

Enriquecimiento ambiental y bienestar en peces

Morris Villarroel

Profesor titular de Universidad. Departamento de Producción Agraria. ETSIAAB Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2542-3985>

Fernando Torrent

Profesor contratado doctor. Departamento de Ingeniería y gestión ambiental. ETSI de Montes, Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

Concepción Pérez

Profesora titular de Universidad. Departamento de Fisiología. Facultad de Veterinaria Universidad Complutense de Madrid (UCM)

Elisabet González de Chavarri

Profesora titular de Universidad. Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria Universidad Complutense de Madrid (UCM)

Jesús de la Fuente

Profesor titular de Universidad. Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria Universidad Complutense de Madrid (UCM)



Recepción: Septiembre 2019
Aceptación: Noviembre 2019

Cita recomendada. VILLARROEL, M., TORRENT, F., PÉREZ, C., GONZÁLEZ de CHAVARRI, E., de la FUENTE, J. Enriquecimiento ambiental y bienestar en peces, dA. Derecho Animal (Forum of Animal Law Studies) 10/4 (2019) - DOI <https://doi.org/10.5565/rev/da.458>

Resumen

Revisamos la relación entre el enriquecimiento ambiental y el bienestar de los peces, incluido el enriquecimiento ocupacional. Explicamos los diferentes aspectos a tener en cuenta y concluimos que el enriquecimiento ocupacional no parece tener efectos negativos sobre el crecimiento y que puede ayudar a sobrellevar los efectos de un estresor agudo.

Palabras clave: bienestar animal, peces, salmónidos, enriquecimiento.

Abstract - *Environmental enrichment and fish welfare*

We review the relationship between environmental enrichment and fish welfare, including occupational enrichment. We explain the different aspects that should be taken into account and conclude that occupational enrichment does not appear to have negative effects on growth and that it can help to cope with acute stressors.

Keywords: animal welfare, fish, salmonids, enrichment.

Introducción

Desde hace algunos años va cobrando importancia el bienestar de los peces, en parte porque muchos investigadores han observado que su respuesta de estrés es similar a la de otros vertebrados¹. La noción básica del bienestar es conseguir que los peces mantenidos en cautividad tengan una vida saludable, sin demasiados estresores ni problemas físicos ni comportamentales. En ese contexto tendemos a comparar la vida de los peces en cautividad con los peces en la naturaleza, dónde hay más estímulos en general (incluyendo incentivos positivos, nocivos y peligrosos). Aquí nace la idea del enriquecimiento ambiental, que pretende aumentar la complejidad en los medios de los tanques o espacios cerrados como acuarios, haciéndolos más parecidos a su entorno natural. Concretamente, Naslund & Johnsson², en su revisión sobre este tema en peces, define enriquecimiento ambiental como “el aumento deliberado de la complejidad ambiental para reducir rasgos y comportamientos anormales o mal-adaptados, en peces criados en entornos con pocos estímulos”. Lo que no está tan claro, o por lo menos es más difícil de cuantificar, es el efecto que tiene el enriquecimiento ambiental sobre el bienestar de los peces.

De manera global hay interés en demostrar que el enriquecimiento ambiental mejora la producción en peces de acuicultura, así como la adaptación al medio natural en peces que se crían para repoblar ríos, la investigación dónde se usa peces como organismos modelo y para peces usados en acuarios caseros o en zoológicos. A pesar de este interés no hay muchos estudios sobre el tema. Desde 1995 se han publicado un total de 62 artículos sobre bienestar en peces relacionados con enriquecimiento (resultados de una búsqueda en el Web of Science de 1900 hasta 2018, usando las palabras *fish+welfare+enrichment*). En 2018 solo hubo 9 artículos, en comparación a las muchas decenas que se publicaron sobre nutrición de peces, por ejemplo. Entre los estudios, destacan los relacionados con salmónidos en el ámbito de la acuicultura y con los cíclidos (la tilapia por ejemplo) en el ámbito de la experimentación en laboratorio. En general todos los trabajos encuentran un efecto claro del enriquecimiento sobre distintas funciones relacionadas con el estrés, como el comportamiento, la productividad o diferentes parámetros fisiológicos.

En mamíferos, para los que ha habido más estudios, la conclusión global es que el enriquecimiento para animales en zoológicos o animales de producción tiende a reducir el miedo y la agresividad. En salmónidos el enriquecimiento mejora el comportamiento exploratorio y la supervivencia, en concreto en truchas que se usan para repoblar ríos o lagos. A nivel del Mediterráneo, Batzina & Karakatsouli³ observan que el comportamiento y el crecimiento de la dorada cambia según el color del sustrato. Concretamente, un fondo de acuario con piedras de color azul disminuye la agresividad entre individuos y mejora el crecimiento. Pero el enriquecimiento ambiental va más allá de simplemente añadir o cambiar estructuras, existen por lo menos otros cuatro tipos.

Según Naslund & Johnsson⁴, aunque el más estudiado sea el enriquecimiento ambiental estructural, existen estudios sobre el enriquecimiento sensorial (estimular los órganos sensoriales), enriquecimiento dietético (la manera de aportar comida), enriquecimiento social (aumentar el contacto con otros animales), y el enriquecimiento ocupacional (fomentar el ejercicio). Un ejemplo llamativo del enriquecimiento sensorial es el experimento de Papoutsoglou et al.⁵ dónde midieron el efecto de la música clásica sobre doradas. Más recientemente, DePasquale et al.⁶ aplicaron varios tipos de enriquecimiento al pez cebra, especie modelo de laboratorio. En nuestro caso quisimos indagar más sobre el enriquecimiento ocupacional.

Sobre enriquecimiento ocupacional hay dos referencias claves en salmónidos. El estudio de Nordgreen et al.⁷, valorando el tiempo que dedica el salmón en jaulas flotantes enriquecidas, que recuerdan

¹ SCHRECK, C. B., TORT, L., FARRELL, A. P., BRAUNER, C. J. Biology of stress in fish. Vol. 35 (Academic Press 2016)

² NÄSLUND, J., & JOHNSSON, J. I. Environmental enrichment for fish in captive environments: effects of physical structures and substrates. *Fish and Fisheries*, 17/1 (2016) 1-30.
<https://doi.org/10.1111/faf.12088>

³ BATZINA, A., & KARAKATSOULI, N. The presence of substrate as a means of environmental enrichment in intensively reared gilthead seabream *Sparus aurata*: growth and behavioral effects. *Aquaculture*, 370 (2012) 54-60.
doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.10.005

⁴ NÄSLUND, J., & JOHNSSON, J. I. Environmental enrichment for fish in captive environments: effects of physical structures and substrates. *Fish and Fisheries*, 17/1 (2016) 1-30.
<https://doi.org/10.1111/faf.12088>

⁵ PAPAOUTSOGLOU, S. E., KARAKATSOULI, N., BATZINA, A., PAPAOUTSOGLOU, E. S., TSOPELAKOS, A. Effect of music stimulus on gilthead seabream *Sparus aurata* physiology under different light intensity in a re-circulating water system. *Journal of Fish Biology*, 73/4 (2008) 980-1004. doi.org/10.1111/j.1095-8649.2008.02001.x

⁶ DEPASQUALE, C., FETTROW, S., STURGILL, J., BRAITHWAITE, V. A. The impact of flow and physical enrichment on preferences in zebrafish. *Applied Animal Behaviour Science*, 215 (2019) 77-81. doi.org/10.1016/j.applanim.2019.03.015

⁷ NORDGREEN, J., BJØRGE, M. H., JANCZAK, A. M., HOVLAND, A. L., MOE, R. O., RANHEIM, B., HORSBERG, T. E. The time budget of Atlantic salmon (*Salmo salar*) held in enriched tanks. *Applied Animal Behaviour Science*, 144/3-4 (2013) 147-152. doi.org/10.1016/j.applanim.2013.01.005

un poco a las jaulas etológicas desarrolladas comercialmente para gallinas a distintos elementos enriquecedores. En cada jaula había un comedero, una entrada de agua en cascada, una cama de gravilla, y un lugar tapado para producir sombra. Los salmones pasaban mucho tiempo interactuando con la entrada de agua, así que parecía que preferían este enriquecimiento. La otra referencia es de un grupo finlandés Rodewald et al.⁸ trabajando con salmones pequeños con la idea de prepararles para la vida salvaje (repoblación). Comparando con un testigo, variaban en los tanques la profundidad del agua y la velocidad del flujo de agua, así como el sentido del flujo, unas veces en el sentido de las agujas del reloj y otras veces al revés. De manera global encontraron que los peces en jaulas enriquecidas desarrollaban aptitudes más “naturales” como la captura de presas (insectos).

Para salmón atlántico es conocido a nivel popular, la eficacia del enriquecimiento ambiental en distintas fases de la producción de esguines. El carácter esquivo, las dificultades de manejo y las altas calidades de agua requeridas para la producción de salmón atlántico, originaban grandes dificultades en las fases iniciales de cría, no obteniendo la cantidad de alevines y esguines de la calidad requerida. En la fase de incubación y primera alimentación, está clara la eficacia de mantener el medio con muy poca intensidad de luz, imitando lo que ocurre en la naturaleza donde los huevos permanecen enterrados bajo las piedras del lecho del río. En los orígenes se llegó a utilizar tras la eclosión, un lecho con grava de suficiente tamaño, sobre el fondo de la pila, para dar refugio a los peces, especialmente en la fase de reabsorción de la vesícula vitelina y en la fase de primera alimentación o destete; siendo satisfactoria su utilización para un mejor crecimiento. Este sustrato usado clásicamente, fue sustituido por sustratos de plástico, que colocados en el fondo de la pila, daban refugio a los alevines recién nacidos, y les evitaban el sobreesfuerzo de nadar huyendo ante cualquier estímulo exterior. Desde hace tiempo, este enriquecimiento ambiental se utiliza de manera rutinaria en la industria del salmón, y se han acomodado distintos modelos, ajustados a la primera alimentación para que sea fácil de limpiar y no afecte a la calidad sanitaria de los alevines. La utilización de cortinas, para que no vean los alevines a los empleados en sus paseos rutinarios, lo que producía pequeñas “estampidas” también se utiliza comúnmente. Parte de estos enriquecimientos ambientales, se vienen utilizando en la producción de trucha común autóctona (*Salmo trutta*), al ser una especie poco doméstica y muy parecida al salmón atlántico.

El usar enriquecimiento ambiental ocupacional tienen una clara ventaja frente al estructural, al no requerir la introducción de elementos físicos en los tanques de producción, que además pueden entorpecer a los empleados y causar problemas logísticos, interfiriendo por ejemplo en las labores de limpieza y/o alimentación. Aparte, los elementos puestos en el agua suelen ensuciarse con el tiempo, pidiendo ser focos de colonización bacteriana y de algas. Es también por esto que en nuestro laboratorio apostamos por mirar el enriquecimiento ocupacional.

Nuestro experimento

Dentro del marco del proyecto WINFISH (Proyecto Europeo ANIHWA, *Animal Health and Welfare*) nuestro grupo analizó los efectos del enriquecimiento ocupacional sobre el crecimiento y bienestar en la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en un sistema de recirculación, ubicado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Usamos este sistema de recirculación (también llamado RAS por las siglas en inglés de *Recirculation Aquaculture Systems*), por ser sistemas con menos estímulos que por ejemplo, en ambientes más naturales como lagos o ríos. En los sistemas RAS los requisitos de energía y oxígeno son altos y para que sean rentables los peces se mantienen a altas densidades en un reducido espacio.

Dado que los salmones preferían las entradas de agua⁹ y Rodewald et al.¹⁰ había usado corrientes de agua, elegimos usar corrientes y así evitar poner un objeto físico en los tanques. Inventamos un sistema de corrientes subacuáticas que se disparaban aleatoriamente (controlados por un ordenador), así el pez no podía predecir cuándo se iba a encender. Luego comparamos el crecimiento y bienestar de los peces en esos

⁸ RODEWALD, P., HYVÄRINEN, P., HIRVONEN, H. Wild origin and enriched environment promote foraging rate and learning to forage on natural prey of captive reared Atlantic salmon parr. *Ecology of Freshwater Fish*, 20/4 (2011) 569-579. doi.org/10.1111/j.1600-0633.2011.00505.x

⁹ NORDGREEN, J., BJØRGE, M. H., JANCZAK, A. M., HOVLAND, A. L., MOE, R. O., RANHEIM, B., HORSBERG, T. E. The time budget of Atlantic salmon (*Salmo salar*) held in enriched tanks. *Applied Animal Behaviour Science*, 144/3-4 (2013) 147-152. doi.org/10.1016/j.applanim.2013.01.005

¹⁰ RODEWALD, P., HYVÄRINEN, P., HIRVONEN, H. Wild origin and enriched environment promote foraging rate and learning to forage on natural prey of captive reared Atlantic salmon parr. *Ecology of Freshwater Fish*, 20/4 (2011) 569-579. doi.org/10.1111/j.1600-0633.2011.00505.x

tanques frente a tanques control con corriente continua (siempre encendida).

En la Figura 1 se puede apreciar el diseño experimental, dónde dividimos un *raceway* (tanque alargado) en 6 secciones o jaulas, con 40 peces en cada jaula (usando un total de 240 peces). Cada jaula tenía dos bombas subacuáticas grandes que creaban corriente, una en cada esquina. Se contralaba el encendido de cada bomba mediante un Arduino (pequeño ordenador) que aplicaba el siguiente algoritmo: 1) elegir duración de encendido aleatoriamente (de 10 a 60 min), 2) encender o apagar la bomba durante este tiempo y 3) acabar y repetir. El peso inicial de las truchas estaba en 100 g y se las mantuvo en esta situación durante 3 meses. La densidad animal era de 5 kg/m³, algo inferior a la densidad comercial.

Figura 1. Esquema del *raceway* con seis separaciones o jaulas con 40 peces en cada una y dos bombas para producir corriente. En las jaulas con una "A" las bombas se encendían y se apagaban aleatoriamente.



Al final del experimento pesamos a todos los peces y obtuvimos una muestra de sangre de 10 peces por jaula para saber los niveles basales de los indicadores plasmáticos de estrés. Acto seguido capturamos a otros 10 peces por jaula y les sometimos a un estrés agudo durante 20 minutos, para cuantificar su respuesta ante un estímulo estresante. Este estrés consistía en sacarlos de su tanque de origen e introducirlos en otro tanque con mucha menos agua (pero con suficiente oxígeno), lo cual aumenta la densidad de repente. Después de ese estrés extrajimos sangre de nuevo. Los indicadores plasmáticos de estrés analizados incluían cortisol (la hormona de estrés producida por el tejido esteroideogénico de la glándula interrenal), creatinfosfokinasa (CPK, enzima muscular, señal de daño muscular), glucosa (señal del estado metabólico), lactato (señal de estado metabólico), lactato-deshidrogenasa (LDH, enzima oxidoreductasa, señal de daño muscular), los ácidos grasos libres (por sus siglas en inglés NEFA, *non-esterified fatty acids*, señal de estado metabólico), y las proteínas totales (albúmina/globulinas, señal de deshidratación).

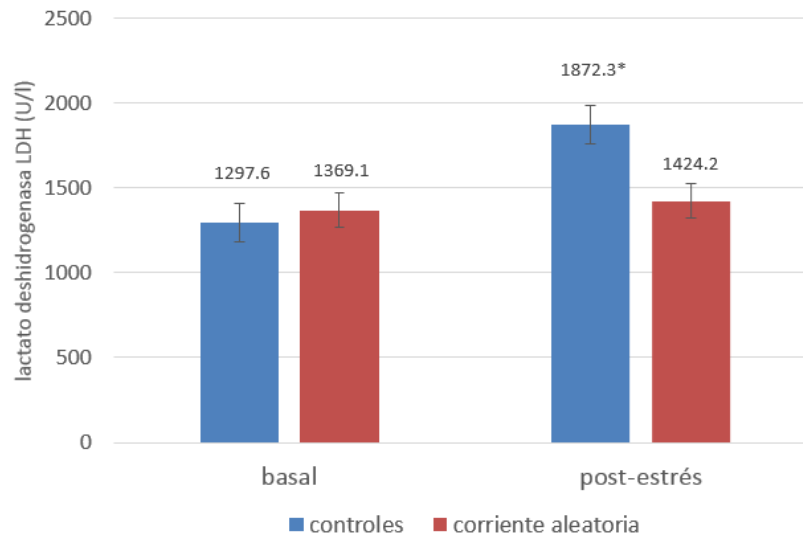
Resultados y Discusión

No encontramos un claro efecto del enriquecimiento sobre el crecimiento, ya que el peso final entre los tratamientos fue muy parecido. También encontramos que los niveles basales de todos los indicadores plasmáticos eran similares, pero hubo diferencias en cuanto a la respuesta ante un estresor agudo, sobre todo relacionado con LDH, NEFA y proteínas totales en plasma.

En la Figura 2 se resume el cambio en la concentración plasmática de LDH, lo que implica que hubo más fatiga muscular en los peces con corrientes continuas versus aleatorias, estando de acuerdo con Mirghaed et al.¹¹, quienes concluyen que a mayor LDH es señal de mayor daño muscular.

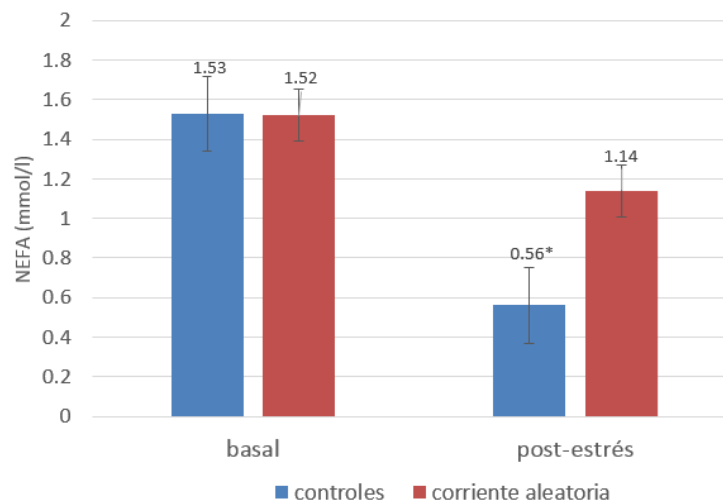
¹¹ MIRGHAED, A. T., YASARI, M., MIRZARGAR, S. S., HOSEINI, S. M. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) anesthesia with myrcene: efficacy and physiological responses in comparison with eugenol. *Fish Physiology and Biochemistry*, 44/3 (2018) 919-926. doi.org/10.1007/s10695-018-0481-5

Fig. 2. Concentraciones plasmáticas de LDH (U/l) en truchas enriquecidas y no enriquecidas ante un estresor agudo (* P<0,05).



En la Figura 3 se resume la variación en la concentración plasmática de NEFAs. Los niveles basales eran similares en los dos tratamientos pero tras la situación de estrés es mayor en los carentes de enriquecimiento, lo que indica que este grupo tenía peor condición y menos reservas disponibles. Estos resultados concuerdan con Turenne¹², para el que los NEFAs se reducen cuando hay más ejercicio y sugiere que peces enriquecidos se adaptaban mejor a un estrés agudo.

Fig. 3. Concentraciones plasmáticas de NEFAs (ácidos grasos libres, en mmol/l) en truchas enriquecidas y no enriquecidas ante un estresor agudo (* P<0,05).

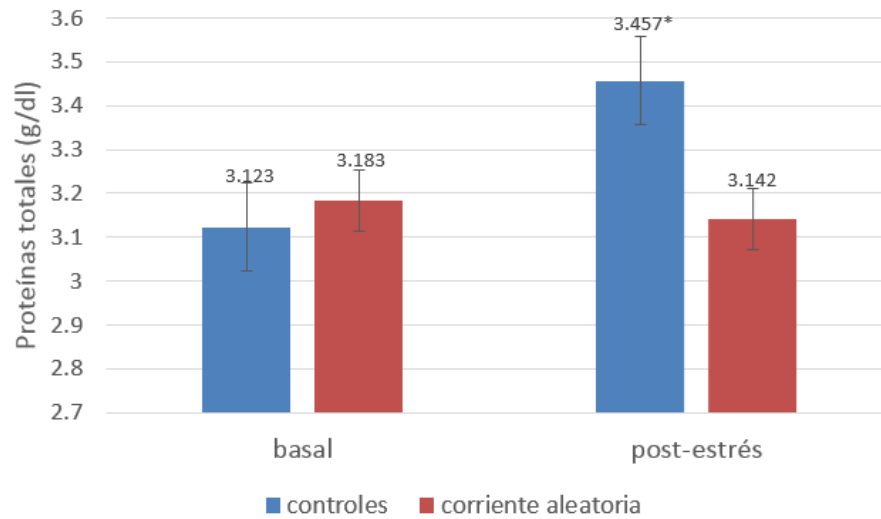


En cuanto a las proteínas totales, la mayor parte de proteína en plasma es albumina, y altos niveles están asociados con deshidratación¹³. Como este indicador era más alto en peces sin enriquecimiento, deducimos, como con los otros mencionados, que los peces con enriquecimiento se adaptaban mejor al estrés agudo (ver Figura 4).

¹² TURENNE, E. D. Lipid Mobilization in Exercising Salmonids (Doctoral dissertation, Université d'Ottawa/University of Ottawa 2018).

¹³ NADERI, M., KEYVANSHOKOOH, S., SALATI, A.P., GHAEDI, A. Effects of dietary vitamin E and selenium nanoparticles supplementation on acute stress responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) previously subjected to chronic stress. *Aquaculture* 473 (2017b) 215-222. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.02.020

Fig. 4. Concentraciones plasmáticas de proteínas totales (albúmina/globulina, en g/dl) en truchas enriquecidas y no enriquecidas ante un estresor agudo (* $P < 0,05$).



Conclusiones

Del estudio descrito, podemos concluir que el enriquecimiento ambiental ocupacional no parece tener efectos negativos sobre el crecimiento/salud, y que parece ayudar a sobrellevar un estresor agudo. Otros estudios también han encontrado que el enriquecimiento ambiental estructural ayuda a sobrellevar un estrés agudo y que la recuperación es más rápida. No obstante, es arriesgado hacer una conclusión general para todas las especies y métodos de producción. Por ejemplo, en cíclidos, el enriquecimiento estructural puede tener el efecto contrario, aumentando el estrés basal puesto que hay individuos que defienden el objeto nuevo y pelean enérgicamente con otros colegas del tanque para proteger el acceso a la estructura¹⁴. De manera similar, DePasquale et al.¹⁵ han encontrado que el efecto del enriquecimiento depende del sexo en el pez cebra. Antes de medir el efecto de un enriquecimiento es fundamental elegir qué tipo de enriquecimiento se quiere estudiar y tener cuidado con usar más de un tipo a la vez. También habrá que variar el tiempo de aplicación o decidir si se aplica de manera aleatoria.

Agradecimientos

Parte de este trabajo de investigación fue financiado por la Unión Europea EU ANIHW ERA-NET a través del proyecto WIN-FISH (grant number ERA58-WIN-FISH).

Referencias

- BARRETO, R. E., CARVALHO, G. G. A., VOLPATO, G. L. The aggressive behavior of Nile tilapia introduced into novel environments with variation in enrichment. *Zoology*, 114/1 (2011) 53-57. doi.org/10.1016/j.zool.2010.09.001
- BATZINA, A., & KARAKATSOULI, N. The presence of substrate as a means of environmental enrichment in intensively reared gilthead seabream *Sparus aurata*: growth and behavioral effects. *Aquaculture*, 370 (2012) 54-60. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.10.005
- DEPASQUALE, C., FETTROW, S., STURGILL, J., BRAITHWAITE, V. A. The impact of flow and physical enrichment on preferences in zebrafish. *Applied Animal Behaviour Science*, 215 (2019) 77-81. doi.org/10.1016/j.applanim.2019.03.015

¹⁴ BARRETO, R. E., CARVALHO, G. G. A., VOLPATO, G. L. The aggressive behavior of Nile tilapia introduced into novel environments with variation in enrichment. *Zoology*, 114/1 (2011) 53-57. doi.org/10.1016/j.zool.2010.09.001

¹⁵ DEPASQUALE, C., FETTROW, S., STURGILL, J., BRAITHWAITE, V. A. The impact of flow and physical enrichment on preferences in zebrafish. *Applied Animal Behaviour Science*, 215 (2019) 77-81. doi.org/10.1016/j.applanim.2019.03.015

- MIRGHAED, A. T., YASARI, M., MIRZARGAR, S. S., HOSEINI, S. M. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) anesthesia with myrcene: efficacy and physiological responses in comparison with eugenol. *Fish Physiology and Biochemistry*, 44/3 (2018) 919-926. doi.org/10.1007/s10695-018-0481-5
- NADERI, M., KEYVANSHOKOOH, S., SALATI, A.P., GHAEDI, A. Effects of dietary vitamin E and selenium nanoparticles supplementation on acute stress responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) previously subjected to chronic stress. *Aquaculture* 473 (2017b) 215-222. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.02.020
- NÄSLUND, J., & JOHNSON, J. I. Environmental enrichment for fish in captive environments: effects of physical structures and substrates. *Fish and Fisheries*, 17/1 (2016) 1-30. https://doi.org/10.1111/faf.12088
- NORDGREEN, J., BJØRGE, M. H., JANCZAK, A. M., HOVLAND, A. L., MOE, R. O., RANHEIM, B., HORSBERG, T. E. The time budget of Atlantic salmon (*Salmo salar*) held in enriched tanks. *Applied Animal Behaviour Science*, 144/3-4 (2013) 147-152. doi.org/10.1016/j.applanim.2013.01.005
- PAPOUTSOGLOU, S. E., KARAKATSOULI, N., BATZINA, A., PAPOUTSOGLOU, E. S., TSOPELAKOS, A. Effect of music stimulus on gilthead seabream *Sparus aurata* physiology under different light intensity in a re-circulating water system. *Journal of Fish Biology*, 73/4 (2008) 980-1004. doi.org/10.1111/j.1095-8649.2008.02001.x
- RODEWALD, P., HYVÄRINEN, P., HIRVONEN, H. Wild origin and enriched environment promote foraging rate and learning to forage on natural prey of captive reared Atlantic salmon parr. *Ecology of Freshwater Fish*, 20/4 (2011) 569-579. doi.org/10.1111/j.1600-0633.2011.00505.x
- SCHRECK, C. B., TORT, L., FARRELL, A. P., BRAUNER, C. J. *Biology of stress in fish*. Vol. 35 (Academic Press 2016)
- TURENNE, E. D. *Lipid Mobilization in Exercising Salmonids* (Doctoral dissertation, Université d'Ottawa/University of Ottawa 2018).