



UNIVERSIDAD DE MURCIA

FACULTAD DE VETERINARIA

Comunidad de parásitos de la anguila europea (*Anguilla anguilla*) del Mar Menor y evaluación de sus efectos en la aptitud ecológica de la población.

Dña. Elvira Mayo Hernández

2015

“Caminante no hay camino,
se hace camino al andar”.

Antonio Machado

TESIS POR MODALIDAD DE COMPENDIO DE ARTÍCULOS

Esta tesis doctoral se ha escrito por la modalidad de compendio de artículos previamente publicados. Las referencias completas de las correspondientes publicaciones se presentan a continuación:

- (1) Martínez-Carrasco, C., Ruíz de Ybáñez, R., Peñalver, J., **Mayo-Hernández, E.**, García-Ayala, A., Muñoz, P. (2011) Prevalence of *Anguillicoloides crassus* (Nematoda, Dracunculoidea) in wild European eels (*Anguilla anguilla* L.) from Mar Menor lagoon (western Mediterranean, Spain). *Revue de Médecine Vétérinaire* **162**, 154-158.
- (2) **Mayo-Hernández, E.**, Peñalver, J., García-Ayala, A., Serrano, E., Muñoz, P., Ruiz de Ybáñez, R. (2014). Richness and diversity of helminth species in eels from a hypersaline coastal lagoon, Mar Menor, South-East Spain. *Journal of Helminthology* **89**, 1-7.
- (3) **Mayo-Hernández, E.**, Serrano, E., Peñalver, J., García-Ayala, A., Ruiz de Ybáñez, R., Muñoz, P. (2015) The European eel may tolerate multiple infections at a low biological cost. *Parasitology* **142**, 968-977.

ÍNDICE	V
AGRADECIMIENTOS	VII
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Área de estudio: el Mar Menor	10
1.2 Especie en estudio: la anguila europea	11
1.2.1 Características biológicas y morfológicas de la especie	11
1.2.2 Distribución geográfica	13
1.2.3 Estatus formal de la población de anguilas	15
1.2.4 Causas del declive de la especie	16
1.3 Helmintofauna de la anguila	18
1.3.1 <i>Anguillicoloides crassus</i>	19
1.4 Efecto del multiparasitismo en la anguila	43
1.4.1 Indicadores de la aptitud ecológica	44
1.4.2 Estrategias de defensa: tolerancia – resistencia	46
1.5 Términos ecológicos descriptivos de las comunidades parásitas	47
2. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	29
3. DISCUSIÓN	31
4. CONCLUSIONES	41
5. BIBLIOGRAFÍA	43

6. ARTÍCULOS PUBLICADOS	61
6.1 Primer artículo	61
6.2 Segundo artículo	63
6.3 Tercer artículo	65
7. ACRÓNIMOS EMPLEADOS	67

Mucho que agradecer, y múltiples los motivos... por dónde empezar, en primer lugar y sin cuya colaboración, paciencia, ánimo, esperanza, humor... todo esto no hubiera sido posible, mis padres y mis dos hermanos, pilares base (Josemi, gracias por tu profesionalidad, la portada y los gráficos del tercer artículo). Agradecer principalmente también, a mis directoras de tesis Pilar Muñoz y Rocío Ruiz de Ybáñez, su trabajo y paciencia conmigo, sus enseñanzas y su tiempo dedicado, y particularmente darte las gracias Pilar por tu aportación económica con la cual he podido vivir y disfrutar diferentes experiencias, y realizar actividades, estancias e ir a congresos, en mi opinión, parte fundamental de esta experiencia. Continúo, agradeciendo a Emmanuel Serrano su estrecha colaboración con este trabajo, por sus ideas, su positividad, por mostrarme otros caminos, y por introducirme en el “maravilloso” mudo “R”. Al departamento de Sanidad Animal de la Universidad de Murcia, y más en concreto a la “sección parasitaria” Carlos, Juana, Eduardo, Laura... por su interés tanto a nivel profesional como personal, por su apoyo y su ayuda en muchos momentos de laboratorio y papeleo, al igual que a Mónica, que me caía de camino a infecciosas y que siempre ha tenido palabras de ánimo y positivas para mí. Siguiendo con momentos de facultad y laboratorio, agradecer a Sandra, a la gran Petesita, a Virginia, a Lirón, a María José y a numerosa gente que ha pasado por ahí, las risas cómplices, sin las cuales esas horas no hubieran sido iguales, por compartir penas y alegrías, situaciones comunes, pisos, asilo, cervecitas, fiestas... También agradecer a Aurelia Saraiva y en especial a Margarida Hermida por transmitirme parte de sus conocimientos y ayudarme en la identificación de ciertos nematodos. Añado a Elena, por introducirme en el mundo del otolito y sobre todo en el mundo de la pesca y las campañas, donde he aprendido y me han dejado seguir aprendiendo multitud de cosas, tanto en el plano profesional como en el personal (me quedo corta con cualquier cosa que ponga), y me detengo para nombrar a mi Antonjito por escucharme, conocerme y por multitud de momentos marineros que no entran en estas hojas, a Miss papafrita Encarneison, por momentos a bordo y en tierra, por acogerme en su casa, por infinitas risas... también podría seguir y seguir... a Ángel por su paciencia con mis pequeñas locuras, sus conocimientos y por esos abrazos que me da cuando me ve, a Javi por escogerme como su predilecta! Y por la complicidad en las tonterías de a bordo, a San Miguel por ser tan especial e interesante, por todo lo que me ha mostrado, por las risas y los disparates que soltamos tanto frente a la lupa como fuera del laboratorio. A Pere, por ser tan “crabck”, por mostrarme el increíble mundo de los cangrejos y el marisco y por noches vampirescas en el bar la`staca y por los puertos mediterráneos, a Emi, la chica caracoles, a Albita, a Biel, a Paqui terremoto,

a José Luis, a Jezúúú, mi gaditano! Y a otros tantos con los que he coincidido porque todos me aportaron y me enseñaron algo.

Entro ya en el plano personal, tan importante como el anterior porque han sido unos cuantos años de vivencias marcianas. Comienzo con mi Pablito, mi hermano canario-Murciano, no sabría por dónde empezar ni por donde terminar, gracias por conocerme tan bien, por cuidarme tanto y por sacarme del ordenador a lo largo de estos años!, sin esas cositas no hubiera podido acabar esto nunca!!, a Gemica, mi hermana-madre murciana, que me ha cuidado y me ha dado tanto, gracias por estar siempre ahí, y por tu energía contagiante!!, a Villapelos en general, toda la gente que pasó por aquí y que siempre me acogió como si fuera mi casa , Jorgitooo! Agradecerte las risas y la infinidad de momentos que hemos echado, siempre eran una recarga de energía, Juanillo, se agradece vivir con alguien que también esté en este mundillo y que te cante por Kate bush!, gracias por tus silencios y tus murmullos! Jajaja. A Mario, gracias por escuchar y preguntar, por estar ahí compartiendo este calvario, por tu energía vital tan brutal, por sacarme del mundo marino y mostrarme el nocturno, un placer esos anillamientos :) y cómo no, por conseguir desestresarme. Acordarme también de mi pequeña gran Rochi, por ofrecerme todo y entenderme siempre, por esas horas con los “malacatonés”, pero por muchas más con mil risotadas y confesiones fuera de la fabric. Sparrius, gracias por haber estado también siempre ahí para lo que hiciera falta, por estar pendiente e intentar siempre sacarme una risa, a Amalita, por su dulzura y sus ánimos empujados por el viento y las olas, a Espe, por haber sido tan buena compañera y seguir siendo mejor amiga! Y por tus maravillosos bizcochos!!, a Martita cara ratón, a Maripeich, a Vinsent, Aida, al Jacin, Farinos y Vicki, por haber sido parte de mi pequeña gran familia marciana ... a Lara, Maria y louxi, principalmente por seguir mi proceso en la distancia, siempre ahí, por sus empujones mentales y por los grandes esfuerzos para los pequeños reencuentros. A Paco, por haber compartido y sufrido parte importante de todo este proceso durante algunos años, a Celia, por hacerme los meses de clínica en la playa más amenos y divertidos. Y para terminar, a mi abuela María, por ser la que más ganas tiene de que acabe, por sus ánimos, besos y achuchones, y sin olvidar a quien ella y yo sabemos y a mi tío Jesu.

Gracias a todos y a todos los que me dejé en el tintero!

1. INTRODUCCIÓN

La anguila europea (*Anguilla anguilla*, Linnaeus, 1758) es una especie piscícola muy valorada, que genera unas ganancias anuales de 200 millones de euros y da empleo a más de 25.000 ciudadanos europeos. Es una especie migratoria catádroma, con un complejo ciclo biológico que incluye dos migraciones oceánicas y cuatro metamorfosis. En la Región de Murcia, concretamente, la anguila es una de las especies que mayores ingresos aporta al sector pesquero del Mar Menor. Así, en la campaña de pesca de 2013/2014 se capturaron más de 33.000 kg de anguila. No obstante, en décadas pasadas el volumen de capturas era considerablemente superior, siendo la mayor referencia histórica de volumen de pesca de anguila en esta laguna de más de 112.000 Kg en el año 1965 (Plan de gestión de la anguila en la Región de Murcia, 2010; PGAM). Esto se debe a un descenso de la población de anguilas, hecho que se aprecia en todas las áreas de distribución de la especie (International Council for the Exploration of the Sea, 2006; ICES).

Se han identificado diferentes causas que, combinadas, serían las responsables de este declive en la población de anguilas, como son las presas y obstáculos a la migración, la sobrepesca, el cambio climático y de las corrientes oceánicas, los contaminantes, las infecciones virales y parasitarias, etc. (ICES, 2006). Sin embargo, aún se desconoce totalmente el grado en que intervienen cada uno de estos factores. En el año 2007, entró en vigor el Reglamento del Consejo Europeo de la Unión Europea N° 1100/2007, por el que se establecían medidas para la recuperación de la población de anguila europea. Dicho reglamento, obliga a todos los estados miembros que tuvieran hábitats naturales de la anguila a establecer un plan de gestión de la especie siguiendo el modelo de gestión integral de cuenca, desarrollada por la Nueva Directiva Marco del Agua (2000/60/CE). El objetivo final de esta medida es permitir el escape al mar del 40% de la biomasa de anguilas plateadas, aproximándose a la mejor estimación al escape potencial en condiciones prístinas. Este objetivo final se pretende alcanzar gracias a diversas medidas coordinadas a escala internacional, principalmente: reducción/eliminación de la pesca comercial, repoblaciones, mejoras del hábitat fluvial, permeabilización de los obstáculos transversales, transporte de anguilas plateadas hasta el mar y seguimiento del estado de las poblaciones de anguilas en cada cuenca fluvial.

La aptitud ecológica de la fase adulta de esta especie, es un factor fundamental a la hora de realizar con éxito la migración de más de 5000 km hasta la zona de desove y reproducción. Por ello, en varios países europeos se está monitorizando la condición general, la presencia de contaminantes y de patógenos en las poblaciones de anguilas (ICES, 2013; ICES, 2015). Con esta premisa se ha creado la base de datos “European Eel Quality Database”, que constituye la primera recopilación paneuropea relativa a la aptitud ecológica y el estado sanitario de poblaciones de anguilas silvestres. En este contexto, y siguiendo las recomendaciones del PGAM (2010), que incluyen un análisis sanitario de las poblaciones locales, emprendimos este proyecto del que ahora presentamos sus resultados.

1.1. ÁREA DE ESTUDIO: EL MAR MENOR

El Mar Menor, situado en el sureste de la Península Ibérica ($37^{\circ} 38' N$, $0^{\circ} 42' W$), está considerado como el mayor lago salino de Europa, con un área de 180 Km^2 , 73 Km de línea de costa y una profundidad máxima de 7 m. Está aislado del Mar Mediterráneo por una barrera de arena conocida como La Manga, aunque existen diferentes aperturas naturales denominadas “golas”. En estos pasajes se produce intercambio de aguas y existe permeabilidad para el paso de especies de peces del Mediterráneo al Mar Menor y viceversa. Por tanto, no existen barreras artificiales que limiten el paso de las anguilas (PGAM, 2010).

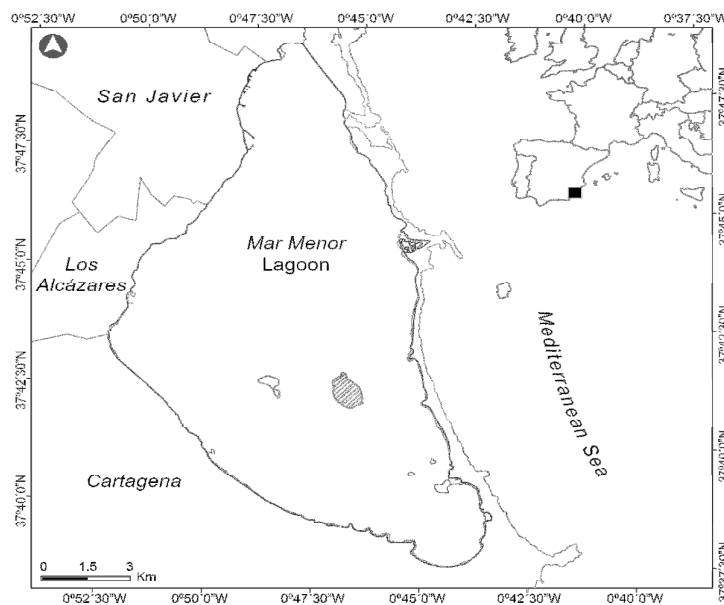


Figura1: Mapa de localización del Mar Menor.

Este hábitat se define como un ecosistema lagunar permanentemente hipersalino, con un nivel de salinidad de 43 - 46.5‰, mayor que el del Mar Mediterráneo (36 - 37‰). Tan sólo cuenta con aportes de aguas continentales derivados de las escorrentías de las lluvias estacionales (cerca de 300 mm³ por año), y además domina la evaporación debida a las temperaturas extremas. En invierno, la temperatura media del agua es de 12 °C y en verano de 30 °C (PGAM, 2010). Tanto la temperatura como la salinidad influyen de forma notoria en el desarrollo y condición de las anguilas (Degani *et al.* 1988; Rodríguez *et al.* 2005), por lo que el Mar Menor constituye un ecosistema claramente diferente a los demás hábitats lagunares salobres o de aguas continentales, estuarios, fiordos y ríos donde se han realizado la mayoría de estudios llevados a cabo hasta la fecha sobre esta especie.

1.2 ESPECIE EN ESTUDIO: LA ANGUILA EUROPEA

1.2.1. Características biológicas y morfológicas de la especie

La anguila europea es una de las 18 especies que existen en el mundo perteneciente a la familia de los anguillidos (Anguillidae). Todas ellas son largas, delgadas y serpentiformes, con cuerpos casi cilíndricos cubiertos por escamas muy pequeñas y piel suave y resbaladiza. Es una especie catádroma facultativa de ciclo de vida complejo y largo.



Figura 2: Anguila europea. Fuente: <http://www.pescadosvazquez.com/anguila/>

La primera fase se corresponde con las larvas denominadas leptocéfalas, completamente transparentes, con la cabeza muy pequeña y el cuerpo comprimido lateralmente. Tras la eclosión de los huevos, las larvas derivan por medio de las corrientes del Golfo y del Atlántico Norte, desde el Mar de los Sargazos considerada el área de reproducción o de puesta de la anguila europea, hasta las costas europeas y del norte de África (Schmidt, 1925). Esta primera migración tiene una duración de entre seis y ocho meses

(Arai *et al.* 2000). Cuando se acercan a las costas europeas sufren una primera metamorfosis y se transforman en angula. Esta puede llegar a medir unos 80 mm y sigue siendo transparente, pero ya con aspecto anguiliforme. Las angulas ascienden por las desembocaduras y estuarios, pigmentándose conforme penetran en aguas continentales. Es entonces cuando comienzan a alimentarse y a crecer y, pasados los 12 cm de longitud, se denominan angulones. Acorde a su crecimiento, estas anguilas juveniles cambian su pigmentación, tornándose pardo verdosas, con la parte ventral amarilla o blanca y en los laterales puntos blancos o grises (Rodríguez y Alvariño, 1951; Elegido, 1963; Tesch, 1991), pasando a denominarse anguilas amarillas. Esta fase es serpentiforme, alargada y cilíndrica, con la parte posterior comprimida y la línea lateral visible, el dorso tiende a un color negruzco y el vientre amarillento. Las anguilas amarillas suelen ocupar todo el hábitat fluvial disponible, desde los estuarios hasta las cabeceras de los ríos (Moriarty y Dekker, 1997), remontando arroyos y ríos o entrando en estanques y embalses, donde se desarrollan y pueden permanecer durante décadas. Finalmente regresan aguas abajo, momento en el que alcanzan la madurez sexual. Esta fase de crecimiento puede prolongarse de 6 a 20 años, dependiendo del sexo (entre 6 y 12 años en los machos y entre 10 y 20 años en las hembras) y las condiciones del entorno.

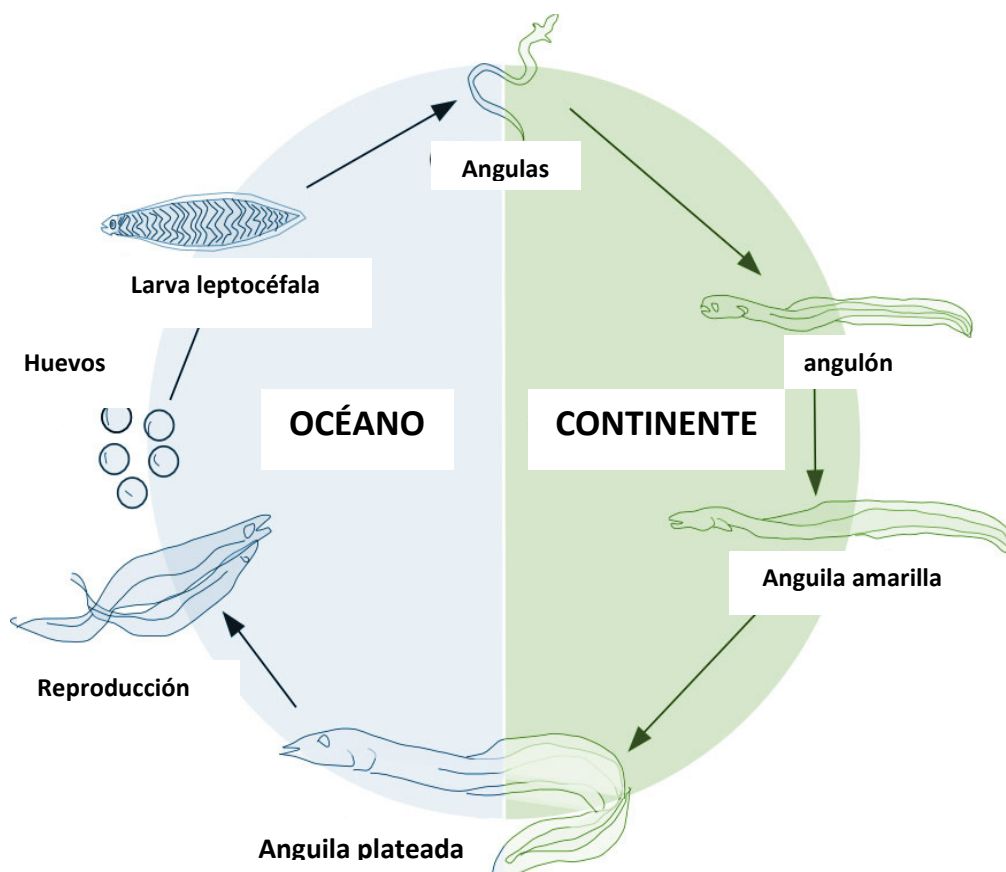


Figura 3: Ciclo de vida de la anguila europea. Fuente: Imagen modificada de <http://nyfalls.com/wildlife/fish/eels/>

No obstante, algunas poblaciones de anguilas pueden permanecer en hábitats marinos durante todo su ciclo biológico (Tsukamoto *et al.* 1998, Daverat y Tomás, 2006), viviendo durante toda su vida en zonas costeras marinas de poca profundidad, incluso en lagunas o en los mismos estuarios, sin remontar los ríos. En ambos casos, a medida que se acerca la fase de maduración y migración reproductiva tiene lugar otra metamorfosis. En ésta, los cambios estructurales que se producen están relacionados con el aumento de la actividad natatoria (Cisternas, 1877; Rodríguez y Alvariño, 1951; Elegido, 1963; Tesch, 1991). Así, la anguila comienza a adquirir tonos plateados por los laterales, que se extienden hasta la cola. Posteriormente, se oscurece tanto por los laterales como el dorso. Los ojos, que antes eran pequeños y redondos, crecen y los flancos se vuelven más pronunciados (Wickström, 2005). En esta nueva fase se le denomina anguila plateada. Al empezar la migración, la anguila plateada, ya sea macho o hembra, deja de comer, atrofiándose su sistema digestivo y dedicando enteramente sus recursos energéticos a la maduración gradual de las gónadas y a la larga migración de regreso, parcialmente estudiada (Fricke y Käse, 1995; Aarestrup *et al.* 2009), mediante la que se dirigen a las zonas donde desovan y mueren, ya que no hay pruebas de supervivencia posterior.

1.2.2 Distribución geográfica

La anguila europea tiene una distribución geográfica extensa que abarca desde Mauritania hasta el norte de Noruega, incluyendo el mar Báltico, el Mediterráneo y el mar Negro, las Islas Canarias, Madeira, las Azores e incluso Islandia (Schmidt, 1909). Además, también es importante tener en cuenta la distribución en su migración de desove a través del océano Atlántico hasta el mar de los Sargazos y Nor-Nordeste de las Antillas.

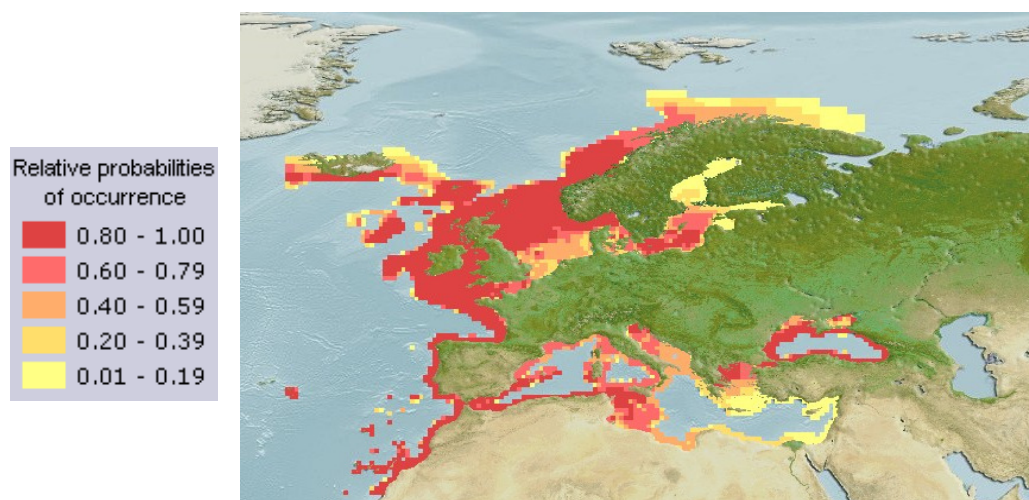


Figura 4: Mapa de distribución mundial de las poblaciones de anguila europea. Fuente: Kaschner *et al.* (2013).

En la Península Ibérica, aunque se desconoce la delimitación exacta del hábitat prístino de la anguila, se considera hábitat natural de ésta a los cursos de agua hasta una altura de 800 m en las cuencas con poca pendiente y de 600 m en aquellas de mayor pendiente, siempre que no presenten un obstáculo natural que impida el paso de la anguila en cotas inferiores a ésta (Plan de Gestión de la Anguila Europea en España, 2010; PGAE). Históricamente la anguila se podía localizar en la mayoría de los ríos de la Península (Steindachner, 1866; Vélez de Medrano y Ugarte, 1930; De Buen, 1935; Anónimo, 1952), albuferas de las Islas Baleares y en las Islas Canarias (Lorenzo Perera *et al.* 1999). Sin embargo, en la actualidad la distribución de la anguila en España se ve limitada a la franja costera y los cursos bajos de los ríos, debido principalmente a la construcción de grandes presas hace ya varias décadas. Se calcula que hoy en día la distribución de la anguila en España abarca menos del 20% de los cursos de agua que ocupaba originalmente (Prenda *et al.* 2002).



Figura 5: Mapa de distribución histórica y actual de la anguila europea en España. Fuente: Imagen modificada de Doadrio (2001).

En la Región de Murcia hay que tener en cuenta que, excepto algunas ramblas aisladas, la única masa de agua que atraviesa su territorio y desemboca en el mar es el río Segura. Por lo tanto, éste es el único curso de aguas continentales susceptible de ser hábitat natural de la anguila europea en esta región. Existen referencias históricas acerca de la presencia de anguila en la mayor parte de la cuenca del Segura, a excepción del tramo comprendido entre el nacimiento y su paso por Calasparra (Mas, 1986). El plan de defensa contra avenidas supuso la corrección y canalización de prácticamente todo el tramo del cauce que va desde la Contraparada (Alcantarilla) hasta su desembocadura en Guardamar. Esto y la construcción de numerosas presas, lo convierte en uno de los ríos más regulados del mundo. La especie se consideró extinguida en el río en el atlas de peces epicontinentales elaborado a principio del presente siglo (Torralva

et al. 2005). Sin embargo, posteriormente fue localizada en las lagunas de las Moreras (Mazarrón) (PGAE, 2010). Asimismo, en el marco del PGAM (2010), además de en la laguna del Mar Menor, se ha podido constatar su presencia en un tramo canalizado de rambla que desemboca en el Mar Menor (Rambla del Albujión), en canalizaciones que desembocan en el Mar Menor (Canal del “Camping Mar Menor” y Canal de Miranda), así como en canalizaciones que desembocan en el Mediterráneo (Canal del Mojón) (PGAE, 2010). Adicionalmente, la Asociación de Naturalistas del Sureste (ANSE) capturó un ejemplar de la especie a su paso por la capital murciana en el marco de un proyecto de seguimiento de galápagos. A pesar de estos hallazgos testimoniales, la especie actualmente está fundamentalmente relegada a la laguna costera del Mar Menor.

De todas las fases del ciclo de vida que la especie desarrolla en las costas europeas, la única de la cual no hay constancia de su captura por los pescadores profesionales en la laguna es la de angula. No obstante, un estudio reciente ha demostrado la presencia de esta fase en el Mar Menor sugiriendo que, independientemente de que algunos ejemplares puedan remontar la Rambla del Albujión y completar ahí su desarrollo evolutivo, la inmensa mayoría de los ejemplares de esta especie utilizan el Mar Menor como residencia permanente durante todo su ciclo de vida, a excepción de la fase reproductiva (Peñalver *et al.* 2015).

1.2.3 Estatus formal de la población de anguilas

El paupérrimo estado de conservación de la especie ha llevado a distintos organismos a desarrollar medidas para intentar que salga del estado de riesgo biológico. En este sentido, la Unión Europea está desarrollando un plan de gestión de la especie (Reglamento CE nº 1100/2007) destinado a su recuperación. Además, la anguila está catalogada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (<http://www.iucnredlist.org>) como especie en peligro crítico a nivel mundial, en España como Vulnerable y, teniendo en cuenta a la subpoblación de la cuenca hidrológica del río Segura, se catalogó en la categoría RE (Extinta a nivel regional). En marzo del año 2009 entró en vigor la inclusión de *Anguilla anguilla* en el Apéndice II del convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) (<http://www.cites.es>). Esto implica una regulación y una monitorización del comercio internacional, dictaminando la Unión Europea en 2010 la prohibición de exportación/importación extracomunitaria. Esta resolución trata de garantizar la

supervivencia de la especie, evitando así que la pesca perjudique el estatus de la población silvestre. A su vez, esta medida legislativa complementa y refuerza el plan de recuperación coordinado internacionalmente por la Comisión Europea. El informe anual del grupo de trabajo de la anguila del ICES del año 2014, basándose en todos los datos aportados por los estados miembros de la EU, concluyó que el stock de anguila continúa fuera del límite sostenible conforme a la regulación de la anguila y a las políticas del ICES (ICES, 2014).

1.2.4 Causas del declive de la especie

Numerosos estudios e informes han descrito múltiples amenazas que ponen en peligro la supervivencia de la especie. El informe ICES del año 2006 señalaba que seguramente es el efecto combinado de varias causas lo que está afectando a las poblaciones, por lo que se plantean acciones globales para poder conseguir resultados a largo plazo.

A continuación se resumen las causas que se proponen como principales:

- **La pesca:** el efecto de la sobrepesca sobre la anguila amarilla y, especialmente la plateada, es evidente, ya que reduce drásticamente el número de posibles futuros reproductores de la población; por el contrario, en el caso de las angulas el efecto puede ser variable. Dependiendo de la densidad de la especie y la capacidad de carga del río, hay estudios en los que se ha observado una influencia reducida del grado de explotación de angulas en la desembocadura del río sobre las densidades de angulas en las partes superiores (Knights *et al.* 2001). Sin embargo, otros trabajos muestran un claro incremento en las poblaciones de angulas aguas arriba debido a una reducción de las capturas de angulas en los mismos cauces (ICES, 2002).
- **La pérdida de hábitat:** la construcción de barreras en la migración ascendente, como presas y obstáculos en los ríos, impide la migración de angulas y angulones hacia los cursos superiores de los ríos. Esto afecta a la posibilidad de colonización de grandes áreas de la cuenca, reduciendo así la densidad de angulas aguas arriba y por lo tanto, el posible desarrollo de grandes reproductores (PGAE, 2010). Así mismo, la canalización de numerosos sistemas fluviales y la destrucción de estuarios y marismas en Europa han reducido enormemente la extensión del hábitat donde puede sobrevivir esta especie (Moriarty y Dekker, 1997).

- **Las centrales hidroeléctricas:** las turbinas hidroeléctricas pueden causar la muerte, heridas o daños con efectos retardados en las anguilas durante su migración descendente (Dekker, 2004). Además, debido al gran tamaño de los individuos, se ha demostrado que la mortalidad es mayor en la anguila (entre el 15 y el 38%) que en otras especies (Haddingh y Baker, 1998) pudiendo ser la mortalidad acumulada cercana al 100% en el caso de grandes ríos con varios saltos hidroeléctricos (Feunteun *et al.* 1999; Behrmann y Eckmann, 2003).
- **La depredación:** entre los principales depredadores de las anguilas se encuentran las nutrias y los cormoranes, cuya población reproductora se ha multiplicado por 60 desde los años 70 a la actualidad (Van Eerden y Gregersen, 1995).
- **El cambio climático y de las corrientes oceánicas:** ambos factores pueden interferir en la migración de las larvas leptocéfalas y pueden reducir su supervivencia, afectando al reclutamiento final de angulas en los ríos. En este sentido, Kettle *et al.* (2008), estudiaron series temporales del reclutamiento de angula en Europa y describieron una relación estadísticamente significativa entre la oscilación de la corriente Atlántica y el declive de estos reclutamientos. Asimismo, recientemente se ha desarrollado una hipótesis complementaria que señala como otra causa indirecta el cambio climático. Así, los climas cada vez más secos, junto con la construcción de presas, explicarían el declive de las poblaciones en la Península Ibérica y el noroeste de África (Kettle *et al.* 2011).
- **La pérdida de calidad de los reproductores:** para realizar la migración, las anguilas deberían llegar a su estadio de reproductores con una buena condición corporal y un adecuado estado inmunológico. Jonsson y Jonsson (2005) mostraron que, especialmente en peces con migraciones de largas distancias, el almacenamiento de reservas energéticas es esencial para completar su ciclo de vida. En el caso de las anguilas se han realizado diferentes estimaciones del estado de las reservas de grasa necesarias para una buena migración y reproducción (Böetius y Böetius, 1980: 20% de lípidos en músculo; Palstra *et al.* 2007: 13.5% de lípidos en músculo; Van den Thillart *et al.* 2007: 20.7% de lípidos en músculo). Sin embargo, se ha observado una tendencia a lo largo de los últimos años a la disminución de las reservas lipídicas de las anguilas (Belpaire *et al.* 2009), cuyo resultado es un aumento de migraciones fallidas y de fracasos reproductivos (Van Ginneken y Van den Thillart, 2000; Van den Thillart *et al.* 2004, 2007; Palstra *et al.* 2006a, 2006b, 2007).
- **Los agentes contaminantes:** la polución de las aguas y sedimentos favorece la bioacumulación de contaminantes lipofílicos en los tejidos de reserva de las anguilas. Estas reservas se movilizan durante la

migración hacia el desove, fase en la que como hemos comentado anteriormente, la anguila no se alimenta. En ese momento se movilizan las reservas lipídicas y con ello se liberan los contaminantes acumulados, pudiendo tener algunos de ellos efectos nocivos sobre la fertilidad y, por tanto, sobre la capacidad reproductiva de la anguila (EELREP, 2005).

• **Los agentes infectocontagiosos:** éstos pueden provocar efectos adversos tanto sobre el reclutamiento y supervivencia de la especie, como reduciendo la calidad de los adultos, impidiendo que lleguen a la zona de freza, etc. Entre ellos destacan las infecciones virales provocadas por el virus EVEX, herpes virus o el virus europeo EVE entre otros, así como la parasitosis provocada por el nematodo *Anguillicoloides crassus* (EELREP, 2005; ICES, 2015).

1.3 HELMINTOFAUNA DE LA ANGUILA

Durante las últimas décadas, diversos estudios han abordado el estudio de las posibles causas involucradas en el declive de la especie, lo que ha supuesto un aumento de los estudios parasitológicos. Así, frente a las 30 especies descritas por Bykhovskaya-Pavlovskaya *et al.* (1962) como parásitas de la anguila europea, Jakob *et al.* (2009) enumeraron 161 especies, pertenecientes a 60 familias. En líneas generales, cabe advertir que la composición de la comunidad de parásitos varía en función del hábitat en el que vivan sus hospedadores. Lo mismo sucede con la estructura de dicha comunidad parasitaria, por lo que se han descrito diversidades muy dispares en función del hábitat del que proceden las anguilas (revisión en: Kristmundsson y Helgason, 2007).

Se ha estudiado la parasitofauna de anguilas procedentes de otras lagunas hipersalinas mediterráneas, por ejemplo de algunas situadas en Italia: lago Caprolace (salinidad de 32 - 44‰), lago Fogliano (28 - 48‰), lago Burano (10 - 40‰) o la laguna de Santa Gilla (19 - 45‰) (Di Cave *et al.* 2001, Culurgioni *et al.* 2010). No obstante, la hipersalinidad en estas lagunas es temporal debido a los aportes de aguas continentales a los que están sometidos, no existiendo hasta la fecha ningún trabajo sobre la comunidad de parásitos en anguilas procedentes de ecosistemas permanentemente hipersalinos, como es el caso del Mar Menor.

1.3.1 *Anguillicoloides crassus*

El nematodo *A. crassus* fue introducido en Europa, procedente del sureste de Asia, debido al comercio internacional incontrolado de anguilas vivas (Køie, 1991). La taxonomía de este parásito ha sufrido varios cambios desde que fue descrito por primera vez, partiendo en un principio todas las especies de un solo género (*Anguillicola*) aunque, posteriormente, Moravec y Taraschewski (1988) situaron a *A. crassus* en un nuevo género: *Anguillicoloides*.



Figura 6: Fases adulta y preadulta del nematodo *Anguillicoloides crassus* en la luz de la vejiga natatoria.

Este género incluye cuatro especies clasificadas en función de la forma de la cabeza, el tamaño de la cápsula bucal y el tamaño y número de dientes (Moravec, 1994). Sin embargo, estudios moleculares recientes (Laetsch *et al.* 2012) no sostienen la división de Anguillicoloidea en dos géneros, por lo que se ha propuesto su reinclusión en el género *Anguillicola*. Pese a ello, y a falta de una revisión taxonómica oficial, en este estudio se ha empleado la nomenclatura oficial del Registro de especies marinas (World Register of Marine Species).

La primera cita de este nematodo en la Península Ibérica se remonta a 1992 en la ría de Aveiro, Portugal (Silva *et al.* 1992). Desde entonces se ha constatado, al igual que ha ocurrido en otras áreas geográficas, una rápida expansión y se ha citado su presencia en ejemplares del río Miño, del Norte de Portugal (Antunes, 1999), del río Butroe, Vizcaya (Gallastegi *et al.* 2002), del Delta del Ebro (Maíllo *et al.* 2005), de los ríos Ulla y Tea, Galicia (Aguilar *et al.* 2005), de la Albufera de Valencia (Esteve y Alcaide, 2009) y del estuario del Tajo (Neto *et al.* 2010).

Este endoparásito tiene como hospedadores finales a individuos del género *Anguilla*. El adulto se instala en el interior de la vejiga natatoria, anclándose con la cápsula bucal a sus paredes y alimentándose de la sangre del hospedador. Las hembras contienen huevos larvados en el útero, donde pasan del primer al segundo estadio de desarrollo (L2). Posteriormente, los huevos se depositan en la vejiga natatoria, desde donde migran al tracto digestivo del hospedador, por donde son expulsados al medio acuático comenzando su período de vida libre (De Charleroy *et al.* 1990). Las larvas, una vez libres, pueden infectar a varias especies de crustáceos copépodos (como por ejemplo: *Eurytemora affinis*, *Cyclops vicinus*, *C. viridis*, *C. fuscus*, *Macrocyclops albidus*, etc.), alcanzan su hemocele a través de las paredes del tubo digestivo y mudan al tercer estadio de desarrollo (L3, larvas infectantes). Además de estos hospedadores intermediarios numerosas especies de peces, caracoles acuáticos, anfibios e incluso larvas de insectos actúan como hospedadores paraténicos (Moravec y Konecny, 1994; Moravec, 1996, Moravec y Skorikova, 1998). Tras la ingestión de la larva infectante, ésta atraviesa la pared digestiva de la anguila y muda al cuarto estadio de desarrollo (L4) en las paredes de la vejiga natatoria. Una vez que la L4 consigue penetrar en el interior de la vejiga natatoria, se transforma en pre-adulto (L5) y adulto. Finalmente, al cabo de tres o cuatro meses alcanza la madurez sexual (Thomas, 1993), comenzando de nuevo el ciclo. Tanto las angulas como las anguilas amarillas son susceptibles de la infección, y comienzan a ser vulnerables tan pronto como comienzan a alimentarse en ríos o estuarios. La infección puede continuar a lo largo de su vida y, en general, los niveles de infección tienden a aumentar cuanto mayor edad tenga la anguila, produciendo signos clínicos más severos.

Se sabe que, además de los daños directos que provocan las larvas perforando la pared intestinal en su migración, *A. crassus* causa también daños proliferativos, edematosos, fibrosos y degenerativos en la vejiga natatoria (Nimeth *et al.* 2000; Würtz y Taraschewski, 2000) formando un epitelio multicapa. Esto hace que se incremente la distancia de difusión entre los capilares sanguíneos y la luz de la vejiga natatoria, lo que provoca que la glándula del gas lo secrete más lentamente y con menor porcentaje de oxígeno, viéndose reducida la funcionalidad de la vejiga natatoria (Würtz *et al.* 1996). Este hecho cobra importancia en la migración transoceánica hacia el Mar de los Sargazos, en la cual, además de la migración horizontal de 5000 - 6000 km hacia la zona de desove, las anguilas realizan migraciones verticales diarias de varios cientos de metros (Aarestrup *et al.* 2009), para las que la vejiga natatoria es un órgano fundamental. Además, se ha observado que las anguilas infectadas tienen un menor número de

eritrocitos circulantes, y, por tanto, una menor capacidad de transporte de oxígeno en sangre (Boon *et al.* 1990). De esta manera, experimentos en túneles de nado descubrieron fallos en estadios tempranos de la migración en anguilas plateadas infectadas, que tenían una menor velocidad de nado y en las que el coste del transporte era alrededor de un 20% más elevado (Palstra *et al.* 2007). Fazio *et al.* (2012) sugieren además, que la infección por *A. crassus* puede ser perjudicial al inducir el adelanto del proceso de maduración a anguila plateada, desencadenando una especie de “discordancia fisiológica”. En este caso, las anguilas infectadas no son capaces de integrar las adaptaciones funcionales, por lo que no alcanzan a tener las condiciones necesarias para una satisfactoria migración y reproducción. Desde otro punto de vista, Van Banning y Haenen (1990) indicaron que las anguilas infectadas con *A. crassus* son más susceptibles de padecer otras enfermedades infecciosas. Estos resultados sugieren claramente que la infección con este nematodo, además de provocar un considerable estrés o incluso la muerte a la anguila (Molnár *et al.* 1991; Kjøie, 1991), perjudica seriamente su capacidad migratoria.

1.4 EFECTO DEL MULTIPARASITISMO EN LA ANGUILA

La coinfección o multiparasitismo, se define como la infección simultánea de múltiples especies de parásitos en un solo individuo. En animales silvestres, se ha observado que es la regla más que la excepción (Bordes y Morand, 2011). Tal y como hemos comentado anteriormente, las poblaciones naturales de anguila mantienen un constante contacto con una gran diversidad de parásitos, por lo que las infecciones raramente son simples, sino que suelen implicar a varios patógenos simultáneamente. Aunque las coinfecciones son comunes y epidemiológicamente importantes, su influencia sobre características de los hospedadores, como pueden ser la condición corporal o el estrés, han sido poco estudiadas. La mayoría de los trabajos realizados hasta el momento se han centrado en la acción de un sólo patógeno, de manera independiente, sobre el hospedador (Hudson *et al.* 1998; Anderson y May, 1992). Sin embargo, en las últimas décadas ha aumentado el interés de los investigadores por las coinfecciones, lo que se ha visto reflejado en diferentes estudios realizados en animales y humanos (Petney y Andrews, 1998; Cox, 2001; Nieto y Foley, 2009; Telfer *et al.* 2010).

El impacto de estas coinfecciones en la salud de las anguilas dependerá de varios factores, entre ellos de la historia coevolutiva entre los parásitos y los hospedadores (Lymbery *et al.* 2014) y de las interacciones entre los parásitos coinfectantes (Pedersen y Fenton, 2007). Por su parte, la historia coevolutiva influirá en el potencial individual de cada parásito para provocar daños en el hospedador. Así, por ejemplo, originalmente *A. crassus*, que ha coevolucionado con la anguila japonesa (*A. japonica*, Temminck y Schlegel, 1846) no es una especie patógena para ella (Kennedy, 2007) mientras que sí lo es para las dos especies de anguilas atlánticas que no están adaptadas a su presencia.

Por otro lado, se ha comprobado que los patógenos que coinfectan un hospedador pueden interactuar entre ellos alterando su impacto sobre la salud y la supervivencia del mismo (patogenicidad) e incluso la epidemiología de los propios parásitos, modificando sus intensidades (Craig *et al.* 2008; Telfer *et al.* 2010). Lamentablemente, el conocimiento sobre las interacciones entre los patógenos es muy limitado en la actualidad y particularmente se desconoce cómo las coinfecciones están afectando a especies de vida libre en peligro de extinción, como es el caso de anguila, al influir en sus probabilidades de supervivencia.

1.4.1 Indicadores de la aptitud ecológica

A lo largo del tiempo se han usado diferentes indicadores de salud para evaluar el impacto de los parásitos en la aptitud ecológica de una especie, entendiendo como tal su capacidad para sobrevivir y superar condiciones ambientales adversas. Uno de ellos es la estimación de la condición corporal, definida como el estado de reservas energéticas (tejido graso) del animal, la cual está íntimamente ligada a la calidad y vigor del individuo (Peig y Green, 2009). Por lo tanto, conocer dicho estado permite estimar el comportamiento o respuesta fisiológica ante un evento o reto productivo o reproductivo. La condición corporal se usa desde hace años en estudios con diferentes especies de peces para evaluar el impacto de los parásitos en la salud de los hospedadores (e.g. Lemly y Esch, 1984; Tierney *et al.* 1996; Arnott *et al.* 2000; Maan *et al.* 2008; Lefebvre *et al.* 2013). Además, en el campo de la Ecología se han usado diferentes índices de condición corporal para evaluar los efectos del hábitat (Colle y Shireman, 1980), de las interacciones tróficas (Lammens *et al.* 1985), de los límites de capturas (Eder, 1984), etc.

Tradicionalmente se ha intentado estimar la condición corporal a través de diferentes índices basados en la longitud y el peso del animal. Los resultados son rápidos, simples y de naturaleza no invasiva, creando índices ideales para estudios de campo. Para calcular la condición corporal en peces se ha empleado frecuentemente el factor de **Fulton “K”** (Fulton, 1904), que asume un crecimiento isométrico de los individuos. Aunque ha sido muy usado, según diversos autores, el crecimiento isométrico raramente ocurre (Carlander, 1950; Murphy *et al.* 1991; Anderson y Neumann, 1996; Blackwell *et al.* 2000; Ranney *et al.* 2010), por lo que sólo se puede aplicar en comparaciones entre individuos con la misma longitud. Otro índice es el **factor relativo “Kr”** (Le Cren, 1951), el cual sí tiene en cuenta el crecimiento alométrico de las especies, por lo que se podría usar para comparar peces de diferentes longitudes, edades, sexos y especies. Sin embargo, no permite realizar comparaciones interpoblacionales debido a que para la misma especie, la ecuación de regresión longitud-peso tiene diferente forma según regiones o masas de agua distintas. Por lo tanto, no hay medidas estandarizadas para las distintas especies (Murphy *et al.* 1991; Blackwell *et al.* 2000). El **peso relativo “Wr”** (Wege y Anderson, 1978) es un índice que estima la condición de los individuos comparando el peso observado de un ejemplar respecto a un peso estandarizado para una longitud dada. Su principal ventaja es que puede ser usado para comparar diferentes poblaciones, en diferentes regiones y con diferentes características. Sin embargo, su exactitud dependerá del cálculo del peso medio de la especie a nivel global. Actualmente tan sólo especies que son objeto de pesca comercial o deportiva a nivel mundial tienen la posibilidad de ser evaluadas por este índice ya que son las que cuentan con ecuaciones de peso estándar. Por último, recientemente se ha formulado el **índice de masa escalado “IME”** (Peig y Green, 2009), que tiene en cuenta el crecimiento alométrico y con el que se pueden comparar todo tipo de poblaciones de peces de diferentes especies y localizaciones. Además, no se necesita conocer el peso estándar de la especie en estudio y, como principal ventaja, se ajusta de manera bastante exacta a los valores reales de grasas y proteínas (Peig y Green, 2009).

Está comprobado que los parásitos pueden causar un estrés directo al hospedador por medio de un coste metabólico (Møller, 1992; Polak, 1993); por ello, otro indicador de salud es la determinación del estrés del animal. El estrés puede ser considerado como un cambio en la condición biológica más allá del estado normal de reposo, que desafía la homeostasis y, por lo tanto, representa una amenaza para la salud de los peces (Barton y Iwama, 1991). Una herramienta usada frecuentemente para medir el estrés es la asimetría

fluctuante (AF), definida como la desviación respecto a la simetría perfecta de un carácter u órgano par (revisión en: Leung y Forbes, 1996). Podemos afirmar que el uso de la AF como herramienta para realizar comparaciones cuantitativas de la precisión en el desarrollo entre organismos y caracteres se ha convertido en un campo científico muy prometedor, tanto a nivel de conocimiento básico como a nivel de ciencia aplicada. En el caso concreto de los peces, la AF se ha relacionado con el estrés provocado por causas antropogénicas o naturales, entre las que se encuentran los parásitos (Campbell y Emlen, 1996; Reimchen, 1997; Sasal y Pampoulie, 2000; Reimchen y Nosil, 2001; Bergstrom y Reimchen, 2002; Møller, 2006; Allenbach, 2011).

El estudio del estado inmunitario es otro indicador de la salud de un individuo. La respuesta inmunitaria es parte de una estrategia de defensa del hospedador frente a los parásitos (Møller y Saino, 2004). Por ello, se han descrito múltiples indicadores para medir o conocer si existe una adecuada respuesta inmunitaria como son el consumo de oxígeno, la actividad del complemento en el plasma, el nivel total de IgM, el estrés oxidativo, el índice somático del bazo (ISB), etc. En relación con este último indicador, cabe decir que el bazo es un órgano linfático secundario que juega un importante papel en la hematopoyesis y en la actividad inmunológica de peces teleósteos, produciendo anticuerpos y colaborando en la eliminación de patógenos (Dalmo *et al.* 1997; Lamková *et al.* 2007). Por lo tanto, por participar en el desarrollo de la respuesta inmunitaria, se espera que el tamaño del bazo aumente debido a su función relacionada con la síntesis de leucocitos. El índice somático del bazo (ISB) es el método más sencillo de estimar la absoluta o relativa abundancia de células inmunológicamente activas en el hospedador (Owens y Wilson, 1999) y se ha usado con frecuencia en peces para evaluar la respuesta inmunológica a la parasitación (Manning, 1994; Kortet *et al.* 2003; Lefebvre *et al.* 2004; Ottová *et al.* 2005, 2007).

1.4.2 Estrategias de defensa: tolerancia - resistencia

La coevolución, o evolución conjunta de dos especies, es un fenómeno frecuente en las relaciones hospedador/parásito (Carton *et al.* 2005) que describe el proceso mediante el cual las especies se adaptan entre sí como consecuencia de su interdependencia. Durante el proceso de coevolución de parásito y hospedador, este último puede establecer dos diferentes estrategias de defensa frente al primero: resistencia y tolerancia. La resistencia se refiere a la habilidad del hospedador para eliminar o limitar la

presencia del patógeno (Råberg *et al.* 2009). Por el contrario, la tolerancia consiste en aminorar el daño que causan los parásitos sin que se reduzca la intensidad de parasitación. Aunque diferentes, ambas tienen un coste fisiológico (Schneider y Ayres, 2008; Råberg *et al.* 2009; Medzhitov *et al.* 2012), y ambas se han descrito en peces (ver Boots y Bowers, 1999; Blanchet *et al.* 2010). Al igual que sucedía con el impacto de las coinfecciones en la salud de las anguilas, la estrategia defensiva por parte del hospedador también dependerá de la historia coevolutiva entre los parásitos y el hospedador, tendiendo este último a la tolerancia cuanto más larga es la coevolución entre ambas especies (Boots *et al.* 2009).

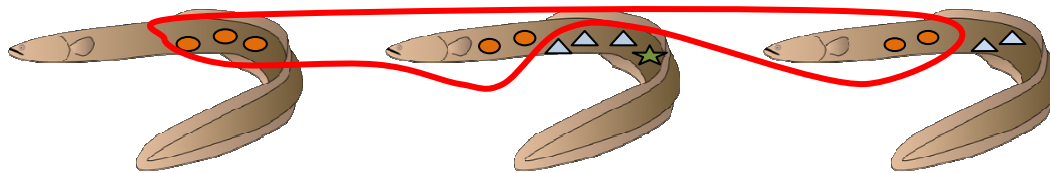
1.5 TÉRMINOS ECOLÓGICOS DESCRIPTIVOS DE LAS COMUNIDADES PARÁSITAS

Debido a que en el estudio de los parásitos una especie puede encontrarse en un hospedador individual, en una población de hospedadores e incluso en múltiples poblaciones de hospedadores infectados por alguno de sus estados de desarrollo, se ha enfatizado en la necesidad de considerar una jerarquización en el estudio de los organismos parásitos (Aguilar, 2008).

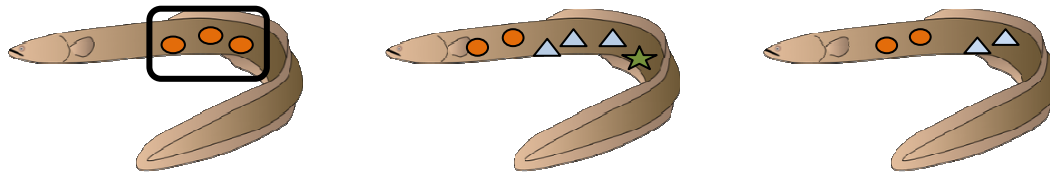
En el presente trabajo, con objeto de estudiar la comunidad de parásitos propia de la población de anguilas del Mar Menor capturadas entre los años 2008-2010, se ha empleado la siguiente terminología parasitológica siguiendo las recomendaciones de Holmes y Price (1986), Magurran (1988) y Bush *et al.* (1997) (Figura 7):

- **Prevalencia:** número de hospedadores infectados por una especie parásita particular, dividido por el número de total de hospedadores examinados; se expresa en porcentaje.
- **Intensidad:** número de individuos de una especie parásita particular en un hospedador individual infectado.
- **Intensidad media:** intensidad promedio de una especie particular de parásito entre los hospedadores infectados. Se calcula como número total de parásitos/número de hospedadores infectados.
- **Abundancia:** número de parásitos de una especie particular en o sobre un hospedador sin tener en cuenta si el hospedador está o no infectado.

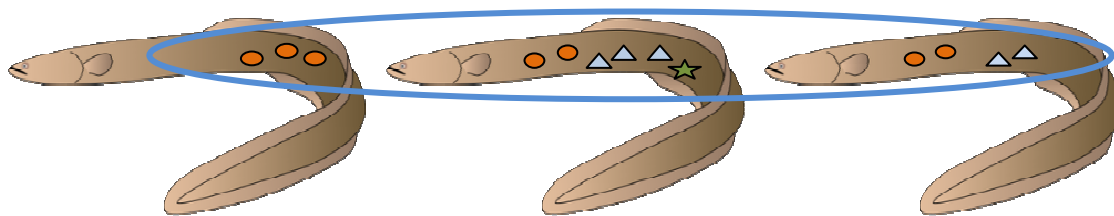
- **Abundancia media:** número promedio de parásitos por hospedador examinado en una muestra (incluye a los no infectados). Se calcula como número total de parásitos/ número total de hospedadores examinados.
- **Población:** conjunto de todos los parásitos de una sola especie localizados en las anguilas del Mar Menor.
- **Comunidad:** conjunto de poblaciones de diferentes especies parasitarias conviviendo en las anguilas del Mar Menor.
- **Infrapoblación:** conjunto de todos los parásitos de una sola especie localizados en un único hospedador, en nuestro caso una única anguila.
- **Infracomunidad:** agrupación de las infrapoblaciones de un único hospedador o en una zona anatómica concreta.
- **Riqueza específica:** el número de especies parásitas presentes en una infracomunidad o en la comunidad componente.
- **Diversidad:** calculada mediante el índice de Shannon - Wiener, estima la relación entre la riqueza específica y la abundancia relativa de las especies (equitabilidad o uniformidad) en la comunidad. En nuestro caso, la diversidad se refiere tanto a la comunidad como a la infracomunidad parasitaria, valorando el número de especies parasitarias presentes y su proporción relativa respecto al total de parásitos hallados
- **Dominancia:** calculada mediante el índice no paramétrico de Berger-Parker, permite conocer la proporción de la especie más abundante respecto del número total de especies de parásitos en la muestra.

**POBLACIÓN**

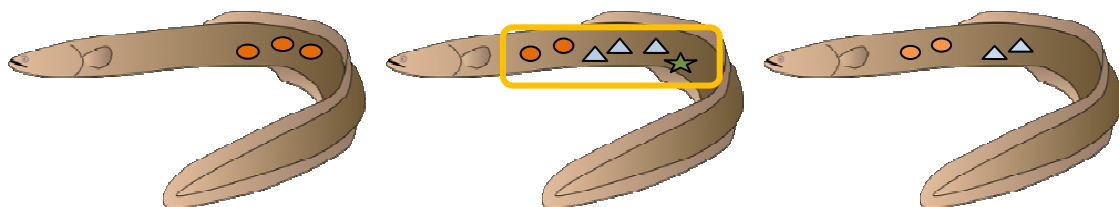
Conjunto de todos los parásitos de una sola especie localizados en las anguilas del Mar Menor.

**INFRAPOBLACIÓN**

Conjunto de todos los parásitos de una sola especie localizados en un único hospedador.

**COMUNIDAD**

Conjunto de poblaciones de diferentes especies parasitarias conviviendo en las anguilas del Mar Menor.

**INFRACOMUNIDAD**

Agrupación de las infrapoblaciones de un único hospedador.




-  Especie parasita 1
-  Especie de parasita 2
-  Especie de parasita 3

Figura 7: Esquema de varios términos ecológicos descriptivos usados en el estudio.

2. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La anguila europea fue elegida como especie objeto de estudio de esta tesis doctoral, en primer lugar, por ser una especie que se encuentra en peligro de extinción y para la cual se han establecido planes de gestión atendiendo al Reglamento del Consejo Europeo de la Unión Europea N° 1100/2007. En segundo lugar, la elección se debe al desconocimiento existente acerca de la comunidad de helmintos que alberga la población de anguilas del Mar Menor, siendo esta especie una fuente importante de ingresos a nivel local debido a su pesca y comercialización.

Atendiendo a estos dos aspectos, se plantearon dos objetivos en este trabajo. **El primer objetivo fue conocer la composición y la estructura de la comunidad de helmintos que albergan las anguilas del Mar Menor.** Para alcanzar este objetivo se llevaron a cabo los trabajos que constituyen los dos primeros artículos de la presente tesis doctoral. El primero de ellos aborda el estudio de la prevalencia, abundancia e intensidad media de *A. crassus* de manera independiente dado que se trata de un parásito invasor y altamente patógeno para la anguila europea. En el segundo artículo se describe la composición y la estructura de la comunidad de helmintos de esta población de anguilas.

El segundo objetivo de este trabajo fue **evaluar el efecto que ocasiona esta helmintofauna en la aptitud ecológica de la población de anguilas estudiada.** Para ello se emplearon diversos indicadores tales como la condición corporal, la asimetría fluctuante y el índice somático del bazo. Los resultados de este estudio quedaron reflejados en la publicación del tercer artículo.

3. DISCUSIÓN

Desde su introducción en Europa en la década de los 80, se han descrito diferentes prevalencias del nematodo *A. crassus* en anguilas europeas procedentes de distintas localizaciones, oscilando sus valores en un rango de entre 0 y 100% (revisión en: Jakob *et al.* 2009). Por lo que respecta a anguilas que habitan ecosistemas mediterráneos salobres o salinos, se ha descrito la ausencia del nematodo en ejemplares de cuatro lagos italianos (Acquatina, Fogliano, Monaci y Caprolace) con salinidades de entre 17 y 48‰ (Kennedy *et al.* 1997; Di Cave *et al.* 2001), mientras que en otros lagos italianos como Valle Figueri y Comaccio (salinidad de 15 y 37‰), se ha descrito una prevalencia de dicho parásito de 9.15% y 11.9% respectivamente (Di Cave *et al.* 2001). Asimismo, Ternengo *et al.* (2005) registraron una prevalencia del 13.3% en el lago Urbino (salinidad del 30‰), y su prevalencia en tres lagos del Delta del Ebro osciló entre 21.3% y 30.8% (salinidades entre 3 y 36‰) (Maíllo *et al.* 2005). Del mismo modo, en el lago Burano se registro una prevalencia de 37.4% y una salinidad de entre 10 y 40. En la albufera de Valencia, con una salinidad aproximada del 1 - 2‰, se observó una prevalencia de *A. crassus* del 11.5% entre los años 2003 y 2005 (Esteve y Alcaide, 2009) llegando al 66.6% en el año 2008 (Martínez-Carrasco *et al.* 2011b). Asimismo, una evolución semejante se registró en el estuario de Moulouya (Marruecos), donde la prevalencia de este parásito llegó a alcanzar el 70% en cuatro años (Rahhou *et al.* 2001). Otros autores también han descrito un incremento muy pronunciado de la prevalencia del nematodo durante los primeros años desde la introducción de éste en un nuevo hábitat, seguido de una posterior estabilización de la prevalencia en valores que se aproximan al 60 - 70%. (Kennedy y Fitch, 1990; Audenaert *et al.* 2003; Lefebvre y Crivelli, 2004). Sin embargo nuestros resultados indican que en el Mar Menor la prevalencia de adultos, preadultos, larvas L4 y larvas L3 de *A. crassus* se mantuvo estable en torno al 3% durante los 3 años en los que se llevó a cabo este trabajo (Martínez-Carrasco *et al.* 2011a; Mayo-Hernández *et al.* 2014).

De acuerdo con la bibliografía, son varios los factores que limitan la dispersión de este nematodo, principalmente la existencia de temperaturas por debajo de 4 °C que impiden la invasión de la pared de la vejiga por parte de la larva L3 (Knopf *et al.* 1998), la salinidad (Lefebvre y Crivelli, 2012) y la ausencia de hospedadores intermediarios adecuados (Kirk, 2003). El primero de estos factores puede descartarse

como causa de la baja prevalencia de este nematodo en las anguilas del Mar Menor, pues en este ecosistema la temperatura media anual es superior a la indicada anteriormente (PGAM, 2010).

En cuanto a la salinidad, está demostrado experimentalmente que *A. crassus* es capaz de tolerar cambios en la osmolaridad del plasma de la anguila, siendo capaz de sobrevivir y completar su ciclo de vida en ambientes marinos y aguas salobres (Kirk *et al.* 2002). De hecho, se han descrito recientemente altas prevalencias en hábitats con elevados grados de salinidad, como ocurre en el estuario de Sabou, donde se observó una prevalencia de *A. crassus* de 71.87% a pesar de ser un hábitat hipersalino (salinidad 47‰) (Loukili y Belghyti, 2007). No obstante, las anguilas muestreadas en este caso no eran anguilas residentes, sino anguilas plateadas que ya habían comenzado su migración, por lo que la alta prevalencia de parasitación podría deberse a la infección adquirida durante el período pasado con anterioridad en áreas con menores salinidades. De hecho, los datos existentes en la bibliografía parecen indicar que, aunque el parásito sea capaz de tolerar la salinidad del medio, ésta ejerce una cierta influencia sobre el nivel de prevalencia de parasitación observada en las anguilas analizadas. Así, suele repetirse la ausencia o baja prevalencia de parasitación en ambientes marinos o hipersalinos, y prevalencia creciente según disminuye el grado de salinidad del hábitat (Taraschewski *et al.* 1987; Höglund *et al.* 1992; Pilcher y Moore 1993; Lefebvre y Crivelli, 2012).

Por último, en relación con el tercer factor anteriormente citado como limitante de la dispersión de *A. crassus*, cabe destacar que se trata de un parásito eurixeno (Kennedy y Fitch, 1990), es decir tiene un amplio rango de especies animales que le sirven como hospedador. Además, en aguas continentales europeas muchos copépodos, canaloides, cyclopoides u ostrácodos han resultado ser hospedadores intermediarios potenciales de este nematodo (Kirk, 2003). En estuarios y aguas salobres, Kirk *et al.* (2000) identificaron al copépodo *Eurytemora affinis* como un hospedador intermediario clave. Sin embargo, aunque *E. affinis* presenta una alta capacidad de osmoregulación, estudios previos han demostrado que el rango fisiológico óptimo para este copépodo se sitúa en grados de salinidad de entre 5 y 10‰ (Cailleaud *et al.* 2007). En el Mar Menor, los copépodos están representados principalmente por *Oithona nana*, *Centropages ponticus* y *Acartia* spp., no habiendo sido descrita ninguna de estas especies como posible hospedador intermediario de *A. crassus*. Teniendo en cuenta que, además, en el Mar Menor no existe referencia de la presencia de *E. affinis*, parece que la falta de un hospedador intermediario es la

razón que más probablemente puede justificar la escasa dispersión de este nematodo y, por tanto, la baja prevalencia detectada en el Mar Menor. No obstante, para poder confirmar esta hipótesis, sería conveniente profundizar en este campo realizando estudios que valorasen la existencia de especies animales cuya actuación como hospedadores intermediarios en el Mar Menor se evaluase mediante infecciones experimentales.

Por otra parte, cabe destacar que la prevalencia de *A. crassus* descrita en la bibliografía podría estar subestimada pues en muchas ocasiones no se cuantifica la presencia de larvas en la pared de la vejiga natatoria, describiéndose únicamente los estadios que se pueden visualizar macroscópicamente en la luz de la misma, concretamente adultos y pre-adultos (Rolbiecki, 2008). La importancia de la consideración de todos los estadios de este nematodo ha sido recientemente puesta de manifiesto (ICES, 2015). Para ello, en nuestro estudio se puso a punto el método de la digestión artificial de las vejigas natatorias de las anguilas para la detección de larvas de *A. crassus*. Se trata de un método común para la recolección de larvas de nematodos en tejidos de mamíferos (Vignau *et al.* 1997), reptiles (Ballantyne y Samuel, 1984), gasterópodos (Platt, 1989) o peces (Deardorff y Kent, 1989), habiendo sido usado anteriormente para recuperar las L3 de *A. crassus* en especies de peces que pudieran actuar como hospedadores paraténicos (Agoulon *et al.* 2001). Nuestros resultados ponen de manifiesto que hay anguilas con un elevado número de L2 en la pared de la vejiga natatoria (más de 42.960), siendo éste el estadio larvario más prevalente. Asimismo, algunos ejemplares solamente presentaron este estado larvario, tal y como describieron previamente otros autores (Palfiková y Navrátil, 2001). El hecho de que en nuestro estudio se observase una intensidad alta de L2 y baja de L3, pre-adultos y adultos, así como la ausencia de L4, sugiere que la infección por *A. crassus* en las anguilas del Mar Menor podría tratarse de una infección crónica, como parece indicar también la estabilización de su prevalencia.

Conocida la prevalencia de *A. crassus*, considerado como uno de los parásitos más patógeno para la anguila europea, nos planteamos estudiar la comunidad de helmintos de la población de anguilas del Mar Menor, describiendo su composición y su estructura. Cabe destacar la escasez de estudios similares realizados en anguilas de ambientes de aguas salobres o marinas frente a la gran cantidad de ellos que se han llevado a cabo en ambientes de aguas continentales.

Los resultados de nuestros estudios indicaron que la composición de la comunidad de helmintos en las anguilas del Mar Menor, estaba conformada por dos trematodos digeneos, *Deropristis inflata* y *Bucephalus anguillae*, dos nematodos, *Contracaecum* sp. y *A. crassus*, y dos plerocercoides de la familia *Proteocephalidae*. Todas estas especies han sido descritas con anterioridad en otros estudios realizados en anguilas europeas (revisión en: Jakob *et al.* 2009). Entre estos helmintos, hay especies con diferentes preferencias de hábitat, siendo *D. inflata*, *B. anguillae* y *Contracaecum* sp. parásitos propios de hábitats salobres o marinos mientras que *A. crassus* y las dos larvas cestodas de la familia *Proteocephalidae* lo son de aguas continentales o eurihalinas.

Todas las especies de parásitos identificadas en este estudio, tienen ciclos de vida indirectos en los que intervienen hospedadores intermediarios. Tal y como se ha comentado anteriormente, la salinidad es un factor que puede determinar la presencia y abundancia de hospedadores intermediarios, lo que puede influir en la composición de las comunidades de parásitos. Por ello en el Mar Menor, dos de los parásitos comunes en ambientes salobres y marinos (*D. inflata* y *B. anguillae*) dominaron la comunidad corroborando los estudios descritos por Kennedy *et al.* (1997) en anguilas de lagunas cuya salinidad oscila entre 10 y 48‰ o por Di Cave *et al.* (2001) en anguilas de hábitats donde la salinidad fluctúa entre 15 y 42‰. Por otro lado, en nuestro estudio la prevalencia de las especies parasitarias frecuentes en aguas continentales fue del 0.01%, muy inferior a la detectada en otros trabajos realizados en ecosistemas salinos y salobres, como el 35.7% registrado por Di Cave *et al.* (2001) en aguas con un grado de salinidad de entre 15 y 42‰; el 50% en lagos donde la salinidad fluctúa entre 10 y 48‰ (Kennedy *et al.* 1997), o lejos del 66.7% en hábitats con una salinidad de entre 3 y 36‰ (Maíllo *et al.* 2005). La baja prevalencia de estas especies parásitas frecuentes en hábitats continentales en la población de anguilas del Mar Menor podría atribuirse a la permanente hipersalinidad de esta laguna en comparación con la hipersalinidad temporal de los ecosistemas de los estudios citados como consecuencia de los aportes de agua dulce a los que están sometidos.

De acuerdo con la bibliografía, al igual que ocurre con la composición, los valores de algunos índices que describen la estructura de la comunidad parasitaria -riqueza específica y diversidad de parasitación- usualmente decrecen conforme aumenta la salinidad en el medio (Kennedy *et al.* 1997). Nuestro estudio reveló que la riqueza específica de la comunidad de anguilas del Mar Menor fue de seis especies, dentro

del rango de entre tres y ocho especies descrito en lagos hipersalinos (revisión en: Kristmundsson y Helgason, 2007). En cuanto a la diversidad, la población de anguilas del Mar Menor presentaba uno de los índices de Shannon-Wiener más bajos de los descritos hasta la fecha en anguilas de lagos costeros del Mediterráneo (0.72), similar al descrito en las poblaciones de tres lagos salobres italianos: 0.71 en anguilas de Acquatina (salinidad: 30 – 42‰), 0.85 en anguilas de Comaccio (salinidad: 23 – 37‰) y 0.86 en especímenes de Caproccale (salinidad: 32 – 44‰) (Kennedy *et al.* 1997; Di Cave *et al.* 2001). En cuanto a la especie dominante de la comunidad, fue *D. inflata* con un valor del índice de dominancia de Berger-Parker de 0.72.

Frente a las seis especies de parásitos de la comunidad, en la infracomunidad intestinal se describieron cinco especies, siendo cuatro el máximo número de especies por anguila coincidiendo con lo descrito en otros estudios europeos (e.g. Kennedy y Guégan, 1996; Kennedy *et al.* 1997; Di Cave *et al.* 2001; Maíllo *et al.* 2005). Este hecho, confirma la teoría de Kennedy (1997) sobre las similitudes en la estructura de la infracomunidad intestinal de parásitos de anguilas tanto procedentes de aguas continentales como de aguas salobres, a diferencia de lo que sucede con la composición de estas infracomunidades. Por otro lado, al igual que se ha descrito en el caso de la comunidad parasitaria, *D. inflata* fue la especie dominante de la infracomunidad intestinal (índice de dominancia de Berger-Parker de 0.72). Este trematodo digeneo, al igual que *B. anguillae*, es más prevalente en anguilas de aguas salobres y ambientes marinos (Jakob *et al.* 2009), observándose generalmente un aumento en su prevalencia conforme se incrementa la salinidad del ecosistema.

En nuestro estudio, la prevalencia de *D. inflata* fue del 67%, semejante a la descrita en anguilas procedentes del lago Urbino (70%), donde la salinidad raramente bajó del 30‰ (Ternengo *et al.* 2005), y superior a las prevalencias registradas en anguilas de otros lagos con menor grado de salinidad (Benajiba, 1991; Kennedy *et al.* 1997; Di Cave *et al.* 2001; Maíllo *et al.* 2005; Culurgioni *et al.* 2010). Contrariamente a esta tendencia, en anguilas procedentes de la laguna de Acquatina, caracterizada por tener una salinidad de 30 - 42‰, la prevalencia de *D. inflata* fue del 19% (Di Cave *et al.* 2001), debido posiblemente al pequeño tamaño del lago y a su aislamiento de otros lagos (Poulin y Morand, 1999). Otra excepción estuvo constituida por la mayor prevalencia de *D. inflata* descrita en dos lagos del norte del Mar Adriático en los que la salinidad es inferior a la del Mar Menor, Valle Figheri (15 - 35‰) y

Comacchio (23 – 37%), cuyas prevalencias fueron de 73.8% y 93.9% respectivamente (Di Cave *et al.* 2001). Sin embargo las abundancias de parasitación descritas en estos últimos, 29.7 ± 67 y 38.6 ± 60.9 parásitos por anguila analizada respectivamente, fueron inferiores a las detectadas en las anguilas del Mar Menor (101 ± 162.85 parásitos por anguila analizada). Este hecho puede estar relacionado con la existencia de instalaciones de acuicultura de anguilas en ambos lagos italianos, ya que el incremento de la densidad de población de anguilas facilita la dispersión del parásito (Arneberg *et al.* 1998; Arneberg, 2001), aumentando así su prevalencia, pero no necesariamente su abundancia.

En las anguilas del Mar Menor *B. anguillae* presentó una prevalencia del 60%, superior a la descrita en otros lagos mediterráneos donde las prevalencias oscilaron entre el 2.4 y el 55% (Kennedy *et al.* 1997; Di Cave *et al.* 2001; Culurgioni *et al.* 2010). Su abundancia media también fue superior en nuestro estudio (23 ± 51.19 parásitos por anguila analizada) en comparación con la detectada en anguilas de otros ecosistemas, donde el rango de valores estuvo entre 0.1 ± 0 y 9.6 ± 37 parásitos por anguila analizada (Kennedy *et al.* 1997; Di Cave *et al.* 2001). Por el contrario, la abundancia de este trematodo en anguilas procedentes del Valle Figheri (Italia) fue muy similar (22.2 ± 69.3 parásitos por anguila analizada) a la registrada en nuestro estudio a pesar de su menor grado de salinidad. Asimismo, cabe destacar la ausencia de *B. anguillae* en los lagos del Delta del Ebro (Mañllo *et al.* 2005), debido, seguramente, a sus aportaciones de aguas continentales.

Estos dos trematodos digeneos actúan sobre el hospedador alterando el epitelio de la mucosa que cubre las vellosidades digestivas, causando necrosis y degeneración (Dezfuli *et al.* 1997). Sin embargo, ambas especies muestran una estricta especificidad por el intestino, compitiendo por las mismas fuentes tróficas y por el espacio físico, y por tanto interactuando negativamente entre ellos (Pedersen y Fenton, 2007).

Contracaecum sp. es una especie alogénica (entendiendo como tal a las especies de parásitos que emplean a un pez u otro organismo acuático como hospedador intermediario y que alcanza la madurez sexual en un hospedador no acuático). Asimismo, se trata de un parásito generalista cuyos hospedadores definitivos son aves piscívoras y mamíferos (Anderson, 1992). Las anguilas son un hospedador paraténico de este nematodo, localizándose la L3 en la musculatura y/o en las vísceras provocando lesiones debido a su migración y a su alimentación (Rohde, 1984; Williams y Jones, 1994). Sin embargo, la anguila puede

inducir la hipobiosis de las L3 en la túnica propia a lo largo de la pared del estómago y del intestino, como ya ha sido descrito previamente por Dezfuli *et al.* (2009). En ese momento, el parásito se encuentra en un estado de reposo y evade la respuesta inmunitaria del hospedador (Sitjà-Bobadilla, 2008). Este parásito presentó en las anguilas del Mar Menor una prevalencia del 49% y una abundancia media de 3.67 ± 8.30 parásitos por anguila analizada. Éste es uno de los valores de prevalencia más altos de los registrados en lagos costeros mediterráneos, donde oscilaron entre 0% y 25% (Kennedy *et al.* 1997; Di Cave *et al.* 2001; Maíllo *et al.* 2005; Ternengo *et al.* 2005; Culurgioni *et al.* 2010). Probablemente, estas diferencias se deben al hecho de que el Mar Menor y sus humedales asociados son destinos frecuentes de hibernación y cría de aves acuáticas (Fernández *et al.* 2005), las cuales participan en el ciclo biológico de *Contracaecum* sp. como hospedadores definitivos. Relacionado también con el uso y la presencia de aves, se describieron prevalencias ligeramente superiores a las de nuestro estudio en los lagos Acquatina y Valle Figheri (61.9% y 69.7% respectivamente) (Di Cave *et al.* 2001). Cabe destacar que la presencia del anisákido *Contracaecum* sp. tiene implicaciones negativas, no solo para la salud del stock de anguilas, sino también como potencial agente zoonótico (Culurgioni *et al.* 2010).

Hasta la fecha se han descrito 20 especies diferentes de cestodos en anguilas europeas, pero solo cinco de ellas han sido citadas en anguilas de aguas salobres o ambientes marinos. Además, tan solo dos de estas especies, *Bothriocephalus claviceps* y *Proteocephalus macrocephalus*, han sido descritas en anguilas de lagos salobres mediterráneos. Así, *B. claviceps* presentaba una prevalencia del 0.62% en anguilas del Delta del Ebro y *P. macrocephalus* del 2.1% y del 9.1% en especímenes de la Encanyissada (Maíllo *et al.* 2005) y del Valle Figheri (Di Cave *et al.* 2001), respectivamente. En el presente estudio, se observó una prevalencia de plerocercoides de la familia *Proteocephalidae* del 2%, convirtiéndose ésta en la primera descripción de cestodos en anguilas que habitan un ambiente permanentemente hipersalino.

Por tanto, nuestros resultados confirman que las lagunas costeras son el hábitat preferente de los trematodos digeneos *D. inflata* y *B. anguillae* (Di Cave *et al.* 2001) y que las comunidades de helmintos en anguilas que habitan este tipo de ecosistema son similares en estructura y composición, independientemente de la localización de la laguna (Di Cave *et al.* 2001). Sin embargo, a pesar de las similitudes en la composición de la comunidad parasitaria, se pueden diferenciar características específicas de cada caso, fundamentadas en los diferentes grados de salinidad de los diferentes hábitats.

Parece por tanto, que las comunidades parasitarias encontradas en poblaciones de anguilas, reflejan la historia individual de éstas, según el hábitat ocupado a lo largo de su vida.

Una vez conocida la composición y la estructura de la comunidad de parásitos de las anguilas del Mar Menor, y debido principalmente al estado de riesgo biológico en el que se encuentra la especie *A. anguilla*, nos planteamos un **segundo objetivo** que consistía en estudiar el efecto que ocasiona esta coinfección en la aptitud ecológica de las anguilas. Los resultados de este estudio quedaron reflejados en la publicación del tercer artículo de esta tesis doctoral. Para lograr este objetivo se emplearon diferentes índices como aproximación a la aptitud ecológica de la anguila, i) el IME, que evidencia la condición corporal; ii) la AF, relacionada con el estrés y iii) el ISB, vinculado con la activación del sistema inmunitario. Asimismo, se usó una regresión de mínimos cuadrados parciales para analizar la relación de estos tres índices con la riqueza específica de la infracomunidad y con la intensidad individual de tres de los helmintos identificados, ya que no se incluyeron en el análisis ni el nematodo *A. crassus* ni los cestodos dada su baja prevalencia (3% y 2%, respectivamente). Cabe destacar que la aplicación de este tipo de análisis, que permite examinar el efecto de todas las variables en conjunto, no es frecuente en trabajos parasitológicos.

Los resultados mostraron que los parásitos eran responsables del 44% de la varianza de la aptitud ecológica de las anguilas analizadas, e indicaban que la condición corporal de las anguilas no se vio afectada a pesar de que la intensidad y la riqueza específica aumenten, no obstante estas variables sí provocaron una mayor AF y un incremento del ISB.

Los efectos negativos de los parásitos en la condición corporal del hospedador han sido extensamente descritos (Maan *et al.* 2008; Gérard *et al.* 2013). Sin embargo, esto no es una razón para asumir *a priori* que su relación tenga que ser siempre así, ya que se ha observado en otros trabajos una mejor condición corporal en peces más parasitados (Arnott *et al.* 2000; Costa-Días *et al.* 2010; Guidelli *et al.* 2011; Lefebvre *et al.* 2013). Los resultados de nuestro estudio, en los que la condición corporal se valoró empleando el IME, indicaron que el 80% de la aptitud ecológica analizada estaba representada por las variaciones de este índice, existiendo una relación lineal y positiva entre él y la intensidad y la riqueza específica de parasitación. Esta relación positiva podría atribuirse a la estructura y composición de la

comunidad parasitaria, así como a la localización de estos parásitos en el hospedador tal y como se ha descrito anteriormente (Arnott *et al.* 2000; Khokhlova *et al.* 2002; Hoffnagle *et al.* 2006; Seppänen *et al.* 2009; Khan, 2012; Santoro *et al.* 2013).

A continuación se analizó si la comunidad de parásitos albergada por las anguilas del Mar Menor les ocasionó algún grado de estrés, lo que se valoró mediante el cálculo de la AF calculada entre diferentes medidas de estructuras anatómicas pares (longitud máxima de las aletas pectorales, longitud máxima y anchura máxima del otolito y distancia entre el opérculo y la comisura labial). Los resultados de la regresión de mínimos cuadrados parciales indicaron que la AF era responsable del 18% de la varianza de la aptitud ecológica analizada, mostrando una ligera influencia de la intensidad de parasitación y de la riqueza específica sobre la varianza de la AF. De acuerdo con la bibliografía, existen resultados contradictorios. Algunos estudios han descrito una relación positiva entre la intensidad de parasitación y la inestabilidad en el desarrollo en peces (Møller, 2006; Reimchen, 1997; Sasal y Pampoulie, 2000; Reimchen y Nosil, 2001; Bergstrom y Reimchen, 2002), otros no encontraron una relación consistente entre ambos (Escos *et al.* 1995; Campbell y Emlen, 1996; Berg *et al.* 1997), y en algunos esta relación positiva solo se observaba con ciertos parásitos de la comunidad parasitaria (Fazio *et al.* 2005). Así, en este último caso no se asoció la asimetría detectada en anguilas europeas a la parasitación por *A. crassus*, aún siendo considerado un parásito altamente patógeno (Kennedy, 2007). Por el contrario, en este mismo estudio, sí hallaron una relación positiva entre la asimetría observada y los parásitos digeneos presentes en las anguilas. En nuestro estudio, tanto los dos digeneos (*B. anguillae* y *D. inflata*) como *Contracaecum* sp., podrían ser responsables de la ligera asimetría detectada. No obstante, *Contracaecum* sp. se encontró en la mayoría de los casos enquistado (en estado hipobiótico) y sin ejercer acción patógena evidente contra el hospedador, por lo que probablemente el estrés observado en las anguilas del Mar Menor era debido a la acción directa de los digeneos en el tracto gastrointestinal, coincidiendo con los resultados descritos previamente por Fazio *et al.* (2005).

Por último, se estudió si la presencia de las especies que conforman la comunidad parasitaria en las anguilas del Mar Menor tenía algún efecto sobre la respuesta inmunitaria, empleando para ello el ISB. La asociación entre el tamaño del bazo y la parasitación por metazoos se ha estudiado en muchas ocasiones usando diferentes indicadores (Taskinen y Kortet, 2002; Ottová *et al.* 2005; Vainikka *et al.* 2009). Así, se

ha podido observar una correlación positiva entre el aumento del tamaño del bazo o el ISB y la presencia tanto de nematodos (Arnott *et al.* 2000; Morand y Poulin, 2000; Lefebvre *et al.* 2004) como de trematodos digeneos (Seppänen *et al.* 2009). En nuestro estudio, los resultados de la regresión de mínimos cuadrados parciales indicaron un escaso efecto de la comunidad parasitaria de las anguilas del Mar Menor en el tamaño del bazo.

La alta prevalencias registrada en el caso de los trematodos digeneos, parásitos especialistas de *A. anguilla*, y de *Contracaecum* sp., parásito generalista, asociada a la relación positiva entre éstos y el IME, así como su escaso impacto en los valores de AF y ISB, parecen indicar que todos ellos han coevolucionado con la anguila europea y por ello parecen ser tolerados por esta especie.

Aunque sería necesario realizar estudios adicionales para identificar otros factores que afecten a la aptitud ecológica de las anguilas europeas y en los que se usen otros indicadores de salud (como la acumulación de contaminantes ambientales) y otros índices de inmunidad (como el estrés oxidativo), nuestro trabajo supone una primera aproximación a estos estudios en las anguilas del Mar Menor. Los resultados parecen indicar que debido a su tolerancia a la comunidad parasitaria que albergan, las anguilas no presentan pérdida de condición corporal, ni un elevado nivel de estrés, ni modificación significativa del bazo. Teniendo en cuenta que los lagos costeros mediterráneos tienen una composición y estructura de sus comunidades de parásitos semejantes, proponemos que la infección parasitaria múltiple en anguilas europeas que habitan en este tipo de ecosistemas no tiene efectos negativos en la aptitud ecológica de la especie.

4. CONCLUSIONES

PRIMERA: la infección por el nematodo *Anguillicoloides crassus* en la población de *Anguilla anguilla* del Mar Menor está estabilizada en valores de prevalencia mínimos, pudiéndose catalogar como una parasitación crónica debido, probablemente, a la hipersalinidad permanente de la laguna y a la posible ausencia de hospedadores intermediarios.

SEGUNDA: La composición y estructura de la comunidad de helmintos de *Anguilla anguilla* del Mar Menor es similar a la descrita en anguilas de otras lagunas costeras, si bien el número de especies parasitarias y la prevalencia de ciertas especies disminuye al incrementarse la salinidad del hábitat.

TERCERA: las anguilas del Mar Menor toleran la parasitación múltiple que albergan dada la probable coevolución de hospedador y parásitos, lo que explica su mínimo impacto negativo en la aptitud ecológica de dicha población.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Aarestrup, K., Økland, F., Hansen, M. M., Righton, D., Gargan, P., Castonguay, M., McKinley, R. S.** (2009). Oceanic spawning migration of the European eel (*Anguilla anguilla*). *Science* **325**, 1660.
- Agoulon, A., Blanc, G., Le Bris, H., Marchand, A.** (2001). Recovery of third-stage larvae of *Anguillicola crassus* (Nematoda: Dracunculoidea) from the flesh of fishes: assessment of a digestive medium as a tool for the study of fish paratenic hosts. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* **357-360**, 595-608.
- Aguilar, A., Alvarez, M. F., Leiro, J. M., San Martín, M. L.** (2005). Parasite populations of the European eel (*Anguilla anguilla* L.) in the Rivers Ulla and Tea (Galicia, northwest Spain). *Aquaculture* **249**, 85-94.
- Aguilar, R.** (2008). Gusanos parásitos de fauna silvestre. Algunas formas de estudio. *Ciência e Cultura* **15**, 55-61.
- Allenbach, D. M.** (2011). Fluctuating asymmetry and exogenous stress in fishes: a review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **21**, 355-376.
- Anderson, R. C.** (1992). Nematode parasites of vertebrates. *CAB International*. Wallingford, Reino Unido 578 pp.
- Anderson, R. M. y May, R. M.** (1992). Infectious Diseases of Humans: Dynamics and Control. *Oxford University Press*. Oxford, Reino Unido 757 pp.
- Anderson, R. O. y Neumann, R. M.** (1996). Length, weight, and associated structural indices. En: **Murphy, B. R. y Willis D. W.** (eds) Fisheries Techniques. Segunda edición. *American Fisheries Society*. Bethesda, Maryland, Estados Unidos **5**, 447-482.
- Anónimo** (1952). Las colecciones de peces de la sección de biología de las aguas continentales. IX. *Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias* **63**, 136.
- Antunes, C.** (1999). *Anguillicola* infestation of eel population from the Rio Minho (north of Portugal). ICES-EIFAC Working Group on Eel, 20-24 Septiembre. Sikeborg, Dinamarca 1 pp.
- Arai, T., Otake, T., Tsukamoto, K.** (2000). Timing of metamorphosis and larval segregation of the Atlantic eels *Anguilla rostrata* and *A. anguilla*, as revealed by otolith microstructure and microchemistry. *Marine Biology* **137**, 39-45.

- Arneberg, P.** (2001). An ecological law and its macroecological consequences as revealed by studies of relationships between host densities and parasite prevalence. *Ecography* **24**, 352-358.
- Arneberg, P., Skorpung, A., Grenfell, B. T., Read, A. F.** (1998). Host densities as determinants of abundance in parasite communities. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences* **265**, 1283-1289.
- Arnott, S. A., Barber, I., Huntingford, F. A.** (2000). Parasite-associated growth enhancement in a fish-cestode system. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences* **267**, 657-663.
- Audenaert, V., Huyse, T., Goemans, G., Belpaire, C., Volckaert, F. A. M.** (2003). Spatio-temporal dynamics of the parasitic nematode *Anguillicola crassus* in Flanders, Belgium. *Diseases of Aquatic Organisms* **56**, 223-233.
- Ballantyne, R. J. y Samuel, W. M.** (1984). Diagnostic morphology of the third-stage larvae of three species of *Parelaphostrongylus* (Nematoda, Metastrongyloidea). *The Journal of Parasitology* **70**, 602-604.
- Barton, B. A. y Iwama, G. K.** (1991). Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annual Review of Fish Diseases* **1**, 3-26.
- Behrmann-Goel, J. y Eckmann, R.** (2003). A preliminary telemetry study of the migration of silver European eel (*Anguilla Anguilla* L.) in the River Mosel, Germany. *Ecology of Freshwater Fish* **12**, 196-202.
- Belpaire, C. G. J., Goemans, G., Geeraerts, C., Quataert, P., Parmentier, K., Hagel, P., De Boer, J.** (2009). Decreasing eel stocks: survival of the fattest? *Ecology of Freshwater Fish* **18**, 197-214.
- Benajiba, M. H.** (1991). Les parasites de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* L., 1758: (poisson teleosteen) dans la region du Languedoc. PhD dissertation. Université Clermont-Ferrand II. Aubière, Francia.
- Berg, O., Adkison, M. D., Quinn, T. R.** (1997). Bilateral asymmetry, sexual dimorphism, and nematode parasites in mature male sockeye salmon *Oncorhynchus nerka*. *Northwest Science* **71**, 305-312.
- Bergstrom, C. A. y Reimchen, T. E.** (2002). Geographical variation in asymmetry in *Gasterosteus aculeatus*. *Biological Journal of the Linnean Society* **77**, 9-22.
- Blackwell, B. G., Brown, M. L., Willis, D. W.** (2000). Relative weight (Wr) status and current use in fisheries assessment and management. *Reviews in Fisheries Science* **8**, 1-44.

- Blanchet, S., Rey, O., Loot, G.** (2010). Evidence for host variation in parasite tolerance in a wild fish population. *Evolutionary Ecology* **24**, 1129-1139.
- Böetius, I., y Böetius, J.** (1980). Experimental maturation of female silver eels, *Anguilla anguilla*: estimates of fecundity and energy reserves for migration and spawning. *Dana* **1**, 1-28.
- Boon, J. H., Cannaerts, V. M. H., Augustijn, H., Machiels, M. A. M., De Charleroy, D., Ollevier, F.** (1990). The effect of different infection levels with infective larvae of *Anguillicola crassus* on haematological parameters of European eel (*Anguilla anguilla*). *Aquaculture* **87**, 243–253.
- Boots, M., Best, A., Miller, M. R., White, A.** (2009). The role of ecological feedbacks in the evolution of host defence: what does theory tell us? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **364**, 27-36.
- Boots, M. y Bowers, R. G.** (1999). Three mechanisms of host resistance to microparasites -avoidance, recovery and tolerance- show different evolutionary dynamics. *Journal of Theoretical Biology* **201**, 13-23.
- Bordes, F. y Morand, S.** (2011). The impact of multiple infections on wild animal hosts: a review. *Infection Ecology and Epidemiology* **1**, 7346.
- Buen, F. De.** (1935). Fauna ictiológica. Catálogo de los peces ibéricos: de la planicie continental, aguas dulces, pelágicas y de los abismos próximos. Segunda parte. *Notas y Reúmenes. Publicaciones del Instituto Español Oceanografía* **88**, 1-89.
- Bush, A. O., Lafferty, K. D., Lotz, J. M., Shostak, A. W.** (1997). Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis *et al.* revisited. *The Journal of Parasitology* **83**, 575-583.
- Bykhovskaya-Pavlovskaya, I. E., Gussev A. V., Dubinina, M. N., Izyumova, N. A., Smirnova, T. S., Sokolovskaya, I. L., Sthein, G. A., Shulman, S. S., Epsthein, V. M.** (1962). Key to the parasites of freshwater fish of the USSR. *Moscow-Leningrad, Izdatelstvo Akademii Nauk SSSR* 776 pp. (En ruso).
- Cailleaud, K., Maillet, G., Budzinski, H., Souissi, S., Forget-Leray, J.** (2007). Effects of salinity and temperature on the expression of enzymatic biomarkers in *Eurytemora affinis* (Calanoida, Copepoda). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology* **147**, 841-849.
- Campbell, W. B. y Emlen, J. M.** (1996). Developmental instability analysis of BKD-infected spring chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*, prior to seawater exposure. *Oikos* **77**, 540-548.

- Carlander, K. D.** (1950). Growth rate studies of saugers, *Stizostedion canadense canadense* (Smith) and yellow perch, *Perca flavescens* (Mitchill) from Lake of the Woods, Minnesota. *Transactions of the American Fisheries Society* **79**, 30-42.
- Carton, Y., Nappi, A. J., Poirie, M.** (2005). Genetics of anti-parasite resistance in invertebrates. *Developmental and Comparative Immunology* **29**, 9-32.
- Cisternas, R.** (1877). Ensayo descriptivo de los peces de agua dulce que habitan en la provincia de Valencia. *Anales de la Sociedad Española de Historia Natural* **6**, 69-138.
- Colle, D. E. y Shireman, J. V.** (1980). Coefficients of condition for largemouth bass, bluegill, and redear sunfish in hydrilla-infected lakes. *Transactions of the American Fisheries Society* **109**, 521-531.
- Costa-Días, S., Dias, E., Lobón-Cerviá, J., Antunes, C., Coimbra, J.** (2010). Infection by *Anguillicoloides crassus* in a riverine stock of European eel, *Anguilla anguilla*. *Fisheries Management and Ecology* **17**, 485-492.
- Cox, F. E. G.** (2001). Concomitant infections, parasites and immune responses. *Parasitology* **122**, 23-38.
- Craig, B. H., Tempest, L. J., Pilkington, J. G., Pemberton, J. M.** (2008). Metazoan-protozoan parasite co-infections and host body weight in St Kilda Soay sheep. *Parasitology* **135**, 433-441.
- Culurgioni, J., De Murtas, R., Figus, V.** (2010) Helminth parasites of European eel *Anguilla anguilla* L. from St. Gilla lagoon (Sardinia, South western Mediterranean). *Ittiopatologia* **7**, 97-106.
- D.O.C.E. 2000. Directiva 2000/60/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. D.O.C.E. L 327 de 22.12.00. 69 pp.
- Dalmo, R. A., Ingebrigtsen, K., Bøgwald, J.** (1997). Non-specific defence mechanisms in fish, with particular reference to the reticuloendothelial system (RES). *Journal of Fish Diseases* **20**, 241-273.
- Daverat, F. y Tomás, J.** (2006) Tactics and demographic attributes of the European eel *Anguilla anguilla* the Gironde watershed, France. *Marine Ecology Progress Series* **307**, 247-257.
- De Charleroy, D., Grisez, L., Thomas, K., Belpaire, C., Ollevier, F.** (1990). The life cycle of *Anguillicola crassus*. *Diseases of Aquatic Organisms* **8**, 77-84.
- Deardorff, T. L. y Kent, M. L.** (1989). Prevalence of larval *Anisakis simplex* in pen-reared and wild-caught salmon (Salmonidae) from Puget Sound, Washington. *Journal of Wildlife Diseases* **25**, 416-419.

- Degani, G., Migal, D. L., Gallagher, M. L.** (1988). Relationship between growth, food conversion, body size, body composition and temperature in the European eel, *Anguilla anguilla* L. *Aquaculture Research* **19**, 139-143.
- Dekker, W.** (2004). Slipping through our hands: population dynamics of the European eel. PhD dissertation. Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde an Informatica. Amsterdam, Países Bajos 186 pp.
- Dezfuli, B. S., Manera, M., Onestini, S., Rossi, R.** (1997). Histopathology of the alimentary canal of *Anguilla anguilla* (L.) associated with digenetic trematodes: a light and electron microscopic study. *Journal of Fish Diseases* **20**, 317-322.
- Dezfuli, B. S., Szekely, C., Giovinazzo, G., Hills, K., Giari, L.** (2009). Inflammatory response to parasitic helminths in the digestive tract of *Anguilla anguilla* (L.). *Aquaculture* **296**, 1-6.
- Di Cave, D., Berrilli, F., De Liberato, C., Orecchia, P., Kennedy, C. R.** (2001). Helminth communities in eels *Anguilla anguilla* from Adriatic coastal lagoons in Italy. *Journal of Helminthology* **75**, 7-13.
- Doadrio, I.** (2001). Atlas y libro rojo de los peces continentales de España. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza (Ministerio de Medio Ambiente). Madrid, España 364 pp.
- Eder, S.** (1984). Effectiveness of an imposed slot length limit of 12.0 – 14.9 inches on largemouth bass. *North American Journal of Fisheries Management* **4**, 469–78.
- EELREP** (2005). Final Report: Estimation of the Reproduction Capacity of European Eel. EU-project EELREP (Q5RS-2001-01836). [WWW document]. URL http://www.fishbiology.net/EELREP_final_report.pdf.
- Elegido, M.** (1963). La anguila, su vida y costumbres. Segunda edición, 1^{er} folleto Informativo (Temas Piscícolas). Servicio Nacional de Pesca Fluvial y Caza. Madrid, España.
- Escos, J., Alados, C. L., Emlen J. M., Alderstein, S.** (1995). Developmental instability in the Pacific hake parasitized by myxosporeans *Kudoa* spp. *Transactions of the American Fisheries Society* **124**, 943-945.
- Esteve, C. y Alcaide, E.** (2009). Influence of diseases on the wild eel stock: The case of Albufera Lake. *Aquaculture* **289**, 143-149.

- Fazio, G., Lecomte-Finiger, R., Bartrina, J., Moné, H., Sasal, P.** (2005). Macroparasite community and asymmetry of the yellow eel *Anguilla anguilla* in Salses-Leucate lagoon, Southern France. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* **378-379**, 99-113.
- Fazio, G., Sasal, P., Mouahid, G., Lecomte-Finiger, R., Moné, H.** (2012). Swim bladder nematodes (*Anguillicoloides crassus*) disturb silvering in European eels (*Anguilla anguilla*). *Journal of Parasitology* **98**, 695-705.
- Fernández, J. M., Selma, M. A. E., Aymerich, F. R., Sáez, M. T. P., Fructuoso, M. F. C.** (2005). Aquatic birds as bioindicators of trophic changes and ecosystem deterioration in the Mar Menor lagoon (SE Spain). *Hydrobiologia* **550**, 221-235.
- Feunteun, E., Rigaud, C., Elie, P., Lefeuvre, J.-C.** (1999). Les peuplements piscicoles des marais littoraux endigués atlantiques : un patrimoine à gérer? Le cas du marais de Bourgneuf-Machecoul (Loire-Atlantique, France). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* **352**, 63-79.
- Fricke, H. y Kaese, R.** (1995). Tracking of artificially matured eels (*Anguilla anguilla*) in the Sargasso Sea and the problem of the eel's spawning site. *Naturwissenschaften* **82**, 32-36.
- Fulton, T. W.** (1904). The rate of growth of fishes. Vigésimosegundo informe anual, tercera parte. *Fisheries Board of Scotland*, Edimburgo, Reino Unido 141-241 pp.
- Gallastegi, I., Rallo, A., Mulcahy, M. F.** (2002). A report of *Anguillicola crassus* from Spain. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* **22**, 283-284.
- Gérard, C., Trancart, T., Amilhat, E., Faliex, E., Virag, L., Feunteun, E., Acou, A.** (2013). Influence of introduced vs. native parasites on the body condition of migrant silver eels. *Parasite* **20**, 38.
- Guidelli, G., Tavechio, W. L. G., Takemoto, R. M., Pavanelli, G. C.** (2011). Relative condition factor and parasitism in anostomid fishes from the floodplain of the Upper Paraná River, Brazil. *Veterinary parasitology* **177**, 145-151.
- Hadderingh R. H. y Baker H. D.** (1998). Fish mortality due to passage through hydroelectric power stations on the Meuse and Vecht rivers. En: **Jungwirth, M., Schmutz, S., Weiss S.** (eds) Fish Migration and Fish Bypasses. *Fishing News Books*. Oxford, Reino Unido 315-328 pp.
- Hoffnagle, T. L., Choudhury, A., Cole, R. A.** (2006). Parasitism and body condition in humpback chub from the Colorado and Little Colorado rivers, Grand Canyon, Arizona. *Journal of Aquatic Animal Health* **18**, 184-193.

- Holmes, J. C. y Price, P. W.** (1986) Communities of parasites. En: **Anderson, D. J. y Kikkawa, J.** (eds) Community ecology: pattern and process. *Blackwell Scientific Publications*. Oxford, Reino Unido 187-213 pp.
- Höglund, J., Andersson, J., Wickström, H., Reizenstein, M.** (1992). The distribution of *Anguillicola* in Sweden and its association with thermal discharge areas. *Irish Fisheries Investigations: Series A (Freshwater)* **36**, 143-150.
- Hudson, P. J., Dobson, A. P., y Newborn, D.** (1998). Prevention of population cycles by parasite removal. *Science* **282**, 2256-2258.
- ICES** (2002). Report of the EIFAC/ICES Working Group on Eels, ICES Headquarters, 28 – 31 August 2001. ICES CM 2002/ACFM:03. Copenague, Dinamarca 55p.
- ICES** (2006). Report of the ICES-FAO Working Group on Fishing Technology and Fish Behaviour (WGFTFB), 3–7 April 2006. ICES CM 2006/ ACFM:06. Izmir, Turkía 180 pp.
- ICES** (2013). Report of the Joint EIFAAC/ICES Working Group on Eels (WGEEL), 18– 22 Marzo 2013. Sukarietta, España, 4–10 Septiembre 2013. ICES CM 2013/ACOM:18. Copenague, Dinamarca 851 pp.
- ICES** (2014). Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eel, 3–7 November 2014. ICES CM 2014/ACOM:18. Roma, Italia 203 pp.
- ICES** (2015). Workshop of a Planning Group on the Monitoring of Eel Quality: “Development of standardized and harmonized protocols for the estimation of eel quality.” (WKPGMEQ), 20-22 Enero 2015. Bruselas, Bélgica.
- Jakob, E., Walter, T., Hanel, R.** (2009). A checklist of the protozoan and metazoan parasites of European eel (*Anguilla anguilla*): checklist of *Anguilla anguilla* parasites. *Journal of Applied Ichthyology*, 1-49.
- Jonsson, B. y Jonsson, N.** (2005). Lipid energy reserves influence life-history decision of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*S. trutta*) in fresh water. *Ecology of Freshwater Fish* **14**, 296–301.
- Kaschner, K., Rius-Barile, J., Kesner-Reyes, K., Garilao, C., Kullander, S. O., Rees, T., Froese, R.** (2013). AquaMaps: Predicted range maps for aquatic species. World wide web electronic publication, www.aquamaps.org, Version 08/2013.

- Kennedy, C. R.** (1997). Long-term and seasonal changes in composition and richness of intestinal helminth communities in eels *Anguilla anguilla* of an isolated English river. *Folia Parasitologica* **44**, 267-273.
- Kennedy, C. R.** (2007). The pathogenic helminth parasites of eels. *Journal of Fish Diseases* **30**, 319-334.
- Kennedy, C. R. y Fitch, D. J.** (1990). Colonization, larval survival and epidemiology of the nematode *Anguillicola crassus*, parasitic in the eel, *Anguilla anguilla*, in Britain. *Journal of Fish Biology* **36**, 117-131.
- Kennedy, C. R., Di Cave, D., Berrilli, F., Orecchia, P.** (1997). Composition and structure of helminth communities in eels *Anguilla anguilla* from Italian coastal lagoons. *Journal of Helminthology* **71**, 35-40.
- Kennedy, C. R. y Guégan, J. F.** (1996). The number of niches in intestinal helminth communities of *Anguilla anguilla*: are there enough spaces for parasites? *Parasitology* **113**, 293-302.
- Kettle, A. J., Asbjørn Vøllestad, L., Wibig, J.** (2011). Where once the eel and the elephant were together: decline of the European eel because of changing hydrology in southwest Europe and northwest Africa? *Fish and Fisheries* **12**, 380-411.
- Kettle, A. J., Bakker, D. C., Haines, K.** (2008). Impact of the North Atlantic Oscillation on the trans-Atlantic migrations of the European eel (*Anguilla anguilla*). *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* **113**, 1-26.
- Khan, R. A.** (2012). Host-parasite interactions in some fish species. *Journal of Parasitology Research* **2012**, 7.
- Khokhlova, I. S., Krasnov, B. R., Kam, M., Burdelova, N. I., Degen, A. A.** (2002). Energy cost of ectoparasitism: the flea *Xenopsylla ramesis* on the desert gerbil *Gerbillus dasyurus*. *Journal of Zoology* **258**, 349-354.
- Kirk, R. S.** (2003). The impact of *Anguillicola crassus* on European eels. *Fisheries Management and Ecology* **10**, 385-394.
- Kirk, R. S., Lewis, J. W., Kennedy, C. R.** (2000). Survival and transmission of *Anguillicola crassus* (Kuwahara, Niimi and Itagaki, 1974) (Nematoda) in seawater eels. *Parasitology* **120**, 289-295.
- Kirk, R. S., Morritt, D., Lewis, J. W., Kennedy, C. R.** (2002). The osmotic relationship of the swimbladder nematode *Anguillicola crassus* with seawater eels. *Parasitology* **124**, 339-347.

- Knights, B., Bark, A., Ball, M., Williams, F., Winter, E., Dunn, S.** (2001). Eel and elver stocks in England and Wales – status and management options. Research and Development Technical Report W248, *Environmental Agency*, Bristol, Reino Unido 294 pp.
- Knopf, K., Würtz, J., Sures, B., Taraschewski, H.** (1998). Impact of low water temperature on the development of *Anguillicola crassus* in the final host *Anguilla anguilla*. *Diseases of Aquatic Organisms* **33**, 143-149.
- Køie, M.** (1991). Swimbladder nematodes (*Anguillicola* spp.) and gill monogeneans (*Pseudodactylogyrus* spp.) parasitic on the European eel (*Anguilla anguilla*). *Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer* **47**, 391-398.
- Kortet, R., Taskinen, J., Sinisalo, T., Jokinen, I.** (2003). Breeding-related seasonal changes in immunocompetence, health state and condition of the cyprinid fish, *Rutilus rutilus*, L. *Biological Journal of the Linnean Society* **78**, 117-127.
- Kristmundsson, A. y Helgason, S.** (2007). Parasite communities of eels *Anguilla anguilla* in freshwater and marine habitats in Iceland in comparison with other parasite communities of eels in Europe. *Folia Parasitologica* **54**, 141-153.
- Laetsch, D. R., Heitlinger, E. G., Taraschewski, H., Nadler, S. A., Blaxter, M. L.** (2012). The phylogenetics of Anguillicolidae (Nematoda: Anguillicoloidea), swimbladder parasites of eels. *BMC Evolutionary Biology* **12**, 60.
- Lamková, K., Šimková, A., Palíková, M., Jurajda, P., Lojek, A.** (2007). Seasonal changes of immunocompetence and parasitism in chub (*Leuciscus cephalus*), a freshwater cyprinid fish. *Parasitology Research* **101**, 775-789.
- Lammens, E. H., De Nie, H. W., Vijverberg, J., Van Densen, W. L. T.** (1985). Resource partitioning and niche shifts of bream (*Abramis brama*) and eel (*Anguilla anguilla*) mediated by predation of smelt (*Osmerus eperlanus*) on *Daphnia hyalina*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **42**, 1342–1351.
- Le Cren, E. D.** (1951). The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *The Journal of Animal Ecology* **20**, 201-219.
- Lefebvre, F. y Crivelli, A. J.** (2012). Salinity effects on anguillicolosis in Atlantic eels: a natural tool for disease control. *Marine Ecology Progress Series* **471**, 193–202.

- Lefebvre, F. y Crivelli, A. J.** (2004). Anguillicolosis: dynamics of the infection over two decades. *Diseases of Aquatic Organisms* **62**, 227-232.
- Lefebvre, F., Fazio, G., Mounaix, B. Crivelli, A. J.** (2013). Is the continental life of the European eel *Anguilla anguilla* affected by the parasitic invader *Anguillicoloides crassus*? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **280**, 20122916.
- Lefebvre, F., Mounaix, B., Poizat, G., Crivelli, A. J.** (2004). Impacts of the swimbladder nematode *Anguillicola crassus* on *Anguilla anguilla*: variations in liver and spleen masses. *Journal of Fish Biology* **64**, 435-447.
- Lemly, A. D. y Esch, G. W.** (1984). Effects of the trematode *Uvulifer ambloplitis* on juvenile bluegill sunfish, *Lepomis macrochirus*: ecological implications. *The Journal of Parasitology* **70**, 475-492.
- Leung, B. y Forbes, M. R.** (1996). Fluctuating asymmetry in relation to stress and fitness: effects of trait type as revealed by meta-analysis. *Ecoscience Sainte-Foy* **3**, 400-413.
- Lorenzo Perera, M. J., Jiménez Medina, A. M., Zamora Maldonado, J. M.** (1999). La anguila. Estudio etnográfico, pesca y aprovechamiento en las islas Canarias. Centro de la Cultura Popular Canaria, La Laguna, España 226 pp.
- Loukili, A. y Belghyti, D.** (2007). The dynamics of the nematode *Anguillicola crassus* (Kuvahara, 1974) in eel *Anguilla anguilla* (L. 1758) in the Sebou estuary (Morocco). *Journal of Parasitology Research* **100**, 683-686.
- Lymbery, A. J., Morine, M., Kanani, H. G., Beatty, S. J., Morgan, D. L.** (2014). Co-invaders: The effects of alien parasites on native hosts. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* **3**, 171-177
- Maan, M. E., Van Rooijen, A., Van Alphen, J. J., Seehausen, O. L. E.** (2008). Parasite-mediated sexual selection and species divergence in Lake Victoria cichlid fish. *Biological Journal of the Linnean Society* **94**, 53-60.
- Magurran, A. E.** (1988) *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. Nueva Jersey, Estados Unidos 179 pp.
- Maíllo, P. A., Vich, M. A., Salvado, H., Marqués, A., Gracia, M. P.** (2005). Parasites of *Anguilla anguilla* (L.) from three coastal lagoons of the River Ebro delta (Western Mediterranean). *Acta Parasitologica* **50**, 156-160.

- Manning, M. J.** (1994). Fishes. En: **Turner, R. J.** (eds) Immunology. A comparative approach. *John Wiley and Sons Ltd*. Chichester, Reino Unido 69-100 pp.
- Martínez-Carrasco, C., Ruíz de Ybañez, R., Peñalver, J., Mayo-hernández, E., García- Ayala, A., Muñoz, P.** (2011a). Prevalence of *Anguillicoloides crassus* (Nematoda, Dracunculoidea) in wild European eels (*Anguilla anguilla* L.) from Mar Menor lagoon (western Mediterranean, Spain). *Revue de Médecine Vétérinaire* **162**, 154-158.
- Martínez-Carrasco, C., Serrano, E., de Ybañez, R. R., Peñalver, J., García, J. A., García-Ayala, A., Muñoz, P.** (2011b). The European eel—the swim bladder–nematode system provides a new view of the invasion paradox. *Parasitology Research* **108**, 1501-1506.
- Mas, J.** (1986). La ictiofauna continental de la cuenca del río Segura. Evolución histórica y estado actual. *Anales de Biología* **8**, 3-17.
- Mayo-Hernández, E., Peñalver, J., García-Ayala, A., Serrano, E., Muñoz, P., Ruiz de Ybañez, R.** (2014). Richness and diversity of helminth species in eels from a hypersaline coastal lagoon, Mar Menor, South-East Spain. *Journal of Helminthology* **89**, 1-7.
- Medzhitov, R., Schneider, D. S., Soares, M. P.** (2012). Disease tolerance as a defense strategy. *Science* **335**, 936-941.
- Møller, A.P.** (1992). Parasites differentially increase fluctuating asymmetry in secondary sexual characters. *Journal of Evolutionary Biology* **5**, 691–699.
- Møller, A. P.** (2006). A review of developmental instability, parasitism and disease: infection, genetics and evolution. *Infection, Genetics and Evolution* **6**, 133-140.
- Møller, A. P. y Saino, N.** (2004). Immune response and survival. *Oikos* **104**, 299-304.
- Molnár, K., Székely, C., Baska, F.** (1991). Mass mortality of eel in Lake Balaton due to *Anguillicola crassus* infection. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* **11**, 211-212.
- Morand, S. y Poulin, R.** (2000). Nematode parasite species richness and the evolution of spleen size in birds. *Canadian Journal of Zoology* **78**, 1356-1360.
- Moravec, F.** (1994). Parasitic nematodes of freshwater fishes of Europe. *Academia and Kluwer Academic Publishers*. Praga y Dordrecht, Boston, Londres, Reino Unido 473 pp.
- Moravec, F.** (1996). Aquatic invertebrates (snails) as new paratenic hosts of *Anguillicola crassus* (Nematoda: Dracunculoidea) and the role of paratenic hosts in the life cycle of this parasite. *Diseases of Aquatic Organisms* **27**, 237-239.

- Moravec, F. y Konecny, R.** (1994). Some new data on the intermediate and paratenic hosts of the nematode *Anguillicola crassus* (Kuwahara, Niimi and Itagaki, 1974). *Folia Parasitologica* **41**, 65-70.
- Moravec, F. y Skorikova, B.** (1998). Amphibians and larvae of aquatic insects as new paratenic hosts of *Anguillicola crassus* (Nematoda: Dracunculoidea), a swimbladder parasite of eels. *Diseases of Aquatic Organisms* **34**, 217-222.
- Moravec, F. y Taraschewski, H.** (1988). Revision of the genus *Anguillicola* (Yamaguti, 1935) (Nematoda: Anguillicolidae) of the swimbladder of eels, including descriptions of two new species, *A. novaezelandiae* sp. n. and *A. papernai* sp. n. *Folia Parasitologica* **35**, 125-146.
- Moriarty, C. y Dekker, W.** (1997). Management of the European eel. *Fisheries Bulletin*. Dublin, Irlanda **15**, 110.
- Murphy, B. R., Willis, D. W., Springer, T. A.** (1991). The relative weight index in fisheries management: status and needs. *Fisheries* **16**, 30-38.
- Neto, A. F., Costa, J. L., Costa, M. J., Domingos, I.** (2010). Epidemiology and pathology of *Anguillicoloides crassus* in European eel *Anguilla anguilla* from the Tagus estuary (Portugal). *Diseases of Aquatic Organisms* **88**, 225-233.
- Nieto, N. C. y Foley, J. E.** (2009). Meta-analysis of coinfection and coexposure with *Borrelia burgdorferi* and *Anaplasma phagocytophilum* in humans, domestic animals, wildlife, and *Ixodes ricinus*-complex ticks. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* **9**, 93-102.
- Nimeth, K., Zwerger, P., Wurtz, J., Salvenmoser, W., Pelster, B.** (2000). Infection of the glass-eel swimbladder with the nematode *Anguillicola crassus*. *Parasitology* **121**, 75-83
- Ottová, E., Šimková, A., Jurajda, P., Dávidová, M., Ondračková, M., Pečínková, M., Gelnar, M.** (2005). Sexual ornamentation and parasite infection in males of common bream (*Abramis brama*): a reflection of immunocompetence status or simple cost of reproduction? *Evolutionary Ecology Research* **7**, 581-593.
- Ottová, E., Šimková, A., Morand, S.** (2007). The role of major histocompatibility complex diversity in vigour of fish males (*Abramis brama* L.) and parasite selection. *Biological Journal of the Linnean Society* **90**, 525-538.
- Owens, I. P. y Wilson, K.** (1999). Immunocompetence: a neglected life history trait or conspicuous red herring? *Trends in Ecology and Evolution* **14**, 170-172.

- Palíková, M. y Navrátil, S.** (2001). Occurrence of *Anguillicola crassus* in the Water Reservoir Koryčany (Czech Republic) and its Influence on the health condition and haematological indices of eels. *Acta Veterinaria Brno* **70**, 443-449.
- Palstra, A. P., Antonissen, E., Clavero, M. E., Nieveen, M., Niemantsverdriet, P., van Ginneken, V. J. T., Van den Thillart, G. E. E. J. M.** (2006b). The fate of fat in silver eels: lipid requirements for spawning migration. En: **Palstra, A. P.** (eds) Energetic requirements and environmental constraints of reproductive migration and maturation of European silver eel (*Anguilla anguilla* L.). PhD dissertation. *University of Leiden*. Leiden, Países Bajos 184 pp.
- Palstra, A. P., Heppener, D. F. M., Van Ginneken, V. J. T., Székely, C. Y., Van den Thillart, G. E. E. J. M.** (2007). Swimming performance of silver eels is severely impaired by the swim-bladder parasite *Anguillicola crassus*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **352**, 244-256.
- Palstra, A. P., Van Ginneken, V. J. T., Murk, A. J., Van den Thillart, G. E. E. J. M.** (2006a). Are dioxin-like contaminants responsible for the eel (*Anguilla anguilla*) drama? *Naturwissenschaften* **93**, 145-148.
- Pedersen, A. B. y Fenton A.** (2007). Emphasizing the ecology in parasite community ecology. *Trends in Ecology and Evolution* **22**, 133-139.
- Peig, J. y Green, A. J.** (2009). New perspectives for estimating body condition from mass/length data: the scaled mass index as an alternative method. *Oikos* **118**, 1883-1891.
- Peñalver, J., Muñoz, P., Romero, E., Barcala, E., M^a Dolores, E.** (2015). Primer registro de angula, fase juvenil de la anguila europea *Anguilla anguilla*, en la laguna hipersalina del Mar Menor, sureste español. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. **50**,391-395.
- Petney, T. N. y Andrews, R. H.** (1998). Multiparasite communities in animals and humans: frequency, structure and pathogenic significance. *International Journal for Parasitology* **28**, 377-393.
- Pilcher, M. W., y Moore, J. F.** (1993). Distribution and prevalence of *Anguillicola crassus* in eels from the tidal Thames catchment. *Journal of Fish Biology* **43**, 339-344.
- Plan de Gestión de la Anguila Europea en España (PGAE)** (2010). http://www.magrama.gob.es/es/pesca/temas/planes-de-gestion-y-recuperacion-de-especies/plan_de_gesti%C3%B3n_anguila_Espa%C3%B1a_tcm7-213942.pdf.

- Plan de gestión de la anguila en la Región de Murcia (PGAM)** (2010).
http://www.magrama.gob.es/es/pesca/temas/planes-de-gestion-y-recuperacion-de-especies/plan_de_gesti%C3%B3n_anguila_Murcia_tcm7-213944.pdf.
- Platt, T. R.** (1989). Gastropod intermediate hosts of *Parelaphostrongylus tenuis* (Nematoda: Metastrongyloidea) from northwestern Indiana. *Journal of Parasitology* **75**, 519-523.
- Polak, M.** (1993). Parasites increase fluctuating asymmetry of male *Drosophila nigrospiracula*: implications for sexual selection. *Genetica* **89**, 255-265.
- Poulin, R. y Morand, S.** (1999) Geographical distances and the similarity among parasite communities of nonspecific host populations. *Parasitology* **119**, 369-374.
- Prenda Marín, J., Clavero Pineda, M., Blanco Garrido, F., Rebollo Vega, A. J.** (2002). Consecuencias ecológicas de la creación de embalses en el ámbito mediterráneo: el caso de los peces. III Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua, Noviembre 2002. Sevilla, España 497-503 pp.
- Råberg, L., Graham, A. L., Read, A. F.** (2009). Decomposing health: tolerance and resistance to parasites in animals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **364**, 37-49.
- Rahhou, I., Melhaoui, M., Lecomte-Finiger, R., Morand, S., Chergui, H.** (2001). Abundance and distribution of *Anguillicola crassus* (Nematoda) in eels *Anguilla anguilla* from Moulouya Estuary (Morocco). *Helminthologia* **38**, 93-97.
- Ranney, S. H., Fincel, M. J., Wuellner, M. R., VanDeHey, J. A., Brown, M. L.** (2010). Assessing length-related bias and the need for data standardization in the development of standard weight equations. *North American Journal of Fisheries Management* **30**, 655-664.
- Reglamento (CE) n° 1100/2007** del Consejo, de 18 de septiembre de 2007, por el que se establecen medidas para la recuperación de la población de anguila europea.
- Reimchen, T. E.** (1997). Parasitism of asymmetrical pelvic phenotypes in stickleback. *Canadian Journal of Zoology* **75**, 2084-2094.
- Reimchen, T. E. y Nosil, P.** (2001). Lateral plate asymmetry, diet and parasitism in threespine stickleback. *Journal of Evolutionary Biology* **14**, 632-645.
- Rodríguez, A., Gisbert, E., Castelló-Orvay, F.** (2005). Nutritional condition of *Anguilla anguilla* starved at various salinities during the elver phase. *Journal of Fish Biology* **67**, 521-534.

- Rodríguez, O. y Alvariño, A.** (1951). Anguilas y angulas. Biología, pesca y consumo. *Subsecretaría de la Marina Mercante*. Madrid, España 93 pp.
- Rohde, K.** (1984). Ecology of marine parasites. *Helgolander Meeresuntersuchungen* **37**, 5-33.
- Rolbiecki, L.** (2008). New data on the biology of the introduced exotic nematode *Anguillicola crassus* (Kuwahara, Niimi and Itagaki, 1974) in the eel *Anguilla anguilla* in Lake Wdzydze (Polish waters). *Oceanological and Hydrobiological Studies* **37**, 37-48.
- Santoro, M., Mattiucci, S., Work, T., Cimmaruta, R., Nardi, V., Cipriani, P., Bellsario, B., Nascetti, G.** (2013). Parasitic infection by larval helminths in Antarctic fish: Pathological changes and impact on the host body condition index. *Diseases of Aquatic Organisms* **105**, 139-148.
- Sasal, P. y Pampoulie, C.** (2000). Asymmetry, reproductive success and parasitism of *Pomatoschistus microps* in a French lagoon. *Journal of Fish Biology* **57**, 382-390.
- Schmidt, J.** (1909). On the distribution of the freshwater eels (*Anguilla anguilla*) throughout the world. I. Atlantic Ocean and adjacent region. Meddelelser fra Kommissionen for Havundersogelser. *Serie Fiskeri* **3**, 1-45.
- Schmidt, J.**, (1925). The breeding places of the eel. *Annual Report of the Smithsonian Institution for 1924*, Washintong D.C., Estados Unidos 279-316 pp.
- Schneider, D. S. y Ayres, J. S.** (2008). Two ways to survive infection: what resistance and tolerance can teach us about treating infectious diseases. *Nature Reviews Immunology* **8**, 889-895.
- Seppänen, E., Kuukka, H., Voutilainen, A., Huuskonen, H. Peuhkuri, N.** (2009). Metabolic depression and spleen and liver enlargement in juvenile Arctic charr *Salvelinus alpinus* exposed to chronic parasite infection. *Journal of Fish Biology* **74**, 553-561.
- Silva, P. C. E., Freitas, M. S. G., Carvalho-Varela, M.** (1992). First report of *Anguillicola crassus* in the European eel in Portugal. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* **12**, 154-156.
- Sitjà-Bobadilla, A.** (2008). Living off a fish: A trade-off between parasites and the immune system. *Fish and Shellfish Immunology* **25**, 358-372.
- Steindachner, F.** (1866). Ichthyologischer bericht über einer nach Spanien und Portugal unternomene reise. I. Über die fische des Tajo (portug. Tejo), Duero (portug. Douro), Miño (portug. Minho), deren nebenflüssen und dem Jucar bei Cuenca. *Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften* **54**, 1-27.

- Taraschewski, H., Moravec, F., Lamah, T., Anders, K.** (1987). Distribution and morphology of two helminths recently introduced into European eel populations: *Anguillicola crassus* (Nematoda, Dracunculoidea) and *Paratenuisentis ambiguus* (Acanthocephala, Tenuisentidae). *Diseases of Aquatic Organisms* **3**, 167-176.
- Taskinen, J., y Kortet, R.** (2002). Dead and alive parasites: sexual ornaments signal resistance in the male fish, *Rutilus rutilus*. *Evolutionary Ecology Research* **4**, 919-929.
- Telfer, S., Lambin, X., Birtles, R., Beldomenico, P., Burthe, S., Paterson S., Begon, M.** (2010). Species interactions in a parasite community drive infection risk in a wildlife population. *Science* **330**, 243-246.
- Ternengo, S., Levron, C., Desideri, F., Marchand, B.** (2005). Parasite communities in European eels *Anguilla anguilla* (Pisces, Teleostei) from a Corsican coastal pond. *Vie et Milieu* **55**, 1-6.
- Tesch, F. W.** (1991). *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758). En: **Hoestlandt, H.** (eds). The Freshwater Fishes of Europe. Volumen 2. Clupeidae, Anguillidae. *Aula-Verlag*. Wiesbaden, Alemania 389-437 pp.
- Thomas, K.** (1993). The life cycle of the eel parasite *Anguillicola crassus* (Nematoda: Dracunculoidea). PhD dissertation. *Katholieke Universiteit Leuven*. Lovaina, Bélgica 157 pp.
- Tierney, J. F., Huntingford, F. A., Crompton, D. W. T.** (1996). Body condition and reproductive status in sticklebacks exposed to a single wave of *Schistocephalus solidus* infection. *Journal of Fish Biology* **49**, 483-493.
- Torralva, M., Oliva-Paterna, F. J., Andreu, A., Verdiell, D., Miñano, P. A., Egea A.** (2005). Atlas de Distribución de los Peces Continentales de la Región de Murcia. Dirección General del Medio Natural. CARM. Murcia, España.
- Tsukamoto, K., Nakai, I., Tesch, W. V.** (1998). Do all freshwater eels migrate? *Nature* **396**, 635-636.
- Vainikka, A., Taskinen, J., Löytynoja, K., Jokinen, E. I., Kortet, R.** (2009). Measured immunocompetence relates to the proportion of dead parasites in a wild roach population. *Functional Ecology* **23**, 187-195.
- Van Banning, P. y Haenen, O. L. M.** (1990). Effects of the swimbladder nematode *Anguillicola crassus* in wild and farmed eel, *Anguilla anguilla*. En: **Perkins, F. O. y Cheng, T. C.** (eds) Pathology in marine science. *Academic Press*. Nueva York, Estados Unidos 317-330 pp.

- Van den Thillart, G. E. E. J. M., Palstra, A. P., Van Ginneken, V. J. T.** (2007). Simulated migration of European silver eel: swim capacity and cost of transport. *Journal of Marine Science and Technology* **15**, 1–16.
- Van den Thillart, G. E. E. J. M., Van Ginneken, V., Körner, F., Heijmans, R., Linden, R., Van der Gluvers, A.** (2004). Endurance swimming of European eel. *Journal of Fish Biology* **65**, 312–318.
- Van Eerden, M. R. y Gregersen, J.** (1995). Long-term changes in the northwest European population of Cormorants *Phalacrocorax carbo sinensis*. *Ardea* **83**, 61-79.
- Van Ginneken, V. J. T. y Van den Thillart, G. E. E. J. M.** (2000). Eel fat stores are enough to reach the Sargasso. *Nature* **403**, 156–157.
- Vélez de Medrano, L. y Ugarte, J.** (1930). Contribución a la formación del catálogo ictiológico de nuestras aguas dulces. *Revista de Biología Forestal y Limnología* **3**, 1-18.
- Vignau, M. L., Guardis, M. D. V., Risso, M. A., Eiras, D. F.** (1997). Comparison between two methods for diagnosis of trichinellosis: trichinoscopy and artificial digestion. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* **92**, 585-587.
- Wege, G. J. y Anderson, R. O.** (1978). Relative weight (Wr): a new index of condition for largemouth bass. New approaches to the management of small impoundments. *American Fisheries Society, North Central Division, Special Publication* **5**, 79-91.
- Wickström, H.** (2005). Data collection for the European eel in Sweden. Pages 36–60 En: **Dekker, W.** (eds) Report of the Workshop on National Data Collection for the European Eel. Report to the Scientific, Technical and Economical Committee on Fisheries STECF of the Commission of the European Union. 6–8 Septiembre 2005. Sånge Säby, Estocolmo, Suecia.
- Williams, H. y Jones, A.** (1994). Parasite Worms of Fish. *Taylor and Francis Ltd.* Londres, Reino Unido 593 pp.
- Würtz, J. y Taraschewski, H.** (2000). Histopathological changes in the swimbladder wall of the European eel *Anguilla anguilla* due to infections with *Anguillicola crassus*. *Diseases Aquatic Organisms* **39**, 121–134.
- Würtz, J., Taraschewski, H., Pelster, B.** (1996). Changes in gas composition in the swimbladder of the European eel (*Anguilla anguilla*) infected with *Anguillicola crassus* (Nematoda). *Parasitology* **112**, 233–238.

6. ARTÍCULOS PUBLICADOS

6.1 Primer artículo

En este estudio se evaluó la prevalencia del nematodo *Anguillicoloides crassus* (Kuwahara, Niimi y Itagaki, 1974) en 109 anguilas europeas (*Anguilla anguilla*) capturadas entre los meses de noviembre de 2008 y marzo de 2009 en el Mar Menor, laguna costera situada en el sureste español caracterizada por su permanente hipersalinidad. Así mismo, en este trabajo se puso a punto un protocolo de digestión artificial enzimática de las vejigas natatorias, órgano diana de este nematodo. Este método, permite una óptima detección, aislamiento y recuento de los diferentes estadios larvarios de *A. crassus*. Los resultados mostraron una prevalencia entorno al 3% de adultos y L5 y del 7.34% teniendo en cuenta todos los estadios del parásito, siendo el segundo estadio larvario (L2) el más prevalente. Además, destaca el hecho de que esta fase larvaria presentó unos rangos de intensidad que oscilaron entre uno y 42.960 por vejiga natatoria, encontrándose incluso en anguilas que no albergaban ni fases adultas ni preadultas. La baja prevalencia detectada del parásito podría deberse a la ausencia de hospedadores intermediarios de *A. crassus* en el Mar Menor.

Revue de medecine veterinaire

ABSTRACT

Anguillicoloides crassus infection in wild European eels (*Anguilla anguilla*) from Mar Menor, a hypersaline coastal lagoon situated on the shores of the Mediterranean in south-east Spain, was evaluated. As well, an artificial digestion is described for the detection, isolation and counting of larval stages in the swimbladder wall. A total of 109 eels were collected between November 2008 and March 2009 and adult worms were recovered from the swimbladders of infected eels. The detected prevalence was 7.34%. Secondstage larvae (L2) numbers ranged from one to thousands per swimbladder. This developmental stage was the most prevalent parasite stage detected in infected eels. L2 were even found in eels harbouring neither pre-adult nor adult nematodes, which could indicate that infected eels are chronically infected. The lack of a suitable intermediate host for this nematode or the recent introduction of *A. crassus* into this environment could be the causes of the low prevalence of this parasite in eels from Mar Menor lagoon.

http://www.revmedvet.com/2011/RMV162_154_158.pdf

6.2 Segundo artículo

En este trabajo se analizó la composición y la estructura de la comunidad de parásitos de 189 anguilas del Mar Menor. Se calculó la prevalencia, abundancia e intensidad media de las especies de parásitos identificadas y los resultados obtenidos se contrastaron con los datos ya registrados de otras poblaciones de anguilas provenientes de lagos con diferentes salinidades. También se valoró la riqueza parasitaria específica y diferentes índices ecológicos tales como la riqueza de especies en cada individuo, el índice de Shannon-Wiener, el índice de igualdad de Shannon-Wiener y el índice de dominancia de Berger-Parker, tanto a nivel de comunidad como de infracomunidad intestinal. En cuanto a la composición, los resultados de la comunidad de helmintos mostraron una prevalencia de parasitación del 93%, identificándose dos trematodos digeneos (*Deropristis inflata* y *Bucephalus anguillae*), dos nematodos (*Contraecum* sp. y *Anguillicoloides crassus*) y dos plerocercoides de la familia *Proteocephalidae*. El 99.99% de los helmintos aislados pertenecían a especies eurihalinas o típicas de hábitats salobres (*D. inflata*, *B. anguillae*, *Contraecum* sp.), mientras que tan sólo el 0.01% de los mismos eran especies parasitarias frecuentes en aguas continentales (*A. crassus* y los cestodos de la familia *Proteocephalidae*). Además, *D. inflata* dominó tanto la comunidad parasitaria como la infracomunidad intestinal. En cuanto a la estructura, al igual que se ha descrito en otras lagunas salinas, la riqueza específica (seis especies) y la diversidad parasitaria (índice de Shannon-Wiener = 0.71) fueron bajas y ninguna anguila albergó más de cuatro especies diferentes de parásitos, atendiendo tanto a la comunidad como a la infracomunidad. Finalmente, este estudio confirmó que las lagunas costeras son el hábitat preferente de los trematodos digeneos *D. inflata* y *B. anguillae* y que la comunidad de helmintos en anguilas que habitan este tipo de hábitat es parecido, tanto en estructura como en composición, independientemente de la localización de la laguna. Sin embargo, a pesar de las similitudes generales en la composición de la comunidad parasitaria, los resultados resaltan la importancia del efecto de la salinidad sobre ellas y cómo se pueden diferenciar características específicas atendiendo a los diferentes grados de salinidad de cada hábitat.

Journal of Helminthology

ABSTRACT

The composition and diversity of parasite communities and intestinal components, as well as infra-community structure, were assessed in eels *Anguilla anguilla*, from Mar Menor, a permanent Mediterranean hypersaline coastal lagoon. Data were used to determine whether this helminth community differs in composition and structure from that of eels in lagoons with lower salinity regimes and higher freshwater inputs. A total prevalence of 93% was detected. Specifically, parasites were identified as *Deropristis inflata*, *Bucephalus anguillae*, *Contracaecum* sp., *Anguillicoloides crassus* and two plerocercoid larvae belonging to the order Proteocephalidae. The marine species representing 99.99% of the isolated helminths. In the total community, digenetic trematodes were the dominant group of helminths, and *D. inflata*, an eel specialist, dominated both the component community and the infra-community. Richness and diversity were low but similar to those reported in other saline lagoons, and maximum species per eel did not exceed four. At the infra-community level, higher abundance than in other brackish or marine Mediterranean environments was detected. The findings provide further evidence of the similarity in composition and structure of helminth communities in eels from various Mediterranean coastal lagoons. Moreover, salinity-dependent specificities are well supported and reflect the life history of individual eels.

<http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=9624582&fileId=S0022149>

X14000145

6.3 Tercer artículo

El objetivo de este trabajo fue estudiar los costes de la coinfección parasitaria en la aptitud ecológica de las anguilas del Mar Menor. Para ello, se realizó la necropsia a un total de 189 anguilas europeas procedentes del Mar Menor, se determinó su edad por medio de la lectura de sus otolitos y se tomaron las medidas necesarias para el posterior cálculo de tres índices, i) el índice de masa corporal escalado (IME), ii) la asimetría fluctuante (AF) y iii) el índice somático del bazo (ISB). Estos índices fueron usados para estimar la aptitud ecológica de las anguilas analizadas, cuyo valor se relacionó, por medio de una regresión de mínimos cuadrados parciales, con la riqueza específica y la intensidad individual de helmintos identificados (excluyéndose del análisis el nematodo *A. crassus* y los cestodos dada su baja prevalencia). El resultado mostró una relación positiva entre la parasitación y la aptitud ecológica. Las especies parasitarias con mayor influencia sobre ella fueron *Contraecum* sp. (Nematoda: Anisakidae), responsable del 44.72% de la varianza de la aptitud ecológica, seguido de *Bucephalus anguillae* (Platyhelminthes: Bucephalidae), responsable del 29.26% de la misma. Asimismo, el análisis determinó que los parásitos, en conjunto, eran responsables del 44 % de la varianza de la aptitud ecológica de las anguilas analizadas, y que la condición corporal de las anguilas no se ve afectada a pesar de que la intensidad parasitaria y la riqueza específica aumenten. No obstante estos dos factores sí provocan una mayor AF y un incremento del ISB. Estos resultados apuntan hacia la idea de que las anguilas del Mar Menor, aun sufriendo coinfecciones, parecen mantener una buena aptitud ecológica y, por tanto, tolerar bien su comunidad de helmintos.

Parasitology

ABSTRACT

Most animals are concurrently infected with multiple parasites, and interactions among them may influence both disease dynamics and host fitness. However, the sublethal costs of parasite infections are difficult to measure and the effects of concomitant infections with multiple parasite species on individual physiology and fitness are poorly described for wild hosts. To understand the costs of co-infection, we investigated the relationships among 189 European eel (*Anguilla anguilla*) from Mar Menor, parasites (richness and intensity) and eel's 'health status' (fluctuant asymmetry, splenic somatic index and the scaled mass index) by partial least squares regression. We found a positive relationship with 44% of the health status variance explained by parasites. *Contracaecum* sp. (Nematoda: Anisakidae) was the strongest predictor variable (44.72%) followed by *Bucephalus anguillae* (Platyhelminthes: Bucephalidae), (29.26%), considered the two most relevant parasites in the analysis. Subsequently, 15.67 and 12.01% of the response variables block were explained by parasite richness and *Deropristis inflata* (Platyhelminthes: Deropristiidae), respectively. Thus, the presence of multiple parasitic exposures with little effect on condition, strongly suggests that eels from Mar Menor tolerate multiparasitism.

<http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=9691522&fileId=S0031182015000098>

7. ACRÓNIMOS EMPLEADOS

AF Asimetría Fluctuante

ANSE Asociación de Naturalistas del Sureste

CE Comunidad Europea

CITES Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres

EELREP Estimation of the reproduction capacity of European eel.

EU Europa

ICES International Council for the Exploration of the Sea

IME Índice de Masa Escalado

ISB Índice Somático del Bazo

Kr Factor relativo

L larva

PGAE Plan de Gestión de la Anguila Europea en España

PGAM Plan de gestión de la anguila en la Región de Murcia

RE Extinta a nivel regional

UICN Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

Wr Peso relativo