Resumen

Tanto los hábitats naturales como los sistemas de producción se ven afectados por las consecuencias del cambio climático. Concretamente, el incremento de la temperatura tiene efectos negativos sobre el metabolismo, la fisiología y el comportamiento de los organismos acuáticos y, en especial, de los peces. Por este motivo, el presente trabajo pretende estudiar los efectos del aumento de la temperatura en una especie de gran interés en la acuicultura mediterránea, la lubina (*Dicentrarchus labrax*). Para ello, se testaron 3 temperaturas ambientales en juveniles de lubina durante 4 semanas: 19ºC (CTRL), 23ºC (T23) y 27ºC (T27). Tras el periodo experimental, se obtuvieron muestras de plasma e hígado para analizar distintos parámetros fisiológicos y metabólicos. El incremento de temperatura causó una disminución del oxígeno disuelto y del ion amonio en el agua, acelerando la tasa metabólica y el crecimiento de los peces, sin causar mortalidad. De acuerdo con esto, los niveles de proteína plasmáticos aumentaron en los peces mantenidos a 27ºC, consecuencia de un aumento del anabolismo proteico que, junto con la ligera reducción de las reservas de glucógeno observada en el hígado de dichos peces, sugieren un aumento de la demanda energética. En conclusión, la lubina presentó un mayor crecimiento a la temperatura más alta testada, como resultado de un aumento de la tasa metabólica. Sin embargo, existen indicadores que comienzan a mostrar algunos de los inconvenientes que se producen como resultado de un incremento del metabolismo a temperaturas altas, posiblemente relacionado con las mayores tasas energéticas y demanda de oxígeno.

Introducción

El calentamiento global es una amenaza para las poblaciones de peces salvajes a nivel mundial debido al aumento crónico de la temperatura y a la frecuencia de olas de calor extremas (Alfonso *et al.*, 2020). Del mismo modo, los sistemas de producción alimentaria y, en concreto la acuicultura, también se ven afectados por el cambio climático (Maulu *et al.*, 2021). De hecho, los peces, como animales ectotermos, son particularmente vulnerables a los cambios de la temperatura del agua, afectando a su fisiología, metabolismo y comportamiento. Desde un punto de vista energético, temperaturas más altas favorecen las tasas de las reacciones bioquímicas (Ritchie, 2018), lo que lleva a un incremento del metabolismo y de los efectos secundarios derivados, como el estrés oxidativo. Por tanto, la exposición prolongada a altas temperaturas puede alterar la función del eje del estrés y afectar negativamente a funciones no críticas como el crecimiento, la reproducción o la inmunidad. Todo esto puede comprometer la capacidad de respuesta frente a fuentes adicionales de estrés, lo que resulta particularmente importante en ambientes multiestresantes, donde se combinan varios factores que rompen el equilibrio dinámico de los ejemplares, derivados del cambio climático global (acidificación de los océanos, alteraciones de la salinidad, cambios en los patrones de precipitación o del nivel del mar) o de las propias actividades acuícolas (condiciones del agua, nutrición o manejo). Por tanto, conocer los efectos de la temperatura en la fisiología del estrés y el metabolismo nos permitiría predecir las consecuencias del cambio climático sobre la capacidad de las distintas especies de peces para tolerar o adaptarse a estos cambios, tanto en los ecosistemas acuáticos naturales como en la producción acuícola.

Material y Métodos

Juveniles de lubina (*Dicentrarchus labrax*) de 27 g de peso medio se mantuvieron a 3 temperaturas distintas (19, 23 y 27ºC) en sistemas de recirculación independientes. Para ello se distribuyeron 180 peces en 18 tanques (6 tanques/condición experimental) y se aclimataron durante una semana a 19ºC. Tras este periodo, un grupo experimental se mantuvo a la misma temperatura (CTRL) mientras que, en los otros dos sistemas se incrementó de manera gradual (1ºC/día) hasta llegar a 23ºC (T23) y a 27ºC (T27). Los peces se mantuvieron a estas temperaturas durante 4 semanas y se alimentaron *ad libitum* con una dieta comercial. Diariamente se midió la temperatura, el O_2 y el $NH4^+$. Las condiciones de salinidad (35 ppm) y fotoperiodo (10h L:14h O) permanecieron constantes durante todo el experimento. Tras finalizar el periodo experimental, se obtuvieron muestras biológicas de los diferentes grupos en las que se llevaron a cabo análisis de distintos parámetros fisiológicos y metabólicos en plasma y/o hígado.

Resultados y Discusión

Los parámetros del agua se vieron afectados a lo largo del experimento por la temperatura, cuyo incremento provocó una disminución de la concentración de oxígeno disuelto y del ion amonio ($NH4^+$), cuya toxicidad es menor que la del amoniaco (NH_3) en los organismos acuáticos. Por otro lado, tras 4 semanas, los peces mantenidos a temperaturas más altas alcanzaron un mayor peso final, lo cual coincide con el llamado coeficiente de crecimiento térmico, en el que un incremento de la temperatura acelera la tasa metabólica, resultando en un mayor crecimiento (Jobling, 2003). Sin embargo, temperaturas extremas desencadenan una respuesta al estrés, pudiendo llegar a causar la muerte (Islam *et al.*, 2021). Por tanto, la falta de mortalidad en el presente experimento nos indicaría que las temperaturas testadas se encuentran dentro de

los límites tolerados por la especie (19-27ºC). Además, los animales mantenidos a las temperaturas más altas mostraron un ligero aumento (no significativo) de la ingesta respecto al CTRL, sobre todo a 27ºC, lo que no se vio reflejado en un aumento del peso final con relación al grupo T23. Esto, junto con la tendencia observada en el factor de condición (mayor a 23ºC) corrobora el incremento de la tasa metabólica a 27ºC (mayor gasto energético y menor acúmulo graso). A nivel plasmático, se observó un incremento de la osmolalidad con la temperatura más alta, mientras que los niveles de glucosa y lactato mostraron un perfil homeostático en los distintos grupos. Sin embargo, los niveles de proteína plasmáticos incrementaron en los peces mantenidos a 27ºC (Fig. 1A). Esto podría indicar un aumento del anabolismo proteico consecuencia de un metabolismo más acelerado, ya que la disminución de los niveles de proteína son el reflejo de la activación del catabolismo proteico, lo que se ha relacionado con el estrés térmico (Islam *et al.*, 2021). Contrariamente, los triglicéridos plasmáticos disminuyeron en el grupo T27 (Fig. 1B), cuyo aumento ha demostrado ser un buen indicador de estrés ambiental en varias especies de peces (Islam *et al.*, 2022). Por otro lado, el colesterol plasmático disminuyó ligeramente en las altas temperaturas, especialmente a los 23ºC, mientras que este metabolito incrementó en el hígado de los peces mantenidos a 27ºC (Fig. 1C y D). Finalmente, los niveles de glucosa y lactato en el hígado se mantuvieron estables en los distintos grupos, con una ligera tendencia a aumentar en los grupos con la mayor temperatura mientras que los depósitos de glucógeno disminuyeron 27ºC (Fig. 1E), por el aumento de la demanda energética descrita anteriormente. En conclusión, los peces sometidos a una mayor temperatura crecieron más gracias a un aumento de la tasa metabólica, que no causó problemas a las temperaturas testadas. Sin embargo, algunos parámetros parecen mostrar el límite de tolerancia entre las ventajas e inconvenientes que produce un incremento del metabolismo por un aumento de la temperatura en el caso extremo de 27ºC.

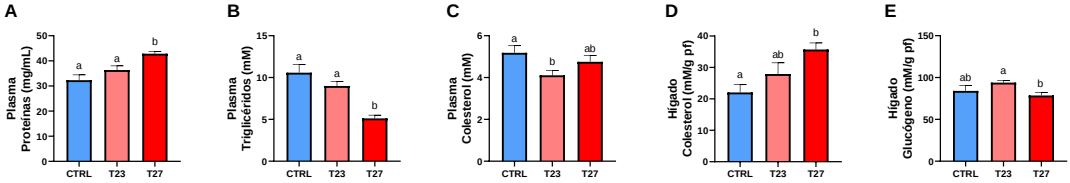

Figura 1. Metabolitos plasmáticos (A, B y C) y hepáticos (D y E) en juveniles de lubina mantenidos a 19ºC (CTRL), 23ºC (T23) y 27ºC (T27) durante 4 semanas. Los valores corresponden a la media ± EEM de 12 peces. Las letras muestran diferencias significativas entre grupos (ANOVA de una vía y prueba de Tukey; *P*<0,05). Pf: peso fresco.

Palabras Clave: bienestar animal, calentamiento global, lubina, metabolismo.

Bibliografía

Alfonso, S., M. Gesto y B. Sadoul. 2021. *Journal of Fish Biology*. 98(6):1496-1508.
Islam, M. J., M. J. Slater, M. Bögner, S. Zeytin y A. Kunzmann. 2021. *Aquaculture*. 522:735093.
Islam, M. J., A. Kunzmann y M. J. Slater. 2022. *Journal of the World Aquaculture Society*. 53(2):314-366.
Jobling, M. 2003. *Aquaculture Research*. 34:581-584.
Maulu, S., O. J. Hasimuna, L. H. Haambiya, C. Monde, C. G. Musuka, T. H. Makorwa… y J. D. Nsekanabo. 2021. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 5:609097.
Ritchie, M. E. 2018. *Scientific reports*. 8(1):11105.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto Europeo IGNITION “Improving GreeN Innovation for the blue revoluTION: new tools and opportunities for a more sustainable animal farming” cofinanciado por la Unión Europea y el UK Research and Innovation (UKRI) (Call: HORIZON-CL6-2022-FARM2FORK-01). Paula Simó-Mirabet cuenta con un contrato postdoctoral “Juan de la Cierva-formación” (Ref. FJC2021-047759-I).

Correo del Autor: paula.simo@uca.es