

Parásitos externos en la crianza del medregal (*Seriola dumerili*) en Tenerife

External parasites in the rearing of the greater amberjack (*Seriola dumerili*) in Tenerife

Trabajo de Fin de Grado

Yefermin Jesús Darías Dágfeel

Tutores: Gonzalo Lozano Soldevilla y Salvador J. Jerez Herrera

Grado en Biología

Julio 2018

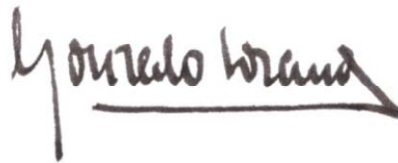
SALVADOR JOSÉ JEREZ HERRERA, Doctor en Biología, Investigador Titular de OPIs con destino en el Centro Oceanográfico de Canarias del Instituto Español de Oceanografía, y GONZALO LOZANO SOLDEVILLA; Doctor en Ciencias Biológicas, en Marina Civil y en Farmacia y Profesor Titular de Zoología con destino en la Unidad Departamental de Ciencias Marinas del Dpto. de Biología Animal y Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna:

CERTIFICAMOS: Que la memoria presentada por el Graduado en Biología D. YEFERMÍN JESÚS DARIAS DÁGFEEL, titulada “**Parásitos externos en la crianza del medregal (*Seriola dumerili*) en Tenerife**” ha sido realizada bajo nuestra tutela y dirección en la Planta de Cultivos Marinos del Centro Oceanográfico de Canarias del IEO y reúne todas las condiciones de calidad y rigor científico requeridas para optar a su presentación como Trabajo Fin de Grado TFG en la Sección de Biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad de La Laguna.

Todo lo cual firmamos, para los efectos pertinentes, en La Laguna, a 3 de julio de 2018



Fdo. Salvador J. Jerez Herrera,



Fdo. Gonzalo Lozano Soldevilla

Financiación: Proyecto DIVERSIFY

This study has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme for research, technological development and demonstration (KBBE-2013-07, GA 603121, DIVERSIFY). <http://www.diversifyfish.eu/>



RESUMEN

La crianza del medregal (*Seriola dumerili*) en cautividad en la región atlántica canaria se ha visto afectada por la infestación de ectoparásito monogeneo *Neobenedenia melleni*. Este relevante problema patológico en la crianza del medregal ha sido una de las causas que han ralentizado el desarrollo de la producción en cautividad de esta especie de gran interés para el crecimiento de la acuicultura marina. Detectar puntos críticos en el ciclo de vida del parásito, como en la reproducción y el desarrollo embrionario, son objetivos clave para desarrollar estrategias de gestión óptimas frente a esta parasitosis. Este estudio se ha centrado en los efectos de la aplicación de factores ambientales tales como el fotoperiodo y la temperatura con el objetivo de conseguir un tratamiento eficaz que rompa el ciclo de vida del parásito *Neobenedenia melleni* sin perjudicar el crecimiento, supervivencia y estado de salud de *Seriola dumerili*.

Palabras clave: *Seriola dumerili*, *Neobenedenia melleni*, parásitos monogéneos, parámetros ambientales, parámetros plasmáticos.

ABSTRACT

The rearing of the greater amberjack (*Seriola dumerili*) in captivity in the Canarian Atlantic region has been affected by the infestation of the monogenic ectoparasite *Neobenedenia melleni*. This important pathological problem in the rearing of the greater amberjack has been one of the causes that have slowed down the development of captive production of this species of great interest for the growth of marine aquaculture. Detecting the critical points in the life cycle of the parasite, such as reproduction and embryonic development, are key objectives for the development, optimal management strategies against this parasitosis. This study focused on the effects of the application of environmental factors, such as photoperiod and temperature, in order to obtain an effective treatment that breaks the life cycle of the *Neobenedenia melleni* parasite without harming growth, survival and the state of health *Seriola dumerili*.

Keywords: *Seriola dumerili*, *Neobenedenia melleni*, monogenean parasites, environmental parameters, plasmatic parameters.

INDICE

1. INTRODUCCION	1
1.1 Consideraciones generales de la acuicultura marina	1
1.2 El medregal (<i>Seriola dumerili</i>)	2
1.3 Parasitología del medregal	3
2. OBJETIVOS	6
2.1 Objetivos específicos	6
3. MATERIAL Y MÉTODOS	7
3.1 Tratamiento de modificación del fotoperiodo	7
3.2 Control del número de parásitos	8
3.3 Seguimiento de reproducción del parásito en 24 horas	10
3.4 Eclosión de huevos modificando la temperatura y la luz	11
3.5 Muestreos	12
3.6 Análisis de sangre	12
3.7 Análisis estadístico	13
4. RESULTADOS	14
4.1 Crecimiento, condición y supervivencia	14
4.2 Seguimiento de recuento de huevos del parásito <i>N. melleni</i>	16
4.3 Hematología	18
4.4 Bioquímica sanguínea	20
4.5 Seguimiento de reproducción del parásito en 24 horas	22
4.6 Eclosión de huevos de <i>N. melleni</i> modificando la temperatura y la luz	23
5. DISCUSION	24
6. INVESTIGACIONES FUTURAS	30
7. CONCLUSIONES	31
8. BIBLIOGRAFÍA	32
AGRADECIMIENTOS	35

INTRODUCCION

1.1 Consideraciones generales de la acuicultura marina

La acuicultura es el cultivo y crianza de organismos acuáticos que implica intervenciones en el proceso de cría para aumentar la producción. Es probablemente el sector de producción de alimentos de más rápido crecimiento y representa actualmente el 50 por ciento de organismos acuáticos destinados a la alimentación a nivel mundial (FAO, 2018).

La creciente demanda de alimentos de origen marino a nivel mundial requiere del crecimiento de la actividad acuícola pero de forma sostenible. La acuicultura europea ha visto su crecimiento ralentizado por motivos tales como el estancamiento de la producción, la concentración de esta en unas pocas especies y la crisis económica. En el caso concreto de peces marinos de aguas templadas, la producción se concentra solo en dos especies de forma mayoritaria, las cuales son la dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*). Con el fin de poner freno a esta tendencia se han llevado a cabo estrategias para desarrollar la acuicultura europea desde 2013 (Parlamento Europeo, 2018).

Una de las estrategias planteadas para reactivar el sector a nivel europeo, es la diversificación de las especies cultivadas. El objetivo es conseguir especies emergentes que ofrezcan ventajas sobre las que ya se están produciendo. En este sentido, dentro del proyecto europeo DIVERSIFY (<https://www.diversifyfish.eu/>, 2014), se ha planteado la diversificación de la producción en un mayor número de nuevas especies de gran tamaño y rápido crecimiento, permitiendo así una mayor oferta y comercialización al poder procesarlas en una amplia gama de productos (<https://www.ieo.es/>, 2014). Estas nuevas especies emergentes como el medregal (*Seriola dumerili*), tienen un gran potencial para la expansión de la acuicultura comercial.

1.2 El medregal (*Seriola dumerili* Risso, 1810)

El medregal o pez limón (*Seriola dumerili*) es un pez perciforme de la familia Carangidae, con gran importancia comercial y recreativa en Europa y Norte América. La captura mundial total del medregal se ha multiplicado por más de diez desde 1990, alcanzando las 3 912 toneladas en 2016 (FAOSTAT, 2016).

El cultivo del medregal se inició en el Mediterráneo en la década de los 80. La actividad comenzó con el engorde de juveniles capturados en el medio silvestre (comenzando en aproximadamente 100 g de peso) y posteriormente criados en tanques y jaulas en Italia y España. Estos experimentos dieron lugar a la primera producción comercial y establecer la base para el desarrollo de la crianza de esta especie. Sin embargo, después de las dificultades patológicas a causa de distintas enfermedades y de la falta de disponibilidad de juveniles las actividades de crianza quedaron detenidas.

Como con muchas otras especies marinas, la producción de juveniles ha sido el principal cuello de botella para el desarrollo de su producción en cautividad. Sin embargo, la obtención de puestas naturales así como el progreso reciente en las técnicas hormonales de reproducción ha permitido una serie de avances en la producción de ejemplares juveniles en criaderos (Jerez *et al.*, 2013). Estos avances han alentado la inversión en empresas de acuicultura de medregal, tanto en criaderos como granjas de engorde. En los últimos años, el medregal ha ganado un gran interés en el Mediterráneo, y es actualmente considerado como una de las especies más importantes para diversificar la producción acuícola de pescado en los países ribereños del Mediterráneo como Malta, España, Grecia, Italia, Croacia y Turquía y en América del Norte y del Sur.

El medregal tiene una amplia distribución en áreas tropicales y subtropicales, es un pez pelágico y epibentónico que habita tanto en arrecifes cercanos a la costa como en mar abierto, generalmente a profundidades entre 18 y 360 metros de profundidad. El medregal crece rápidamente, alcanzando una longitud máxima de 180-190 cm y 80 kg de peso (Smith-Vaniz, 1986).

Tanto los ejemplares salvajes de medregal como los criados son susceptibles a una variedad de enfermedades. Aunque hay varias enfermedades causadas por virus y bacterias, las principales mortalidades masivas se han relacionado con la acción de parásitos. Varios desinfectantes y productos quimioterapéuticos, así como diversos protocolos, han sido utilizados con distinto grado de éxito (Jerez *et al.*, 2013).

1.3 Parasitología del medregal

La principal causa de mortalidades masivas en el medregal están relacionadas con la acción de ciertos parásitos (Alcaide *et al.*, 2000). Estos procesos patológicos no solo se dan en instalaciones de cultivo sino que también se han registrado en poblaciones de ejemplares salvajes (Montero *et al.*, 2001; Lia *et al.*, 2007).

Las infecciones parasitarias más comunes que afectan al medregal en diversas zonas geográficas, están causadas por platelmintos monogeneos tales como *Zeuxapta seriolae*, *Benedenia seriolae*, *Neobenedeniagirellae* y *Neobenedenia melleni*. Son ectoparásitos, es decir, se adhieren a la superficie externa del pez, alimentándose de células epidérmicas y mucus segregado por el hospedador, ocasionando erosiones, abrasiones, hemorragias y aumentando el riesgo de infecciones secundarias bacterianas (Buchman y Lindenstrom, 2002). Mientras que *Z. seriolae* parasita las branquias, tanto *B. seriolae* como las especies de *Neobenedenia*, que aunque tienen una morfología muy similar son genéticamente distintas, provocan lesiones en la piel (Figura 1).



Figura 1. Ejemplar de medregal afectado por *Neobenedenia melleni*.

En el Mediterráneo, las primeras parasitosis citadas en el cultivo de *S. dumerili* estuvieron asociadas al digeneo *Paradeontacylix* sp.. En otras áreas, las altas mortalidades han estado asociadas a infecciones del monogeneo *Z. seriolae* y del ciliado *Cryptocaryon irritans* (Montero *et al.*, 2001; De la Gándara 2006). En Canarias, también se ha citado la presencia de dichos parásitos, aunque las parasitosis más comunes se han relacionado con *N. girellae* y *N. melleni* (Figura 2), especies con morfología muy similar pero genéticamente distintas (Cejas *et al.*, 2015).

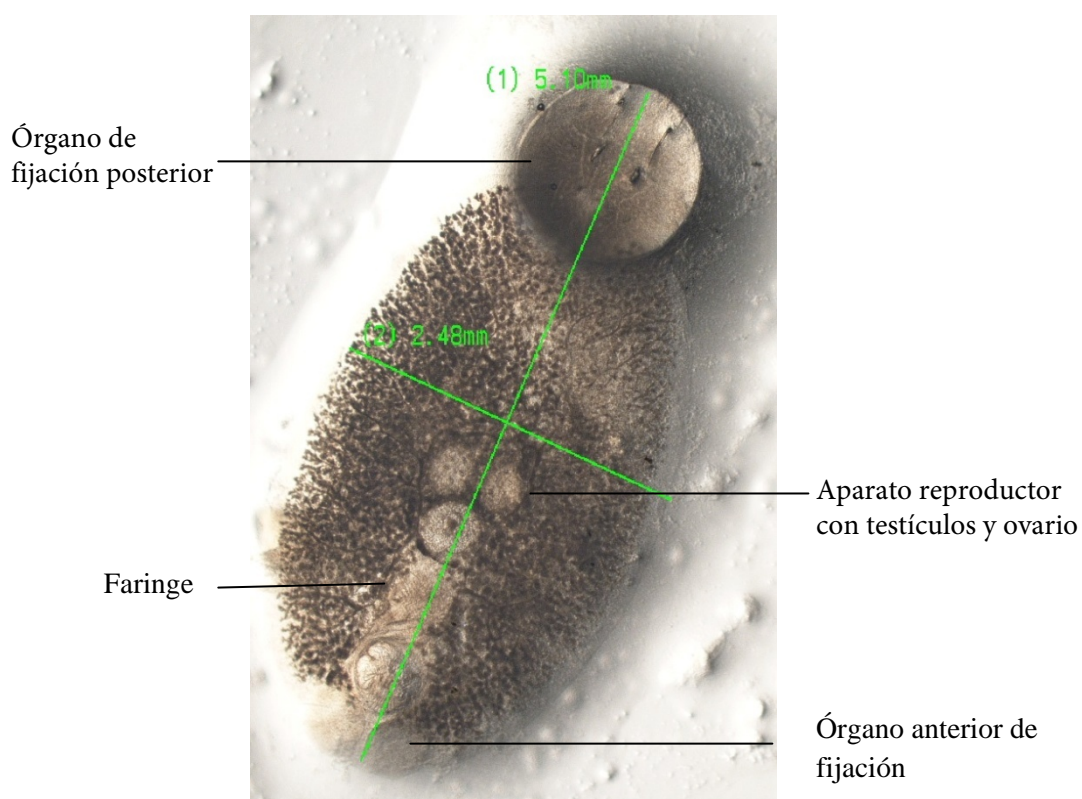


Figura 2. Adulto de *Neobenedenia melleni*, con medidas longitudinales y transversales. Imagen obtenida por medio de cámara fotográfica de estereomicroscopio.

Los peces afectados por *Z. seriolae* presentan una hipersecreción de mucus en las branquias, con grandes cantidades de vermes, mientras que los parasitados por *N. melleni* muestran hipersecreción de mucus y oscurecimiento de la piel, natación errática, pérdida de apetito, picor que hace que no paren de frotarse contra la superficie de las instalaciones de cultivo ocasionando también llagas. Los huevos

de estos parásitos muestran apéndices que facilita que se enganchen a los utensilios como los salabres con los que se manipulan los peces.

Los tratamientos utilizados para controlar y eliminar las infecciones por ectoparásitos son los baños periódicos con peróxido de hidrógeno, agua dulce o baja salinidad, formaldehído, sulfato de cobre o praziquantel. Estas medidas de control contra los parásitos para su eliminación de la piel además de mostrar una efectividad variable requieren mucho tiempo y trabajo lo que aumenta el coste de mantenimiento en una instalación de cultivo (Ernst y Whittington 1996). Además, la aplicación de estos baños causan gran estrés a los peces y excepcionalmente pueden conducir a la mortalidad posterior al tratamiento (Shirakashi *et al.*, 2013). Después del tratamiento con agentes químicos, los parásitos son eliminados de la piel, sin embargo, quedan cicatrices y marcas de la infección.

En cualquier caso es de gran importancia, como medida de prevención, la desinfección del material utilizado, durante este proceso, siempre es importante la desinfección del material utilizado ya que los huevos de estos parásitos poseen una gran capacidad de adherencia a través de un cilio en uno de sus extremos con el que se fijan a los salabres.

Con el fin de emplear tratamientos más eficaces y menos invasivos, para asegurar el bienestar de los ejemplares, así como incrementar la sostenibilidad, se está estudiando el efecto de extractos de plantas naturales contra los ectoparásitos (Trasviña-Moreno *et al.*, 2017) así como el comportamiento de estos parásitos en función de diferentes factores ambientales tales como la luz, la temperatura y salinidad como agentes principales (Hirazawa *et al.*, 2009). El conocimiento del efecto que determinadas variables ambientales podría tener en el ciclo biológico del parásito podría aportar información relevante para la gestión de la parasitación.

Estos estudios se han realizado con los principales ectoparásitos que perjudican el cultivo del medregal en Canarias que son *B. seriolae* y las especies de *Neobenedenia*, y se han centrado en aspectos tales como la estrategia reproductiva del parásito, el éxito de eclosión del huevo del parásito y el éxito de infección del parásito al pez en función de los cambios en el fotoperiodo y la intensidad de la luz, las modificaciones de la temperatura y salinidad (Hutson y Hoai, 2014).

2. OBJETIVOS

El presente estudio tiene como objetivo principal, la búsqueda de un posible tratamiento modificando las condiciones ambientales, frente al ectoparásito *Neobendenia melleni* en la crianza del medregal (*Seriola dumerili*).

2.1 Objetivos específicos

Para llevar a cabo este objetivo es necesario:

- Conocer cómo afecta la exposición de la luz en la estrategia de reproducción del ectoparásito adulto.
- Estudiar el efecto de fotoperiodo y temperatura en la eclosión del huevo del parásito.
- Estudiar el efecto sobre el crecimiento y bienestar del medregal sometido a estas modificaciones en las condiciones ambientales.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio se ha desarrollado en las instalaciones del Centro Oceanográfico de Canarias del Instituto Español de Oceanografía (COC-IEO).

Los peces seleccionados, pertenecen a la producción de ejemplares de medregal (*Seriola dumerili*) del COC-IEO del año 2017. Se han empleado 81 ejemplares de medregal que fueron distribuidos en 9 tanques de 1000 L a razón de 9 ejemplares por tanque. Los peces fueron alimentados ad libitum una vez al día a primera hora de la mañana con pienso comercial para rodaballo (R5, Skretting Ltd.) y posteriormente los tanques se limpiaron diariamente mediante sifonado. Los peces permanecieron en circuito abierto en condiciones naturales de temperatura ($19,1 \pm 0,9$ °C) y salinidad con una renovación continua de 15 l/minuto y aireación desde el fondo asegurando una saturación de oxígeno adecuada ($86,9 \pm 3,8$ %).

3.1 Tratamiento de modificación del fotoperiodo

Los tanques fueron sometidos por triplicado a diferentes condiciones de fotoperiodo, 3 de estos tanques se mantuvieron en condiciones de iluminación natural (Control), otros 3 fueron sometidos a iluminación continua (24L:0O), mientras que los 3 últimos fueron sometidos a oscuridad continua durante el primer periodo de estudio (0-34 días) y tres horas de luz y 21 de oscuridad durante el segundo periodo (0-3L:24-21O) (Figura 3).

La intensidad de luz en la superficie de los tanques se midió en cada tratamiento utilizando un luxómetro. En los tanques control, expuestos a luz natural, en los momentos de mayor incidencia de luz se registró una intensidad de 200 luxes, los tanques con luz permanente, cada uno iluminado por dos lámparas halógenas situadas a unos 30 cm encima del tanque, recibieron 1000 luxes y los tanques con oscuridad permanente recibieron menos de 2 luxes en condiciones de oscuridad continua y 1000 luxes en condiciones de iluminación.

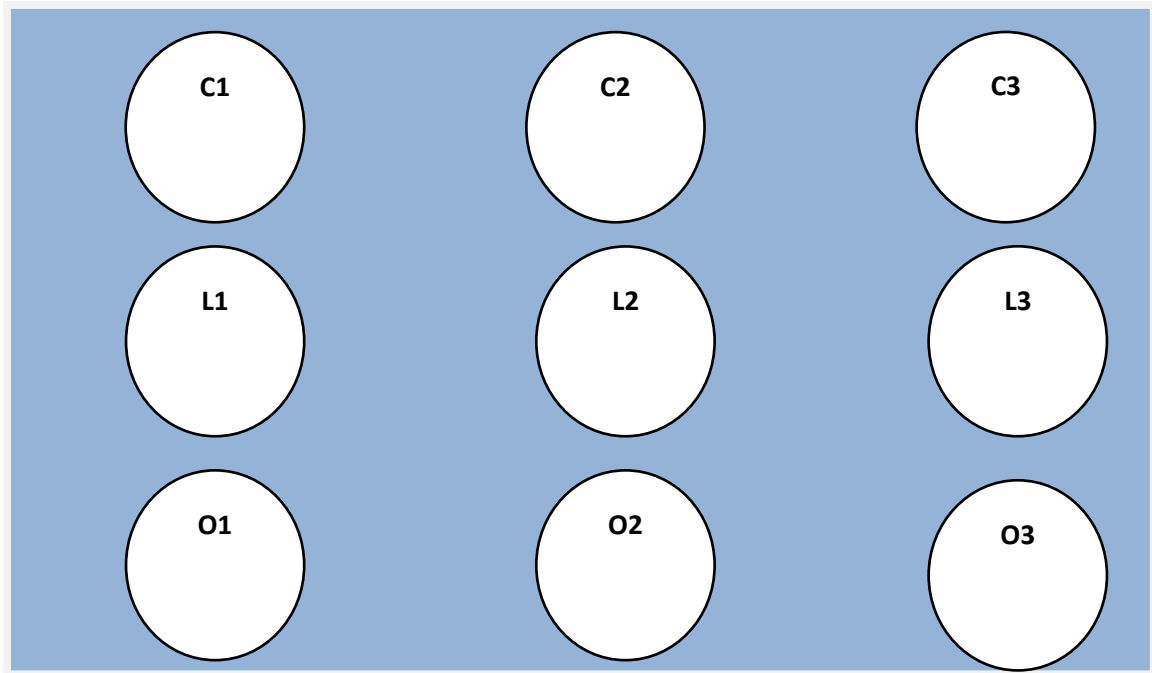


Figura 3. Esquema del tratamiento de la modificación del fotoperiodo. Los tanques C1, C2 y C3 (grupo control) sometidos a luz natural, los tanques L1, L2 y L3 (grupo 24L:0O) sometidos a 24 horas de luz y los tanques O1, O2 y O3 (grupo 0-3L:24-21O) sometidos a 24 horas de oscuridad durante el primer periodo y 3 horas de luz y 21 de oscuridad durante el segundo periodo.

3.2 Control del número de parásitos

El seguimiento del número de parásitos en cada tanque se realizó mediante un sencillo sistema que permite la estimación del número de huevos de los ectoparásitos presentes en el cultivo (Cejas *et al.*, 2015). Dicho sistema consiste en una red de nylon en forma de disco que tiene 1,5 mm en la que quedan atrapados los huevos de los parásitos monogeneos, tanto de *Zeuxapta seriolae* como de *Neobenedenia melleni*. Los huevos del parásito *N. melleni* tienen forma de cápsula tetraédrica con un apéndice filamentososo largo que le permite adherirse a los discos de nylon (Figuras 4).

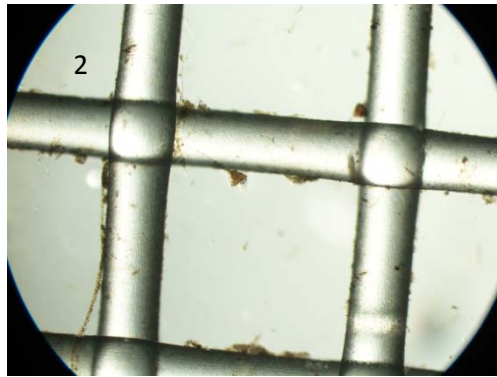


Figura 4. Huevos de *Neobenedenia melleni* (1), y adheridos a la malla (2).

Los discos se colocan en los tanques sujetos a un tubo PVC (policloruro de vinilo) que se cuelga del borde del tanque, por lo que el disco queda sumergido a la mitad del tanque sujeto a este tubo. Durante un determinado periodo de tiempo, los discos permanecen sumergidos mientras que los huevos que se encuentran flotando, al haber sido expulsados por los parásitos adultos, se adhieren al disco de nylon.

Finalmente, transcurrido el tiempo deseado, el disco de nylon se extrae del tanque y se coloca en placas de Petri con agua de mar filtrada para su observación y el conteo de huevos recolectados bajo el estereomicroscopio, este conteo se realiza con un contador manual (Figura 5).

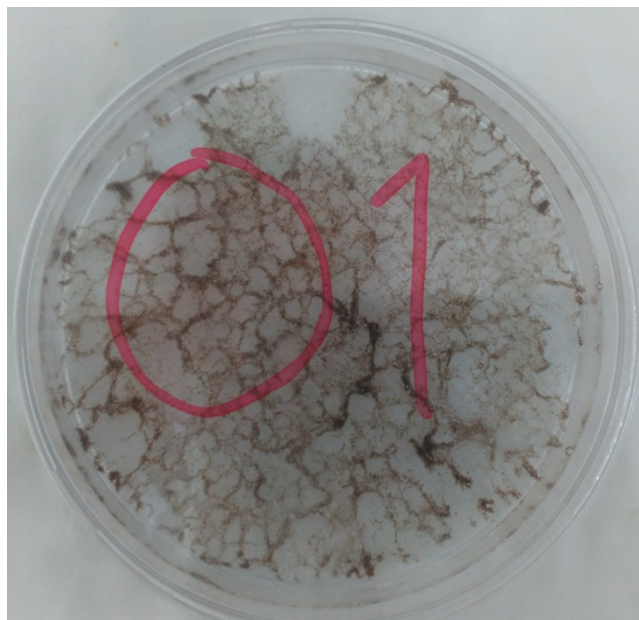


Figura 5. Placa de Petri que contiene disco de nylon con huevos de *N. melleni*.

Se hicieron muestreos semanales del control de huevos de parásito en cada tanque. Los discos se mantenían sumergidos en el tanque durante 3 días, recolectando huevos.

A causa del descenso en el número de huevos registrado en las primeras tres semanas de estudio, se procedió a la reinfección de los peces. Para ello se colocaron 9 discos en un tanque de cultivo de *S. dumerili* existente en la instalación y parasitado intensamente por *N. melleni*. Después de tres días de coleccionar huevos del parásito, cada uno de estos discos, con una carga de huevos de 524 ± 232 , se colocó en cada uno de los tanques de estudio durante dos semanas.

3.3 Seguimiento de reproducción del parásito en 24 horas

Con el objetivo de estudiar el efecto que la variación del fotoperiodo pueda tener en el ciclo de emisión de huevos por parte de los parásitos adultos a lo largo de 24 horas, durante el primer periodo de estudio, se colocaron discos de nylon para la recolección de huevos de parásito cada 3 horas durante un día entero en cada tanque. Así, al final de las 24 horas se recogieron 8 discos de nylon de cada tanque (Figura 6). El recuento del número de huevos de cada disco, bajo estereomicroscopio, permitió establecer el ritmo de emisión de adultos maduros de *N. melleni* que parasitan al medregal manteniendo diferentes condiciones de fotoperiodo.

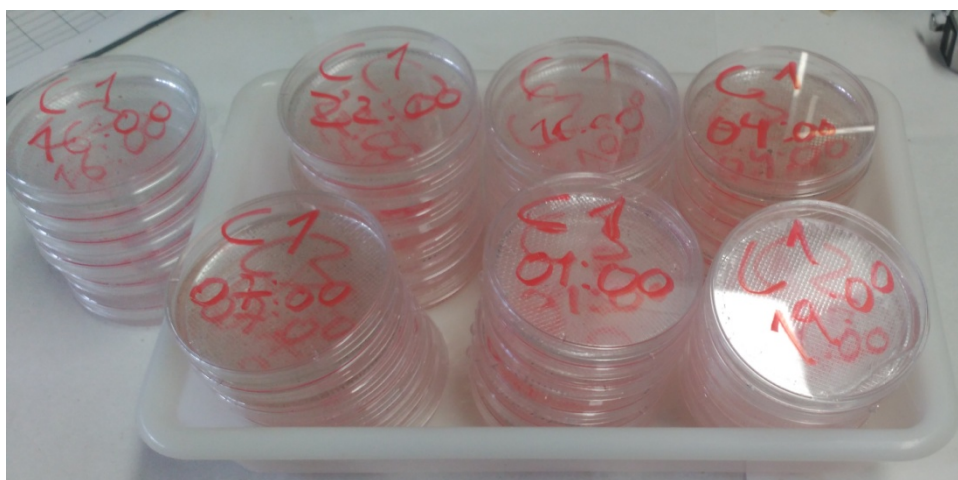


Figura 6. Discos conteniendo las mallas con huevos de *N. melleni* recolectados a lo largo de 24 horas en periodos de 3 horas.

3.4 Eclosión de huevos modificando la temperatura y la luz

Con el objetivo de estudiar el efecto de la temperatura y el fotoperiodo en la eclosión de huevos de *N. melleni*, se colocaron a la vez 27 discos en un solo tanque (C3) que estuvieron sumergidos durante 20 minutos para la recolección de los huevos.

Los discos fueron incubados a 3 diferentes temperaturas y 3 fotoperiodos distintos por triplicado (Tabla 1): 9 discos a 24° C, otros 9 a 20° C y otros 9 a 15° C. Dentro de cada temperatura, las placas fueron dispuestas de tal manera que 3 se sometieron a un fotoperiodo de 12 horas de luz y oscuridad (12L:12O), otras 3 recibían luz permanentemente (24L:0O) y las últimas 3 se taparon para permanecer en oscuridad permanente (0L:24O).

Tabla 1. Esquema de los tratamientos de temperatura aplicados en el experimento y nomenclatura de las placas que contenían los discos con huevos de parásito: C: control (12L:12O), L: luz (24L:0O) y O: oscuridad (0L:24O).

Temperatura	24° C	20° C	15° C
Fotoperiodo 12h (luz natural)	C1	C1	C1
	C2	C2	C2
	C3	C3	C3
Luz 24h	L1	L1	L1
	L2	L2	L2
	L3	L3	L3
Oscuridad 24h	O1	O1	O1
	O2	O2	O2
	O3	O3	O3

3.5 Muestreos

Los peces fueron muestreados para la obtención de datos biométricos y muestras de sangre al inicio del estudio, 34 días después y al final del experimento, 68 días desde el inicio. Para ello los peces se anestesiaron con clorobutanol (0.3 ml/l), se midieron mediante ictiómetro y se pesaron en una báscula digital.

En los muestreos hechos a los 34 y 68 días, se obtuvieron muestras de sangre de un individuo por tanque mediante punción con jeringa heparinizada en la vena caudal.

Con los datos obtenidos en los muestreos se determinaron los siguientes índices:

- Índice específico de crecimiento (IEC): que define el crecimiento del individuo en un periodo de tiempo determinado.

$$SGR_{\text{peso}} (\% \text{ día}^{-1}) = \frac{\ln \text{Peso final (g)} - \ln \text{Peso inicial (g)}}{\text{tiempo (días)}} \times 100$$

- Factor de condición (Fc): que establece el estado de gordura del individuo.

$$\text{Factor de condicion} = \frac{\text{Peso (g)}}{\text{Talla (cm)}^3} \times 100$$

3.6 Análisis de sangre

A partir de la muestra de sangre extraída se procedió a la toma de una alícuota para la determinación de los siguientes parámetros hematológicos: hematocrito, glóbulos rojos y glóbulos blancos. Con los parámetros hematológicos mencionados se determinó el volumen corpuscular medio (VCM), que representa el volumen que por término medio tiene un eritrocito y se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen corpuscular medio (VCM)} (\mu m^3) = \frac{\text{Hematocrito} (\%) \times 10}{\text{Re cuenta eritrocitario} (x10^6 / mm^3)}$$

El resto de la muestra de sangre de cada ejemplar se centrifugó durante 20 minutos a 15000 rpm para la obtención del plasma que fue congelado (-80° C) hasta su posterior análisis. Los parámetros bioquímicos plasmáticos fueron los más indicativos del estrés y estado de salud de los peces.

Los análisis bioquímicos para la determinación de glucosa, colesterol, triglicéridos, sodio, potasio, lactato y cloruro se realizaron usando kits comerciales de Biosystem y Spinreact.

3.7 Análisis Estadístico

Los resultados se muestran como medias \pm desviación típica. Los datos de crecimiento en peso y talla, medidos como índices específicos de crecimiento y factor de condición (IEC y Fc, respectivamente).

Con el fin de detectar diferencias entre los distintos tratamientos se llevó a cabo un test de ANOVA seguido por el test de comparación múltiple de Tukey.

En todos los test estadísticos utilizados, el nivel de confianza de $P < 0.05$ fue considerado como estadísticamente significativo a menos que se indique otro. Para el estudio del ciclo de emisión de huevos, los datos se ajustaron a un modelo cosinusoide $N^{\circ} \text{ huevos} = a + b \cdot \text{Cos}(2 \cdot \text{PI} \cdot (\text{Hora del día} - 18) / 24)$. El análisis estadístico fue realizado mediante el paquete estadístico SPSS (Versión 21).

4. RESULTADOS

4.1 Crecimiento, condición y supervivencia

Durante los primeros 34 días de tratamiento los peces sometidos a oscuridad continua mostraron un índice específico de crecimiento (Figura 7) y un factor de condición (Figura 8) significativamente menor que los otros tratamientos ensayados.

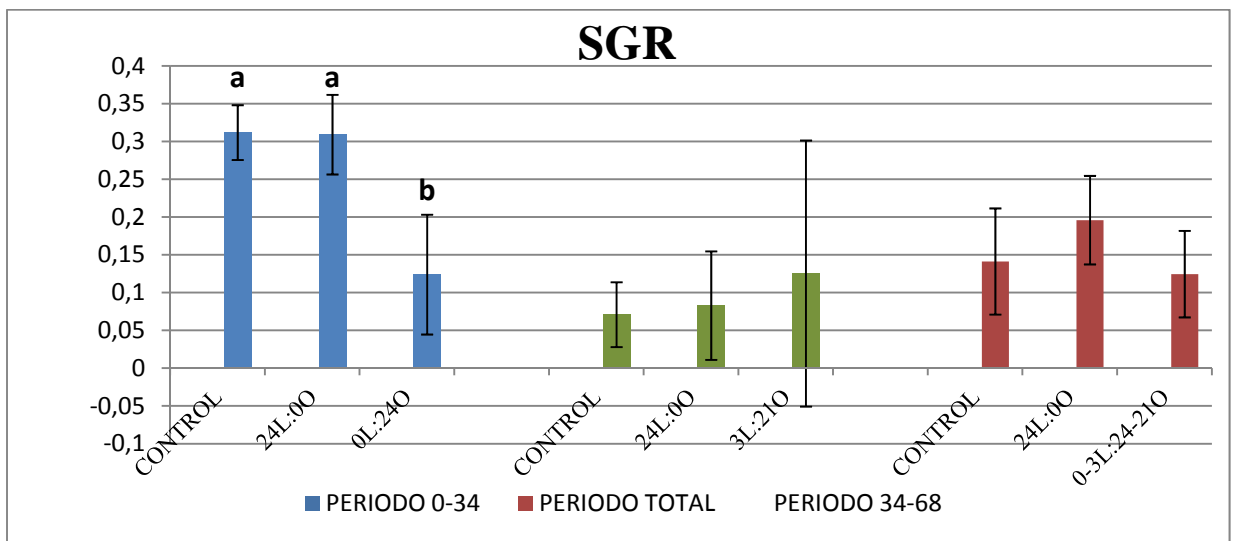


Figura 7. Índice específico de crecimiento (IEC) de los peces sometidos a los distintos tratamientos durante el primer (0-34 días) y segundo (34-68 días) periodos de estudio y en el periodo total (0-68 días).

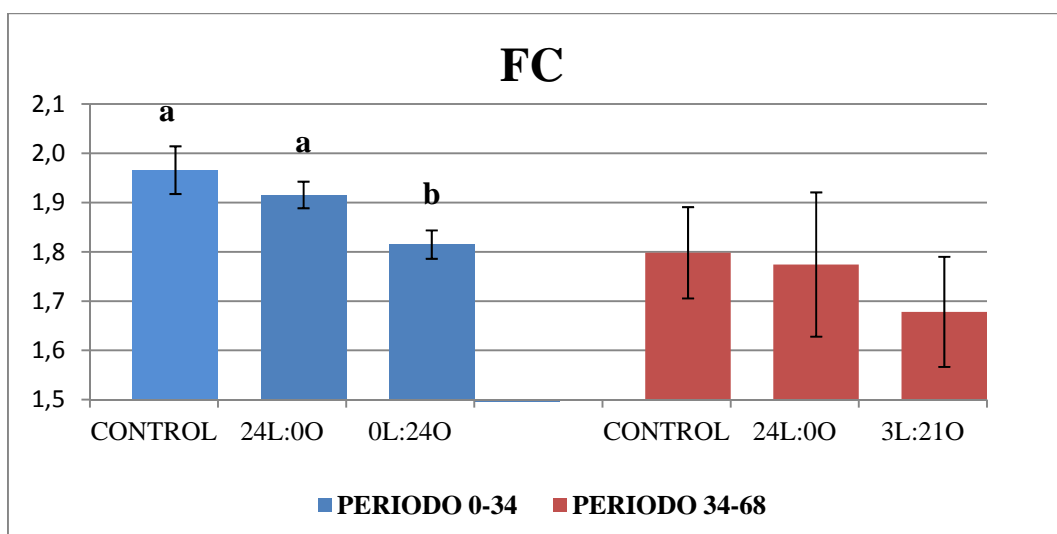


Figura 8. Factor de condición de los peces sometidos a los distintos tratamientos durante el primer (0-34 días) y segundo (34-68 días) periodos de estudio.

Sin embargo, en el segundo periodo, estas diferencias en crecimiento y condición entre los tratamientos desaparecieron haciendo de esta forma que en el periodo total de estudio el crecimiento de los ejemplares fuera similar independientemente del tratamiento aplicado.

La cantidad de alimento ingerido diariamente, en el periodo inicial y en el segundo periodo de estudio, así como en el periodo total, fue significativamente menor en los peces sometidos a oscuridad continua con respecto al resto de tratamientos (Figura 9). Además, tanto en el tratamiento control como en el de luz continua los valores de ingesta fueron muy similares.

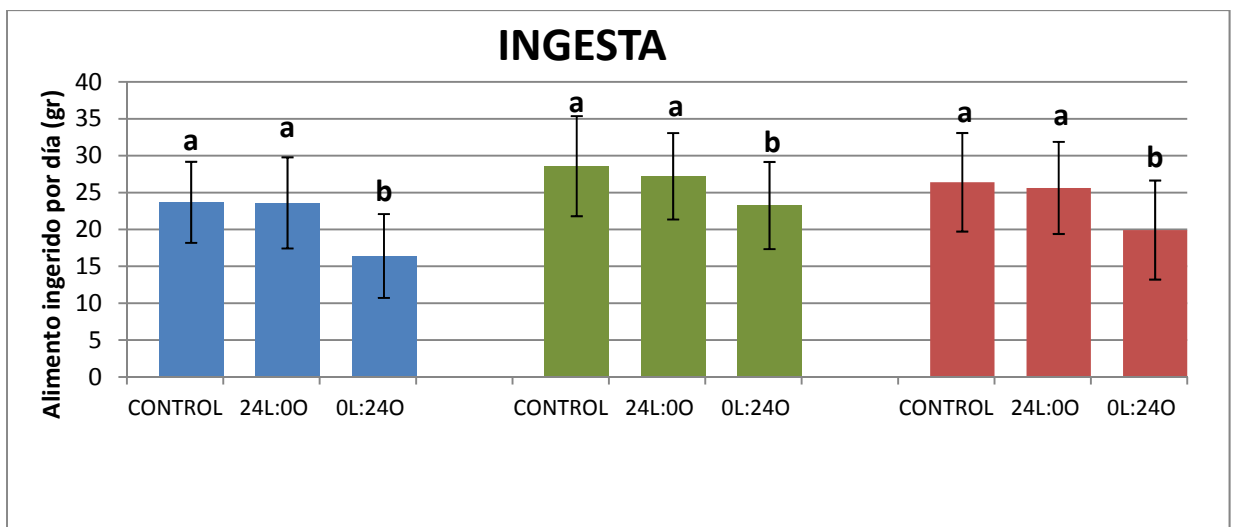


Figura 9. Ingesta de alimento en gramos representada por periodo de estudio y tratamiento.

Respecto a la supervivencia, no se registró mortalidad alguna durante los primeros 34 días de estudio, independientemente del tratamiento aplicado, mientras que en el segundo periodo, los peces sometidos previamente (0-34 días) a condiciones de oscuridad continua y a 3 horas de luz al día durante el segundo periodo (34-68 días), registraron una mayor mortalidad haciendo que la supervivencia a lo largo del estudio fuese significativamente menor que la registrada en los otros tratamientos ensayados (Figura 10).

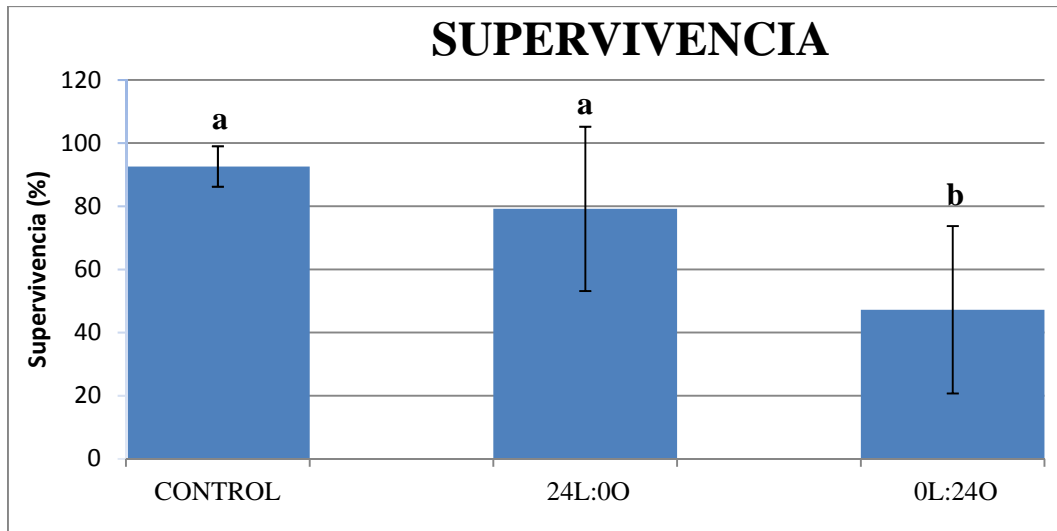


Figura 10. Supervivencia registrada a lo largo del periodo total de estudio en los peces sometidos a los diferentes tratamientos.

4.2 Seguimiento de recuento de huevos del parásito *N. melleni*.

El número de huevos de *N. melleni* por tratamiento registrado durante las tres primeras semanas de estudio varió entre 0 y 290 huevos por recuento, mostrando los peces sometidos a luz continua un número significativamente ($p < 0,05$) menor (41 ± 45) que los peces sometidos a oscuridad continua (179 ± 73), mientras que los peces control mostraron un valor intermedio (107 ± 37), siendo en cualquier caso un número de huevos bajo.

El tratamiento de reinfección aplicado, a partir de ese momento, consiguió incrementar considerablemente el número de huevos colectados en cada tanque, permitiendo así maximizar los valores resultantes de la aplicación de los diferentes tratamientos en peces con mayor grado de parasitación.

Los recuentos posteriores a la reinfección muestran que el número de huevos por tratamiento aumentó en las siguientes semanas, de forma más acusada en los peces sometidos a oscuridad continua que en los mantenidos en luz continua. Este comportamiento se mantuvo hasta el final del estudio (Figura 11).

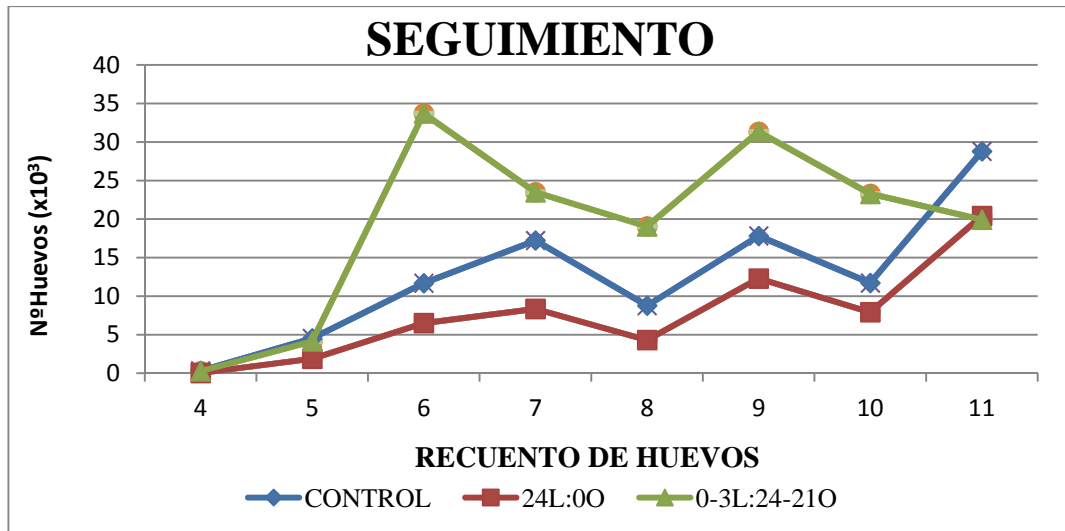


Figura 11. Número de huevos de *N. melleni* registrado semanalmente en los peces sometidos a los diferentes tratamientos desde la reinfección (semana 3) hasta el final del estudio (68 días).

Durante este periodo posterior a la reinfección, y hasta el final del estudio, se observó un número medio de huevos significativamente menor en los peces mantenidos en condiciones de luz continua con respecto a los mantenidos en condiciones de oscuridad total (0-68 días) seguido de un ciclo de 3 horas de luz y 21 de oscuridad (Figura 12).

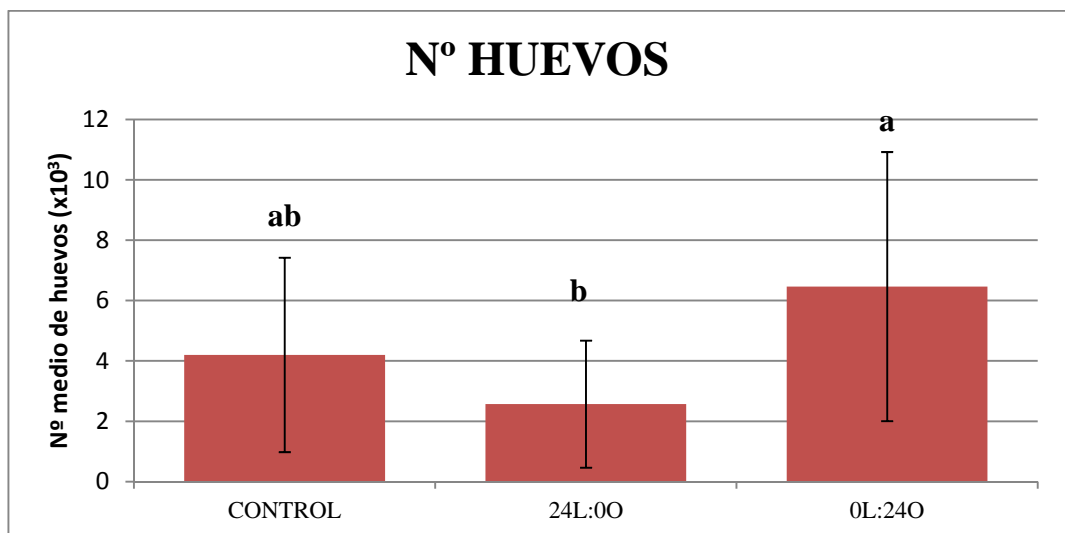


Figura 12. Número medio de huevos de *N. melleni* registrado en los peces sometidos a los diferentes tratamientos desde la reinfección (semana 3) hasta el final del estudio (68 días).

4.3 Hematología

Los niveles de hematocrito fueron significativamente menores en los peces mantenidos en condiciones de oscuridad continua durante el primer periodo respecto a los demás tratamientos, siendo los tratamientos control y luz continua similares (Figura 13). En el segundo periodo de estudio, el hematocrito fue similar independientemente del tratamiento.

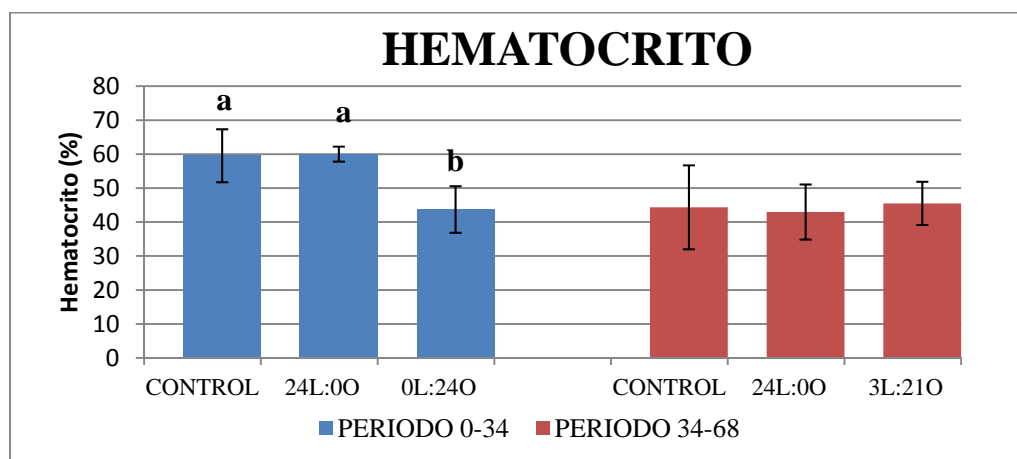


Figura 13: Valores de hematocrito (%) durante el primer y segundo periodo de estudio en los peces sometidos a los diferentes tratamientos.

El número de eritrocitos durante el primer periodo se mantuvo en niveles similares entre los tratamientos y lo mismo ocurrió en el segundo periodo (Figura 14). Sin embargo, entre el primer y segundo periodo, los eritrocitos disminuyeron ligeramente en todos los tratamientos ensayados.

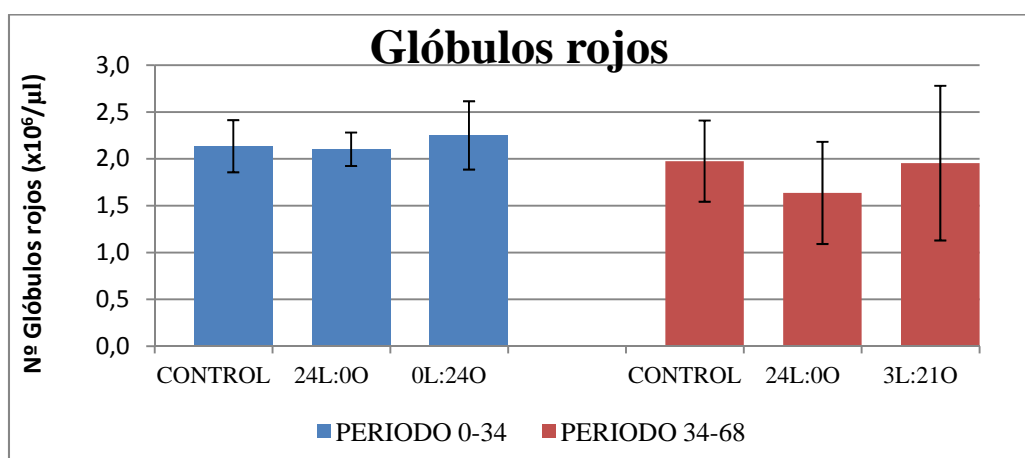


Figura 14. Valores de glóbulos rojos ($\times 10^6/\mu\text{l}$) durante el primer y segundo periodo de estudio en los peces sometidos a los diferentes tratamientos.

En el primer periodo de estudio los peces sometidos a condiciones de luz continua registraron el menor número de glóbulos blancos, mientras que en todos los tratamientos se produjo una disminución del número de glóbulos blancos entre el primer y segundo periodo de estudio (Figura 15).

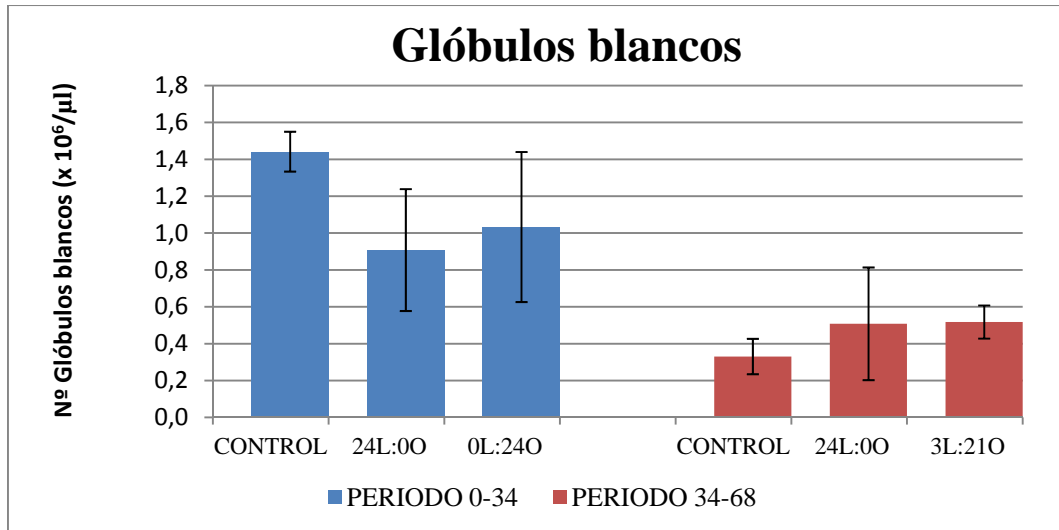


Figura 15. Valores de glóbulos blancos ($\times 10^6/\mu\text{l}$) durante el primer y segundo periodo de estudio en los peces sometidos a los diferentes tratamientos.

De la misma manera, el volumen corpuscular medio (VCM) fue similar independientemente del tratamiento aplicado (Figura 16) y no hubo una clara variación entre el primer y segundo periodo.

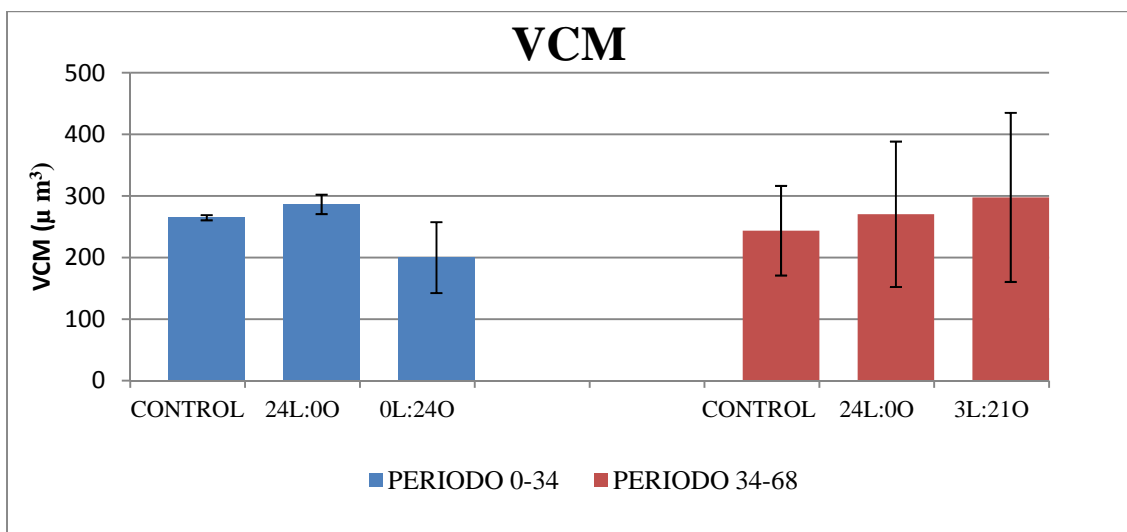


Figura 16. Volumen corpuscular medio (μm^3) durante el primer y segundo periodo de estudio en los peces sometidos a los diferentes tratamientos

4.4 Bioquímica sanguínea

La concentración de glucosa en el segundo periodo del estudio tendió a aumentar independientemente del tratamiento ensayado, respecto a los valores registrados en el primer periodo (Figura 17). Mientras que dentro de cada periodo, este parámetro fue similar entre todos los tratamientos.

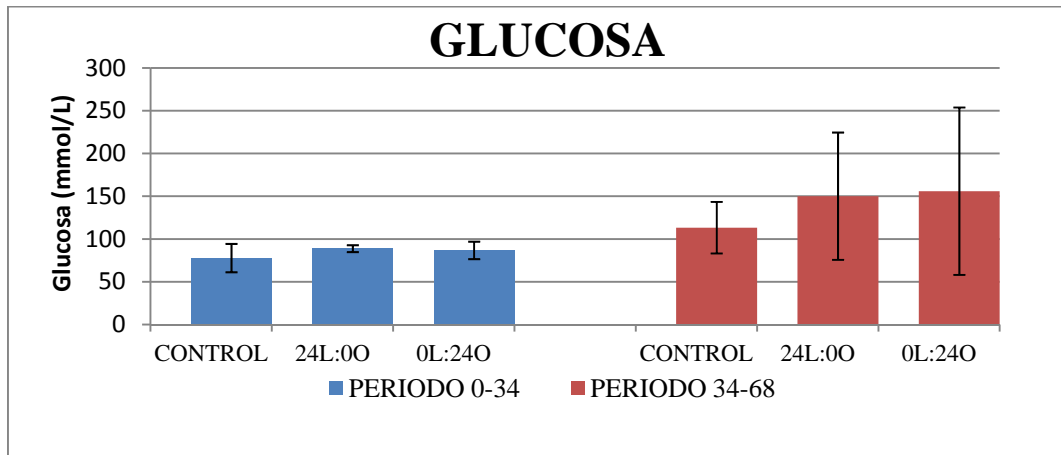


Figura 17. Concentración de glucosa en plasma (mmol/L) durante el primer y segundo periodo de estudio en los peces sometidos a los diferentes tratamientos.

En los últimos 34 días del estudio, todos los tratamientos experimentaron una caída en los niveles de colesterol en plasma respecto a los primeros 34 días (Figura 18). Sin embargo, independientemente del periodo, la concentración de colesterol fue similar entre los tratamientos.

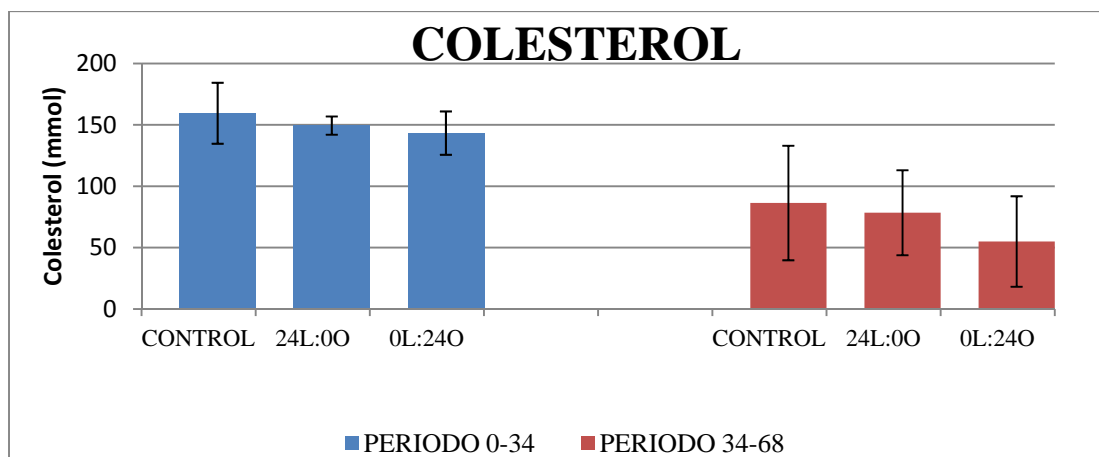


Figura 18. Concentración de colesterol en plasma (mmol/L) durante el primer y segundo periodo de estudio en los peces sometidos a los diferentes tratamientos.

La concentración de triglicéridos en plasma durante los primeros 34 días de estudio mostró diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 19). Los peces sometidos a luz continua presentaron valores de triglicéridos significativamente menores que el registrado en los peces control, siendo intermedia la concentración de triglicéridos en plasma de los peces sometidos a oscuridad continua. Sin embargo, en los 34 días posteriores, la concentración de triglicéridos fue similar independientemente del tratamiento aplicado.

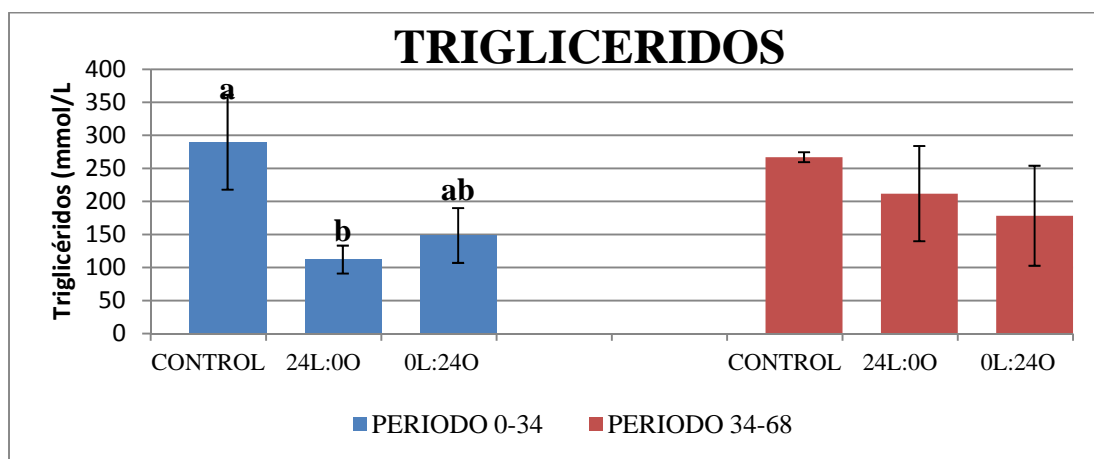


Figura 19. Concentración de triglicéridos en plasma (mmol/L) durante el primer y segundo periodo de estudio en los peces sometidos a los diferentes tratamientos.

Durante el segundo periodo del experimento, los niveles de lactato y electrolitos en plasma no mostraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos ensayados (Tabla 2). Sin embargo, mientras que el lactato, potasio y cloruro tendió a ser más elevado en el plasma de los peces control respecto a los sometidos a cualquiera de los otros tratamientos, el sodio fue inferior.

Tabla 2. Concentración de lactato (mmol/L) y los iones sodio, potasio y cloruro (mmol/L), en el plasma sanguíneo de los peces sometidos a los diferentes tratamientos durante el segundo periodo de estudio.

PERIODO	CONTROL			24L:00			0L:24O		
	MEDIA	±	DES.TÍPICA	MEDIA	±	DES.TÍPICA	MEDIA	±	DES.TÍPICA
LACTATO	37,09	±	19,01	21,09	±	11,93	26,95	±	8,83
SODIO	7,80	±	2,83	27,10	±	35,59	12,43	±	7,44
POTASIO	39,13	±	37,76	35,40	±	22,14	30,42	±	12,54
CLORURO	70,42	±	30,10	63,72	±	32,07	46,50	±	34,21

4.5 Seguimiento de reproducción del parásito en 24 horas

El ritmo de emisión de huevos a lo largo del día por parte de *N. melleni* que se encuentra parasitando a los peces sometidos a cada tratamiento, control, 24 horas de luz y 24 horas de oscuridad, se ajustaron a un modelo cosinuoide según las siguientes ecuaciones:

T. control: N° huevos = $474,5 + 298,8 * \text{Cos}(2 * \text{PI} * (\text{Hora del día} - 18) / 24)$; $r = 0,85$, $p = 0,0001$

T. 24L:00: N° huevos = $391,9 + 429,2 * \text{Cos}(2 * \text{PI} * (\text{Hora del día} - 18) / 24)$; $r = 0,89$, $p = 0,0001$

T. 0L:24O: N° huevos = $561,1 + 457,2 * \text{Cos}(2 * \text{PI} * (\text{Hora del día} - 18) / 24)$; $r = 0,83$, $p = 0,0001$

N=16 para cada modelo

Según el recuento de huevos realizado en cada periodo de 3 horas durante 24 horas sucesivas, se observó como los tres tratamientos mostraron su máximo de huevos recolectados entre las 16:00-17:00 horas de la tarde.

Sin embargo, la emisión de huevos se prolongó durante todas las horas de luz del día independientemente del tratamiento aplicado. La emisión de huevos se inició al amanecer (7:00 am) aumentando el número de huevos colectados progresivamente hasta el atardecer (19:00 pm) donde la emisión comenzó a descender (Figura 20).

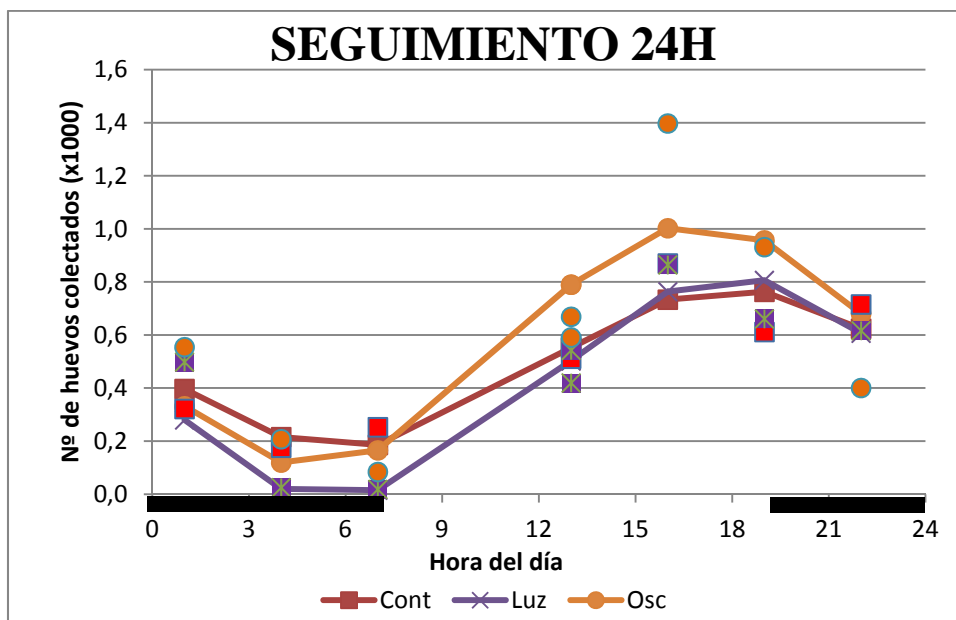


Figura 20. Ciclo diario de emisión de huevos de *N. melleni* parasitando a peces sometidos a los diferentes tratamientos. Las barras negras indican las horas de oscuridad natural

4.6 Eclosión de huevos de *N. melleni* modificando la temperatura y la luz

La eclosión de huevos del parásito fue significativamente menor en el fotoperiodo de luz continua con respecto a los otros fotoperiodos e independientemente de la temperatura. Sin embargo, la temperatura de 15°C registró un número significativamente menor de eclosiones que el resto de temperaturas aplicadas en el experimento (Figura 21).

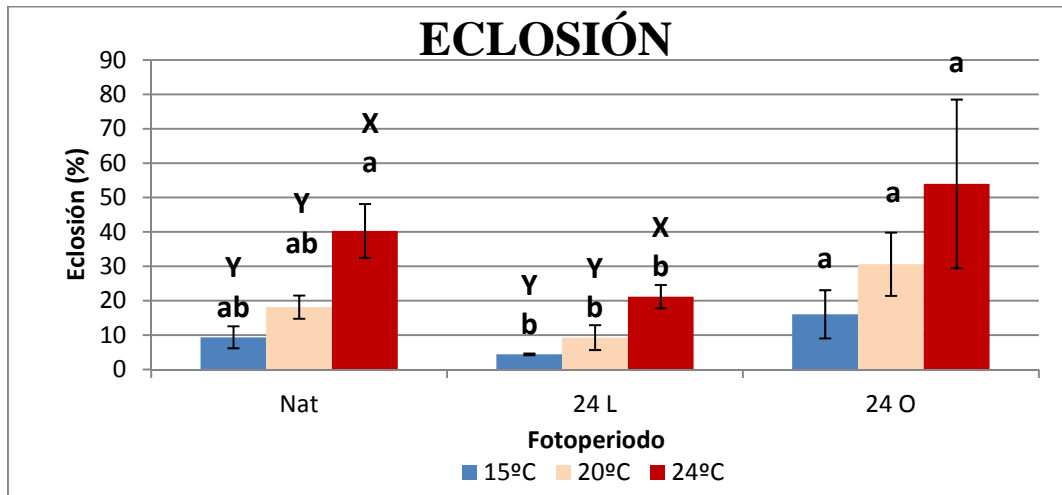


Figura 21. Porcentaje de eclosión (%) de huevos de *N. melleni* sometidos a tratamientos combinados de fotoperiodo Natural (Nat), luz continua (24L) y oscuridad continua (24O) y temperatura (15, 20 y 24°C).

A mayor temperatura de incubación de los huevos de *N. melleni*, menor es el tiempo de desarrollo embrionario y eclosión (Figura 21). A temperatura de 24° C eclosionan huevos a partir de los primeros dos días de incubación, mientras que en la menor temperatura ensayada (15°C) la eclosión tiene lugar a partir del día 5 de incubación.

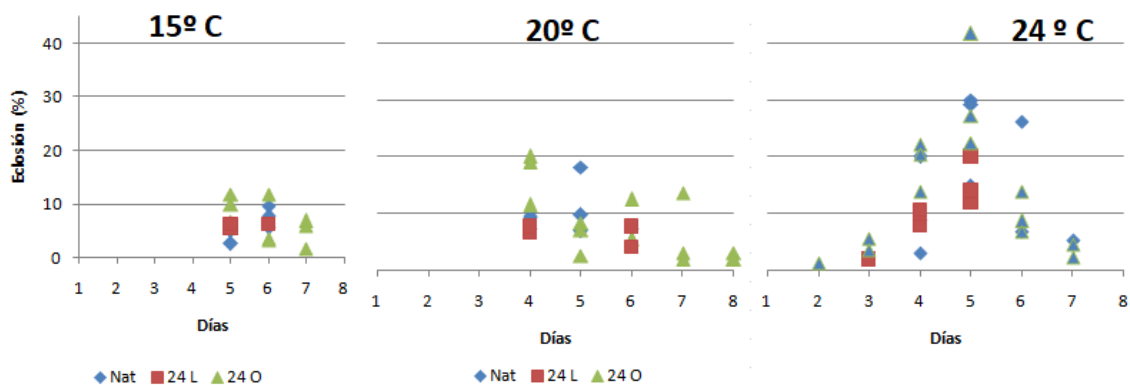


Figura 21. Eclosión diaria de huevos de *N. melleni* incubados a diferentes condiciones de temperatura y fotoperiodo a lo largo de 8 días posteriores a la emisión.

5. DISCUSION

El crecimiento medido como índice específico de crecimiento (IEC), muestra que las condiciones de oscuridad continua afectan negativamente el crecimiento del medregal (*Seriola dumerili*), tal como se observa fundamentalmente durante el primer periodo (0-34 días), mientras que condiciones de luz continua no lo incrementa respecto a condiciones naturales. De hecho, durante el segundo periodo de estudio (34-68 días) el crecimiento experimentado por los peces sometidos a tan solo 3 horas de luz, después de estar sometidos a total oscuridad en el periodo anterior, fue similar al registrado en los otros dos tratamientos.

El factor de condición sigue una tendencia similar al crecimiento durante los dos periodos de estudio. Las condiciones de oscuridad continua afectan negativamente al engorde del animal, mientras que el engorde en condiciones de luz continua es similar al nivel de engorde del grupo control.

El comportamiento del crecimiento y condición del medregal en este estudio muestra una clara relación con la cantidad de alimento ingerido. La ingesta entre el inicio y el final del estudio, reflejó lo ocurrido en los dos periodos (0-34 y 34-68 días). La ausencia de luz afectó a la ingesta disminuyéndola pero también la luz continua no causó su incremento. La clara relación existente entre la oscuridad continua y la menor ingesta se confirma cuando en el segundo periodo, al aplicar 3 horas de luz a los peces sometidos a oscuridad continua durante el primer periodo, la ingesta de alimento fue similar a la experimentada por los otros dos tratamientos.

En general los peces que tienen hábitos alimenticios diurnos crecen mejor en condiciones de fotofase (Spieler y Noeske, 1984) mientras que los que tienen hábitos nocturnos lo hacen mejor cuando se alimentan en condiciones de escotofase (Sundararaj *et al.*, 1982). Además, es frecuente que el nivel de actividad locomotora se incremente gradualmente antes del amanecer en peces con hábitos alimenticios diurnos (Sánchez-Vazquez y Tabata, 1998).

El medregal se ha descrito como un pez altamente dependiente de la visión para la captura de alimento, mostrando un claro y rígido ritmo alimentario asociado a

oscilaciones circadianas endógenas y un máximo que tiene lugar entre 1-3 h después de la salida del sol (Chen *et al.*, 2007). Además, se ha observado ausencia de actividad locomotora antes de la salida del sol lo que refuerza aun más la idea de la alimentación depende mucho de la visión (Bolliet *et al.*, 2001) al contrario que lo descrito para una especie cercana como *Seriola quinqueradiata* que cambia su comportamiento alimenticio en función de las condiciones de fotoperiodo (Kohbara *et al.*, 2003).

Pese a registrar los niveles más bajos de ingesta y crecimiento en los peces sometidos a oscuridad continua en el primer periodo, no se registró mortalidad en ninguno de los tratamientos aplicados. Es en el segundo periodo cuando se registra el total de mortalidad del estudio. La mayor mortalidad, que tiene lugar en los peces que en este segundo periodo han pasado de estar sometidos a total oscuridad a tener 3 horas de luz diaria, refleja el efecto deletéreo en la salud del pez que se ha producido durante el periodo previo, alcanzando una especie de punto de no retorno. Esto pone en relieve la importancia de mantener unas óptimas condiciones de crianza en general y especialmente en el caso del medregal.

Los recuentos de huevos de *N. melleni* durante todo el estudio muestran que los niveles de parasitación dependieron del tratamiento aplicado. En la etapa previa a la reinfección de los peces (primeras tres semanas), el comportamiento de parasitación fue prácticamente el mismo que el registrado posteriormente, observándose el menor número de huevos en las condiciones de luz continua, mientras que las condiciones de oscuridad continua favorecieron una mayor parasitación. Esto se confirma con el hecho de que la aplicación de luz durante tan solo 3 horas al día, en la etapa posterior a la reinfección provoca la reducción del número de huevos en un 30,3% en 7 días.

En la etapa anterior a la reinfección, el número de huevos colectados en condiciones de luz continua disminuyó progresivamente llegando a registrarse valores nulos en tan solo tres semanas. Teniendo en cuenta que la duración del ciclo de vida del parásito se ha estimado en 21 días (Hoai y Hutson, 2014), nuestros resultados podrían indicar que un pulso de luz continua de tres semanas de duración podría ser eficaz contra la parasitación, principalmente cuando la población total de parásitos sea baja.

Tanto el hematocrito como los glóbulos rojos fueron afectados negativamente por las condiciones de oscuridad continua en el primer periodo del estudio. Sin embargo,

mientras que el hematocrito lo fue de forma significativa, el número de glóbulos rojos disminuyó de forma no significativa. Esto hace que los valores de volumen corpuscular medio sean similares en dicho periodo. Esta similitud podría indicar que el menor hematocrito estuvo relacionado con un menor tamaño de las células de glóbulos rojos en los peces sometidos a oscuridad continua.

Los valores de hematocrito y número de glóbulos rojos registrados en el segundo periodo fueron en general inferiores a los del primer periodo en todos los tratamientos ensayados, pero fueron similares entre tratamientos.

El volumen corpuscular medio también se vio afectado y el valor fue diferente entre el primer y segundo periodo, pero de forma inversa al número de glóbulos rojos. Esto indicaría que la disminución del número de glóbulos rojos fue compensada por un aumento del tamaño de dichas células para disminuir el efecto de una posible anemia. Es sabido que las parasitaciones pueden afectar a los parámetros hematológicos de los peces hospedadores resultando por lo general en estados anémicos como consecuencia de las hemorragias originadas en los epitelios por los ectoparásitos, tal como se ha citado para *S. dumerili* parasitada por *Zeuxapta seriolae* (Montero *et al.*, 2004) y por *N. girellae* (Hirazawa *et al.*, 2016).

Los niveles de glóbulos blancos, similares entre tratamientos en cada periodo, disminuyeron drásticamente en el segundo periodo del estudio en todos los tratamientos. Este acusado descenso de glóbulos blancos se puede relacionar con un estado de inmunodeficiencia causado por la elevada infestación y por la duración de esta. En estudios previos se ha relacionado las variaciones del número de glóbulos blancos con agentes causantes de estrés crónico o repetitivo. Entre estos parámetros causantes de estrés repetitivo se encuentran las parasitaciones, que en función de la duración pueden causar inmunodepresión (Barton, *et al.*, 1997; Barandica y Tort, 2008). También en *S. dumerili* se ha relacionado las variaciones en el número de glóbulos blancos con infestaciones de *Zeuxapta seriolae* (Jerez *et al.*, 2017).

Las actividades fisiológicas en una gran parte de los organismos estudiados muestran ritmos relacionados o sincronizados con factores diversos entre los que se encuentra el fotoperiodo. La no finalización de alguna de las dos fases (24 horas de luz

ininterrumpida) puede afectar claramente al bienestar de los animales. Cambios en estos ritmos pueden afectar a los constituyentes sanguíneos de los peces, tanto inorgánicos como orgánicos y hormonales (Pavlidis *et al.*, 1997).

En este estudio, la concentración de glucosa aumentó en todos los tratamientos en el segundo periodo respecto al primer periodo y fue similar independientemente del tratamiento aplicado, mientras que la concentración de colesterol disminuyó. Estos niveles de glucosa, fueron superiores a los citados en estudios previos en ejemplares de medregal de pesos similares (entre 33 ± 11 y 62 ± 9 mmol/L) mientras que los de colesterol fueron inferiores (entre $207,75\pm 82,84$ y $342,04\pm 79,35$ mmol/L) (Jerez *et al.*, 2009, 2015).

Los niveles de glucosa elevados en teleósteos se relacionan con un mayor nivel de cortisol como consecuencia de un mayor grado de estrés usándose como un indicador secundario de estrés (Benfey y Biron, 2000). Además, en peces, el aumento de la concentración de triglicéridos en plasma se ha relacionado con la activación del metabolismo lipídico que tiene lugar como respuesta a factores estresantes, entre los que se encuentran las parasitaciones, causantes de grandes demandas de energía (Montero *et al.*, 1999).

En este estudio, el único parámetro bioquímico del plasma analizado que mostró diferencias entre tratamientos fue la concentración de triglicéridos, durante el primer periodo, siendo los peces sometidos a condiciones de luz continua los que mostraron el menor nivel de triglicéridos en plasma y que coincidió también con el menor número de huevos de *N. melleni* colectados.

En los peces mantenidos en condiciones de oscuridad continua los niveles de iones analizados, tanto sodio como potasio, cloruro y lactato fueron los más bajos, lo cual nos indica que una aportación nula de luz afecta negativamente a la asimilación de iones en el organismo del pez.

Los niveles de iones (sodio, potasio y cloruro) y lactato al final del estudio no mostraron diferencias entre los distintos tratamientos. La alteración de electrolitos en el plasma de *S. dumerili* se ha relacionado con la migración de los parásitos (*N. girellae*) que tiene lugar en el pez causando un desequilibrio osmótico (Hirayama *et al.*, 2009), con altos niveles de sodio en plasma en los ejemplares severamente parasitados (Hirazawa *et al.*, 2016). En este sentido, los niveles similares medidos en este estudio en

el segundo periodo podrían relacionarse con el similar nivel de parasitación registrado al final del ensayo.

Los resultados del ritmo diario de emisión de huevos de *Neobenedenia melleni* muestran que independientemente de las horas de luz a la que están sometidos los ejemplares de medregal parasitados, la emisión de huevos se concentra en horas de luz, entre las 8:00 y 19:00 horas del día.

Contrariamente a lo observado en este estudio, Hoai y Hutson (2014) observaron en Australia, un ritmo nocturno de emisión de huevos de *Neobenedenia sp.*. Este diferente patrón de comportamiento de emisión de huevos podría deberse a diferencias relacionadas con la especie de parásito, con el área de estudio y/o con factores distintos a las horas de luz.

En la actualidad es incierto el parámetro al que está asociado el ritmo de emisión de huevos de los parásitos (Mooney *et al.*, 2008). Jackson y Tinsley (1988) identificaron diferentes parámetros que afectan a esta emisión de huevos y que incluyen la temperatura, edad del parásito, salud del hospedador, estado inmune y condiciones de crianza como son régimen de luz, frecuencia y momento de alimentación (Kohbara *et al.*, 2000) y densidad de peces.

Es sabido que la temperatura es un importante parámetro que afecta al ciclo de vida de los parásitos monogeneos (Ernst y Whittington 1996, Tubbs *et al.*, 2005) y estos efectos deben ser conocidos y entendidos si queremos desarrollar estrategias efectivas de interrupción de su ciclo. Los ciclos de reinfección pueden ser prevenidos si se coordinan estratégicamente las variables ambientales como temperatura y salinidad.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que la luz continua afecta negativamente el desarrollo embrionario del parásito, disminuyendo el porcentaje de eclosión de huevos de *N. melleni.*, al contrario que las condiciones de oscuridad continua, que dan lugar a los mayores porcentajes de eclosión. Además, los porcentajes de eclosión más altos y más dilatados en el tiempo se obtuvieron cuanto mayor fue la temperatura de incubación.

Estos resultados corroborarían el mayor éxito que el parásito *N. melleni* ha mostrado en este estudio en condiciones de oscuridad continua, y el menor número de huevos, indicativo de una menor parasitación, registrado en los ejemplares sometidos a luz

continua. Un mayor nivel de parasitación y rapidez de infestación por el aumento de temperatura también se ha visto en estudios previos (Hirazawa *et al.*, 2010; Brazenor *et al.*, 2015).

Los resultados obtenidos muestran que la sincronización de la baja temperatura y el aumento de las horas de fotoperiodo reducen notablemente el desarrollo embrionario del parásito, al mismo tiempo que se ha comprobado que el incremento de temperatura y la falta de luz aumentan el éxito del desarrollo embrionario y eclosión haciendo que el ciclo de vida del parásito se complete con más rapidez. Teniendo en cuenta estas condiciones, es previsible que el ciclo de vida del parásito se complete antes en verano, al aumentar el éxito de infección, que en invierno, tal como se ha postulado en trabajos previos (Brazenor *et al.*, 2015).

6. INVESTIGACIONES FUTURAS

Los resultados obtenidos muestran que el aumento de la cantidad de horas de luz reduce la población del parásito *Neobenedenia melleni* en el crianza del medregal (*Seriola dumerili*). Siguiendo esta línea de investigación, sería útil estudiar y conocer de qué manera se puede variar el fotoperiodo para estandarizar un tratamiento optimizado que facilite el desarrollo de la producción del medregal en cautividad.

Este estudio aporta conocimiento relevante sobre la biología de *Neobenedenia melleni*, en relación con el efecto que la variación combinada de luz y temperatura tienen en el desarrollo embrionario y eclosión de los huevos, determinando las combinaciones que más pueden reducir los niveles de parasitación en el medregal. Sin embargo, se precisa de más investigación para trasladar esta contribución a las condiciones de crianza del medregal.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el ritmo de emisión diaria de huevos de *Neobenedenia melleni* en este estudio, se debería seguir investigando para determinar qué otros factores ligados al fotoperiodo intervienen en la reproducción del parásito

7. CONCLUSIONES

Las condiciones de oscuridad continua afectan al estado de bienestar de *S. dumerili* de forma importante, originando un progresivo empeoramiento de la salud del pez, provocado por la disminución de ingesta.

La crianza de *S. dumerili* en condiciones de iluminación continua no mejora los índices de crecimiento, pero reduce el número de huevos de *N. melleni*, indicativo de una menor parasitación.

Sin embargo, la modificación de las horas de luz no es el único factor que influye en el ciclo de emisión de huevos del parásito *N. melleni*.

El desarrollo embrionario del parásito y la eclosión sí se ve favorecido por las condiciones de oscuridad y por el aumento de la temperatura, incrementando así el éxito de reinfección de *N. melleni*.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaide, E., Sanjuan, E., de la Gandera, F., & García-Gómez, A. (2000). Susceptibility of amberjack (*Seriola dumerili*) to bacterial fish pathogens. Bulletin European Association of Fish Pathologists, 20(4), 153-156.
- Barandica, C. L. M., & Tort, L. (2008). Neuroendocrinología e inmunología de la respuesta al estrés en peces. Rev. Acad. Colomb. Cienc, 32(123), 267-284.
- Barton, B. A. 1997. Stress in finfish: Past, present and future—a historical perspective. In G. K. Iwama, A. D. Pickering, J. P. Sumpter, and C. B. Schreck (eds.), Fish stress and health in aquaculture, pp. 1–33. Soc. Exp. Biol. Sem. Ser. 62, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K
- Benfey, T. J., & Biron, M. (2000). Acute stress response in triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brook trout (*Salvelinus fontinalis*). Aquaculture, 184(1-2), 167-176.
- Bolliet, V., Azzaydi, M., Boujard, T., 2001. Effects of feeding time on feed intake and growth. Food intake in fish, 233-249.
- Brazenor, A. K., & Hutson, K. S. (2015). Effects of temperature and salinity on the life cycle of *Neobenedenia* sp.(Monogenea: Capsalidae) infecting farmed barramundi (*Lates calcarifer*). Parasitology Research, 114(5), 1875-1886.
- Buchmann, K., & Lindenstrøm, T. (2002). Interactions between monogenean parasites and their fish hosts. International Journal for Parasitology, 32(3), 309-319.
- Cejas, J.R., Jerez, S., Doble, A., Almansa, E., Martín, M.V., Felipe, B.C. 2014. A simple method to monitoring the parasite population of *Benedenia seriolae* in rearing tanks of *Seriola dumerili*. IV Simposio Internacional de Ciencias Marinas. Las Palmas de Gran Canaria.
- Cejas, J.R., Jerez, S., Almansa, E., Martín, M.V., Hernández, M., Foronda, P., Plata-Luis, J. (2015). Monogeneos en el cultivo de *Seriola dumerili* en la región atlántica canaria.
- Chen, W.M., Umeda, N., Mitsuboshi, T., Hirazawa, N., 2007. Circadian self-feeding rhythms in greater amberjack *Seriola dumerili* (Risso). Journal of Fish Biology, 70, 2, 451-461.
- De-la-Gándara, F. (2006). ¿ Por qué no se ha desarrollado el cultivo de *Seriola dumerili* en el Mediterráneo?.
- Ernst, I., & Whittington, I. D. (1996). Hatching rhythms in the capsalid monogeneans *Benedenia lutjani* from the skin and *B. rohdei* from the gills of *Lutjanus carponotatus* at Heron Island, Queensland, Australia. International Journal for Parasitology, 26(11), 1191-1204.
- Europeo, P. Fichas técnicas sobre la Unión Europea. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. (2018).

Hirayama, T., Kawano, F., & Hirazawa, N. (2009). Effect of *Neobenedenia girellae* (Monogenea) infection on host amberjack *Seriola dumerili* (Carangidae). *Aquaculture*, 288(3-4), 159-165.

Hirazawa, N., Takano, R., Hagiwara, H., Noguchi, M., & Narita, M. (2010). The influence of different water temperatures on *Neobenedenia girellae* (Monogenea) infection, parasite growth, egg production and emerging second generation on amberjack *Seriola dumerili* (Carangidae) and the histopathological effect of this parasite on fish skin. *Aquaculture*, 299(1-4), 2-7.

Hirazawa, N., Tsubone, S., & Takano, R. (2016). Anthelmintic effects of 75 ppm hydrogen peroxide treatment on the monogeneans *Benedenia seriolae*, *Neobenedenia girellae*, and *Zeuxapta japonica* infecting the skin and gills of greater amberjack *Seriola dumerili*. *Aquaculture*, 450, 244-249.

Hoai, T. D., & Hutson, K. S. (2014). Reproductive strategies of the insidious fish ectoparasite, *Neobenedenia* sp.(Capsalidae: Monogenea). *PLoS One*, 9(9), e108801.

Jackson, H. C., & Tinsley, R. C. (1988). Environmental influences on egg production by the monogenean *Protopolystoma xenopodis*. *Parasitology*, 97(1), 115-128.

Jerez, S. 2013. I. Cultivo de carángidos: la seriola y el jurel dentón. En: Diversificación de especies en la piscicultura marina española. Abellan, E. y Arnal, I. (Eds.). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, España (ISBN/ISSN: 978-84-939800-1-6), pp. 17-68

Jerez, S., Hernández, I., Cejas, J.R, Almansa, E., Samper, M., Villamandos, J.E, Felipe, B.C. 2009. Efectos de la estrategia de alimentación en la hematología y bioquímica sanguínea del medregal (*Seriola dumerili*) en condiciones de cultivo Actas XII Congr. Nac. Acuicult.: 162-163.

Jerez, S.; Martín, M.V.; Cejas, J.R.; Almansa, E., Sánchez, E. 2015. Evaluation of different feeding frequencies in *Seriola dumerili* juveniles: effects on hematological and biochemical parameters. European Aquaculture Society 2015. Rotterdam (Netherlands).

Jerez, S. y Vassallo Agious, R. 2016. Cultured Aquatic Species Information Programme. *Seriola dumerili*. Cultured Aquatic Species Information Programme. FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]: 1-13

Jerez, S., Martín, M. V., Santamaria, F.J., Felipe, B., Misol, A., Lago, M.J. 2017. Effects of stocking density on growth performance and health of greater amberjack *Seriola dumerili* juveniles. *Aquaculture Europe 2017*. Dubrovnik, Croatia.

Kohbara, J., Hidaka, I., Matsuoka, F., Osada, T., Furukawa, K., Yamashita, M., Tabata, M., 2003. Self-feeding behavior of yellowtail, *Seriola quinqueradiata*, in net cages: diel and seasonal patterns and influences of environmental factors. *Aquaculture*, 220, 1, 581-594.

Lia, R. P., Zizzo, N., Tinelli, A., Lionetti, A., Cantacessi, C., & Otranto, D. Mass mortality in wild greater amberjack (*Seriola dumerili*) infected by *Zeuxapta seriolae* (Monogenea: Heteraxinidae) in the Jonian Sea (2007). *Bulletin European Association of Fish Pathologists*, 27(3), 108.

Montero, D., Izquierdo, M. S., Tort, L., Robaina, L., & Vergara, J. M. (1999). High stocking density produces crowding stress altering some physiological and biochemical parameters in gilthead seabream, *Sparus aurata*, juveniles. *Fish Physiology and Biochemistry*, 20(1), 53-60.

Montero, F. 2001. Estudio parasitológico en cultivos de *Seriola dumerili* en el Mediterráneo. Tesis Doctoral, Universidad de Valencia, España.

Montero, F. E., Crespo, S., Padrós, F., De la Gándara, F., Garcia, A., & Raga, J. A. (2004). Effects of the gill parasite *Zeuxapta seriolae* (Monogenea: Heteraxinidae) on the amberjack *Seriola dumerili* Risso (Teleostei: Carangidae). *Aquaculture*, 232(1-4), 153-163.

Mooney, A. J., Ernst, I., & Whittington, I. D. (2008). Egg-laying patterns and in vivo egg production in the monogenean parasites *Heteraxine heterocerca* and *Benedenia seriolae* from Japanese yellowtail *Seriola quinqueradiata*. *Parasitology*, 135(11), 1295-1302.

Pavlidis, M., Berry, M., Divanach, P., & Kentouri, M. (1997). Diel pattern of haematocrit, serum metabolites, osmotic pressure, electrolytes and thyroid hormones in sea bass and sea bream. *Aquaculture International*, 5(3), 237-247.

Sánchez-Vázquez, F. J., & Tabata, M. (1998). Circadian rhythms of demand-feeding and locomotor activity in rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 52(2), 255-267.

Shirakashi, S., Hirano, C., Ishitani, H., & Ishimaru, K. (2013). Diurnal pattern of skin fluke infection in cultured amberjack, *Seriola dumerili*, at different water depths. *Aquaculture*, 402, 19-23.

Smith-Vaniz W. CARANGIDAE. En: Whitehead P., Bauchot M., Hureau J., Nielsen A., Tortonese E., EDS. *Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean*. Paris: UNESCO, 1986: 815-44

Spieler, R.E., Noeske, T.A., 1984. Effects of photoperiod and feeding schedule on diel variations of locomotor activity, cortisol, and thyroxine in goldfish. *Transactions of the American Fisheries Society*, 113, 4, 528-539.

Sundararaj, B.I., Nath, P., Halberg, F., 1982. Circadian meal timing in relation to lighting schedule optimizes catfish body weight gain. *The Journal of Nutrition*, 112, 6, 1085-1097.

Trasviña-Moreno, A. G., Ascencio, F., Angulo, C., Hutson, K. S., Avilés-Quevedo, A., Inohuye-Rivera, R. B., & Pérez-Urbiola, J. C. (2017). Plant extracts as a natural treatment against the fish ectoparasite *Neobenedenia* sp.(Monogenea: Capsalidae). *Journal of helminthology*, 1-9.

Tubbs, L. A., Poortenaar, C. W., Sewell, M. A., & Diggles, B. K. (2005). Effects of temperature on fecundity in vitro, egg hatching and reproductive development of *Benedenia seriolae* and *Zeuxapta seriolae* (Monogenea) parasitic on yellowtail kingfish *Seriola lalandi*. *International Journal for Parasitology*, 35(3), 315-327.

AGRADECIMIENTOS

A mis dos tutores, Gonzalo y Salva, por haberme aceptado al emprender esta etapa, gracias por todas las enseñanzas y el tiempo dedicado.

A todo el personal de la planta de cultivos marinos del Centro Oceanográfico de Canarias, tanto al personal investigador como a los auxiliares, por colaborar en hacerlo posible.