

conduzcan a la aparición de una nueva enfermedad. En general hay una gran interrelación entre las alteraciones en el medio físico y social que unidas a la gran capacidad

de variabilidad de los virus RNA pueden determinar la emergencia de una nueva enfermedad o dificultar la erradicación de otras ya existentes.

## CRECIMIENTO FRENTE A SALINIDAD EN LOS PECES TELEÓSTEOS

Francisco Jesús Arjona\*, Ignacio Ruiz-Jarabo#, Luis Vargas-Chacoff\*, María del Pilar Martín del Río y Juan Miguel Mancera

Becarios predoctorales (\*), alumno de Tercer Ciclo (#) del Programa de Doctorado «Ciencias del Mar» y Profesores Titulares del Departamento de Biología, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz.

### Introducción a los problemas osmóticos de los teleósteos

Los peces teleósteos viven en ambientes con una composición distinta a la del medio interno, existiendo un flujo pasivo de agua e iones entre ambos medios. En el caso de los teleósteos eurihalinos, éstos presentan la capacidad de poder vivir en distintas salinidades ambientales. El teleósteo presenta, en función de la salinidad del medio en el que se encuentre, dos estrategias osmorreguladoras diferentes para mantener la homeostasis en su medio interno: a) una regulación hipoosmótica en los animales adaptados a un ambiente hiperosmótico que contrarresta la ganancia pasiva de iones y la pérdida osmótica del agua, y b) una regulación hiperosmótica en los animales adaptados a un ambiente hipoosmótico que contrarresta la entrada pasiva de agua y la pérdida de iones hacia el ambiente. Ambas modalidades de osmorregulación son posibles gracias a diferentes órganos osmorreguladores (branquias, riñón, tubo digestivo, etc.), cuya actividad se encuentra controlada por un elevado número de hormonas hipofisarias (prolactina, hormona del crecimiento, etc.) y extrahipofisarias (cortisol, hormonas tiroideas, etc.) [Evans, *The physiology of fishes*. CRC Press, Boca Raton, Fla: 315-341 (1993)].

### Salinidad y acuicultura

Las diversas actividades o funciones fisiológicas, entre ellas la capacidad de crecimiento, de los peces teleósteos las controlan o sincronizan tanto factores internos (nerviosos, endocrinos y neuroendocrinos) como externos (ecológicos). Dentro de los factores ecológicos se pueden distinguir dos tipos: a) factores determinantes (temperatura, salinidad, fotoperíodo) que influyen directamente sobre el crecimiento aumentándolo o disminuyéndolo, y b) factores limitantes para los cuáles existe un determinado umbral ( $\text{NH}_4^+$  u oxígeno disuelto) o un margen de tolerancia específico (pH) [Bouef y Payan, *Comp. Biochem. Physiol. Part C* **130**: 411-423 (2001)].

Entre los factores ecológicos, la salinidad es un factor específico del medio acuático y que, por tanto, constituye una variable susceptible de ser modulada en el sector acuícola. La mayoría de los cultivos en la región suratlántica española (costas de Cádiz y Huelva) se desarrollan en esteros, los cuáles están sometidos a variaciones de

la salinidad ambiental que suponen situaciones de estrés osmótico e iónico para las especies cultivadas. Sin embargo, las especies eurihalinas cultivadas en los mismos (dorada, lenguado, lubina) pueden hacer frente a los cambios en la salinidad ambiental gracias a la actividad de su sistema osmorregulador. Los procesos osmorreguladores requieren mucha energía y aquellas salinidades ambientales que disminuyan las necesidades energéticas derivadas de los procesos osmorreguladores podrían salvar energía y ayudar a maximizar el crecimiento. El conocimiento de la salinidad óptima de cultivo para las especies cultivables supone una herramienta muy útil para que el acuicultor pueda elegir la mejor ubicación geográfica para su instalación acuícola, con el objetivo de mantener dicha salinidad óptima durante la mayor parte del año.

Muchos autores han demostrado la influencia de la salinidad ambiental sobre el crecimiento de los teleósteos eurihalinos de interés en acuicultura. Laiz-Carrión y cols [*Aquaculture* **250**: 849-861 (2005)] han descrito que los ejemplares juveniles de *Sparus auratus* crecen mejor en las salinidades intermedias (12 ‰), cercanas al punto isoosmótico del medio interno de esta especie, en comparación con el agua del mar (38 ‰) o el agua salobre (6 ‰). Por el contrario, Arjona y cols (datos no publicados) han descrito que los juveniles inmaduros de *Solea senegalensis* crecen de forma similar en salinidades de 25 ‰ y 39 ‰, mientras que en la salinidad cercana al punto isoosmótico (15 ‰) crecen menos. De esta forma, la salinidad óptima de cultivo, aparentemente, va a depender de la especie estudiada, aunque la mayoría de los estudios reflejan un mayor crecimiento en las salinidades intermedias (cercanas al punto isoosmótico) [Bouef y Payan, *Comp. Biochem. Physiol. Part C* **130**: 411-423 (2001)].

### ¿Qué provoca un mejor crecimiento en determinadas salinidades ambientales?

La existencia de un mayor crecimiento en una determinada salinidad puede ser debida a distintos factores [Bouef y Payan, *Comp. Biochem. Physiol. Part C* **130**: 411-423 (2001)]: a) la existencia de una tasa metabólica estándar menor, b) un aumento de la ingestión de alimento o de la eficacia en la conversión del mismo,

y c) una estimulación hormonal.

**a) Existencia de una tasa metabólica estándar menor**

La estimación del coste metabólico que supone la osmorregulación en distintos ambientes salinos se ha realizado mediante: 1) medida directa del consumo del O<sub>2</sub> total por el teleosteo o en tejidos específicos del mismo, y 2) medidas del consumo de O<sub>2</sub> dedicado exclusivamente a los procesos osmorreguladores.

Las medidas del consumo de O<sub>2</sub> total reflejan que los teleosteos muestran las menores tasas metabólicas en las salinidades cercanas al punto isoosmótico donde los gradientes entre el medio interno del animal y el medio externo son mínimos. Esto apoya la hipótesis de que el coste energético que suponen los procesos osmorreguladores es menor en un medio isoosmótico, resultando una mayor cantidad de energía disponible para al crecimiento. De esta forma, se podría decir que los peces teleosteos se encuentran condicionados por la necesidad de cumplir con un «compromiso osmorregulador» [Nilsson, *Fish Physiology: Recent Advances*. Croom Helm, London: 87-101 (1986)].

Por otra parte, las medidas del consumo de O<sub>2</sub> dedicado exclusivamente a procesos osmorreguladores se basan en las siguientes aproximaciones: 1) el mecanismo central del proceso osmorregulador es el transporte activo de Na<sup>+</sup>, 2) la mayoría de la energía que supone el proceso osmorregulador la consume la bomba Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>-ATPasa, y 3) la relación entre el ATP consumido para el transporte de Na<sup>+</sup> se conoce para la mayoría de los procesos de transporte epiteliales [Kirschner, *J. Exp. Zool.* **267**: 19-26 (1993); Kirschner, *J. Exp. Zool.* **271**: 243-252 (1995)]. Las medidas obtenidas usando este procedimiento son considerablemente bajas en comparación con las que se obtienen con la medición de consumo del O<sub>2</sub> total, representando aproximadamente el 10 % de la tasa metabólica estándar total en agua de mar y mucho menos en agua dulce. Sin embargo, en estas medidas no se ha tenido en cuenta el transporte extrusivo de Cl<sup>-</sup> branquial a través del canal iónico CFTR que implica la hidrólisis de ATP, no cuantificándose este proceso [Hirose *et al.*, *Comp. Biochem. Physiol. Part B* **136**: 593-620 (2003)]. También, el transporte branquial del NaCl a través de las células no se conoce en su totalidad, y se postula que el transporte de Na<sup>+</sup> no es un proceso que ocurre directa y exclusivamente a través de la bomba Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>-ATPasa. De esta forma, la energía requerida para el proceso osmorregulador se subavolara de acuerdo con la metodología descrita por Kirschner [Bouef y Payan, *Comp. Biochem. Physiol. Part C* **130**: 411-423 (2001)]. No obstante, hasta la actualidad, la cuantificación del coste energético osmorregulador ha mostrado siempre que se trata de un proceso que supone poco «gasto» en términos de energía.

**b) Aumento de la ingestión de alimento y/o de la eficacia en la conversión del mismo**

Existen una gran cantidad de estudios que han descrito alteraciones de las enzimas digestivas en respuesta a los cambios de las condiciones osmóticas, lo cual repercute en la digestibilidad y, en consecuencia, en la eficacia de la conversión del alimento. También se ha descrito que la salinidad afecta el transporte de nutrientes, lo que podría afectar a la disponibilidad de algunos macronutrientes [Rubio y cols, *Physiol. Behav.* **85**: 333-339 (2005)]. De esta forma, existen pruebas de que la salinidad afecta la tasa de ingestión y la eficacia en la conversión del alimento. La mayoría de los estudios realizados hasta la fecha describen que la tasa de ingestión aumenta en salinidades intermedias, sin embargo se pueden encontrar también numerosas excepciones en la bibliografía, y se puede concluir que, efectivamente, existen indicios de influencia de la salinidad sobre la ingestión y conversión de alimento, pero hasta ahora no se ha determinado claramente esta relación, para la que todavía se necesitan más estudios.

**c) Estimulación hormonal**

Algunos estudios han señalado la implicación de las mismas hormonas tanto en los procesos osmorreguladores como en el crecimiento de los teleosteos. En este sentido, la hormona del crecimiento (GH) interviene en los procesos hiposmorreguladores de algunas especies, apareciendo en concentraciones relativamente elevadas en los ejemplares eurihalinos que habitan ambientes hiperosmóticos. Por tanto, habría interacción crecimiento-salinidad vía GH. De hecho, el eje somatotrópico (que incluye la GH, el receptor de la GH, la somatomedina IGF1 y su receptor) es un gran regulador tanto del crecimiento como de la aclimatación a agua de mar [Mancera y McCormick, *Gen. Comp. Endocrinol.* **111**: 103-112 (1998)]. Por su parte las hormonas tiroideas (T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>) están claramente implicadas en la regulación del crecimiento en los teleosteos y también en los procesos osmorreguladores de algunas especies [Parker y Specker, *Fish Physiol. Biochem.* **8**: 507-514 (1990)]. Otras hormonas que regulan los procesos osmorreguladores son el cortisol y la prolactina (PRL) en el caso de la aclimatación a los ambientes hiposmóticos [McCormick, *Am. Zool.* **282**: 290-300 (2001)]. Sin embargo, no se ha descrito por el momento una influencia de estas hormonas sobre el crecimiento de los teleosteos.

**Conclusión**

En los teleosteos existe un amplio conocimiento sobre los diversos procesos fisiológicos que se ven influidos por la salinidad y que interaccionan con su crecimiento. Sin embargo, no existe un modelo o explicación estándar válida de la interacción salinidad-crecimiento para todas las especies, por lo que es necesario profundizar y aumentar los estudios al respecto.