

INDICE

1. Presentación
2. Resumen
3. Introducción
4. Materiales y métodos
 - 4.1. Reproducción
 - 4.2. Cultivo larvario
 - 4.3. Cultivo en jaulas
5. Resultados
 - 5.1. Reproducción
 - 5.2. Cultivo larvario
 - 5.3. Destete
 - 5.4. Transporte alevines y cultivo en jaulas
6. Discusión
7. Conclusiones
8. Interés para el sector
9. Agradecimientos
10. Bibliografía

Reproducción y cultivo de atún rojo

1. Presentación

El atún rojo (*Thunnus thynnus*) forma parte de la economía y estilo de vida de la cuenca mediterránea. Ya desde la época de los romanos, la pesca y procesado del atún han sido una actividad de gran importancia económica y social en esta región.

La empresa Ricardo Fuentes e Hijos, S.A. (en adelante RFeH) lleva en la industria del atún desde sus comienzos en los años 50. En los 80 empezó el comercio de atún rojo en fresco con Japón y años después se instalaron las primeras granjas de engrase de atún en las costas murcianas. Esta actividad depende de individuos salvajes capturados del medio natural lo que limita el crecimiento de la producción. RFeH ha tratado de encontrar en el cultivo en cautividad del atún rojo, otra forma alternativa de abastecimiento de atunes para su engorde como ya se hace con otras especies como la dorada, lubina, rodaballo, salmón, etc.

Con ese objetivo, en el 2002 se comenzó a trabajar en colaboración con Instituto Español de Oceanografía (IEO) en la investigación y desarrollo de un método de cultivo de atún rojo totalmente independiente al de las capturas en el mar.

2. Resumen

En el presente trabajo se muestran los avances logrados en la reproducción y producción de alevines de atún rojo durante el proyecto SELFDOTT (proyecto financiado por la Unión Europea, 2009-2011), y los posteriores avances realizados en la mejora de las técnicas de producción, fruto de la investigación conjunta entre el IEO y RFeH.

Para ello se cuenta con dos grupos de reproductores estabulados en jaulas flotantes fondeadas en las instalaciones que RFeH tiene en la concesión de d.p.m.t. situada frente a la Cala del Gorguel, en Cartagena (Murcia).

A finales de primavera comienza la época de reproducción obteniéndose huevos fértiles mediante técnicas de recolección diseñadas para este fin. Estos huevos son recogidos y transportados a la Planta de Cultivos Marinos de Mazarrón, perteneciente al IEO, donde son evaluados y posteriormente puestos a incubar, naciendo a las 32 horas las larvas de atún. En esta misma instalación se lleva a cabo todo el proceso de cultivo larvario hasta la obtención de alevines.

Las larvas de atún comienzan a alimentarse a partir del día 2 de vida, primero comiendo rotífero, posteriormente artemia y seguidamente son alimentadas con

Reproducción y cultivo de atún rojo

larvas recién nacidas de otros peces. A continuación se realiza el cambio de alimento vivo a inerte, convirtiéndose las larvas en alevines.

Una vez aclimatados estos alevines al nuevo tipo de alimento, son transportados a las jaulas flotantes fondeadas en las mismas instalaciones, donde se mantienen los reproductores, para su engorde.

Se ha investigado y desarrollado las técnicas adecuadas para la producción de alevines como se muestra en el siguiente trabajo.

Palabras claves: atún rojo (*Thunnus thynnus*), reproducción, cultivo larvario, alevines, crecimiento, engorde.

3. Introducción

El atún rojo del Atlántico (*Thunnus thynnus*) es un pez perteneciente a la familia de los escómbridos, considerado uno de los peces más poderosos y fuertes que habitan nuestros mares, llegando a superar los 600 Kg y más de 3 m de talla. Es un gran nadador realizando grandes migraciones a lo largo del océano Atlántico y mar Mediterráneo.

Es una especie con un gran valor económico y social, ya desde la antigüedad los fenicios y romanos comerciaban con su carne, siendo utilizada para alimentar a los ejércitos pudiéndose conservar en sal durante largos períodos de tiempo (salazones). Actualmente sigue teniendo mucha aceptación como alimento de gran valor gastronómico, principalmente en Japón donde es una especie de consumo muy apreciada, generando una gran demanda de su carne a nivel mundial.

En la década de los 90 comenzó en España y Europa el engrase de atún rojo. Esta actividad consiste en la captura de peces salvajes con arte de cerco en la época de mayo a junio, cuando los atunes entran al Mediterráneo para su reproducción. Estos atunes son trasferidos vivos del arte de cerco a jaulas flotantes, que son remolcadas hasta las instalaciones de cultivo o engrase. Estos peces son alimentados con pescado con alto contenido lipídico para aumentar el contenido de grasa de los ejemplares. Después de unos cuatro a seis meses de cultivo son comercializados, principalmente en el mercado japonés.

RFeH comenzó con la actividad de engorde de atún en el año 1996, aunque anteriormente ya lo exportaba a Japón. En el año 2000 España era el mayor productor de atún rojo engrasado del Mediterráneo, produciendo sobre las 4.000 toneladas.

Reproducción y cultivo de atún rojo

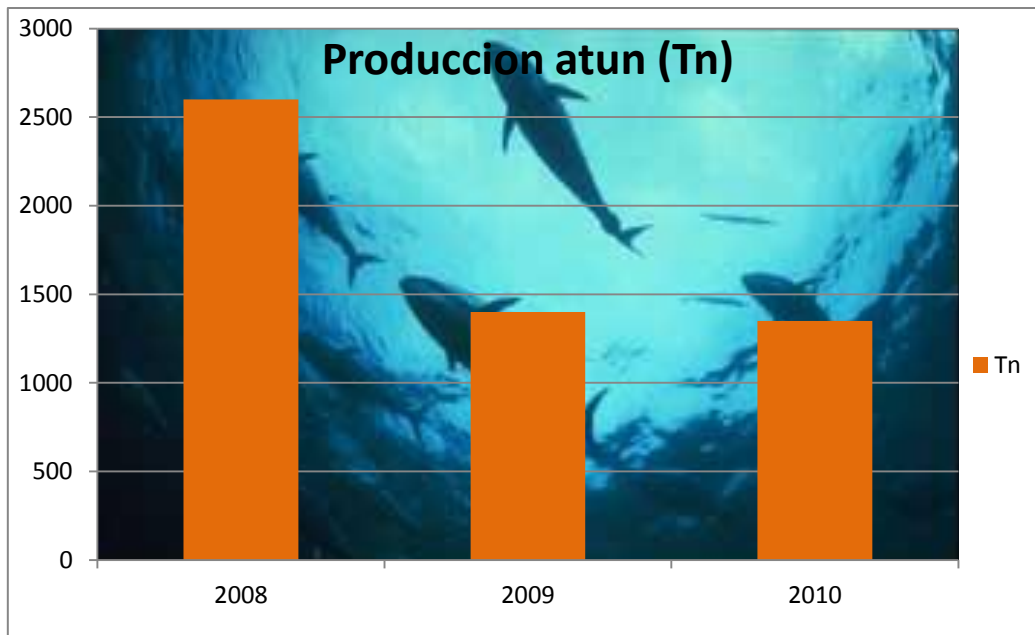


Figura 1: Evolución de la producción de atún en los últimos años.

Esta gran demanda de la especie ha hecho que se produzca una fuerte presión pesquera sobre ella viéndose disminuido su stock drásticamente, lo que hizo necesarias una medidas de control de la pesquería por parte del ICCAT (Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico) estableciéndose unas cuotas de captura y un período de pesca que permitieran la recuperación de los stock salvajes.

Debido a la sobrepesca, en el año 2006, se inició un del Plan de Recuperación del Atún Rojo propuesto por ICCAT, el cual consistía en la aplicación de una serie de medidas encaminadas a la recuperación de dicha especie. Así, se redujeron las cantidades de atún a capturar, se aumentó la talla mínima, pasando de 10 a 30 kg y se redujeron los días de la campaña de pesca.

Como se comentó anteriormente, la actividad de engorde o engrase depende de individuos salvajes, por tanto y a raíz de los problemas que se estaban produciendo de sobreexplotación de la especie y recorte de las cuotas de captura, RFeH decidió que la alternativa era el cultivo integral del atún rojo con técnicas de acuicultura. Se comenzó así a trabajar en distintos proyectos de investigación para su reproducción en cautividad con distintos centros e instituciones de investigación y de aquí surge el marco de colaboración con el equipo de investigación de la Planta de Cultivos Marinos de Mazarrón, del IEO.

El intentar reproducir y cultivar el atún rojo en cautividad es una tarea compleja y difícil, por tratarse de un pez de gran tamaño, muy fuerte y veloz, siendo un gran pelágico acostumbrado a vivir en mar abierto. Mantenerlo en cautividad y conseguir que se reproduzca se ha convertido en un gran reto.

Reproducción y cultivo de atún rojo

Durante los años 2003 a 2006 se desarrolló el proyecto REPRODOTT financiado por la Unión Europea en el que participó Tuna Graso empresa filial de RFeH. El principal hito del proyecto fue la obtención de puestas de atún mediante técnicas de inducción hormonal, demostrando que es posible su reproducción en cautividad.

Durante los años 2006 a 2008 se realizaron otros trabajos con el IEO, como la adaptación a la cautividad de juveniles salvajes, proyecto financiado por el IEO, el gobierno autónomo de la Región de Murcia y RFeH.

En el año 2009 comenzó el proyecto SELFDOTT, proyecto financiado por el 7º Programa Marco de la Unión Europea y en el que colaboraron distintos centros de investigación de Europa como el IEO, del Hellenic Centre for Marine Research (HCMR) de Grecia, el IFREMER francés, la Universidad de Düsseldorf (Alemania), el Malta Centre for Fisheries Sciences (Malta), la Universidad de Cádiz, la Universidad de Bari (Italia), y la empresa privada Skretting (Noruega) quien se encargó del desarrollo de distintos productos como el pienso y enriquecedores del alimento vivo específicos para atún. Por parte de RFeH participaron las empresas Tuna Graso y Caladeros del Mediterráneo.

Durante el proyecto Selfdott se consiguieron obtener huevos de forma natural y espontánea en las instalaciones que Caladeros del Mediterráneo tiene en Cartagena, y alevines de atún rojo en la Planta de Cultivos Marinos del IEO ubicada en Mazarrón. El cultivo y engorde de estos alevines se hizo en jaulas flotantes propiedad de la empresa Caladeros del Mediterráneo.

En el año 2010 se incorporó al equipo de investigación el científico japonés Manabu Seoka, procedente de la Universidad de Kinki y con una amplia experiencia en el cultivo del atún del Pacífico (*Thunnus orientalis*) adscrito a la Cátedra de Empresa de la Universidad Politécnica de Cartagena, con el apoyo de diferentes entidades financieras.

Actualmente la empresa RFeH sigue trabajando en colaboración con el IEO para el cultivo industrial de atún rojo en el seno del proyecto TECAR (Técnicas de cultivo de atún rojo), iniciativa empresarial financiada por fondos CDTI, y fruto del cual en este año se han producido cerca de 4.000 alevines que han sido transferidos a jaulas flotantes en el mar.

El objetivo es seguir avanzando y adquiriendo conocimientos para el cultivo íntegro de atún rojo en cautividad con las técnicas de acuicultura.

Las investigaciones para la cría en cautividad del atún comenzaron en los años setenta en Japón por la Universidad de Kinki. Después de más de 30 años de investigación, en el año 2002 cerraron el ciclo de atún en cautividad (obtención de huevos de peces criados íntegramente en cautividad).

Reproducción y cultivo de atún rojo

Actualmente solo esta universidad privada produce alevines de forma controlada en el mundo. Nuestro equipo de trabajo lleva produciendo alevines y siendo trasferidos a las jaulas desde el año 2011, ahora esos alevines nacidos en el año 2011 tienen un peso de unos 8 kg y continúan creciendo en las Instalaciones de RFeH, en la costa de la Región de Murcia.

Con este documento se pretende mostrar el trabajo conjunto realizado durante estos años entre RFeH y el IEO. Se expondrán los avances producidos en los últimos años desde el proyecto SELFDOTT hasta la actualidad en la reproducción y producción de alevines de atún rojo.

4. MATERIAL Y METODOS

4.1 Reproducción:

La ubicación de las instalaciones, frente a la Cala del Gorguel, en Cartagena es el sitio ideal para estudiar y realizar la reproducción del atún rojo en cautividad, ya que las condiciones ambientales son similares a las de su área natural de puesta en el mar Balear.

Durante estos años han sido mantenidos diferentes stocks de reproductores para estudiar su comportamiento y pautas reproductivas. Estos peces se encuentran en jaulas flotantes donde son alimentados con pescado (sardina, caballa o arenque). Las jaulas tienen 25 m. de diámetro y 20 de profundidad.

Cuando llega la época de la reproducción, que coincide con el calentamiento de las aguas del Mediterráneo en el mes de junio, se coloca en las jaulas un sistema para recoger los huevos. El huevo de atún tiene un diámetro de 1 mm y posee una sola gota de grasa, lo que le da una flotabilidad positiva que hace que los huevos fecundados vayan a la superficie, lo que se aprovecha para recolectar el huevo.

Los colectores de huevo consisten en lonas de PVC que cubren el perímetro de la jaula impidiendo que el huevo se escape cuando este sube a la superficie, empujado por las corrientes superficiales. Estas lonas se sumergen unos 6 m por debajo de la superficie, impidiendo que el huevo salga fuera de la jaula durante su ascensión y dejando libre la parte de debajo de la jaula para que circule el agua necesaria para los peces.

Reproducción y cultivo de atún rojo

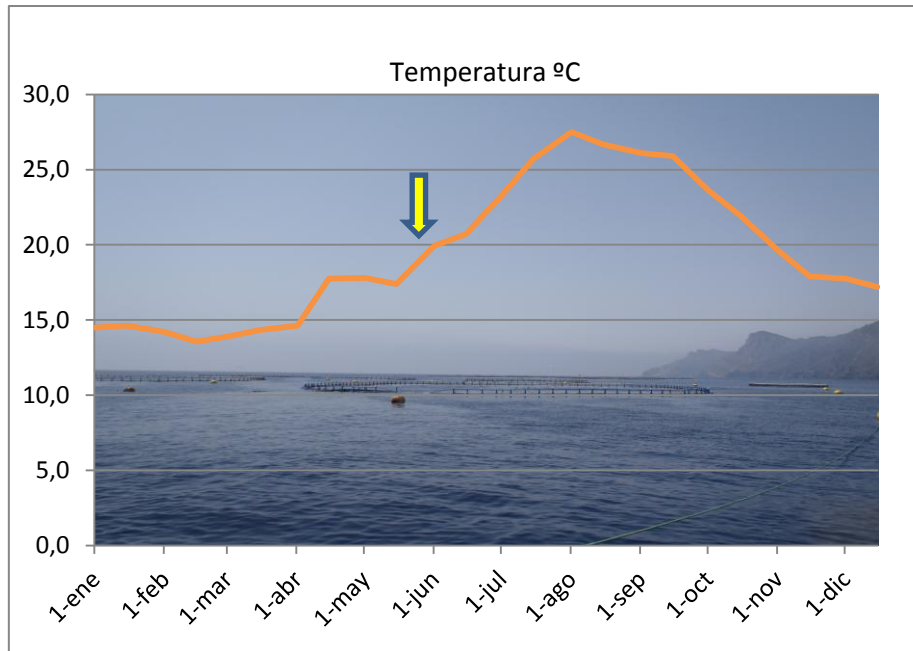


Figura 2: se puede ver la evolución de las temperaturas durante todo el año en las instalaciones del Gorguel (Cartagena). La flecha el momento en el que comienzan las puestas

Ahora conocemos cuando se reproducen y los factores de desencadenan la puesta. Las primeras puestas se comienzan a producir a primeros de junio coincidiendo con subida de la temperatura, se desarrolla de madrugada así que durante esta época todas las noches es necesario chequear las jaulas para comprobar si hay huevos, y recogerles con la ayuda de salabres de 500 micras de malla, en la superficie de la jaula.

El stock de reproductores usado durante los últimos años para recoger el huevo y posterior cultivo larvario de atún se encuentra en dos jaulas, denominadas R1 y R2. En la R1 contamos con 37 peces capturados en 2007 con un peso inicial de unos 100 kg y en la R2 con 24, capturados en el año 2008 y unos 80 kg de peso.

En el año 2009 se obtuvieron las primeras puestas masivas de huevo de atún procedentes de los peces de la jaula R1. En este año se realizó la inducción hormonal a los reproductores con el método desarrollado durante el proyecto REPRODOTT.

Al año siguiente, en 2010, se obtuvieron puestas espontaneas, sin necesidad de inducción hormonal en ambas jaulas, y al igual que en los años 2011 y 2012 no fue necesaria la inducción hormonal en los reproductores.

Reproducción y cultivo de atún rojo

4.2 Cultivo larvario:

Los huevos recogidos durante estos años fueron trasladados a la Planta de Cultivos Marinos del IEO donde se procede al conteo y a su incubación. Los huevos son transportados en tanques de 30 l. o 400 l. (dependiendo del número) con un aporte de oxígeno y transportados por carretera hasta Mazarrón. Este proceso tiene una duración de unas 3 horas desde que se recoge el huevo en las jaulas hasta que llega al criadero.

Los huevos son lavados, contados y puestos a incubar en tanques troncocónicos de 1.000l. con aporte de agua esterilizada constante. Los huevos de atún eclosionan a las 32 horas después de la puesta. Las larvas de atún al nacer miden 3 mm y son muy delicadas al manejo. Se calcula la tasa de eclosión y la calidad de las larvas.

Las larvas de atún que se destinan a la producción de alevines son puestas en tanques de cultivo larvario. Estos tanques son circulares, con un volumen que varía de los 0,5 a los 40 m³, con aporte continuo de agua filtrada y esterilizada.

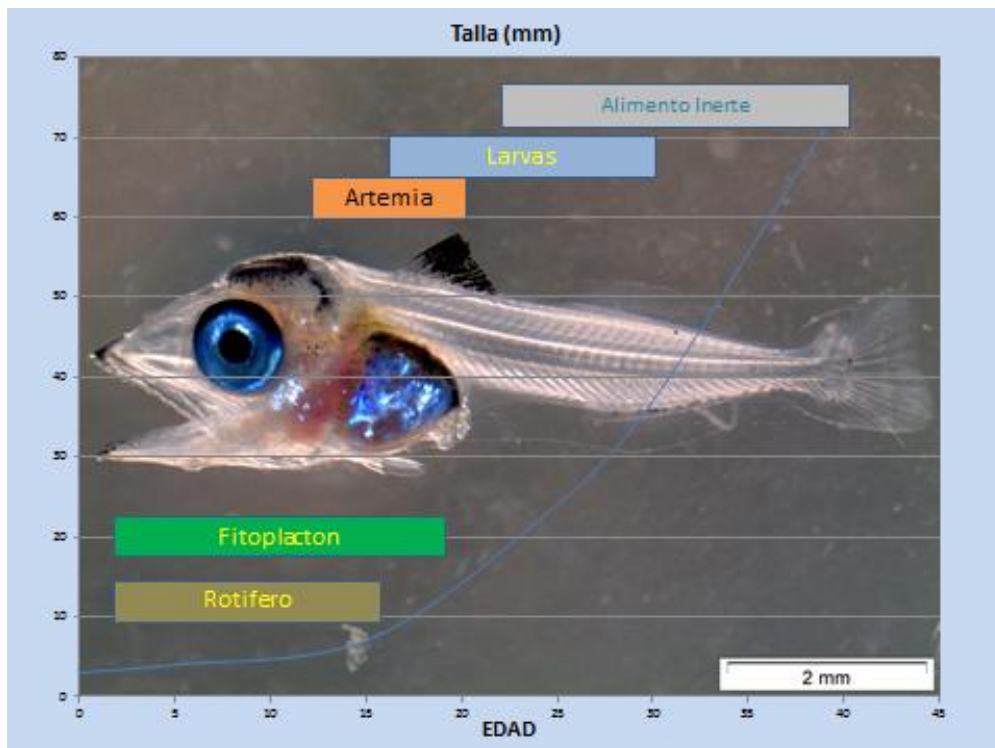


Figura 3: Secuencia de alimentación usada para el cultivo larvario.

Las larvas de atún comienzan a alimentarse 2 días después de la eclosión cuando han abierto la boca y el ano. Son alimentadas con rotífero (*Brachionus plicatilis*). Se mantiene una concentración de 10 rot/ml en el tanque de cultivo y

Reproducción y cultivo de atún rojo

se añade fitoplancton durante los primeros 17 días de vida. A partir del día 13 se alimenta con artemia (*Artemia salina*) y a partir del día 17 de vida son alimentados con larvas recién nacidas de otros peces, como la dorada. La artemia suministrada ha sido en fase de metanauplius (48 horas) enriquecidas.

Las larvas de atún tienen un comportamiento piscívoro, es decir se alimentan de larvas de otros peces, esta alimentación obliga a mantener stock de reproductores de otras especies para la obtención de estas larvas y poder alimentar a los pequeños atunes. Así, se cuenta con varios stock de dorada (*Sparus aurata*) para obtener los huevos y por consiguiente las larvas necesarias.

A partir de este momento su crecimiento se incrementa drásticamente y en pocos días tienen un peso de 0,1 gr. En esa fase los pequeños atunes están listos para su destete, paso de alimento vivo a alimento inerte.

Durante estos años han sido usados distintos alimentos para el destete (pescado crudo y piensos) y distintas técnicas. En el 2011 se desarrollo un pienso en colaboración con Skretting que tuvo buenos resultados y nos permitió transferir a las jaulas cerca de 3000 alevines, pero en el 2012 conseguimos mejorar esos resultados usando pescado crudo.

Con el objetivo de conocer más sobre el desarrollo larvario y comportamiento de las larvas de atún y poder desarrollar así un protocolo de cultivo que nos permita obtener alevines de calidad, en estos años se han realizado varias pruebas en el cultivo larvario relacionadas con la alimentación, fotoperiodo, intensidad de luz, temperatura, etc. para lo que han sido utilizados tanques circulares de 2 m³, en los que es posible el control de la luz y temperatura.

Los alevines producidos en la Planta de Cultivos Marinos del IEO en Mazarrón fueron transportados a las jaulas flotantes en el mar en la costa de Cartagena.

En el año 2010 se realizó el primer transporte de unos 100 alevines y al siguiente año el número de alevines fue mayor, sobre los 3000, al igual que este año 2012.

4.3 Jaulas

El transporte es otro de los puntos problemáticos ya que los alevines de atún son muy sensibles a la manipulación y el stress, éste se realiza por carretera desde Mazarrón a Cartagena y posteriormente en barco hasta las instalaciones en el mar. Se han probado diferentes tanques de transporte, circulares y rectangulares, así como diferentes volúmenes, de 1 a 8 m³, así como distintos métodos de transferir los alevines desde el tanque a las jaulas, mejorando los resultados año tras año.

Reproducción y cultivo de atún rojo

Otro de los puntos críticos es la primera etapa de los alevines en las jaulas donde se produce una gran mortalidad por colisiones y roces con la red. Los jóvenes atunes crecen muy rápido y es necesario ir adaptando y buscando las mejores soluciones para cada etapa.

También en las jaulas se han realizado varias pruebas para mejorar la supervivencia. Ha sido necesario realizar cambios en los sistemas tradicionales de cultivo para mejorar la supervivencia del atún. Se han probado diferentes tamaños de jaulas, tipo de redes y tipos de alimento.

Para seguir profundizando en el conocimiento de esta especie, se solicitaron permisos especiales a la Secretaría General de Pesca, para que autorizaran capturar ejemplares de 500 gr en los meses de septiembre y octubre con técnicas de pesca al curricán, siendo necesario el desarrollar un método de captura y transporte hasta las jaulas ya que los juveniles de atún son muy sensibles a la manipulación.

5. Resultados

5.1 Reproducción:

Como se comentó anteriormente, en 2009 se obtuvieron las primeras puestas masivas de huevo de atún con implante hormonal. El día 29 de junio se instaló el colector y se indujo la puesta. Al día siguiente ya se obtuvieron huevos. En principio habría que esperar unas 48 horas para la obtención del huevo, lo que nos hizo plantearnos si los peces se estaban reproduciendo de forma natural. Se recogieron 140 millones de huevos en un período de 17 días.

En 2010, se obtuvieron puestas espontaneas en ambas jaulas, sin necesidad de inducción hormonal. Se recogieron un total de 60 millones de huevos durante 40 días a partir del 19 de junio.

En 2011 se recogieron 162 millones, las primeras puestas se empezaron a producir sobre el 8 de junio.

En 2012 se produjeron las primeras puestas a principios de junio y duraron todo el mes. Se han recogido un total de 48 millones. Este año las condiciones ambientales no favorecieron para la recolección de huevo ya que varios días hubo una fuerte corriente que impedía el correcto funcionamiento de los colectores.

En las siguiente grafica se puede ver un resumen con los millones de huevos colectados durante estos años en las instalaciones de Ricardo Fuentes en

Reproducción y cultivo de atún rojo

Cartagena. Se observa como la jaula R1 ha puesto más huevos que la R2, se puede deber a un mayor número de peces y de mayor tamaño.

En los años 2010 y 2012 la recolección de huevos fue menor, a causa de las malas condiciones meteorológicas principalmente fuertes corrientes que impiden que los colectores funcionen bien.

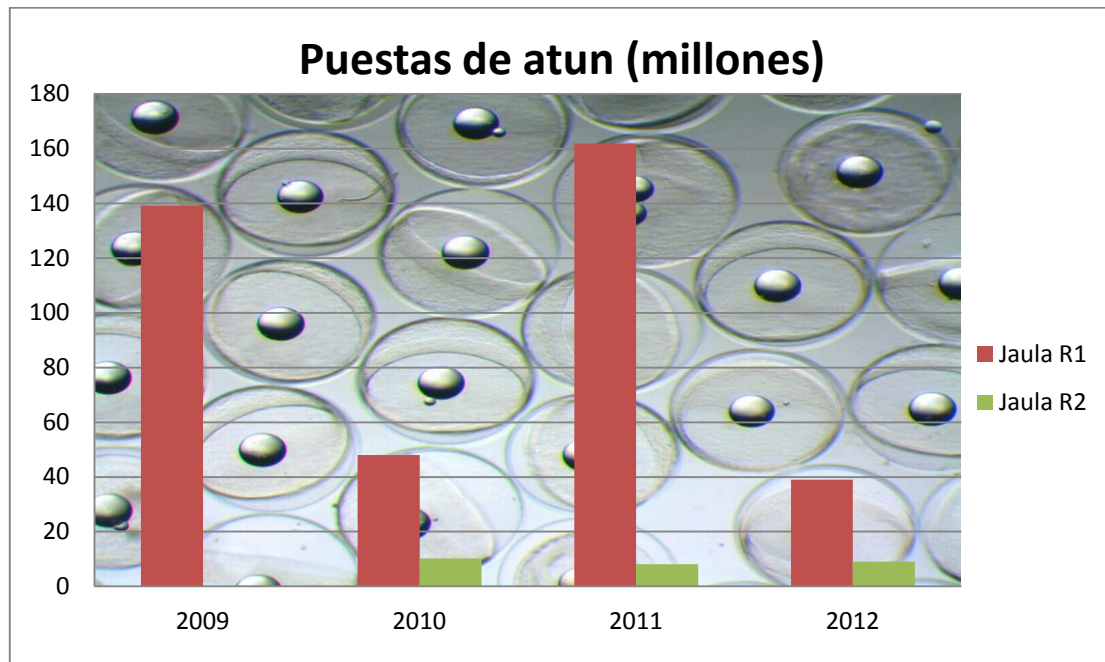


Figura 4: Millones de huevos recogidos durante estos años.

Los huevos recogidos fueron trasladados a la Planta de Cultivos Marinos de mazarrón donde se han llevado a cabo diferentes pruebas de incubación, cultivo larvario y destete avanzando en los conocimientos necesarios para la producción controlada de alevines de atún.

5.2 Cultivo larvario:

En 2009 se realizaron las primeras pruebas de cultivo con diferentes técnicas para conocer los requerimientos y problemas del cultivo larvario de atún rojo.

Las larvas comienzan a comer rotífero a partir del día 3 de vida, aunque no muestran una gran actividad y se observan varias larvas sin alimento en el estomago. La larva de atún realiza la primera inflación de la vejiga a día 3. Sobre el día 10 de vida las larvas son más activas y el crecimiento empieza a ser más rápido. A partir del día 13-14 comienzan a comer artemia enriquecida y su crecimiento se acelera. Sobre el día 17-18 las larvas ya son capaces de alimentarse de larvas recién nacidas de otros peces y su crecimiento se dispara, alcanzando sobre el día 25 los 0,1 gr momento en el que se comienza con el destete.



Figura 5: imágenes en las que se puede ver la evolución de la larva de atún, desde el huevo hasta las larvas con 23 días.

En esta fase de cultivo larvario se han hecho pruebas con distintas técnicas de cultivo, como técnica de agua verde (con fitoplancton), agua clara (sin fitoplancton), pruebas de fotoperiodo, distintos enriquecedores tanto para rotífero como artemia, etc.

En la prueba de técnica de cultivo larvario con agua verde, se obtuvieron mejores resultados, tanto en crecimiento como en supervivencia. Con la técnica de agua clara a partir del día 12 la mortalidad era casi total y el crecimiento menor (las larvas de agua verde tenían casi 7 mm las otras no llegaban a 5 mm).

Se identificaron varias peculiaridades del cultivo larvario como la mortalidad que se produce durante los primeros días de vida por dificultad de las larvas de mantenerse en la columna de agua, la mortalidad durante la alimentación con artemia posiblemente por carencias nutricionales o problemas patológicos. La

Reproducción y cultivo de atún rojo

dificultad del destete, pues los peces no muestran una gran atracción por el alimento inerte lo que causa problemas nutricionales y patológicos. La muerte por colisiones con las paredes de los tanques, los alevines de atún nadan de forma muy rápida y se dañan contra las paredes del tanque.

El primer año 2009 se produjeron unos pocos alevines después del destete que mostraron varias carencias nutricionales. El último murió con 73 días de vida y un peso 30 gr.

En el 2010 se realizaron varios cambios tanto en las técnicas de cultivo como en las instalaciones para adaptarnos a los requerimientos del atún con la experiencia adquirida el año anterior. Se empezaron a usar tanques de 40 m³ para el cultivo larvario. La secuencia de alimentación fue similar a la usada el año anterior, aunque se mejoro en la calidad del alimento vivo. Se probaron distintas densidades de cultivo, entrada de agua, diferente aireación, sin usar artemia (pasar directamente de rotífero a larvas), etc.

Año	Tanque	supervivencia	Observaciones
2010	M (40 m3)	0,06	0,8 larvas/l
2010	M (40 m3)	0,27	10 huevos/l
2010	R (5m3)	0,7	normal (8 larvas/l)
2010	R (5m3)	0,4	entrada de agua por el fondo
2010	R (5m3)	0,6	aireación mas fuerte
2010	R (5m3)	0,37	sin artemia

Tabla 1: se puede ver la supervivencia de las distintas pruebas hasta el momento de empezar el destete.

En el año 2010 se produjeron unos pocos centenares de alevines de atún, unos 100 alevines fueron trasladados a las instalaciones del Gorguel en el mar y el resto se mantuvieron en los tanques de la planta de cultivos marinos de Mazarrón, donde el último pez murió con 110 días de vida y un peso de 70 gr.

Con la experiencia adquirida estos dos primeros años e identificados algunos de los problemas que tiene el cultivo larvario de atún se realizaron mejoras para el año 2011. Se desarrollo junto a Skretting ARC (centro de investigación de Skretting en Noruega) un enriquecedor para el alimento vivo (rotífero y artemia) que se adaptara a los requerimientos de las larvas de atún.

Se prueba el enriquecedor tanto con artemia como con rotífero. Se comparan dos enriquecedores, uno el comercial de Skretting Origreen y el otro Origreen+ que es el que se ha mejorado para adaptarlo a las larvas de atún.

En el siguiente cuadro (Tabla 2) se pueden ver los resultados de la prueba con rotífero. La prueba se realiza en 6 tanques de 2 m³ y se realizan 3 replicas de

Reproducción y cultivo de atún rojo

cada tratamiento. Los tanques son inoculados a 10 huevos por litro y se finaliza la prueba cuando las larvas tienen 15 días de vida.

dieta	supervivencia %	Peso (mgr)
origreen	1,12	2,99
origreen +	1,27	3,77

Tabla 2: resultados prueba rotífero

También se realiza la misma prueba con la artemia. Se empieza la prueba con larvas de 14 días y finaliza cuando las larvas tienen 21 días de vida. Para la prueba se usan metanauplius (48 horas) que han sido previamente enriquecidos durante 12 horas.

enriquecimiento	supervivencia %	Peso (mgr)	Talla (mm)
origreen	4,8	37	10,1
origreen +	10,7	65	6,9

Tabla 3: resultados prueba artemia

Durante este año se producen más de 3.000 alevines destetados de unos 4 gr, parte de ellos se transfieren a las jaulas y otros se mantienen en tanques en IEO. El último pez en los tanques muere con aproximadamente 2 kg y 240 días de vida, los peces muestran un buen comportamiento, aspecto y crecimiento. Las muertes se producen por colisiones con las paredes o saltos del tanque. En las jaulas todavía quedan peces procedentes de la campaña 2011, ahora hay unos 40 atunes que sobrepasan los 8 kg de peso.

En el 2012 se ha usado prácticamente el mismo método que el año anterior realizando pequeños cambios. La producción este año no ha sido la esperada principalmente por la falta de larvas para alimentar, aunque se ha conseguido seguir avanzando y obteniendo más conocimientos.

Año	Tanque	supervivencia
2011	M (40 m3)	2,5
2011	M (40 m3)	0,8
2011	M (40 m3)	0,15
2011	R (5m3)	1,38
2011	R (5m3)	0,87
2011	R (5m3)	0,52
2012	M (40 m3)	0,86
2012	M (40 m3)	0,55

Tabla 4: Supervivencia en cultivo larvario durante los años 2011 y 2012.

Reproducción y cultivo de atún rojo

5.3 Destete:

La adaptación al alimento inerte en el caso del atún se produce cuando los peces tienen una edad de 24-28 días de vida y un peso de 0,1 gr. Han sido necesarios varias pruebas y el desarrollo de dietas adaptadas al atún para conseguir un destete exitoso. Durante estos años se ha probado para el destete diferentes tipos de pescado crudo, piensos comerciales y experimentales.

El destete consistió en ir reduciendo progresivamente la cantidad de larvas e incrementado la cantidad de alimento inerte. Es necesario entre seis u ocho días para completar el destete. Se usaron tanques de 5 a 20 m³ con agua esterilizada y un fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 de oscuridad.

En el año 2010 se realizaron dos pruebas de destete con distintos alimentos, la primera con pescado donde se probaron diferentes tipos. La segunda se probó 2 dietas comerciales de destete y el destete con pescado. Estas pruebas se llevaron a cabo en los 12 tanques de 2 m³ de experimentación.

1ª Prueba	Pescado 2 + cefalópodo	23
1ª Prueba	Pescado 3	57
1ª Prueba	Pescado 2	63
2ª Prueba	pienso comercial 1	29
2ª Prueba	pienso comercial 2	36
2ª Prueba	Pescado 2	65

Tabla 5: se muestran los resultados obtenidos

Al año siguiente se desarrollaron 2 tipos de dietas específicas para el destete de atún. La experiencia consistió en 4 dietas distintas (2 tipos diferentes de pienso para destete de atún) y otro grupo de tanques alimentados con pescado.

Año	Alimento	supervivencia %	Peso final (gr)
2011	Pienso experimental 1	22,5	0,64
2011	pienso experimental 2	6,25	0,336
2011	pienso comercial	16,3	0,58
2011	pescado	10	0,57

Tabla 6: se muestran los resultados obtenidos en 2011

La prueba se realizó en los mismos tanques usados el año anterior, se transfirieron larvas de atún con 25 días de vida y un peso aproximado de 0,1 gr. Las larvas fueron alimentadas durante 6 días con larvas de dorada reduciendo la cantidad suministrada progresivamente, hasta que las larvas asimilaban bien

Reproducción y cultivo de atún rojo

el alimento inerte. A día 35 se sacan los alevines para contarles y realizar una biometría para estimar el crecimiento.

Viendo los resultados obtenidos años anteriores, en el año 2012, para el destete se uso pescado crudo troceado y el pienso experimental con el que obtuvimos el mejor resultado en el 2011.

2012	pescado	43,5
2012	pescado	50
2012	Pienso experimental 1	25

Tabla 7: se muestran los resultados obtenidos en 2012

La supervivencia es hasta el momento del transporte a las jaulas cuando los peces pesan aproximadamente 3 gr y 40 días de vida.

El destete se realizo en tanques circulares de 20 m³, con fotoperiodo y un aporte de agua esterilizada por ultravioleta.

5.4 Transporte de alevines y cultivo en las jaulas:

En el año 2010 se transportaron los primeros alevines de atún a las jaulas en el mar. Se transportaron unos 100 alevines (6-8 gr de peso y una edad de aproximadamente 50 días) en un tanque redondo de 2 m³. El transporte duró aproximadamente 4 horas desde la Planta de Cultivos Marinos de Mazarrón hasta las instalaciones en la Cala del Gorguel.

La mortalidad después del transporte y descarga en las jaulas fue del 40%, a los dos días la mortalidad acumulada era del 75%, obteniendo una baja supervivencia (5%) a la semana de estar los peces en las jaulas. El último pez murió a los 40 días de estar en las jaulas con un peso aproximado de 100 gr.

En el 2011 la cantidad de alevines producidos para transferir a las jaulas se incremento considerablemente llegando a 3000 alevines de 3 gr, por lo que fue necesario realizar varios cambios que nos permitiría transportar mayor cantidad de peso con mejor supervivencia. Para el transporte usamos un tanque rectangular de 8 m³ con aporte de oxígeno.

Se realizó el transporte en 4 días lo que supuso que cada día movimos unos 800 alevines. Los peces fueron introducidos en una jaula de 10 m de diámetro.

Reproducción y cultivo de atún rojo

trasporte	mortalidad día transporte	mortalidad a los 2 días
1º	6,66	10,44
2º	12,30	18,15
3º	8	23,73
4º	43,18	65

Tabla 8: mortalidad durante el transporte año 2011

En las jaulas los peces fueron alimentados con pienso hasta que alcanzaron los 200 gr, después se les cambio la alimentación a pescado como sardina, caballa, boquerón, etc.

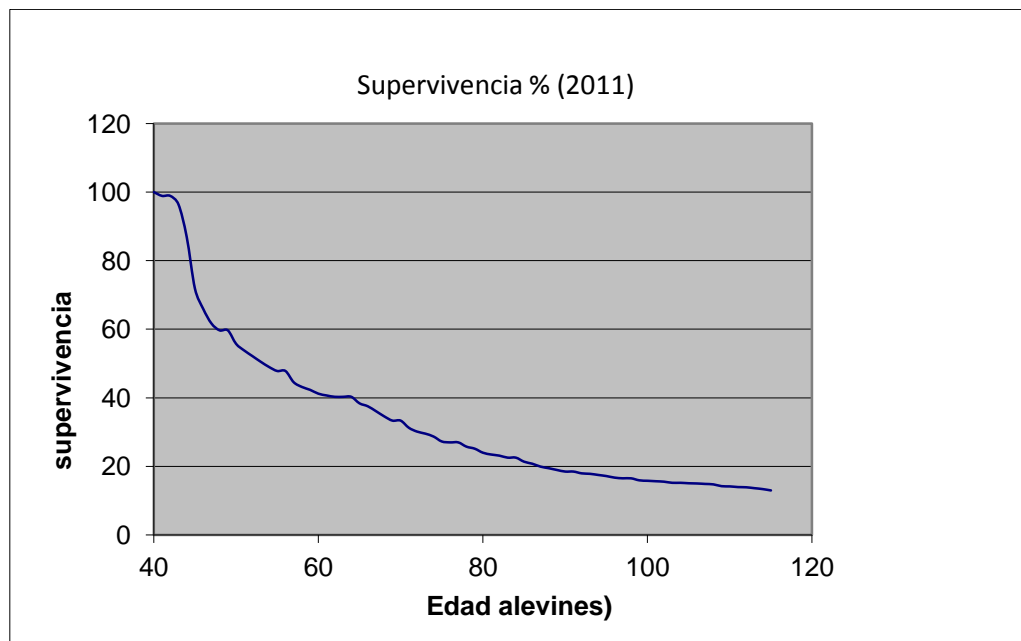


Figura 6: supervivencia jaulas durante verano 2011

Como se observa en la grafica la mortalidad continuó en las jaulas, principalmente por colisiones de los alevines con la red de las jaulas.

Actualmente quedan unos 40 peces nacidos en el año 2011, que continúan creciendo en una jaula de 25 m. de diámetro y 20 m. de profundidad en las instalaciones de RFeH en El Gorguel. Durante el verano del 2012 los peces sobrepasaron los 8 kg de peso.

En 2012 se realizaron varias modificaciones para intentar resolver los problemas de años anteriores. Se fabricó un tanque nuevo de transporte, se modificaron las técnicas de cultivo en las jaulas (densidad, técnicas de alimentación, etc.).

Este año 2012 se han trasferido unos 2500 alevines a dos jaulas de 25 m. de diámetro y 10 m. de profundidad (1400 alevines en J2 y 1100 alevines en J3).

Reproducción y cultivo de atún rojo

Se han realizado 3 trasportes, el primer día se trasportaron 500 alevines y al día siguiente 900 alevines de atún que fueron a la misma jaula (J2) con 1400 alevines de atún. El siguiente transporte se llevaron 1100 alevines que fueron a la misma jaula (J3).

Durante los dos primeros trasportes la mortalidad fue muy baja el primer transporte un 4% y el segundo con el 6% de mortalidad. En el siguiente transporte la mortalidad fue algo mayor del 15 %.

Este año la alimentación ha consistido solo en pescado crudo, alimentando a los peces varias veces al día desde el amanecer al anochecer durante todos los días de la semana. Los alevines pesaban 3-5 gr cuando se trasportaron con unos 40 días de vida.

Como podemos ver en la gráfica, la supervivencia en las jaulas en el año 2012 fue mejor que en el anterior. La J3 muestra una mejor supervivencia muy probablemente por el menor número de peces.

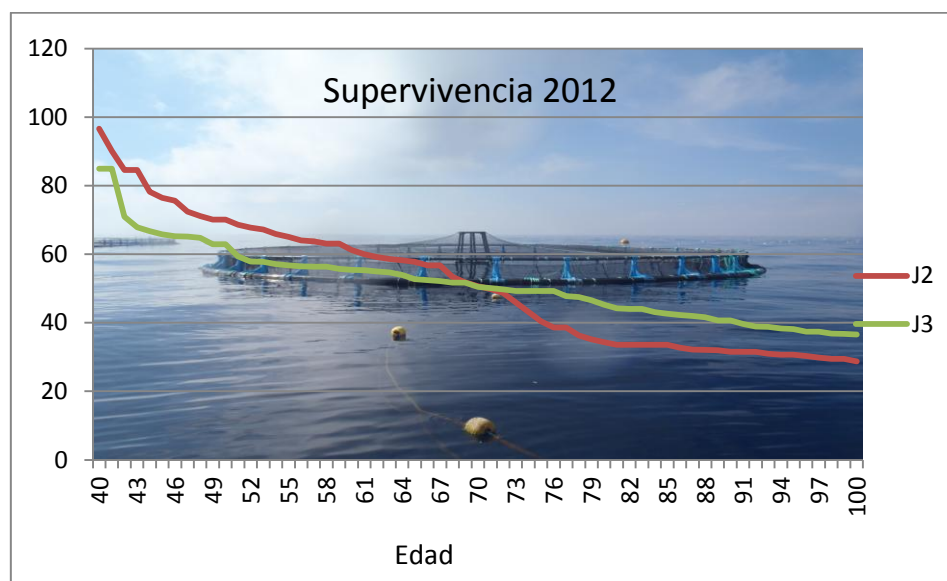


Figura 7: supervivencia jaulas durante verano 2012

En la siguiente gráfica se pueden ver el crecimiento de los alevines de atún en el 2012 desde el día que se transfieren a las jaulas. Como podemos ver el crecimiento es similar en ambas jaulas (hay 8 días de diferencia en la edad de los alevines)

Reproducción y cultivo de atún rojo

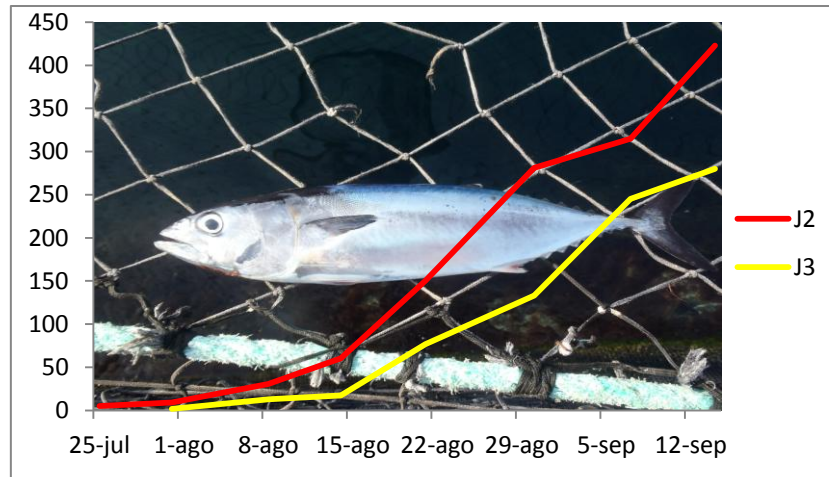


Figura 8: crecimiento de juveniles de atún en las jaulas durante verano 2012

6. DISCUSION

Como se viene demostrando con el proyecto actual, y ya se vio en el Selfdott, el atún rojo es capaz de reproducirse en cautividad de forma natural. El momento en el que comienzan las puestas en nuestra área de cultivo es a principios de junio cuando el agua comienza a calentarse y la temperatura sube de 20°C.

Ha sido necesario el diseño y fabricación de un sistema que nos permita recoger los huevos en las jaulas flotantes en el mar. Este colector consiste en lonas de plástico que cubre el perímetro de la jaula evitando que el huevo se escape y pueda ser recogido en la superficie. Aunque este sistema cuando las condiciones meteorológicas son adversas como mal tiempo o corrientes fuertes su rendimiento se reduce considerablemente, por lo que sería necesario modificarlo para mejorarlo en condiciones adversas.

Para la obtención de puestas es muy importante una buena gestión de la alimentación de los reproductores suministrándoles alimento de alta calidad que proporcione a los atunes los nutrientes necesarios, lo que repercutirá en una buena calidad de los huevos. Lo mismo que un correcto manejo de los peces y de las instalaciones que eviten crear estrés innecesario a los reproductores.

El cultivo larvario del atún es complejo y dificultoso por la alta sensibilidad de las larvas. Durante sus primeros días de vida las larvas se mantienen prácticamente inmóviles en la columna de agua, con tendencia a irse hacia el fondo del tanque donde mueren en contacto con él. Para prevenir esto es muy importante un correcto control y manejo de la aireación.

Reproducción y cultivo de atún rojo

La larva del atún durante su primera semana de vida tiene un crecimiento moderado, después comienza a acelerarse cuando las larvas comienzan a comer artemia y larvas de otros peces.

Este crecimiento tan rápido está relacionado con sus requerimientos nutritivos lo que dificulta mucho su alimentación. Es necesario tener una gran cantidad de alimento vivo para su alimentación y de muy alta calidad sanitaria. Las larvas de atún son muy sensibles a estas carencias nutritivas y se ven fuertemente afectadas por problemas patológicos.

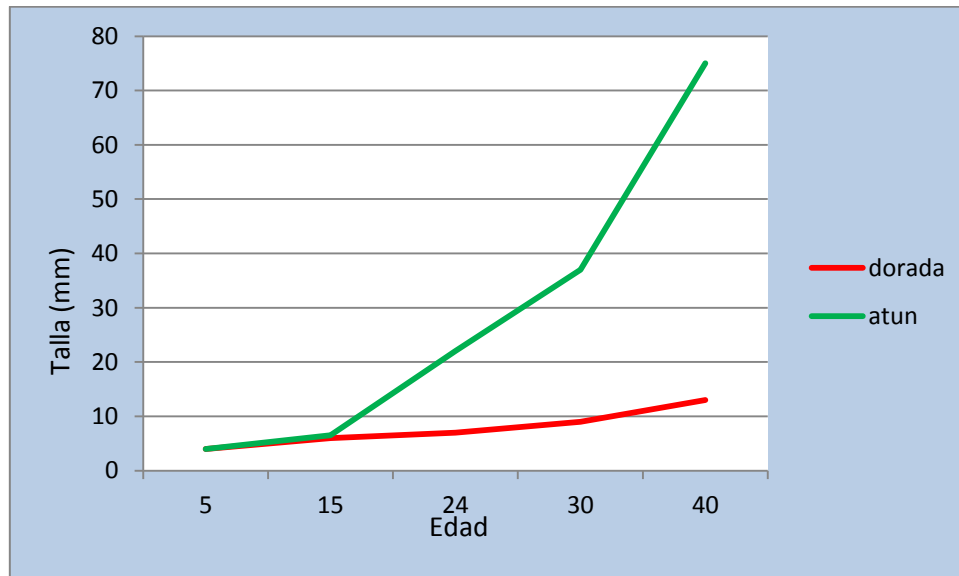


Figura 9: comparación del crecimiento de las larvas de atún con larvas de dorada.

A partir de que las larvas comienzan a alimentarse de larvas de otros peces su crecimiento se dispara y la necesidad de alimento se incrementa de forma considerable. Es necesario alimentar de forma correcta las larvas de atún para evitar el canibalismo.

La supervivencia durante el cultivo larvario ha sido muy baja por lo que se cree necesario la mejora de la alimentación, necesidad de continuar mejorando los enriquecimientos tanto para rotífero como artemia.

También es necesario el desarrollo de dietas que nos permitan la sustitución de las larvas vivas como alimento para las larvas de atún.

Otra de las dificultades que nos encontramos en el cultivo de atún es el manejo de las larvas o alevines ya que son muy sensibles a la manipulación y sufren un gran stress que les puede causar la muerte.

A partir del día 25 las larvas de atún finalizan la metamorfosis y se transforman en pequeños alevines que ya están preparados para ser destetados. Estos

Reproducción y cultivo de atún rojo

alevines comienzan a nadar muy rápido con una gran aceleración, característica de la especie, lo que crea uno de los grandes problemas que tiene el cultivo del atún que es la colisión de los peces contra la pared del tanque produciéndoles la muerte.



Figura 10: imagen muestra las lesiones de los atunes por colisión con las paredes del tanque

En la foto se puede apreciar la lesiones típicas por colisiones de los alevines con las paredes, en la primera foto se ve como el atún tiene la columna vertebral rota por el choque contra la pared. El mayor problema de las colisiones es que se ven afectados todos los peces, principalmente los más fuertes y vigorosos, lo que ocasiona la perdida de los mejores ejemplares.

Necesidad de desarrollar dietas artificiales para el destete y engorde de atún que nos proporcionen resultados similares a los obtenidos este año en el destete con pescado triturado.

El transporte de los alevines es otro de los puntos delicados. Como ya hemos mencionado anteriormente la manipulación de los alevines de atún es muy difícil. Ha sido necesaria la construcción de un tanque de gran volumen para su transferencia a las jaulas. También es muy importante que los peces antes del transporte se encuentren bien alimentados y fuertes para poder superar esta situación estresante. Es importante realizar el transporte en el menor tiempo posible.

Reproducción y cultivo de atún rojo

También consideramos importante la densidad en el transporte y la talla de los alevines a transportar. En 2012 hemos obtenido mejores resultados durante el transporte cuando se realizó a baja densidad con un 95 % de supervivencia. La talla de los alevines también influye ya que cuanto más grandes sean los peces mas rápido nadan y el daño contra la pared del tanque es mayor.



Alevin de atun con 30 dias.



Atun con 40 dias



Juvenil de atun 80 dias



Atun con 120 dias



Atun de un año de vida, 4 kg. de peso

Figura 11: evolución de los atunes criados en cautividad

El cultivo de alevines de atún en las jaulas flotantes también tiene sus problemas y peculiaridades por lo que ha sido necesario adaptar las técnicas de cultivo al atún. La alimentación es un punto muy importante ya que es necesario alimentar a los peces varias veces al día, por lo que se requiere una gran cantidad de alimento. Durante esta etapa la temperatura del agua es muy alta, sobrepasa los 27°C ya que nos encontramos en verano lo que hace que los atunes estén muy activos y muestren una gran voracidad.

Reproducción y cultivo de atún rojo

Durante esta etapa sigue habiendo una mortalidad causada por daños y colisiones contra la red. También parece importante la densidad de peces por jaulas, si hay un alto número de peces las colisiones son mayores y en contra si hay pocos peces estos se desorientan y cambian su comportamiento, incluso dejan de comer. No debemos olvidarnos de que es una especie gregaria.

7. CONCLUSION

El objetivo marcado cuando se empezaron las investigaciones era adquirir los conocimientos necesarios para la producción de alevines de atún rojo.

Se ha podido conocer las necesidades para que los atunes adultos se reproduzcan en nuestras instalaciones, obteniendo huevos fecundados para su posterior incubación y cultivo larvario. Se han desarrollado las técnicas adecuadas para el desarrollo larvario hasta la producción de alevines.

Se ha desarrollado la técnica para el transporte y estabulación de estos alevines a jaulas flotantes en el mar. Se han ido mejorando la técnica lo que ha repercutido en una mejor supervivencia año tras año.

Se han identificado las peculiaridades y dificultades del cultivo de atún en cautividad:

- La obtención de huevos se limita a un corto periodo durante el año, lo que limita el tiempo que se dispone para la investigación y producción. Dificultad para poder modificar los factores ambientales y controlar la puesta en las jaulas. Actualmente el IEO está construyendo una instalación en tierra para el mantenimiento de reproductores de atún, lo que permitirá el control de las puestas. Lo que posibilitará obtener huevos fértiles de forma controlada durante más tiempo.
- Dificultad para la recogida del huevo en las jaulas flotantes en el mar. Se ha desarrollado un sistema de colectores para la recogida del huevo. Es necesario seguir con su desarrollo, ya que bajo condiciones adversas no trabaja de forma correcta.
- Alta mortalidad durante la primera etapa de cultivo larvario, probablemente a causa de una mala nutrición y de la dificultad que tienen las larvas para mantenerse en la columna de agua, lo que hace que las larvas vayan al fondo y mueran. Necesidad de mejorar la técnica de cultivo para evitar este problema, probando distintos sistemas de aireación y entrada de agua al tanque. Mejorar la calidad de alimento vivo (rotífero y artemia).

Reproducción y cultivo de atún rojo

- Buscar alternativas a la alimentación de las larvas de atún con larvas de otros peces, lo que dificulta y encarece el proceso. Necesidad de desarrollar dietas y técnicas de destete más tempranas.
- Alta mortalidad de los jóvenes atunes por colisiones contra el tanque o la red de las jaulas. El atún es un gran pelágico un pez adaptado a la natación lo que le da ciertas peculiaridades que hacen que se choquen contra las paredes del tanque o la red de la jaula. Es un pez capaz de nadar a altas velocidades y no son capaces de frenar o nadar hacia atrás lo que causa las colisiones mortales.
- Dificultad del manejo de los alevines, lo que dificulta su transporte a las jaulas en el mar.
- Mortalidad en las jaulas principalmente por colisiones o enmalles en la red. Modificar los sistemas de las jaulas para que se adaptan a las peculiaridades de la especie.

Durante estos años se han establecido las pautas y los procesos para el cultivo de atún rojo en cautividad. Hay que seguir trabajando para mejorar estos resultados y hacer de estas investigaciones llevadas a cabo de forma conjunta entre RFeH y el IEO un método industrial de producir alevines de atún para su posterior engorde.

8. Interés para el sector

Todos estos avances son importantes para la industria, ya que el atún es un buen candidato para ser cultivado y diversificar los productos procedentes de la acuicultura. El atún es una especie de crecimiento rápido, se podrían obtener individuos de unos 30 kg de peso en 3 años aproximadamente, no hay otra especie que se aproxime al atún en cuanto a términos de crecimiento.

El cultivo de atún rojo también contribuiría a reducir la presión pesquera sobre las poblaciones naturales, favoreciendo la recuperación de la especie.

Actualmente hay unas 20 empresas en el Mediterráneo dedicadas al engorde o engrase del atún que dependen de las capturas del medio. Otras tantas empresas se encuentran sin actividad por la escasez de atunes provenientes de las capturas salvajes debido a las exiguas cuotas fijadas por las administraciones.

Hacia estas empresas se dirigiría el trabajo de nuestra investigación suministrándoles alevines de atún para su posterior engorde.

9. Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a todo el personal técnico de Caladeros del Mediterráneo y Tuna Graso pertenecientes al Grupo Ricardo Fuentes. También al personal técnico de la Planta de Cultivos Marinos de Mazarrón perteneciente al Centro Oceanográfico de Murcia.

Es importante resaltar que este trabajo es fruto de la estrecha colaboración desarrollada desde principios de 2002 entre la comunidad científica y el sector empresarial, y gracias al apoyo recibido de las distintas administraciones, autonómica, central y europea, financiando proyectos de investigación (REPRODOTT, SELFDOTT, Captura Juveniles, TECAR) que han servido para adquirir los conocimientos para llegar al estado de investigación en el que nos encontramos.

Reproducción y cultivo de atún rojo

Bibliografía:

- Masuma, S., Takebe, T., Sakakura, Y.. 2010. A review of the broodstock management and larviculture of the Pacific northern bluefin tuna in Japan. *Aquaculture*, (Article in Press)
- Miyashita S., Sawada Y., Hattori N., Nakatsukasa H., Okada T., Murata O. and Kumai H. (2000) "Mortality of Northern bluefin tuna *Thunnus thynnus* due to trauma caused by collision during growout culture". *Journal of the World Aquaculture Society*, Vol. 31, p.632-639
- Mylonas, C.C., Bridges, C.R., Gordin, H., Belmonte Ríos, A., García, A., de la Gándara, F., Fauvel, C., Suquet, M., Medina, A., Papadaki, M., Heinisch, G., De Metrio, G., Corriero, A., Vassallo-Agius, R., Guzmán, J.M., Mañanos, E., Zohar, Y., 2007. Preparation and administration of gonadotropin-releasing hormone agonist (GnRHa) implants for the artificial control of reproductive maturation in captive-reared Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Rev. Fish. Sci.* 15, 183-210.
- Sawada, Y., Okada, T., Miyashita, S., Murata, O. & Kumai, H. (2005). Completion of the Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* (Temmich et Schlegel) life cycle. *Aquaculture Research* 36, 413-421
- Seoka M, Kurata M, Hatanaka Y. (2008) "Possible Nutrients in Artemia affecting the larval Growth of Pacific Bluefin Tuna (*Thunnus orientalis*)"
- FAO, Manual on Hatchery production of seabream and seabass.
- FAO, Manual on Production and use of live food for aquaculture.
- Y. Tsuda, W. Sakamoto, S. Yamamoto, O. Murata. (2012) "Effect of environmental fluctuations on mortality of juvenile Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, in closed life-cycle aquaculture"
- Chatain, B. y N. Ounais-Guschemann. 1990. Improved rate of initial swim bladder inflation in intensively reared *Sparus auratus*. *Aquaculture*, 84 : 345- 353.
- Kurata M., Seoka M., Nakagawa Y., Ishibashi Y., Kumai H. and Sawada Y. (2011) "Promotion of initial swimbladder inflation in Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* (Temmick and Schlegel), larvae". *Aquaculture Research*, p. 1-10