

# Bienestar Animal en la Acuicultura de Peces: Atenuación del Estrés a través de la Dieta y mediante el Empleo de Anestésicos durante el Transporte

Ismael Jerez-Cepa

Doctor en Recursos Marinos, Investigador Post-doctoral en la Universidad de Cádiz.  
Departamento de Biología, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Instituto Universitario de Investigación Marina (INMAR), Universidad de Cádiz (UCA), Campus de Excelencia Internacional del Mar (CEI·MAR), Puerto Real, Cádiz (España)  
<https://orcid.org/0000-0003-4072-1630>

Ignacio Ruiz-Jarabo

Doctor en Recursos Marinos, Investigador Post-doctoral en la Universidad de Cádiz.  
Departamento de Biología, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Instituto Universitario de Investigación Marina (INMAR), Universidad de Cádiz (UCA), Campus de Excelencia Internacional del Mar (CEI·MAR), Puerto Real, Cádiz (España)  
<https://orcid.org/0000-0002-3918-0921>

Juan Miguel Mancera

Doctor en Ciencias Biológicas. Catedrático de Zoología. Universidad de Cádiz. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Instituto Universitario de Investigación Marina (INMAR), Universidad de Cádiz (UCA), Campus de Excelencia Internacional del Mar (CEI·MAR), Puerto Real, Cádiz (España)  
<https://orcid.org/0000-0003-0751-5966>



Recepción: Octubre 2019  
Aceptación: Octubre 2019

**Cita recomendada.** JEREZ-CEPA, I., RUIZ-JARABO, I., MANCERA, J.M., Bienestar Animal en la Acuicultura de Peces: Atenuación del Estrés a través de la Dieta y mediante el Empleo de Anestésicos durante el Transporte, en dA. Derecho Animal (Forum of Animal Law Studies) 10/4 (2019) - DOI <https://doi.org/10.5565/rev/da.463>

## Resumen

La acuicultura de peces genera situaciones de estrés que disminuyen las condiciones de bienestar animal y el rendimiento económico del cultivo. En este artículo exponemos dos posibilidades para la atenuación del estrés en la dorada (*Sparus aurata* L.), una de las especies emblemáticas de la acuicultura nacional y europea.

Palabras clave: bienestar, estrés, acuicultura, dorada, atenuación, aditivos, anestésicos

*Abstract - Animal Welfare in Fish Aquaculture: Stress Attenuation through the Diet and the Use of Anesthetics during Transport*

Fish aquaculture generates stressful situations that reduce animal welfare conditions and the economic benefits. In this article, we expose two possibilities for stress attenuation in the gilthead seabream (*Sparus aurata* L.), an emblematic species for the national and European aquaculture.

Keywords: welfare, stress, aquaculture, gilthead seabream, attenuation, additives, anesthetics

## Sumario

- Bienestar y estrés en acuicultura
- Regulación endocrina y efectos fisiológicos del estrés
- Atenuación del estrés en acuicultura
- Consideraciones finales

## Bienestar y Estrés en Acuicultura

El bienestar es prioritario tanto para el desarrollo de las instalaciones de cultivo como para la cría de animales para consumo humano. Tanto la legislación, como los consumidores, demandan productos que garanticen las condiciones de bienestar de los animales, por lo que es necesario optimizar los procesos de producción actuales atendiendo a esta demanda. Un aumento del bienestar de los animales de cultivo mejora el rendimiento de las instalaciones y, por tanto, el beneficio económico de los productores. El bienestar es un concepto influenciado por la percepción humana y, en ocasiones, complicado de relacionar con el estado fisiológico de los animales. Tradicionalmente, el bienestar se ha ligado al cumplimiento de los Cinco Principios de Libertad<sup>1</sup>, establecidos por el “Farm Animal Welfare Council” (FAWC), los cuales garantizan el cumplimiento de las necesidades vitales de los animales y la ausencia de experiencias negativas (Tabla 1).

**Tabla 1.** Los “Cinco Principios de Libertad” y las necesidades cubiertas que garantizan el bienestar animal. Modificado de Mellor (2016)<sup>2</sup>.

Principio de Libertad	Necesidades cubiertas
I. Libres de sed, hambre y malnutrición	Acceso directo a agua potable y a una dieta que garantice el vigor y la salud
II. Libres de malestar y vulnerabilidad	Acceso a un ambiente adecuado que incluya un lugar de abrigo y descanso confortable
III. Libres de dolor, lesiones y enfermedades	Prevenir, diagnosticar y tratar rápidamente las posibles enfermedades
IV. Libres de miedo y angustia (agotamiento)	Asegurar las condiciones y el trato que eviten el sufrimiento mental
V. Libres para expresar su comportamiento	Proporcionar espacio suficiente, instalaciones adecuadas y compañía de congéneres

Desde un punto de vista fisiológico, el bienestar animal está ligado al concepto de estrés. El estrés se define como el conjunto de respuestas fisiológicas dirigidas al restablecimiento del equilibrio dinámico del medio interno de un organismo (homeostasis), ante los estímulos intrínsecos o extrínsecos (agentes estresantes) que alteran ese estado fisiológico natural.

En la rutina de una instalación de acuicultura se dan situaciones que pueden activar las respuestas del estrés en los animales de cultivo. Procesos tales como el manejo de los individuos, la clasificación de lotes, la inadecuada densidad de cultivo, el ayuno previo al sacrificio o el transporte entre instalaciones, generan la activación de los sistemas endocrinos del estrés<sup>3</sup>. Este hecho no tiene por qué condicionar el bienestar de los animales; sin embargo, cuando la intensidad y la duración y reiteración de las situaciones de estrés, superan la capacidad de aclimatación de los animales, las respuestas del estrés pueden generar efectos negativos sobre su estado fisiológico, comprometiendo así su bienestar. De manera general, los agentes estresantes se

<sup>1</sup> WEBSTER, J., *Animal Welfare: Limping Towards Eden* (Oxford, 2005).

<sup>2</sup> MELLOR, D., Updating Animal Welfare Thinking: Moving beyond the “Five Freedoms” towards “A Life Worth Living”, en *Animals*. 6 (2016), 21.

<sup>3</sup> SNEDDON, L. U. - WOLFENDEN, D. C. C. - THOMSON, J. S., Stress Management and Welfare, en *Fish Physiology: Biology of Stress in Fish* (Elsevier, 2016).

pueden clasificar en factores agudos y crónicos, aunque dependen del contexto de cada situación de estrés. Los procesos agudos serían aquellos de corta duración y variable intensidad, como escapar de un depredador o ser perseguidos por una red. Los procesos crónicos serían aquellos de duración prolongada o repetidos en el tiempo, normalmente de magnitud inferior pero constante, como la inapropiada densidad de cultivo en un tanque o la jerarquía social durante la alimentación<sup>4</sup>.

La cascada de respuestas fisiológicas derivadas de la exposición a los agentes estresantes se enmarca dentro del denominado Síndrome de Adaptación General (“General Adaptation Syndrome” – GAS, de sus siglas en inglés) formulado por Selye (1950)<sup>5</sup>. En primera instancia, ante la presencia de un peligro o amenaza para la homeostasis se activa la fase de alarma inicial, o reacción “fight or flight”<sup>6</sup>. Esta fase está enfocada a la liberación y suministro de recursos energéticos para afrontar y sobreponerse al peligro. Posteriormente, si la amenaza perdura en el tiempo, el organismo entra en fase de resistencia y se pueden dar varias situaciones: i) el animal se sobrepone completamente al agente estresante y recupera su homeostasis inicial; ii) el organismo supera la situación estresante alcanzando un nuevo estado homeostático y compensa este efecto adaptándose al medio; o, por último, iii) el animal no es capaz de compensar los efectos del factor estresante y entra en fase de agotamiento. En esta última instancia, el organismo desarrolla respuestas que le llevan a la inadaptación al medio e incluso a la muerte. La magnitud y los efectos de las respuestas del estrés dependen de las propias características fisiológicas y etológicas de cada especie<sup>7</sup>. Así, desde un punto de vista metodológico, es complicado establecer marcadores biológicos universales que discriminen aquellas respuestas del estrés que estén comprometiendo el bienestar de los animales.

### Regulación endocrina y efectos fisiológicos del estrés

Ante una situación de estrés, los peces teleósteos responden, principalmente, mediante la activación de dos sistemas endocrinos. En la fase de alarma inicial, las respuestas primarias del organismo pasan por la activación de los sistemas Cerebro-Simpático-Cromafín (BSC, del inglés “Brain-Sympathetic-Cromaffin”) e Hipotalámico-Hipofisario-Interrenal (HPI, del inglés “Hypothalamic-Pituitary-Interrenal”)<sup>8</sup>. El primero se activa en los primeros momentos y como resultado se sintetizan y liberan catecolaminas al plasma, principalmente adrenalina y noradrenalina. La activación del sistema HPI es un proceso más lento, y tiene como producto final la síntesis y liberación de cortisol al plasma, lo cual ocurre en los primeros minutos después de la percepción del agente estresante<sup>8</sup>. La liberación de catecolaminas y cortisol al plasma genera una serie de respuestas secundarias, enfocadas a la movilización de recursos energéticos, para sobreponerse a la situación de estrés<sup>8</sup>. Los efectos de las catecolaminas están orientados a la modificación de las funciones cardíaca y respiratoria, además de la movilización de energía. En situaciones de estrés agudo, los efectos del cortisol tienen menos relevancia que los de las catecolaminas; pero cuando el estrés se prolonga en el tiempo, el cortisol adquiere un papel fundamental en la redistribución de energía por el organismo<sup>9</sup>. En consecuencia, el cortisol estimula diferentes rutas del metabolismo intermediario de carbohidratos, lípidos y proteínas<sup>9</sup>. Así, el hígado, como principal órgano de almacenaje y distribución de energía, se convierte en objetivo prioritario de los efectos del cortisol, induciendo la ruptura de las moléculas de glucógeno para liberar glucosa al plasma; estimulando el catabolismo de lípidos y de triglicéridos para la obtención de glicerol y ácidos grasos libres; y estimulando el catabolismo de aminoácidos para la obtención de energía a partir de rutas gluconeogénicas. El músculo también es objetivo de los efectos del cortisol, en tanto que su crecimiento está condicionado por la disponibilidad de nutrientes y recursos energéticos. Así, en situaciones de estrés prolongado, el cortisol promueve la producción de lactato y el catabolismo de proteínas a aminoácidos en el músculo blanco para la exportación de estos recursos energéticos al hígado, donde serán empleados en diferentes rutas gluconeogénicas. A su vez, también participa activamente en la restauración del balance hidromineral de los peces<sup>10</sup>, estimulando la actividad de las bombas iónicas en los diferentes tejidos osmorreguladores (branquia, intestino, riñón, etc.). Por lo tanto, en situaciones de estrés crónico, los efectos del cortisol sobre el balance hidromineral y la redistribución de recursos energéticos pueden afectar

<sup>4</sup> SCHRECK, C. B. - TORT, L., The Concept of Stress in Fish, en *Fish Physiology: Biology of Stress in Fish* (Elsevier, 2016).

<sup>5</sup> SELYE, H., Stress and the General Adaptation Syndrome, en *British Medical Journal*. (1950), 1383–92.

<sup>6</sup> CANNON, W. B., *The Wisdom of The Body* (New York, 1932).

<sup>7</sup> SAMARAS, A., *et al.*, Allostatic Load and Stress Physiology in European Seabass (*Dicentrarchus labrax* L.) and Gilthead Seabream (*Sparus aurata* L.), en *Frontiers in Endocrinology*. 9 (2018), 1–13.

<sup>8</sup> WENDELAAR BONGA, S. E., HORMONAL RESPONSES TO STRESS | Hormone Response to Stress, en *Encyclopedia of Fish Physiology* (Elsevier, 2011).

<sup>9</sup> BARTON, B. A., Stress in Fishes: A Diversity of Responses with Particular Reference to Changes in Circulating Corticosteroids, en *Integrative and Comparative Biology*. 42(3) (2002), 517–25.

<sup>10</sup> TAKEI, Y. - McCORMICK, S. D., Hormonal Control of Fish Euryhalinity, en *Fish Physiology: Euryhaline Fishes* (Elsevier, 2013), 69–123.

negativamente a la función osmorreguladora, al crecimiento, la reproducción, el sistema inmune y en última instancia la supervivencia. Por ello, el cortisol juega un papel fundamental en el bienestar de los peces.

## Atenuación del estrés en acuicultura

### *Empleo de aditivos en la alimentación*

Los aditivos son elementos, nutritivos o no nutritivos, que se incluyen solos o combinados, en pequeñas cantidades en la dieta de los peces con diferentes propósitos<sup>11</sup>. Actualmente se está trabajando en la atenuación de las respuestas al estrés mediante la inclusión de aditivos en la dieta desde diferentes perspectivas experimentales y comerciales. Por un lado, se está trabajando con la inclusión de diversos compuestos sintéticos como aminoácidos, vitaminas, lípidos y ácidos grasos, prebióticos, nucleótidos y minerales (revisado recientemente en Herrera *et al.*, 2019)<sup>12</sup>. Por otro lado, se está trabajando en la inclusión de extractos naturales de organismos vegetales de origen marino y terrestre. La inclusión de hidrolizados de microalgas, así como de macroalgas en la dieta, se han mostrado efectivos para mejorar el crecimiento, la absorción de nutrientes, la morfología de las microvellosidades intestinales o la tolerancia a la hipoxia aguda<sup>13</sup>. Del mismo modo, la inclusión de aceites esenciales de plantas aromáticas terrestres con propiedades sedantes (revisado recientemente en Souza *et al.*, 2019)<sup>14</sup>, ha resultado efectiva para mejorar la respuesta antioxidante y atenuar las respuestas al estrés en condiciones de alta densidad de cultivo. Actualmente también se comercializan preparados de extractos naturales para la inclusión en los piensos de peces, la mayoría derivados de la experiencia en la industria ganadera.

Recientemente, hemos estudiado los efectos de un preparado natural comercial que, según la información de la compañía, actúa como ansiolítico y reduce la agresividad relacionada con la jerarquización, previniendo ante un estrés agudo o crónico<sup>15</sup>. Los principios activos de este preparado de origen vegetal bloquean las señales nerviosas del estrés y por lo tanto la síntesis de cortisol. En este caso, el aditivo natural mejoró el bienestar de los juveniles de dorada (*Sparus aurata*), mantenidos en condiciones de densidad de cultivo elevada durante tres meses. La suplementación de la dieta con el aditivo natural mejoró el crecimiento de los peces, así como el gasto energético en los juveniles de dorada, consecuencia de la inhibición del catabolismo de lípidos, especialmente en músculo. La mejora en el crecimiento, derivada de la administración del aditivo en la dieta, además, estuvo mediada por la sobreexpresión de factores de crecimiento en el hígado, que inhibieron el catabolismo de aminoácidos y potenciaron la obtención de energía para el anabolismo de proteínas en el músculo. Por lo tanto, el aditivo resultó efectivo para la atenuar las respuestas del estrés derivadas de una alta densidad de cultivo en la dorada.

### *Empleo de anestésicos en dosis de sedación*

La anestesia incluye diversos aspectos como la sedación, la pérdida de movilidad, la inconsciencia, la amnesia y la analgesia (alivio del dolor). La sedación es una reducción en la sensibilidad que como resultado tranquiliza y calma al organismo; en cambio la narcosis o anestesia profunda causa inconsciencia, amnesia, inmovilización y analgesia<sup>16</sup>. Los agentes anestésicos son, por tanto, sustancias o compuestos químicos que actúan sobre el sistema nervioso y que inducen un estado de analgesia, anestesia o ambos. El proceso de inducción a la sedación y anestesia se realiza de forma secuencial, de manera que los peces van alcanzando progresivamente los diversos estados (Tabla 2). La acción sobre el sistema nervioso central y periférico es diferente según el compuesto empleado y la especie tratada y, aunque algunos agentes se pueden inyectar o aplicar de manera tópica en zonas locales, el procedimiento más extendido en peces es la inhalación a través

<sup>11</sup> BAI, S. C. - KATYA, K. - YUN, H., *Additives in Aquafeed, Feed and Feeding Practices in Aquaculture* (Elsevier, 2015).

<sup>12</sup> HERRERA, M. - MANCERA, J. M. - COSTAS, B., The Use of Dietary Additives in Fish Stress Mitigation: Comparative Endocrine and Physiological Responses, en *Frontiers in Endocrinology*. 10 (2019), 1–22.

<sup>13</sup> MAGNONI, L. *et al.*, Dietary Supplementation of Heat-Treated Gracilaria and Ulva Seaweeds Enhanced Acute Hypoxia Tolerance in Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*), en *Biology Open*. 6 (6) (2017), 897–908.

VIZCAINO, A. J., *et al.*, Growth Performance, Body Composition, and Digestive Functionality of Senegalese Sole (*Solea senegalensis* Kaup, 1858) Juveniles Fed Diets Including Microalgae Freeze-Dried Biomass, en *Fish Physiology and Biochemistry*. 44 (2) (2018), 661–77.

<sup>14</sup> SOUZA, C. de F., *et al.*, Essential Oils as Stress-Reducing Agents for Fish Aquaculture: A Review, en *Frontiers in Physiology*. 10 (2019).

<sup>15</sup> JEREZ-CEPA, I., *Bienestar Animal En El Cultivo de Dorada (Sparus aurata): Mecanismos de Atenuación Del Estrés* (Departamento de Biología, Universidad de Cádiz, 2019).

<sup>16</sup> ZAHL, I. H. - SAMUELSEN, O. - KIESSLING, A., Anaesthesia of Farmed Fish: Implications for Welfare, en *Fish Physiology and Biochemistry*. 38 (1) (2012), 201–18.

de las branquias mediante la inmersión en baños con anestésicos<sup>17</sup>.

**Tabla 2.** Descripción de los diferentes estados del proceso de inducción a la sedación y anestesia definidos para la caracterización de la exposición a un anestésico (Modificado de Ross y Ross, 2008)<sup>18</sup>.

Estado de Inducción	Descripción
<i>Sedación ligera</i>	Pérdida parcial de la movilidad, respuesta activa ante estímulos
<i>Sedación profunda</i>	Movimientos erráticos, ventilación disminuida, respuesta a estímulos reducida
<i>Anestesia ligera</i>	Pérdida parcial de equilibrio, analgesia
<i>Anestesia profunda</i>	Pérdida total del equilibrio, no reacciona a estímulos contundentes (presión de la zona caudal), ventilación casi cesada por completo
<i>Anestesia quirúrgica</i>	Pérdida total de reacción a estímulos, incluidos los de máxima severidad
<i>Colapso medular</i>	Cese de la ventilación, paro cardíaco, posible muerte por sobredosis

El uso de anestésicos se ha demostrado útil para procesos habituales en la acuicultura como la clasificación por tallas, el muestreo de individuos, la manipulación de reproductores o procedimientos quirúrgicos<sup>19</sup>. Diversos agentes como el MS-222, el aceite de clavo, el isoeugenol, el etomidato, el 2-fenoxietanol, la quinaldina o la ketamina han sido ampliamente testados en condiciones de laboratorio para numerosas especies de cultivo<sup>19</sup>. Además, actualmente existe una corriente de trabajo enfocada en la búsqueda de aceites esenciales, a partir de extractos naturales de plantas aromáticas con propiedades anestésicas<sup>20</sup>. Estos compuestos se han demostrado útiles para mitigar la respuesta a diferentes situaciones de estrés, como el transporte o la densidad de cultivo, y por lo tanto podrían mejorar las condiciones de bienestar de los animales. Sin embargo, pueden generar respuestas fisiológicas adicionales que alteran el estado homeostático de los individuos, condicionando la propia respuesta al estrés<sup>21</sup>. Además, se ha demostrado que estos compuestos generan aversión entre los peces, y que este rechazo es específico para cada especie y cada compuesto<sup>22</sup>.

La normativa en cuanto a su uso en especies para consumo humano es bastante restringida. En Estados Unidos solo se permite el uso del mesilato de tricaina (MS-222) (ANADA 200-226; FDA, 1997)<sup>23</sup>. En la Unión Europea, aparte del MS-222, también se permite el uso de la benzocaína y el isoeugenol (Reglamento No. 37/2010 de la Comisión Europea, 22 de diciembre de 2009<sup>24</sup>; Reglamento No. 363/2011 de la Comisión, del 13 de abril de 2011<sup>25</sup>). De manera similar, el AQUI-S<sup>®</sup>, un anestésico comercial cuyo principio activo es el isoeugenol (AQUI-S<sup>®</sup>, Nueva Zelanda LTD), está aprobado para su uso en especies

<sup>17</sup> NEIFFER, D. L. - STAMPER, M. A., Fish Sedation, Anesthesia, Analgesia, and Euthanasia: Considerations, Methods, and Types of Drugs, en *ILAR Journal*. 50 (4) (2009), 343–60.

<sup>18</sup> ROSS, L. G. - ROSS, B., The Nature of Anaesthesia, Sedation and Analgesia, en *Anaesthetic and Sedative Techniques for Aquatic Animals* (Blackwell Publishing Ltd., 2008), 41–51.

<sup>19</sup> ZAHL, I. H. - SAMUELSEN, O. - KIESSLING, A., Anaesthesia of Farmed Fish: Implications for Welfare, en *Fish Physiology and Biochemistry*. 38 (1) (2012), 201–18.

<sup>20</sup> SOUZA, C. de F., *et al.*, Essential Oils as Stress-Reducing Agents for Fish Aquaculture: A Review, en *Frontiers in Physiology*. 10 (2019).

<sup>21</sup> JEREZ-CEPA, I., *et al.*, Transport and Recovery of Gilthead Seabream (*Sparus aurata* L.) Sedated With Clove Oil and MS-222: Effects on Stress Axis Regulation and Intermediary Metabolism, en *Frontiers in Physiology*. 10 (2019), 1–13.

SACCOL, E. M. H., *et al.*, *Myrcia sylvatica* Essential Oil Mitigates Molecular, Biochemical and Physiological Alterations in *Rhamdia quelen* under Different Stress Events Associated to Transport, en *Research in Veterinary Science*. 117 (2018), 150–60.

<sup>22</sup> READMAN, G. D., *et al.*, Do Fish Perceive Anaesthetics as Aversive?, en *PLoS ONE*. 8 (9) (2013), e73773.

READMAN, G. D., *et al.*, Species Specific Anaesthetics for Fish Anaesthesia and Euthanasia, en *Scientific Reports*. 7 (1) (2017), 1–7.

<sup>23</sup> FDA, Approved Aquaculture Drugs, *U.S. Food and Drug Administration*, 1997.

<<https://animaldrugstfda.fda.gov/adafda/app/search/public/document/downloadFoi/1782>> [último acceso, 10 octubre 2019].

<sup>24</sup> Reglamento No. 37/2010 de la Comisión Europea, 22 de diciembre de 2009. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32010R0037>> [último acceso, 10 octubre 2019].

<sup>25</sup> Reglamento No. 363/2011 del 13 de abril de 2011.

<<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32011R0363>> [último acceso, 10 octubre 2019].

para consumo humano en Australia, Chile, Corea, Costa Rica, Honduras, Noruega y Nueva Zelanda<sup>26</sup>. Otras alternativas comerciales, como el Propiscin (una solución de etomidato al 0,2%), se están desarrollando para su aplicación en animales de consumo, aunque todavía carecen de aprobación para su uso<sup>27</sup>. Un aspecto a tener en cuenta es el período legal de espera, por el cual no se puede comercializar un animal tras haber sido expuesto a un agente químico. En el caso del MS-222 está establecido en 21 días, mientras que para el isoeugenol apenas es necesario esperar 24 horas (Reglamento UE No. 37/2010). En el caso del empleo de anestésicos durante el transporte entre instalaciones la normativa también es restrictiva y, en la Unión Europea, su uso está limitado a la prescripción veterinaria en casos de necesidad (Reglamento No. 1/2005 del Consejo Europeo, 22 de diciembre de 2004)<sup>28</sup>. En este sentido, los estándares establecidos por la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE, Oficina Internacional de Epizootias) para el transporte de animales acuáticos se centran en las características del manejo y la calidad del agua, pero la sedación no está considerada una opción para mejorar el bienestar de los peces<sup>29</sup>. Sin embargo, diversos trabajos apuntan a que una sedación ligera durante el transporte reduce la tasa metabólica de los peces y, por lo tanto, se reduce el consumo de oxígeno, la excreción de desechos metabólicos y se mantiene la calidad del agua<sup>30</sup>.

En el caso de la dorada, hemos estudiado las respuestas al estrés por transporte y su posible atenuación mediante el empleo de anestésicos en dosis de sedación. Para ello caracterizamos los tiempos de inducción y recuperación de la anestesia, acorde a los criterios de la Tabla 2, para cuatro diferentes anestésicos (MS-222, aceite de clavo, AQUI-S® y etomidato). En base a estos resultados, establecimos las dosis de sedación óptimas empleadas durante la simulación de condiciones de transporte en la dorada. De manera general, la adición de los anestésicos no mejoró las respuestas al estrés generado por el transporte. Además, las dosis de sedación escogidas originaron respuestas fisiológicas adicionales sobre los juveniles de dorada, que se reflejaron tanto al final del transporte como tras el periodo de recuperación. Estas respuestas fueron específicas para cada anestésico y afectaron a la regulación del sistema HPI, al metabolismo intermediario y a la capacidad osmorreguladora de los peces. En base a los resultados obtenidos para el transporte de dorada, podemos establecer el siguiente orden de efectividad para los anestésicos empleados: el etomidato parece mejor que el MS-222, mucho mejor que el aceite de clavo y, en último lugar, se situaría el AQUI-S®. En cambio, según las caracterizaciones de los tiempos de inducción realizadas, el MS-222 y el AQUI-S® serían las mejores opciones para procesos de manejo donde se requiera anestesia profunda, mientras que se desaconseja completamente el uso del etomidato para estos procesos.

## Consideraciones finales

En primer lugar, es necesario remarcar la complejidad de evaluar el bienestar animal desde un criterio fisiológico, especialmente en procesos a largo plazo<sup>31</sup>. Sin embargo, la caracterización de las respuestas primarias, secundarias y terciarias en situaciones de estrés a largo y corto plazo puede ser crucial para determinar el grado de bienestar animal en las instalaciones de acuicultura. Los mecanismos de atenuación del estrés expuestos, suponen una nueva aproximación para resolver esta problemática, pudiendo ser, en el caso del aditivo natural de origen vegetal, una opción real y prometedora para mejorar el bienestar en los cultivos de dorada. En este sentido, aún es necesario evaluar la relación coste-beneficio en cuanto a la inclusión y administración del aditivo a través de la dieta y el rendimiento obtenido. Igualmente, es necesario probar la efectividad del aditivo en las condiciones de producción que se dan en el sector, además de la posibilidad de implementar esta solución en otras especies de interés para la acuicultura. Por el contrario, aunque no se descarta su uso, la adición de anestésicos en dosis de sedación para el transporte de dorada, en general, presenta más inconvenientes que beneficios. Aunque estos compuestos son económicos y fáciles de aplicar, la normativa legal restringe el uso de anestésicos en animales para consumo humano, además no parecen atenuar las respuestas al estrés por transporte. En resumen, los casos expuestos sirven de referencia para futuras aproximaciones holísticas a esta problemática, incluyendo las implicaciones

<sup>26</sup> JAVAHERY, S. - MORALDU, A. H., AQUI-S, a New Anesthetic for Use in Fish Propagation, en *Global Veterinaria*. 9 (2) (2012), 205–10.

<sup>27</sup> ROŻYŃSKI, M. *et al.*, Impact of Inducing General Anesthesia with Propiscin (Etomidate) on the Physiology and Health of European Perch (*Perca fluviatilis* L.), en *Fish Physiology and Biochemistry*. 44 (3) (2018), 927–37.

<sup>28</sup> Reglamento No. 1/2005 del Consejo Europeo, 22 de diciembre de 2004. < <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/TXT/?uri=CELEX:32005R0001> > [último acceso, 10 octubre 2019].

<sup>29</sup> OIE, Welfare of Farmed Fish During Transport, en *Aquatic Animal Health Code*, 21ª edición (OIE, World Organisation for Animal Health, 2018). <[https://www.oie.int/index.php?id=171&L=2&htmfile=chapitre\\_welfare\\_transport\\_farm\\_fish.htm](https://www.oie.int/index.php?id=171&L=2&htmfile=chapitre_welfare_transport_farm_fish.htm)> [último acceso, 10 octubre 2019].

<sup>30</sup> SNEDDON, L. U. - WOLFENDEN, D. C. C. - THOMSON, J. S., Stress Management and Welfare, en *Fish Physiology: Biology of Stress in Fish* (Elsevier, 2016).

<sup>31</sup> RALPH, C. R. - TILBROOK, A. J., The Usefulness of Measuring Glucocorticoids for Assessing Animal Welfare, en *Journal of Animal Science*. 94 (2) (2016), 457–70.

fisiológicas, etológicas y legales derivadas del empleo de estos mecanismos de atenuación del estrés, para mejorar las condiciones de bienestar en las instalaciones de acuicultura.

Finalmente, estos estudios se han realizado como parte de los proyectos de investigación DetecStress (AGL2013-48835-C2-1-R) y DetecStress-II (AGL2016-76069-C2-1-R), financiados por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MICINN). Igualmente, los autores de este trabajo pertenecen a la Red de Excelencia de Bienestar y Estrés en Peces (Piscibien, <https://healthiestfish.wixsite.com/healthiestfish>), financiada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MICINN, AGL2016-81808-REDT).

## Bibliografía

- Bai, S. C., Katya, K., Yun, H., *Additives in Aquafeed, Feed and Feeding Practices in Aquaculture*, 2015 <<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100506-4.00007-6>>
- Barton, B. A., Stress in Fishes: A Diversity of Responses with Particular Reference to Changes in Circulating Corticosteroids, en *Integrative and Comparative Biology*, 42 (2002), 517–25 <<https://doi.org/10.1093/icb/42.3.517>>
- Cannon, W. B., *The Wisdom of The Body* (New York, W.W. Norton & Company, Inc, 1932)  
FDA, Approved Aquaculture Drugs, *U.S. Food and Drug Administration*, 1997. <<https://animaldrugsatfda.fda.gov/adafda/app/search/public/document/downloadFoi/1782>> [último acceso, 10 octubre 2019]
- Herrera, M., Mancera, J. M., Costas, B., The Use of Dietary Additives in Fish Stress Mitigation: Comparative Endocrine and Physiological Responses, en *Frontiers in Endocrinology*. 10 (2019), 1–22 <<https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00447>>
- Javahery, S., Moradlu, A. H., AQUIS, a New Anesthetic for Use in Fish Propagation, en *Global Veterinaria*. 9 (2012), 205–10, <<https://doi.org/10.5829/idosi.gv.2012.9.2.64167>>
- Jerez-Cepa, I., *Bienestar Animal En El Cultivo de Dorada (Sparus aurata): Mecanismos de Atenuación Del Estrés* (Departamento de Biología, Universidad de Cádiz, 2019) <<http://hdl.handle.net/10498/21323>>
- Jerez-Cepa, I., Fernández-Castro, M., Del Santo O'Neill, T. J., Martos-Sitcha, J. A., Martínez-Rodríguez, G., Mancera, J. M., Ruiz-Jarabo, I., Transport and Recovery of Gilthead Seabream (*Sparus aurata* L.) Sedated With Clove Oil and MS-222: Effects on Stress Axis Regulation and Intermediary Metabolism, en *Frontiers in Physiology*, 10 (2019), 1–13 <<https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00612>>
- Magnoni, L. J, Martos-Sitcha, J. A., Queiroz, A., Caldach-Giner, J. A., Magalhães Gonçalves, J. F, Rocha, C. M. R., *et al.*, Dietary Supplementation of Heat-Treated Gracilaria and Ulva Seaweeds Enhanced Acute Hypoxia Tolerance in Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*), en *Biology Open*, 6 (2017), 897–908 <<https://doi.org/10.1242/bio.024299>>
- Mellor, D., Updating Animal Welfare Thinking: Moving beyond the “Five Freedoms” towards “A Life Worth Living”, *Animals*, 6 (2016), 21 <<https://doi.org/10.3390/ani6030021>>
- Neiffer, D. L., Stamper, M. A., Fish Sedation, Anesthesia, Analgesia, and Euthanasia: Considerations, Methods, and Types of Drugs, *ILAR Journal*, 50 (2009), 343–60 <<https://doi.org/10.1093/ilar.50.4.343>>
- OIE, Welfare of Farmed Fish During Transport, en *Aquatic Animal Health Code*, 21ª edición (OIE, World Organisation for Animal Health, 2018). <[https://www.oie.int/index.php?id=171&L=2&htmfile=chapitre\\_welfare\\_transport\\_farm\\_fish.htm](https://www.oie.int/index.php?id=171&L=2&htmfile=chapitre_welfare_transport_farm_fish.htm)> [último acceso, 10 octubre 2019]
- Ralph, C. R., Tilbrook, A. J., The Usefulness of Measuring Glucocorticoids for Assessing Animal Welfare, en *Journal of Animal Science*, 94 (2016), 457–70 <<https://doi.org/10.2527/jas.2015-9645>>
- Readman, G. D., Owen, S. F., Knowles, T. G., Murrell, J. C., Species Specific Anaesthetics for Fish Anaesthesia and Euthanasia, en *Scientific Reports*, 7 (2017), 1–7 <<https://doi.org/10.1038/s41598-017-06917-2>>
- Readman, G. D., Owen, S. F., Murrell, J. C., Knowles, T. G., Do Fish Perceive Anaesthetics as Aversive?, en *PLoS ONE*, 8 (2013), e73773 <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073773>>
- Reglamento No. 1/2005 del Consejo Europeo, 22 de diciembre de 2004. < <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/TXT/?uri=CELEX:32005R0001>> [último acceso, 10 octubre 2019].
- Reglamento No. 37/2010 de la Comisión Europea, 22 de diciembre de 2009. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32010R0037>> [último acceso, 10 octubre 2019].

- Reglamento No. 363/2011 del 13 de abril de 2011. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32011R0363>> [último acceso, 10 octubre 2019].
- Ross, L. G., Ross, B. The Nature of Anaesthesia, Sedation and Analgesia, en *Anaesthetic and Sedative Techniques for Aquatic Animals*, ed. by Lindsay G. Ross and Barbara Ross (Blackwell Publishing Ltd., 2008), pp. 41–51 <<https://doi.org/10.1002/9781444302264.ch4>>
- Rożyński, M., Demska-Zakęś, D., Sikora, A., Zakęś, Z., Impact of Inducing General Anesthesia with Propiscin (Etomidate) on the Physiology and Health of European Perch (*Perca fluviatilis* L.), en *Fish Physiology and Biochemistry*, 44 (2018), 927–37 <<https://doi.org/10.1007/s10695-018-0482-4>>
- Saccol, E. M. H., Jerez-Cepa, I., Ourique, G. M., Pês, T. S., Gressler, L. T., Mourão, R. H. V., *et al.*, *Myrcia sylvatica* Essential Oil Mitigates Molecular, Biochemical and Physiological Alterations in *Rhamdia quelen* under Different Stress Events Associated to Transport, en *Research in Veterinary Science*, 117 (2018), 150–60 <<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.12.009>>
- Samaras, A., Espírito Santo, C., Papandroulakis, N., Mitrizakis, N., Pavlidis, M., Höglund, E., *et al.*, Allostatic Load and Stress Physiology in European Seabass (*Dicentrarchus labrax* L.) and Gilthead Seabream (*Sparus aurata* L.), en *Frontiers in Endocrinology*, 9 (2018), 1–13 <<https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00451>>
- Schreck, C. B., Tort, L., The Concept of Stress in Fish, en *Fish Physiology: Biology of Stress in Fish* (Elsevier, 2016), 1–34 <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128027288000163>>
- Selye, H., Stress and the General Adaptation Syndrome, *British Medical Journal*, 1950, 1383–92
- Sneddon, L. U. , Wolfenden, D. C. C., Thomson, J. S., Stress Management and Welfare, en *Fish Physiology: Biology of Stress in Fish* (Elsevier, 2016), 463–539 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128027288000126>>
- Souza, C. de F., Baldissera, M. D., Baldisserotto, B., Heinzmann, B. M., Martos-Sitcha, J. A., Mancera, J. M., Essential Oils as Stress-Reducing Agents for Fish Aquaculture: A Review, en *Frontiers in Physiology*, 10 (2019) <<https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00785>>
- Takei, Y., McCormick, S. D., Hormonal Control of Fish Euryhalinity, en *Fish Physiology: Euryhaline Fishes* (Elsevier, 2013), 69–123
- Vanderzwalmen, M., Eaton, L., Mullen, C., Henriquez, F., Carey, P., Snellgrove, D., *et al.*, The Use of Feed and Water Additives for Live Fish Transport, en *Reviews in Aquaculture*, 2018 <<https://doi.org/10.1111/raq.12239>>
- Vizcaino, A. J., Rodiles, A., López, G., Sáez, M. I., Herrera, M., Hachero, I., *et al.*, Growth Performance, Body Composition, and Digestive Functionality of Senegalese Sole (*Solea senegalensis* Kaup, 1858) Juveniles Fed Diets Including Microalgae Freeze-Dried Biomass, en *Fish Physiology and Biochemistry*, 44 (2018), 661–77 <<https://doi.org/10.1007/s10695-018-0462-8>>
- Webster, J., *Animal Welfare: Limping Towards Eden* (Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2005) <<https://doi.org/10.1002/9780470751107>>
- Wendelaar Bonga, S.E., HORMONAL RESPONSES TO STRESS | Hormone Response to Stress, en *Encyclopedia of Fish Physiology* (Elsevier, 2011), 1515–23 <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374553-8.00183-0>>
- Zahl, I. H., Samuelsen, O., Kiessling, A., Anaesthesia of Farmed Fish: Implications for Welfare, en *Fish Physiology and Biochemistry*, 38 (2012), 201–18 <<https://doi.org/10.1007/s10695-011-9565-1>>