología del bentos y la contribución de un granito de arena

Las comunidades bentónicas son de las menos conocidas. Una razón de ello es lo poco accesible de este ambiente para la observación directa. Ha sido más fácil tomar muestras de agua (en especial la superficial) que tomar muestras del fondo. Consecuentemente, lo poco que se conoce del bentos ha estado vinculado a los esfuerzos técnicos y logísticos para llegar al fondo, tanto en las ciencias marinas como en las limnológicas.

Un investigador emplea una draga, es decir, un dispositivo de metal de caída vertical que opera por gravedad, y que se deja descender desde una embarcación, para obtener muestras del fondo. La draga consiste en una caja envuelta por dos palas encontradas que se cierran al introducirse en el fondo y permiten capturar lo que se encuentre en el medio. Esta técnica es útil en fondos de grano fino, como limos y arcillas, y quizá en arenas compactadas. En otro caso, se utiliza un nucleador, un artefacto a modo de tubo que se introduce



**Figura 2.** Ilustración de Hannes Grobe/AWI - Own work, CC BY 3.0. <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6103175>>.

en los fondos de granos más compactados y permite extraer cilindros de lodo de los cuales es posible medir incluso la historia de la biota bentónica. Usualmente, el empleo de estos dispositivos está dirigido a la captura de organismos pequeños como gusanos, larvas y pulgas de agua, entre otros (Figura 2). En tanto, se emplean redes de arrastre afianzadas a pesas que las mantienen en el fondo, o bien, trampas cebadas, para obtener organismos de tallas mayores (como moluscos, cangrejos o langostinos).

Las muestras del bentos obtenidas con dichos artefactos constituyen la fuente de información básica para la investigación acerca de cómo las especies se integran como componentes del ecosistema. Las especies bentónicas (o grupos de ellas) también significan los nodos de una red trófica que, podría decirse, se despliega des-

de la columna de agua hasta el seno mismo del fondo acuático. Las redes tróficas del bentos resurgen ahora como uno de los componentes clave en el entramado ecosistémico de mares, lagos y ríos (Sigeo, 2005).

Conforme aumenta la profundidad, otros factores entran en juego. La presión, la temperatura y la intensidad luminosa, entre otras, hacen del seno bentónico un escenario singular (Castro y Huber, 2005). En la superficie, organismos fotosintéticos transforman la luz solar en energía química. Se inicia con ello una trama de eventos, algunos de los cuales, en franco descenso por la columna de agua, llevan parte de dicha energía por lugares recónditos del fondo y en formas diversas y transformadas (como cadáveres y desechos metabólicos de los seres suspendidos o nadadores). En especial, los gradientes asociados a la profundidad de-

terminan las magnitudes en que son afectadas la movilidad y residencia de los organismos bentónicos y, en igual medida, el retorno de la energía a la columna de agua, en forma de materia orgánica. De cierta manera, el bentos representa el punto de inflexión entre lo que se hunde y lo que se reincorpora a la materia flotante.

Uno de los temas actuales en el conocimiento de la ecología acuática es la discusión sobre la heterogeneidad en la distribución de los organismos bentónicos (Omesová y cols., 2008). Hallazgos recientes revelan que los gradientes son especialmente bruscos y presentes en los primeros centímetros superficiales del sedimento. En esta relación, el tamaño del grano tiene un papel esencial. Los granos finos conforman capas de sedimentos poco permeables tanto a los flujos de materia orgánica como a compuestos oxigenados, lo cual da lugar a discontinuidades en el potencial redox, es decir, la distribución vertical de reacciones de óxido-reducción. El sentido en el que los compuestos químicos ganan o pierden electrones ocurre en la medida en que los otros compuestos, donadores o receptores, están disponibles. Por su parte, granos de mayor tamaño (cuando el fondo estuviese compuesto principalmente por limos y arcillas) permiten el paso hacia niveles inferiores del sedimento a potenciales redox positivos (predominancia de materiales oxidados); asimismo, en el sentido inverso. La bioturbación define entonces una frontera o interfase agua-sedimento en donde la actividad del microbentos (bacterias y protozoarios, entre otros) se encarga de la descomposición de la materia orgánica recibida de la columna de agua y su transformación en materia disponible para otros organismos bentónicos responsables de la productividad primaria; por ejemplo, micro y macroalgas (plantas vasculares en el caso de aguas epicontinentales) (Sigeo, 2005).

La productividad primaria, es decir, el balance de la cantidad de materia orgánica que se produce y se consume en un tiempo y en un área determinada, también queda sujeta a los atributos del sustrato sedimentado en los fondos acuáticos. El tamaño del grano sedimentado, ya sea en la composición del fango, o bien, en forma de arena en concreción, determina la persistencia de las estructuras de anclaje de plantas vasculares acuáticas (raíces) o de macroalgas (rizomas). De acuerdo con la distribución de tamaños del grano (y dígame

de paso, también con la composición del sedimento) será la distribución del macrofitobentos. Una gran variedad de algas filamentosas adheridas al sustrato (diatomeas pennales) se suma a esta producción y, al mismo tiempo, a la variedad de dietas de los organismos heterótrofos del bentos. Las distribuciones de las poblaciones del fitobentos determinan a las propias del zoobentos (Framer y cols., 2007). Las rutas dentro de la trama trófica se continúan hasta abandonar el fondo y ascender a la zona eufótica de la columna de agua, pasando por gusanos (nemátodos, poliquetos y oligoquetos), artrópodos (como copépodos y cladóceros) y demás alimañas excluidas del arca de Noé.

Podría decirse que un grano de arena, o de limo o del material que sea, contribuye a la totalidad del proceso ecológico en el fondo acuático mediante una dinámica de concreción-dispersión de todo cuanto se hunde y toca fondo.





### El diluvio y el bentos

Al mencionar la palabra *diluvio* es muy probable que la intuición colectiva evoque aquél por el cual el legendario Noé se tomara 75 años construyendo su afamada embarcación para salvar a todos los seres perfectos del mundo. Para precisar, un diluvio es una lluvia intensa, y representa el superlativo de la tormenta. Lo notable en esta historia es la amplitud de dicho evento meteorológico. Según los escritos religiosos (en especial de los hebreos), esta lluvia legendaria abarcó todo el planeta, hasta cubrir de agua las partes más altas. Cabe decir, entonces, que el diluvio no fue univer-

sal, sino mundial. Se trató, pues, de un evento a macroescala que dejó, al menos por un tiempo, al sistema bentónico carente de horizontes o zonas de transición agua-tierra en el plano terráqueo.

A escala amplia, la del orbe en sí, los procesos y patrones del sistema bentónico mencionados pueden acoplarse, interactuar y expresarse a niveles en que se pierden de vista las partes y sólo se observa el todo; es decir, surgen ciertas propiedades a partir de la autoorganización de entes en escalas y niveles más bien discretos y distinguibles. Consecuentemente, la conducta macroscópica se asocia con propiedades emergentes

que no dependen de la naturaleza microscópica del sistema (Cocho y Miramontes, 2000). Por lo tanto, a escalas mayores, disminuye la preponderancia del tamaño del grano, aunque sigue siendo un punto de referencia en el desarrollo de los patrones y procesos del sistema acuático.

Un aumento abrupto del volumen del agua (supóngase, el generado por el diluvio) sobre la faz de la Tierra (dígase, la parte continental), a escalas comparables a las oceánicas, se esperaría que resultase en ríos desbordados, planicies inundadas, deslaves y materiales arrastrados por corrientes inusitadas. Según el relato bíblico (Génesis VII:24), el diluvio cesó después de 40 días, pero no fue sino hasta el decimoséptimo día del séptimo mes que las aguas bajaron y el arca encalló en la cúspide del monte Ararat (montaña ubicada en las inmediaciones del Mar Negro, en tierras actualmente turcas). Bajo estas condiciones, debió haber habido una gran acumulación de agua extendida verticalmente. En un cálculo *grosso modo*, según la versión bíblica y tomando como referencia el nivel actual del mar luego del diluvio, la columna de agua debió haber aumentado por lo menos 5 000 metros (el monte Ararat tiene poco más de esta altitud: 5 165 msnm). Esto significa una masa de agua dulce de aproximadamente 2.08

millones de  $\text{km}^3$  vertida sobre el mar existente (el volumen actual del océano es de aproximadamente 1.3 millones de  $\text{km}^3$ ) y, por lo tanto, una dilución resultante a más del doble: una disminución de la salinidad desde 35 a por lo menos 17.5 ppm. No solamente hubiesen desaparecido las fronteras físicas mar-tierra, sino que en un cuerpo de agua mundialmente más diluido, los problemas para organismos marinos estenohalinos (con baja tolerancia a los cambios de salinidad del ambiente) hubieran sido insalvables.

Si el tamaño del grano es una variable que determina en gran medida la heterogeneidad del medio bentónico (con sus ya mencionadas implicaciones ecológicas), a escalas mayores (las del planeta completamente inundado) este factor determinaría un nuevo arreglo y composición de los sedimentos alterados por procesos de tipo oceánico, como corrientes y flujos de grandes masas de agua, frentes oceánicos y turbulencias monumentales, balances entre tasas de sedimentación y de arrastre. Serían las propiedades emergentes las que explicarían los efectos de un acontecimiento de tal magnitud. ¿Cómo se verían las dunas legendarias del Sahara convertidas en un improvisado fondo arenoso? ¿Hubiese dado tiempo de que estas arenas fuesen transportadas y depositadas en algún lugar del Serengueti, por ejemplo?







El escenario de los fondos tanto marinos como limnéticos cambiaría drásticamente. Por ejemplo, se sabe que los ríos poseen una dinámica particular en sus comunidades bentónicas, donde son aspectos relevantes la geomorfología y la unidireccionalidad en el movimiento de sus aguas (Lampert y Sommer, 2007). Rebasados los límites de ríos en toda su extensión, carece de sentido hablar de dichas propiedades fluviales, incluso en los lagos de tamaño mediano. Los organismos móviles se dispersarían; pero los sésiles y los dependientes de corrientes continuas y bien oxigenadas sufrirían las consecuencias de encontrarse en aguas estancadas a miles de metros de la superficie. De pronto, se les exigirían requerimientos propios de una vida abisal, es decir, como las que presentan los organismos marinos que viven a profundidades mayores a los 4 000 metros.

Durante el periodo de retirada de las aguas, es factible que miles de poblaciones y especies bentónicas se hayan extinguido, en especial las sésiles o medianamente errantes. Desde luego, la zona eufótica hubiese quedado alejada del fitobentos (particularmente importante en los cuerpos de agua limnéticos) y de sistemas faunísticos como los arrecifes de coral. El aspecto del bentos cambiaría en posibles poblaciones extintas al unísono, algo que no es nuevo en la historia de la Tierra. Si Athanasius Kircher hubiese tenido a la mano cierta información sobre la ecología bentónica, quizá habría considerado que algunos lugares del arca hayan sido reservados para organismos bentónicos con cualidades clave en las tramas tróficas.

Al bajar las aguas, los animales del arca fueron liberados con la encomienda de reproducirse y repoblar la Tierra (incluidos los humanos). Mas no obstante la biodiversidad disminuida, el repoblamiento y la recuperación de los ecosistemas ocurrirían en cuestión de poco tiempo, mediante procesos pensados por monjes medievales: la flora y la fauna (incluidas las especies bentónicas) volverían a renovarse mediante generación espontánea y los animales desembarcados se dispersarían y serían “lícitos” los cruces entre especies, de modo que con el paso de los tiempos, no sería raro encontrarse con tipos de organismos que nunca abordaron el arca.

### ● **Conclusión**

En el contexto de un diluvio mundial, podrían señalarse muchos escenarios respecto a las probables facetas del sistema bentónico, tantos como un diluvio de especulaciones. Relacionar al llamado diluvio universal –tema usualmente religioso– con un concepto seminal de la ecología acuática –tal como es el sistema bentónico– podría, en primera instancia, pensarse como irreverente, o bien, carente de laicidad; es decir, como un intento de difundir la ciencia con soterrados discursos religiosos. Pero éste no es el caso; ser lúdico en la imaginación de las cosas reales y en especial de aquellas formalmente estudiadas por la ciencia puede dar a esta imaginación una vocación didáctica. El maestro Francisco del Paso ha dicho alguna vez (*La Jornada*, 15-19 de marzo de 2002) que merece la pena



retomar el concepto de *laicidad* en su justa medida y considerar el acervo que prodigan las religiones en sus cosmogonías para fines educativos. Tomar del mito y la leyenda los escenarios propicios para explicar procesos y patrones existentes en la naturaleza puede ser una enriquecedora alternativa en la instrucción de los conceptos generales de la ecología acuática (o de cualquier otro tema).

El estudio de los procesos ecológicos que ocurren en el bentos está actualmente enfocado al manejo de sus recursos naturales, particularmente los recursos hídricos, la limpieza de los materiales sedimentarios (Davis y Masten, 2005) y la salud de organismos bentónicos potencialmente aprovechables como alimento (Spellman, 1998). La posible escasez del agua útil y también un exceso de ésta en formas torrenciales y descontroladas a nivel mundial sería la norma en los años siguientes. Por ello, siempre es conveniente una humanidad educada al respecto.

Finalmente, habría que decir que ni la estirpe del gusano o del molusco bentónico ni la de la agachadiza que se alimenta de ellos se inmutan por los relatos de un diluvio de antaño, ni tampoco por el colorido del arcoíris, prenda de la promesa divina de que un diluvio universal jamás volverá a ocurrir.

**Felipe Becerril Morales** estudió Biología Marina (Universidad Autónoma de Baja California Sur) y Ecología (maestría en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, y doctorado en el Instituto de Ecología, A. C.). Se ha especializado en

temas de ecología de la conducta y estudios poblacionales de fauna silvestre en diversos grupos, como insectos, decápodos, peces, anfibios y aves. Actualmente es profesor-investigador en la Universidad del Papaloapan, en el estado de Oaxaca.

jelipano@yahoo.com.mx

### Lecturas recomendadas

- Castro, P. y M. E. Huber (2005), *Marine Biology*, 5a. ed., Nueva York, McGraw-Hill.
- Cocho, G. y P. Miramontes (2000), "Patrones y procesos en la naturaleza, la importancia de los protectorados", *Ciencias*, 59:14-22.
- Davis, M. L. y S. J. Masten (2005), *Ingeniería en ciencias ambientales*, México, McGraw-Hill.
- Framer, K., H. Hunt y R. Kaustuv (2007), "Intertidal meiofaunal biodiversity with respect to different algal habitats: a test using phytal ostracodes from Southern California", *Hydrobiologia*, 1(586):331-342.
- Lampert, W. y U. Sommer (2007), *Limnoecology*, 2a. ed., Oxford, Oxford University Press.
- Omesová, M., M. Horsák y J. Helešic (2008), "Nested patterns in hyporheic meta-communities: the role of body morphology and penetrability of sediment", *Naturwissenschaften*, 95(10):917-926.
- Papavero, N., J. R. Pujo-Luz y J. Llorente-Bousquets (2001), *Historia de la biología comparada, desde el Génesis hasta el Siglo de las Luces*, vol. IV. De Descartes a Leibniz (1628-1716), México, UNAM.
- Sigeo, D. C. (2005), *Freshwater microbiology, biodiversity and dynamic interactions of microorganisms in the aquatic environment*, West Sussex, John Wiley & Sons LTD.
- Spellman, F. R. (1998), *The science of water, concepts and applications*, Boca Ratón, CRC Press.

