



PERSPECTIVAS DE LA PRODUCCIÓN
DE ALIMENTOS EN EL MEDIO ACUÁTICO

Francisco Javier Moyano López
Coordinador

- [07-21] LA ACUICULTURA COMO SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS. RETOS Y OPORTUNIDADES
Francisco Javier Moyano López (Universidad de Almería)
- [23-34] LA ACUICULTURA EN ESPAÑA Y ANDALUCÍA. SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS
J. Manuel García de Lomas (Centro Tecnológico Acuicultura Andaluza)
- [35-50] TIPOLOGÍA Y CAPACIDAD PRODUCTIVA EN LAS EMPRESAS ANDALUZAS DEL SECTOR ACUÍCOLA
Antonio Concepción Toscano (Asociación de Empresas de Acuicultura Marina de Andalucía)
- [51-60] ACUICULTURA ECOLÓGICA EN EL MEDIO MARINO. UN CASO PRÁCTICO DE PRODUCCIÓN EN EL MEDITERRÁNEO
Marina Dolores López (Grupo Culmarex)
- [61-72] PRODUCCIÓN DE RILAPIAS EN INVERNADERO, TECNOLOGÍA Y POTENCIAL APLICACIÓN EN EL SURESTE ESPAÑOL
Guadalupe López Díaz (Tecnova)
- [73-82] CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y DETERMINANTES DE CALIDAD EN EL PESCADO DE CRIANZA
María Dolores Hernández Llorente (IMIDA)
- [83-101] PRODUCCIÓN DE MICROALGAS CON APLICACIONES NUTRICIONALES PARA HUMANOS Y ANIMALES
María del Carmen Cerón García (Universidad de Almería)

CEA

CUADERNOS
DE ESTUDIOS
AGROALIMENTARIOS

05

Septiembre 2013

ISSN 2173-7568

PERSPECTIVAS DE LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN EL MEDIO ACUÁTICO

Francisco Javier Moyano López
[Coordinador]

CEA

CUADERNOS
DE ESTUDIOS
AGROALIMENTARIOS

CEA. Cuaderno de Estudios Agroalimentarios

ISSN 2173-7568

Número 5: "Perspectivas de la producción de alimentos en el medio acuático"

Coordinador: Francisco Javier Moyano López (Universidad de Almería)

© 2013 del texto: los autores

© de la edición: Cajamar Caja Rural

Edita: Cajamar Caja Rural

www.publicacionescajamar.es

publicaciones@cajamar.com

Maquetación: Beatriz Martínez Belmonte

Imagen de cubierta: Evgeny Sergeev (iStock - Thinkstock)

Fecha de publicación: Septiembre 2013

Depósito Legal: AL-356-2011

Cajamar Caja Rural no se responsabiliza de la información y opiniones contenidas en esta publicación, siendo responsabilidad exclusiva de sus autores.

© Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, así como la edición de su contenido por medio de cualquier proceso reprográfico o fónico, electrónico o mecánico, especialmente imprenta, fotocopia, microfilm, offset o mimeógrafo, sin la previa autorización escrita de los titulares del Copyright.

PERSPECTIVAS DE LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN EL MEDIO ACUÁTICO

Francisco Javier Moyano López
Coordinador

CEA CUADERNOS
DE ESTUDIOS
AGROALIMENTARIOS

05

Septiembre 2013
ISSN 2173-7568

- [07-21]** LA ACUICULTURA COMO SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS; RETOS Y OPORTUNIDADES
Francisco Javier Moyano López (Universidad de Almería)
- [23-34]** LA ACUICULTURA EN ESPAÑA Y ANDALUCÍA. SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS
J. Manuel García de Lomas (Centro Tecnológico Acuicultura Andaluza)
- [35-50]** TIPOLOGÍA Y CAPACIDAD PRODUCTIVA EN LAS EMPRESAS ANDALUZAS DEL SECTOR ACUÍCOLA
Antonio Concepción Toscano (Asociación de Empresas de Acuicultura Marina de Andalucía)
- [51-60]** ACUICULTURA ECOLÓGICA EN EL MEDIO MARINO. UN CASO PRÁCTICO DE PRODUCCIÓN EN EL MEDITERRÁNEO
María Dolores López (Grupo Culmarex)
- [61-72]** PRODUCCIÓN DE TILAPIAS EN INVERNADERO. TECNOLOGÍA Y POTENCIAL APLICACIÓN EN EL SURESTE ESPAÑOL
Guadalupe López Díaz (Tecnova)
- [73-82]** CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y DETERMINANTES DE CALIDAD EN EL PESCADO DE CRIANZA
María Dolores Hernández Llorente (IMIDA)
- [83-101]** PRODUCCIÓN DE MICROALGAS CON APLICACIONES NUTRICIONALES PARA HUMANOS Y ANIMALES
María del Carmen Cerón García (Universidad de Almería)

LA ACUICULTURA COMO SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS RETOS Y OPORTUNIDADES

Francisco Javier Moyano López
Universidad de Almería

RESUMEN

Aunque la acuicultura tiene una historia de siglos, solo ha alcanzando relevancia como modo de producir alimento en las últimas décadas. Actualmente la acuicultura es una actividad dinámica, rentable y en constante desarrollo que engloba una amplia variedad de sistemas de producción realizados sobre una gran diversidad de organismos. La acuicultura se enfrenta a retos importantes relacionados con las peculiares condiciones propias del medio acuático y con el uso de los recursos, pero también presenta oportunidades únicas para consolidarse como una forma eficiente de suministrar cantidades crecientes de proteína y otros nutrientes de gran calidad a una población humana en constante crecimiento.

SUMMARY

Besides have been developed for centuries, aquaculture only reached relevance as a way to produce food during the last decades. Currently, aquaculture is a profitable and dynamic activity developed with a great number of different organisms reared under a wide variety of production systems. Aquaculture faces to important challenges related to the special features of the water environment and also to the use of the resources, but also presents unique opportunities to consolidate as an efficient form to provide great amounts of protein and other high quality nutrients to a continuously growing world population.

1. La acuicultura; definición y breve historia

La FAO define la acuicultura como «*la cría de organismos acuáticos, comprendidos peces, moluscos, crustáceos y plantas. La cría supone la intervención humana para incrementar la producción; por ejemplo: concentrar poblaciones de peces, alimentarlos o protegerlos de los depredadores y supone asimismo tener la propiedad de las poblaciones de peces que se estén cultivando*». El concepto «acuicultura» viene también recogido en la Constitución española donde también aparecen otras expresiones para hacer mención a la actividad tales como; «cultivos marinos», «maricultura» y «acuicultura marina». Sin embargo la legislación sectorial emplea el término de «cultivos marinos». Así se recoge el mismo en la Ley estatal N° 23/1984 de Cultivos Marinos, y en la normativa autonómica. La mencionada Ley indica que «*se entiende por cultivos marinos la realización de las acciones y labores apropiadas para la reproducción o crecimiento de alguna o varias especies de la fauna y flora marinas o asociadas a ellas*».

La acuicultura como actividad productora de alimentos tiene una larga historia. El friso de Akhitep, en una antigua tumba egipcia (2.500 años a. C.) refleja la captura de tilapias y su engorde posterior en lagunas protegidas, aunque diferentes autores están de acuerdo en que el origen del cultivo de plantas acuáticas y peces se sitúa en China 1.000 años a. C. Hay evidencias de granjas marinas extensivas en el siglo VI d. C en la cultura etrusca, y en tiempo de los romanos, se cultivaban doradas, lubinas, mejillones y ostras en estanques y lagunas salobres. Aristóteles y Plinio el Viejo escribieron sobre el cultivo de ostras; este último atribuye al general romano Lucinius Murena el invento del estanque de cultivo, y cita las grandes ganancias de su explotación comercial. En el siglo XI los pequeños pueblos isleños del sudeste asiático empezaron a capturar peces marinos en estanques costeros y alojarlos para su engorde en zonas poco profundas (*tambaks*) y en la América precolombina se utilizaban estanques de tierra inundables donde se obtenían cosechas anuales de peces.

En el siglo XII tuvo lugar un cierto desarrollo de la acuicultura continental en Centroeuropa, basada sobre todo en la cría de carpas y en el XV la acuicultura extensiva a gran escala (*vallicultura*) se llevaba a cabo en las lagunas costeras del Adriático, una práctica que ha llegado hasta nuestros días y que es precursora de la moderna acuicultura marina costera. En el año 1758 se produjo un importante descubrimiento, la fecundación artificial de huevos de salmones y truchas por Stephen Ludvig Jacobi, un investigador austríaco, aunque su investigación no salió del laboratorio y quedó en el olvido. En 1842, dos pescadores franceses, Remy y Gehin, obtuvieron puestas viables y lograron alevines de trucha, que desarrollaron con éxito en estanques. El descubrimiento llevó a la Academia de Ciencias de París a profundizar en el hallazgo,

lo que desembocó en la creación del Instituto de Huninge, el primer centro de investigación en acuicultura de Europa. Las primeras piscifactorías se crearon en 1878 en los EEUU para trucha arcoíris y en 1883 en Noruega para salmón, mientras que la reproducción artificial del rodaballo se consiguió en Inglaterra en 1894.

A finales del siglo XIX y principios del XX se realizaron grandes transferencias de poblaciones de salmón entre distintas partes del mundo (p. e. de California a Nueva Zelanda). La acuicultura marina comenzó a despegar con la producción de la seriola en Japón y el salmón en Noruega y la industria creció de manera rápida a finales de los 60 con el desarrollo de los piensos artificiales en grano. También en los años 60 y 70 tuvo lugar una enorme expansión del cultivo de almejas y ostras en Norteamérica y Europa. En esta época la acuicultura se polarizó, de modo que en los países en desarrollo se mantuvieron prácticas tradicionales en tanto que en Occidente se generalizaron los sistemas de producción industrial.

Los inicios de la cría en Europa de lubina y dorada tuvieron lugar en los años 70 y principios de los 80 en centros estatales de investigación de Francia e Italia. Los esfuerzos iniciales de investigación se centraron en la etapa de engorde que se llevaba a cabo en estanques a los que se bombeaba agua de mar. Conforme el sector se fue desarrollando, el engorde se trasladó a aguas abiertas siguiendo la tecnología desarrollada para el salmón y otras especies en Noruega y Japón. La producción permaneció baja hasta mediados de los 80 pero a partir de ese momento empezó a desarrollarse rápidamente mediante sistemas de cultivo semi-intensivos e intensivos, una vez resueltas las dificultades relacionadas con la reproducción, la alimentación larvaria mediante cultivos auxiliares, el desarrollo de alimentos adecuados para el engorde y el cultivo en jaulas. Desde este momento, la producción a gran escala se desarrolló en los 90 y superó todas las expectativas, de modo que en los últimos 20 años la acuicultura se ha consolidado como una potente industria que sigue sufriendo importantes transformaciones. En 1985 la producción de salmón (26.000 toneladas) se llevaba a cabo por un gran número de pequeñas empresas familiares, mientras que en 2007, una única empresa, Marine Harvest, controlaba ya el 30 % de una producción mundial cercana a los 1,6 millones de toneladas. En Vietnam, cuatro plantas de procesado controlan un 35 % de las 286.000 toneladas de filetes de panga que se exportan anualmente. En la actualidad, las empresas salmoneras se están introduciendo en la industria de la tilapia, de modo que uno de los mayores productores de salmón en Chile controla el 45 % de la producción de tilapia en Costa Rica. La integración horizontal y vertical en la acuicultura continuará aumentando hasta el 2030 y tendrá un profundo impacto en la industrialización y desarrollo tecnológico de esta actividad.

2. Importancia actual de la acuicultura

En el año 2007 la producción de alimento de origen marino alcanzó 157 millones de toneladas, lo que representaba un 2 % de todo el alimento producido en el mundo y un 16 % de la proteína consumida. El consumo per cápita de productos marinos aumentó desde los 14,4 kg en los 90 a los 16,7 kg en 2007 y este aumento se debe prácticamente en su totalidad a los productos de la acuicultura, ya que los rendimientos de la pesca extractiva se han reducido en un 3 % en el mismo periodo y muchos de los stocks están sobreexplotados (Myers y Worm, 2003; Naylor y Burke, 2005). Algunas estimaciones indican que los niveles actuales de captura duplican los considerados sostenibles (Coll *et al.*, 2008). Según la FAO, en los años 70 la acuicultura representaba solo el 4 % de los alimentos de origen acuático y en la actualidad representa el 47 %. El crecimiento de esta actividad (de más del 7 % anual) excede el de la población (0,5 % anual) así como el de la producción terrestre de alimentos, que se incrementa a un ritmo del 2 % anual. La producción en el medio marino está dominada en peso por las algas (46,2 %) y los bivalvos (42,9 %), en tanto que los peces diádromos (salmones principalmente), peces marinos y crustáceos representan cantidades notablemente menores (5,3; 3,7 y 1,8 %, respectivamente). Durante la pasada década la producción de crustáceos ha sido la de más rápido crecimiento (23 % anual), duplicando la de salmónidos y otros peces marinos. La acuicultura en aguas continentales, dominada por la producción de carpas en China, representa el 57 % de la producción acuícola (FAO, 2010). Según este organismo, la acuicultura tendrá que duplicar su capacidad productiva para el año 2030 para cubrir la demanda de alimentos de una población en rápido crecimiento. Aunque por el momento la acuicultura no es una alternativa a la pesca, sino un complemento a la proteínas que suministra la pesca extractiva, no es descabellado pensar que en algunas décadas la situación pueda invertirse. Las predicciones apuntan en este sentido e indican que la acuicultura producirá entre 54 y 70 millones de toneladas de alimento para el 2020 (Delgado *et al.* 2003).

3. Aspectos que diferencian la producción acuícola de la de otros alimentos

La producción animal en medio acuático presenta muchos puntos en común con la de las especies terrestres, ya que se controla la reproducción de los individuos, se desarrollan planes de producción por fases, se realiza manejo por lotes, se utilizan piensos específicos adaptados para cada especie y etapa de desarrollo, etc. Pero también

presenta rasgos peculiares relacionados tanto con las peculiaridades fisiológicas de los organismos acuáticos, como con las propias del medio en el que se lleva a cabo la producción. Desde el punto de vista biológico una de las principales diferencias de la producción animal acuática respecto a la terrestre es la enorme diversidad en la que se sustenta. En la actualidad el número de especies acuícolas que de un modo u otro son cultivadas ronda las 450 y el número de especies en las que se concentra el 90 % de la producción marina pasó de 14 a 20 en el periodo comprendido entre 1994 y 2004, comparado con las 4 o 5 especies que soportan el 90 % de la producción animal terrestre. Este amplio abanico incluye grandes grupos de invertebrados (moluscos y crustáceos) y de vertebrados (peces óseos). Cabe señalar que, al igual que ha ocurrido con la domesticación de animales terrestres y debido a diferentes aspectos relacionados con su fisiología reproductiva, hábitos alimenticios o sensibilidad al *stress* de confinamiento, no todas las especies acuáticas son susceptibles de una potencial producción en cautividad. Este punto es importante de considerar cuando se plantea la acuicultura como la solución para reemplazar los stocks de especies marinas esquilmas por la pesca extractiva, ya que en muchos casos la alternativa de cultivo resulta imposible.

A diferencia de lo que ocurre con las especies domésticas terrestres, el desarrollo en un buen número de organismos acuicultivados no es directo, sino que pasa por una serie de estadíos larvarios caracterizados por su pequeño tamaño, vulnerabilidad extrema y necesidades alimenticias específicas. Estos rasgos se ponen particularmente de manifiesto en el caso de los crustáceos o de bastantes especies de peces marinos, y exigen, entre otras prácticas, el empleo de técnicas especiales de suministro de alimento durante las etapas larvianas basadas en la producción paralela de organismos zooplanctónicos (gusanos rotíferos, crustáceos branquiópodos o copépodos) que se conocen como «cultivos auxiliares». Las especies acuicultivadas son sin excepción ectotermas, es decir, que su temperatura corporal y por tanto su metabolismo, dependen de la temperatura del agua circundante. Esto condiciona sus ritmos de actividad y crecimiento y hace que los ciclos productivos hasta tamaño comercial sean proporcionalmente mucho más largos que los de las especies terrestres (hasta dos años en especies de aguas frías como el rodaballo). De este modo, el principal limitante para la actividad vital de estas especies es la cantidad de oxígeno disponible, aspecto que también puede resultar determinante en los cultivos en estanques, sobre todo en las épocas calurosas. Resulta igualmente singular el hecho de que los piensos utilizados en acuicultura han de contener una proporción mucho mayor de proteína que los utilizados en producción porcina o avicultura, debido a las peculiares características del metabolismo de una buena parte de especies piscícolas, las cuales

utilizan una fracción importante de la proteína alimentaria como fuente energética. Esto encarece notablemente el coste de la alimentación y limita significativamente el abanico de ingredientes potencialmente utilizables. Por otra parte, resulta llamativo que, a diferencia del patrón seguido con las especies terrestres, en el caso de animales acuáticos los intentos de domesticación no se han limitado a las especies herbívoras o detritívoras, sino que existe una amplia representación de especies carnívoras, lo que conlleva condicionantes importantes en la formulación de alimentos adecuados (no solo en la selección de los ingredientes, sino en sus cualidades organolépticas) o en el manejo de la biomasa, con objeto de reducir las interacciones agresivas que pueden desembocar en canibalismo (Naylor y Burke, 2005)

El medio acuático impone además importantes condicionantes para la manipulación de los animales y dificulta o encarece algunas operaciones de manejo (clasificaciones, tratamientos sanitarios, etc). Por otra parte, las inversiones necesarias para cualquier instalación acuícola son en general más elevadas que para una granja terrestre. En las explotaciones ubicadas tierra adentro las infraestructuras necesarias para la captación, acondicionamiento y distribución de agua resultan costosas tanto por su complejidad como por el tipo de materiales requeridos, que deben ser resistentes a la oxidación y corrosión, además de los costes de consumo energético requeridos por las estaciones de bombeo y aireación. En el caso de instalaciones en mar abierto, los costes elevados se centran en los sistemas de anclaje y fijación y los sistemas automatizados de suministro de alimento. Por último habría que señalar que los lugares favorables para emplazar una instalación de producción acuícola son comparativamente más limitados que para una granja terrestre convencional, dadas las exigencias en cuanto a cantidad y calidad del agua requerida y la necesidad de evitar la competencia por otros usos.

4. Los retos de la producción acuícola

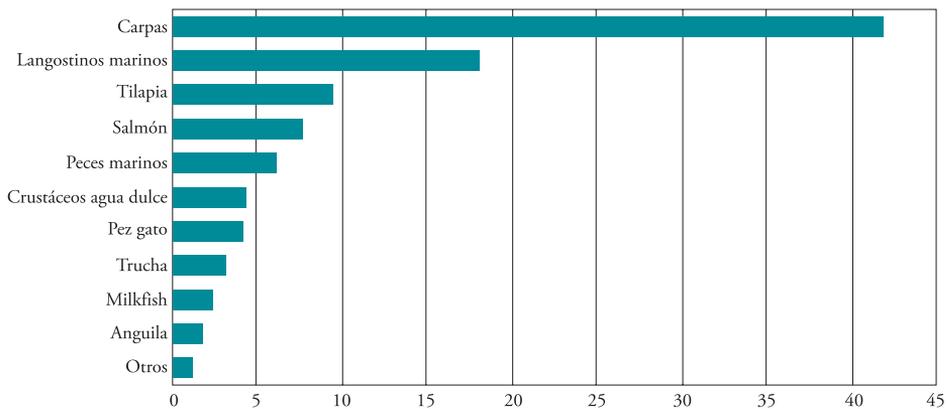
Tal y como se indicaba anteriormente, la producción animal en el medio acuático ha llegado en la actualidad a un grado de desarrollo sin precedentes y la tendencia futura es hacia un mayor crecimiento. Como actividad productora de alimentos se enfrenta a retos en muchos casos similares a los que se plantean para la ganadería convencional (suministro de ingredientes para los piensos, impactos ambientales, control de calidad de los productos, amenazas derivadas del cambio climático), pero otros son más específicos de la actividad acuícola y estarían relacionados con algunas de las particularidades tanto biológicas como tecnológicas antes mencionadas.

Tal vez el reto fundamental en el campo de la alimentación de organismos acuáticos se centra en la etapa de engorde de peces y crustáceos y está relacionado con el uso cada vez más extendido de sistemas basados en el uso de piensos compuestos (en la actualidad, en torno al 40 % de la acuicultura depende del empleo de estos) y en la composición de los mismos. Esta dependencia llega al 100 % en la producción de salmones o al 83 % en la de langostinos, pero es solo del 38 % en carpas aunque, dada la enorme producción de estas últimas, su consumo total resulta muy elevado (Gráfico 1). A su vez, la producción de esos piensos se basa en el empleo de harinas y aceites de pescado que se obtienen no solo de descartes o subproductos de procesado, sino a partir de pesquerías específicas de especies pelágicas como la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) o el capelín (*Mallotus villosus*). La cantidad de peces procedentes de capturas que se utiliza anualmente para producir estos ingredientes se ha incrementado desde los 3 a los 28 millones de toneladas en los últimos 50 años. El rendimiento máximo posible de estas capturas para producir harina se estima que es de unas 45 millones de toneladas/año, un límite que al ritmo actual se alcanzará para 2040. De hecho, la acuicultura emplea en la actualidad el 68 % de la harina y el 88 % del aceite de pescado y la producción de salmones, truchas y langostinos, que representan menos del 10 % de la producción acuícola mundial, utiliza un 26 % de dichas harinas de pescado. En conjunto, se precisan de 20 a 25 millones de toneladas de harina de pescado para producir 30 millones de toneladas de peces y crustáceos (Tacon *et al.* 2006). La eficiencia en el uso de harinas fabricadas a partir de peces pelágicos se evalúa mediante el índice FIFO (*Fish In/Fish Out*; kg de peces usados como alimento/kg de peces producidos). La acuicultura en su conjunto presenta un índice FIFO de 0,52, es decir, que por cada tonelada de peces usados para harina, la acuicultura produce 1,92 toneladas (Jackson, 2009), aunque dentro de estos valores hay importantes variaciones entre el elevado índice FIFO del salmón (1,68) y los de otras especies en las que se emplea menos harina de pescado.

Desde hace bastantes años se han evaluado alternativas que han permitido una reducción paulatina del empleo de la harina y aceite de pescado que ha sido sustituida en buena parte en los piensos de engorde por productos de origen vegetal. No obstante, el uso de las harinas vegetales hace a la acuicultura tan dependiente de la agricultura como lo es la producción animal terrestre, y dado que se convierte en un nuevo sector que demanda proteínas de soja y cereales, incrementa su vulnerabilidad frente a la disponibilidad de tierras de cultivo y agua para irrigación o los problemas logísticos de aprovisionamiento. Numerosos expertos señalan que el reto al que se enfrenta la acuicultura, especialmente la de peces marinos, es el de cerrar el ciclo productivo, es decir, reorientarse hacia el empleo mayoritario de recursos obtenidos en el propio

medio acuático, de manera que consiga hacerse independiente del uso de productos agrícolas. La producción primaria requerida para conseguir una unidad de alimento de la pesca o la maricultura de carnívoros es de 34 o entre 2,5 y 5 veces mayor que la que se precisa para obtener una unidad de alimento en tierra. En el primer caso, y considerando una eficiencia de transformación de entre el 15 y el 35 %, cada unidad de alimento producido precisa de entre 3 y 7 veces más producción primaria de la que precisaría para alcanzar el mismo rendimiento en un escalón más bajo. Teniendo esto en cuenta, resulta fundamental plantear la posibilidad de plantear otras opciones como fuente de alimento, tales como los cultivos de algas o de grandes especies de zooplancton, entre las que cabría señalar crustáceos como el *Calanus finmarchicus* de los mares del Norte y el Antártico o el krill (*Euphausia superba*) en los mares del Sur (Olsen et al, 2008). Esta reorientación por si sola no resolvería un problema básico y es que para incrementar la productividad en acuicultura sería necesario desplazar el nivel trófico que en la actualidad ocupan buena parte de las especies cultivadas, desde el escalón de los carnívoros al de los herbívoros u omnívoros, grupo en el que abundan especies de rápido crecimiento y más fáciles de alimentar como las carpas, tilapias o mújoles.

Gráfico 1. Consumo de piensos compuestos en acuicultura por categorías de organismos.
En porcentaje



Fuente: modificado de Tacon y Nates (2007).

Otra línea de desarrollo fundamental pasa por optimizar el suministro de alimento en primeras edades mediante una reducción progresiva de la dependencia respecto a los cultivos auxiliares y la formulación de alimentos artificiales para la cría larvaria. En este ámbito se están realizando importantes avances que, a partir de la industria

farmacéutica, incorporan tecnologías de preparación de partículas de composición compleja y de muy pequeño tamaño, requeridas para incorporar todos los nutrientes necesarios de una forma atractiva, estable y nutricionalmente eficiente, pero estos avances todavía no están suficientemente desarrollados a escala industrial.

Por otra parte, aunque se han producido enormes avances en la consecución de una base animal adecuada para las producciones acuáticas, existen aún problemas importantes en cuanto a la heterogeneidad de las poblaciones, la dependencia respecto a los stocks salvajes para abastecimiento de reproductores o la todavía escasa selección centrada en aspectos que faciliten el manejo en condiciones de piscifactoría (p. e. resistencia al *stress*), pese a que se están dando pasos muy importantes en este sentido.

Tal y como ocurre con la ganadería terrestre, la progresiva intensificación de la producción acuícola también es susceptible de generar impactos en el entorno. Ejemplos notables son las granjas camaroneras ubicadas en distintos países de Centroamérica en las que las grandes superficies necesarias para el cultivo son conseguidas a costa de la destrucción de los manglares y la viabilidad del cultivo se mantiene mediante el empleo de grandes cantidades de quimioterapéuticos. También las instalaciones de jaulas flotantes son ocasionalmente responsables de generar impactos en sus inmediaciones por los residuos de heces o alimento no consumido. Se estima que en el Mediterráneo las instalaciones de jaulas representan un 7 % y un 10 % de las descargas totales de N y P respectivamente (Pitta *et al.*, 1999). Además, las instalaciones de engorde en mar abierto constituyen un riesgo potencial de afectar a las comunidades biológicas de su entorno debido a los escapes de ejemplares, que no son escasos; en las granjas noruegas de salmón se han notificado escapes que representan el 0,35 % de la producción (790.000 peces/año)

En contraste con la agricultura o la producción animal terrestre, que se llevan a cabo en terrenos privados, la producción marina generalmente depende del uso de espacio público en las costas, lo que determina una fuerte competencia con otros usos como el ocio y las infraestructuras. Aunque una alternativa ha sido desplazar las instalaciones mar adentro u *off-shore* (Marra, 2005), esto conlleva la necesidad de importantes desarrollos tecnológicos y grandes inversiones y aún es preciso desarrollar un marco legal adecuado para amparar el uso compartido y adecuado de los océanos. Las limitaciones en el caso de la acuicultura continental son mucho mayores, ya que a pesar de su creciente intensificación, la acuicultura de aguas dulces está sometida a una reducción de los espacios disponibles, especialmente notable en las zonas tropicales y subtropicales a causa de la expansión de las poblaciones humanas en tales zonas que conlleva elevada competencia por el uso directo de territorio y agua. Por otra parte,

mientras que en la acuicultura marina la cantidad de agua utilizada no es un factor limitante, el consumo de la misma necesario para producir especies continentales se convierte en algo fundamental. Se manejan cifras muy variables, que dependen del grado de intensificación del sistema y de la especie producida, oscilando desde los 45 m³/toneladas cuando la producción se hace en estanques hasta los 5 m³/toneladas en el caso de la tilapia (Rothbard y Peretz, 2002). En este sentido cabe destacar que existe un potencial muy interesante y aún por desarrollar de reducir el consumo de agua en los acuicultivos, incrementando los sistemas de producción en circuito cerrado o mejorando la productividad por m³ mediante el establecimiento de policultivos.

Un reto fundamental de la actividad acuícola es la obtención de productos de calidad contrastada y positivamente valorada por los consumidores. En este sentido, hay aspectos negativos que aún es preciso corregir si se quiere alcanzar una plena aceptación de los consumidores. La acumulación de contaminantes orgánicos persistentes y metales pesados en las harinas y aceites de pescado que se utilizan como ingredientes en los piensos, aunque no es mayor que la derivadas de consumir directamente especies de captura (Holmer *et al.* 2008), no ayuda a diferenciar el producto. Por otra parte, la utilización de ingredientes vegetales en los piensos de engorde requiere de una cuidadosa selección y pautas adecuadas de inclusión si se quiere mantener el perfil nutricional de la grasa, rica en ácidos grasos insaturados omega-3, que caracteriza a los alimentos de origen marino.

Por último, no hay que olvidar que la acuicultura es una actividad productiva particularmente vulnerable a los efectos del cambio climático. Diferentes estudios prospectivos establecen que tales efectos podrán ejercerse de modo directo o indirecto (Tabla 1). Entre los primeros cabe señalar la modificación de las líneas de costa como resultado de cambios en el nivel de los mares, que afectarán a los lugares de aprovisionamiento de larvas y reproductores de varias especies y a la disponibilidad de ubicaciones para las instalaciones de engorde. Igualmente, el incremento de la actividad ciclónica en las zonas tropicales y subtropicales se prevé que puede afectar de manera cada vez más severa a las instalaciones costeras ubicadas en tales áreas. Igualmente, las modificaciones en los patrones de precipitación y las sequías suponen una amenaza importante para el abastecimiento de los caudales necesarios para la acuicultura en aguas continentales. Entre los efectos indirectos cabe reseñar que el incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos como el Niño tendrá repercusiones muy importantes sobre los stocks de especies pelágicas que constituyen la base de las harinas y aceites de pescado.

Tabla 1. Potenciales impactos del cambio climático en la producción acuícola

Factores de cambio	Impacto en los sistemas de cultivo	Cambios operacionales
Cambios en la temperatura superficial del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento en los blooms de algas tóxicas. • Disminución O² disuelto. • Incremento enfermedades y parásitos. • Aumento periodos crecimiento. • Cambios en las localizaciones y rangos ambientales de las especies. • Disminución mortalidad invernal. • Mejoras en el crecimiento y conversión alimento. • Competencia y predación por especies exóticas o invasoras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en las infraestructuras y costes operacionales. • Aumento del <i>fouling</i> y enfermedades. • Ampliación del rango geográfico en distintas especies. • Cambios en los niveles de producción.
Cambios en otras variables oceanográficas	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución en la disponibilidad de alimento para bivalvos. • Cambios en la abundancia de especies utilizadas como alimento o para harinas de pescado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de residuos bajo jaulas. • Incremento costes de operación.
Subida nivel del mar	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de áreas para acuicultura. • Pérdida de áreas refugio de alevines. • Aumento riesgo inundaciones. • Intrusión salina en aguas de pozos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Daños en infraestructuras. • Cambios en las zonas de acuicultura. • Incremento costes de seguros. • Disminución disponibilidad agua dulce.
Incremento tormentas	<ul style="list-style-type: none"> • Oleaje. • Cambios en la salinidad. • Inundaciones por precipitación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de <i>stocks</i>. • Daños en instalaciones. • Incremento costes de diseño instalaciones. • Incremento costes de seguros.
Sequía y <i>stress</i> hídrico	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en la salinidad. • Reducción calidad de agua. • Aleatoriedad aportes hídricos. • Aumento patologías. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de <i>stocks</i>. • Daños en instalaciones. • Conflictos con otros usos del agua. • Disminución capacidad productiva. • Cambio en las especies cultivadas.

Fuente: modificado de Handisyde et al, 2006.

5. Las oportunidades de la producción acuícola

A pesar de todo lo expuesto anteriormente la producción de alimentos de origen acuático presenta una serie de oportunidades fundamentadas en sus aspectos distintivos, tanto desde el punto de vista biológico como nutricional y estratégico. Desde el punto de vista biológico resulta indudable que la acuicultura es un modo muy eficiente de producir proteína animal ya que los índices de eficiencia en distintos sistemas varían entre 2,5 a 4,5 kg de alimento seco/kg de masa comestible, comparados

con los 3,0 a 17,4 para los sistemas convencionales que emplean especies terrestres. Ninguna especie doméstica convencional transforma el alimento de modo tan eficiente como los peces, debido a que estos no utilizan apenas energía para mantener su temperatura corporal y tampoco consumen demasiada para su desplazamiento, ya que el medio acuático soporta buena parte de su peso. Esto determina además que los esqueletos de los peces sean comparativamente menos voluminosos y por tanto presenten una carcasa con una mayor proporción comestible (Tabla 2). La producción primaria requerida para conseguir una unidad de alimento de la pesca o la maricultura de carnívoros es de 34 o entre 2,5 y 5 veces mayor que la que se precisa para obtener una unidad de alimento en tierra. En el primer caso, y considerando una eficiencia de transformación de entre el 15 y el 35 %, cada unidad de alimento producido precisa de entre 3 y 7 veces más producción primaria de la que precisaría para alcanzar el mismo rendimiento en un escalón más bajo.

Tabla 2. Eficiencia comparada en la producción de proteína comestible en algunos sistemas acuáticos y terrestres

Especie	Indice de conversión alimenticia (kg alimento seco/kg ganancia peso fresco +/- DS)	Porción comestible (%)	Eficiencia productiva (kg alimento seco/kg masa fresca comestible)
Tilapia	1,5 (0,2)	60	2,5
Pez gato	1,5 (0,2)	60	2,5
Langostino (marino)	1,5 (0,5)	56	2,7
Langostino (agua dulce)	2,0 (0,2)	45	4,4
Leche	3,0 (0,1)	100	3,0
Huevos	2,8 (0,2)	90	3,1
Pollo	2,5 (0,2)	59	3,1
Cerdo	2,5 (0,5)	45	5,6
Vacuno	5,9 (0,5)	49	10,2

Fuente: Modificado de Costa-Pierce (2002)

La acuicultura se ha transformado en poco tiempo en una de las formas más extendidas para conseguir proteína de calidad y en esto radica una de sus mayores oportunidades; en la reorientación hacia sistemas productivos que se asemejen a los desarrollados con éxito con especies terrestres. Como se indicaba anteriormente, si se continúa alimentando a especies carnívoras con peces pelágicos la situación sería insostenible en un plazo relativamente corto. Pero también es cierto que en la actualidad aproximadamente el 50 % de la producción acuícola mundial es inde-

pendiente de las harinas y aceites de pescado, ya que se realiza transformando los nutrientes contenidos en harinas y subproductos vegetales y la tendencia a reducir el contenido de harina de pescado en los piensos crece sin parar. Por otra parte, la acuicultura ofrece amplias posibilidades para producir otros tipos de alimento, tales como macroalgas, las cuales pueden ser utilizadas como alimento directo por los humanos o emplearse como sustento de especies acuáticas herbívoras, los cuales son además las de crecimiento más rápido. Un enfoque adicional con un amplio potencial sería el desarrollo de cultivos integrados multitróficos, los cuales mejoran el rendimiento global y reducen el impacto ambiental. De hecho, se ha demostrado que el rendimiento de la producción de bivalvos y macroalgas se puede incrementar en un 15 y 50 % respectivamente si se cultivan cerca de granjas de peces (Neori *et al.*, 2004, Zhou *et al.* 2006). La combinación de estos elementos, reducción de nivel trófico, uso de alimentos alternativos como zooplancton y macroalgas y acuicultura integrada, podrían multiplicar por ocho los rendimientos actuales de la acuicultura.

Desde el punto de vista nutricional, y teniendo en cuenta que los peces utilizan los lípidos con mayor eficiencia que los animales terrestres los carbohidratos y, en consecuencia, presentan el mayor contenido en proteína y lípidos musculares de todos los animales que se usan como alimento (Smil, 2002), la acuicultura resulta una actividad fundamental en el suministro no solo de proteína en cantidad y calidad, sino también de otros nutrientes esenciales como los ácidos grasos insaturados. Estos puntos adquieren cada vez más importancia tanto en sociedades en rápido crecimiento, que demandan grandes cantidades de alimentos y con mayor valor nutritivo, como en las de los países desarrollados, preocupadas por la calidad de los alimentos que consumen y por paliar los efectos negativos del consumo indiscriminado y abusivo de grasas saturadas y proteínas obtenidas a partir de rumiantes.

No hay que olvidar por otra parte, que la acuicultura como actividad económica posee un potencial muy elevado y se puede convertir, y de hecho lo ha conseguido en muchos casos, en una alternativa de transformación de una actividad pesquera de escaso rendimiento y cada vez más costosa económica y ambientalmente. Los productos de la acuicultura pueden ofrecer a los consumidores valores añadidos como son la proximidad a los mercados, el abastecimiento regular, y la calidad constante y controlada. En la actualidad, la UE compra tres veces más productos del mar de los que exporta, y además, no tiene garantía sanitaria ni higiénica alguna sobre el origen, ni el control del proceso productivo de una buena parte de esas importaciones. De ahí la necesidad, apoyada a todos los niveles (Comisión, Parlamento y CESE), de apoyar la producción animal acuática como un sector estratégico capaz de generar riqueza y empleo y de producir alimentos con garantías de sanidad, trazabilidad y calidad.

Referencias bibliográficas

- COLL, M.; LIBRALATO, S.; TUDELA, S.; PALOMERA, I. y PRANOVI, F. (2008): «Ecosystem overfishing in the ocean»; PLoS ONE 3: e3881. doi:10.1371/journal.pone.0003881.
- COSTA-PIERCE, B. A. (2002): «Ecology as the paradigm for the future of aquaculture»; en COSTA-PIERCE, B. A., ed.: *Ecological aquaculture: the evolution of the blue revolution*. Oxford, Blackwell Science; pp. 339-372.
- DELGADO, C. L.; WADA, N.; ROSEGRANT, M. W.; MEIJER, S. y AHMED, M. (2003): «Fish to 2020: Supply and Demand in Changing Markets»; *International Food Policy Research Institute, WorldFish Center* (28 October 2009); www.ifpri.org/sites/default/files/publications/oc44.pdf
- FAO (2010): *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma; FAO; p. 219.
- HANDISYDE, N. T.; ROSS, L. G.; BADJECK, M. C. y ALLISON, E. H. (2006): «The effects of climate change on world aquaculture: a global perspective»; *Final Technical Report, DFID Aquaculture and Fish Genetics Research Programme*. Stirling Institute of Aquaculture. Stirling, Reino Unido; p. 151.
- HOLMER, M.; BLACK, K.; DUARTE, C. M.; MARBA, N. y KARAKASIS, I. (2008): *Aquaculture in the Ecosystem*. Springer.
- JACKSON, A. (2009): «Fish in-!sh out (FIFO) ratios explained»; *Aquaculture Europe* 34(3); pp. 5-10
- MARRA, J. (2005): «When will we tame the oceans?»; *Nature* (436); pp. 175-176.
- MYERS, R. A. y WORM, B. (2003): «Rapid worldwide depletion of predatory fish communities»; *Nature* (423); pp. 280-283.
- NAYLOR, R. y BURKE, M. (2005): «Aquaculture and ocean resources: Raising tigers of the sea»; *Annual Review of Environment and Resources* (30); pp. 185-218.
- NEORI, A.; CHOPIN, T.; TROELL, M.; BUSCHMANN, A. H.; KRAEMER, G. P.; HALLING, C.; SHPIGEL, M. y YARISH, C. (2004): «Integrated aquaculture: Rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture»; *Aquaculture* (231); pp. 361-391.
- OLSEN, Y.; OTTERSTAD, O. y DUARTE, C. M. (2008): «Status and future perspectives of marine aquaculture»; en HOLMER, M.; BLACK, K.; DUARTE, C. M.; MARBA, N. y KARAKASIS, I., eds.: *Aquaculture in the Ecosystem*. Springer; pp. 293-319.

- PITTA, P.; KARAKASSIS, I.; TSAPAKIS, M. y ZIVANOVIC, S. (1999): «Natural vs. Mariculture induced variability in nutrients and plankton in the eastern Mediterranean»; *Hydrobiologia* (391); pp. 181-194.
- ROTHBARD, S. y PERETZ, Y. (2002): «Tilapia culture in Negev, the Israeli desert»; en GUERRERO, R. D. y GUERRERO-DEL CASTILLO, M. R., eds.: *Tilapia farming in the 21st century*. Los Banos, Philippines Fisheries Association; pp. 60-65.
- SMIL, V. (2002): «Nitrogen and food production: proteins for human diets»; *Ambio* (31); pp. 125-131.
- TACON, A. J. G.; HASAN, M. R. y SUBASINGHE, R. P. (2006): «Use of fishery resources as feed inputs for aquaculture development: trends and policy implications»; *FAO Fisheries Circular* (1018). Rome, FAO; p. 99.
- TACON, A. G. J. y METIAN, M. (2008): «Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects»; *Aquaculture* (285); pp. 146-158.
- TACON, A. G. J. y NATES, S. F. (2007): «Meeting the feed supply challenges»; en ARTHUR, R. y NIERENTZ, J., eds.: *Global Trade Conference on Aquaculture*. Qingdao, China, 29-31 May 2007. *FAO Fisheries Proceedings* (9). FAO, Rome; p. 271.
- VERDEGEM, M. C. J.; BOSMA, R. H. y VERRETH, J. A. V. (2006): «Reducing water for animal production through aquaculture»; *International Journal of Water Resources Development* (22); pp. 101-113.
- ZHOU, Y.; YANG, H. S.; HU, H. Y.; LIU, Y.; MAO, Y. Z.; ZHOU, H.; XU, X. L. y ZHANG F. S. (2006): «Bioremediation potential of the macroalga *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) integrated into fed fish culture in coastal waters of north China»; *Aquaculture* (252); pp. 264-276.

LA ACUICULTURA EN ESPAÑA Y ANDALUCÍA SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS

J. Manuel García de Lomas
Centro Tecnológico de Acuicultura Andalucía

RESUMEN

La comunidad andaluza ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de la acuicultura en España y en Europa, llegando en un momento determinado a ser la mayor productora de Europa (y por tanto del mundo) de alevines y de doradas, exportando sus producciones a Italia, Francia, Grecia, Portugal e incluso a Marruecos.

Actualmente la acuicultura en España y en Andalucía tiene nuevos retos para mantener los niveles de competitividad que exige el mercado. La innovación, la valorización del producto y la investigación aplicada son los instrumentos que tienen que terminar de consolidar la actividad como un sector estratégico.

SUMMARY

Andalusia has played a major role in the development of aquaculture in Spain and Europe. In a given time, Andalusia was the biggest producer of seabream fingerlings in Europe (and hence in the world) and exported its products to Italy, France, Greece, Portugal and Morocco.

Currently, aquaculture in Spain and Andalusia faces to new challenges in order to maintain the competitiveness required by markets. Innovation, added value and applied research are the instruments required to consolidate this activity as an strategic sector.

1. Introducción y antecedentes

La acuicultura en España podemos calificarla como una actividad reciente. Si bien existen referencias a tiempos de los romanos, que han quedado perfectamente descritas en múltiples documentos, es a mediados del siglo XX, cuando realmente podemos hablar de una producción controlada y con volúmenes suficientes que nos permite definirla como una actividad económica y configurar un sector productivo, con visos de convertirse en estratégico en muchas de las comunidades autónomas de España.

Indudablemente hay que hacer, en primer lugar, especial referencia al desarrollo del mejillón, ya que la miticultura ha sido en España la actividad acuícola que ha alcanzado el mayor volumen productivo, situando a nuestro país a la cabeza de los productores acuícolas europeos y mundiales. También hay que nombrar los ingentes intentos que se han llevado a cabo para producir la ostra en Galicia, si bien distintos problemas de índole técnico, económico y social impidieron que pudieran consolidarse los altos volúmenes producidos en las últimas décadas del siglo XX.

El otro gran referente nacional es la piscicultura, donde mención destacada tiene la acuicultura continental en general y la producción de truchas en particular, verdadero motor del desarrollo de cultivo de peces en nuestro país. Pero, dado que Andalucía presenta especial relevancia en la acuicultura marina, tenemos que nombrar a la dorada y a la lubina, verdaderas «estrellas» que han sido capaces de situar a nuestro país como referente de estas especies, fundamentalmente por el grado de conocimiento y desarrollo de todos los procesos productivos, aunque no haya alcanzado un volumen de producción similar al antes nombrado mejillón.

Si pasamos a nivel regional, decir que actualmente la acuicultura andaluza se encuentra extendida por todo el litoral, desarrollándose en cada zona el sistema más adecuado a sus características ambientales y biogeográficas. En todos los casos se mantienen altos niveles de calidad y se garantiza que los sistemas de explotación sean compatibles con los valores naturales del medio. De hecho, una alta proporción de las instalaciones de cultivo se encuentra situada en espacios naturales protegidos (entorno de Doñana, Parque Natural Bahía de Cádiz, Cabo de Gata, etc.), colaborando de manera eficaz en su conservación y demostrando la capacidad de integración de la actividad acuícola en el medio. Desde sus orígenes, la acuicultura andaluza ha experimentado un crecimiento continuo y sostenido, atravesando etapas más o menos favorables y de mayor rentabilidad, que han dependido de la situación económica y de otros factores tales como la promulgación de nuevas normas (en especial la Ley de Costas de 1988) y la competencia en los mercados.

Las características propias del sector acuícola andaluz le confieren al mismo la posibilidad de avanzar hacia un desarrollo definitivo. Las condiciones ambientales de Andalucía provocan una atención constante de nuevos inversores. La reciente puesta en marcha de polígonos para el cultivo del mejillón es un claro ejemplo de este interés por nuestra comunidad. Pero, al mismo tiempo, el sector necesita dar un paso cualitativo hacia un mayor desarrollo tecnológico que provoque un avance en los procesos productivos, en la mejora de la comercialización y en la valorización del producto final.

La actividad acuícola en Andalucía nace en las antiguas explotaciones salineras, donde la extracción de este valioso producto podía compatibilizarse con la producción piscícola. Para ello se utilizaban los grandes reservorios de agua, denominados esteros, que eran necesarios mantener para el aprovisionamiento paulatino de las superficies de evaporación de sal.

En un momento determinado estas explotaciones salineras dejan de ser rentables, quedando improductivas y sin mantenimiento, y es así como salineros gaditanos y onubenses a mediados de 1970 comenzaron a considerar la reconversión de estos espacios en establecimientos piscícolas. Estas zonas se usaron entonces como improvisados estanques de cultivo extensivo de varias especies de interés comercial, lo que originó el desarrollo de la acuicultura en las salinas; habían encontrado una forma mejor de rentabilizar esas zonas, producir un pescado de estero de excelente calidad. (*Historia de la acuicultura*. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía)

Pero el litoral andaluz es diverso y rico, contando con distintas áreas biogeográficas singulares y susceptibles de utilizarse para la producción acuícola.

Es precisamente en nuestra comunidad donde en la década de los 80 y fruto a un trabajo coordinado entre el sector empresarial y organismos de investigación públicos, se comenzaron a generar nuevos sistemas de producción que posteriormente se han extrapolado a otras áreas de nuestro país e incluso a otros países, llegando a alcanzarse volúmenes de producción que supusieron situar a nuestra comunidad como principal zona productiva y lugar de referencia obligada en lo relativo a la producción de determinadas especies.

A final de los ochenta y principios de los noventa, empezaron a obtenerse los primeros resultados importantes, con volúmenes de producción de alevines que superaban las seis cifras, llegando en un momento determinado a ser los mayores productores de Europa (y por tanto del mundo) de alevines de doradas, exportando sus producciones a Italia, Francia, Grecia, Portugal e incluso a Marruecos.

Esa disponibilidad de alevines hizo que se incrementaran de manera sustancial las instalaciones de cultivo, desarrollándose cultivos más intensivos en instalaciones de tierra y las primeras plantas de producción en jaulas flotantes, que rápidamente se extendieron por todo el litoral mediterráneo.

En esos años también empiezan los trabajos con una nueva especie: el lenguado; obteniéndose inicialmente muy buenos resultados, aunque posteriormente ha sufrido una importante paralización por diversas causas que ahora sería muy prolijo analizar. Pero indudablemente es una especie con vocación de convertirse en una de las bases fundamentales sobre las que se asiente la acuicultura en Andalucía.

Mientras todo esto ocurría, se aprobó la Ley de Cultivos Marinos a finales de 1984, en la que se contemplaba por primera vez la acuicultura con entidad propia y no como una actividad subsidiaria y subordinada a la pesca extractiva.

Esta Ley pretendía ordenar el pujante desarrollo de los cultivos marinos en el territorio nacional en todas las áreas susceptibles de aprovechamiento y en un momento que, aunque ya estaban transferidas parte de las competencias a las Comunidades Autónomas, estas no habían normalizado su desarrollo.

También a nivel nacional se empezó a trabajar en el denominado *Libro Blanco de la Acuicultura*, documento que analizaba con todos los intervinientes en el desarrollo de la acuicultura (empresarios, investigadores, administraciones responsables, etc.) las claves por las que tenía que avanzar este sector. Por desgracia, aún están pendientes de ejecutar la mayoría de las propuestas que allí se expusieron.

Retornando a Andalucía, un hecho relevante fue la apuesta por la diversificación, desarrollándose de manera similar especies o grupos de especies de los tres taxonómicos que la acuicultura posee: moluscos, con el cultivo de la almeja y ostra japonesa, crustáceos, con el cultivo del langostino y peces, con el desarrollo, ya nombrado, de la dorada y la lubina. Se alcanzó el dominio tecnológico y se cerró el ciclo productivo en cautividad de todas estas especies.

La acuicultura marina andaluza viene experimentando un crecimiento ordenado durante las dos últimas décadas, pero fue durante la de los noventa cuando se inició un ritmo de crecimiento acelerado, con puntuales procesos de desaceleración que dieron lugar en los años posteriores a picos productivos.

2. Situación actual: evolución y producción actual en España y Andalucía

2.1. Situación actual: evolución y producción acuícola en España

En estos momentos la acuicultura se encuentra en una situación crucial. Esta situación deriva fundamentalmente, por un lado, de la presión a la que se le está sometiendo para que cubra y complemente los problemas de abastecimiento de productos del mar, por la difícil situación que pasan los caladeros y, como consecuencia, la flota pesquera extractiva, y por otro lado, de la necesidad de consolidar sistemas, instalaciones y equipos de manera rentable y ajustando la productividad necesaria para poder ser competitivos frente a productos procedentes de terceros países. Es precisamente este último aspecto el que en mayor medida está condicionando la consolidación del sector productivo acuícola español, ya que se están realizando importaciones masivas de producto de terceros países (Vietnam, China, etc.), donde los controles sanitarios son mucho menos exigentes que los impuestos en España, lo que unido a las condiciones sociales y laborales que se practican en esos países, hacen muy difícil competir con ellos. El único recurso posible es aportando un valor añadido mediante distintivos de calidad derivado de las condiciones del cultivo o de las tecnologías empleadas en su producción.

La gran variedad de enclaves con los que cuenta nuestro país para la cría de especies marinas y continentales ha permitido desarrollar múltiples sistemas de producción, que han favorecido la cría de hasta 50 especies diferentes de peces, moluscos y crustáceos, y han colocado a España entre los 20 países con mayor producción de acuicultura del mundo y el segundo en la Unión Europea, con más de 300.000 toneladas anuales.

El mejillón, como hemos dicho anteriormente, es la especie que lidera la producción acuícola española. No está exenta de la misma problemática que, con carácter general, hemos citado. Aunque este caso, se ve incrementado por una excesiva dispersión y falta de unión entre las entidades representativas, que hace que en muchas ocasiones, se generen litigios que obligan a gastar recursos y esfuerzos. Actualmente está sufriendo una relativa paralización en la producción, que se caracteriza estos últimos años por producciones en punta de sierra y que dificulta nuevas inversiones en tecnologías y proyectos de investigación, que son necesarios para seguir manteniendo el liderazgo y afrontar con éxito los nuevos requisitos impuestos por la Unión

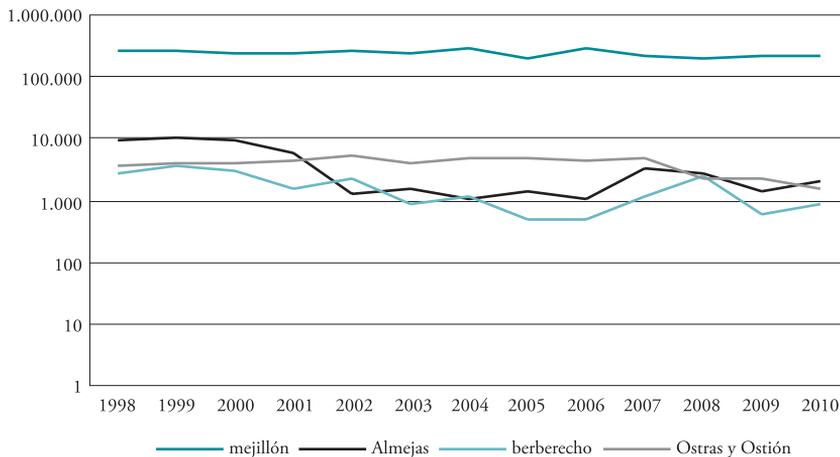
Europea. Es especialmente importante avanzar en la detección precoz de episodios de *bloom* de micro algas, que resultan tóxicas y obligan al cierre de los parques de cultivo, con el daño consiguiente que provocan en la economía de las empresas y a las altas pérdidas que se producen por la imposibilidad de extracción. Así también hay que avanzar en sistemas de depuración más eficaces.

Actualmente en España, para el cultivo de moluscos, están fondeadas más de 3.600 bateas, de la cuales aproximadamente 3.500 están en Galicia; de estas el 95 % están dedicadas al cultivo de mejillón (Conselleria de Agricultura y pesca, Xunta de Galicia).

En estos últimos años, y especialmente en Andalucía está desarrollándose el cultivo de moluscos en Long-lines, un sistema de flotación más elástico y que parece soportan mejor los grandes temporales.

Los otros moluscos que actualmente se producen (almejas, ostras, berberechos, etc.) se encuentran a unos volúmenes productivos tan distantes que hacen imposible cualquier comparación. En el año 2010 se produjeron 216.000 toneladas de mejillón frente a 1.500 toneladas de ostras (plana y ostión), 1.200 toneladas de almejas y 900 toneladas de berberechos. La evolución la representamos en el Gráfico 1.

Gráfico 1. Producción de moluscos en España. En toneladas



Fuente: FAO. Elaboración propia.

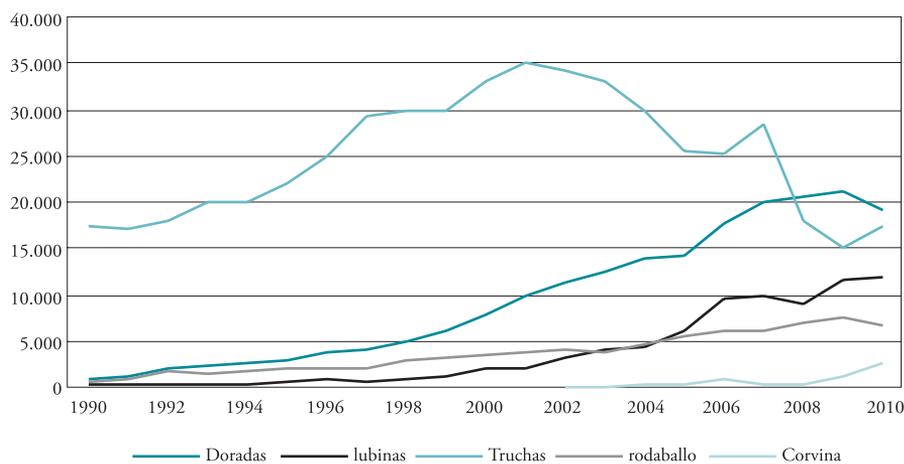
Como puede observarse la desproporción hace que los niveles productivos tengan que expresarse en escala logarítmica para que puedan apreciarse.

Es sin embargo importante considerar que si bien la producción de moluscos y en concreto de mejillón es la mayoritaria en cuanto volumen de producción, atendiendo al valor de ese producto en el mercado las diferencias se invierten. En el año 2010 se han facturado 113 millones de euros procedentes de la venta de moluscos (92 millones de mejillón), mientras que el mismo año ingresaron 266 millones de euros procedentes de la piscicultura (234 millones de los peces marinos) (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

Haciendo referencia a la piscicultura, tenemos que decir que también está sufriendo una relativa paralización, en parte debido a la crisis económica que ha provocado el cierre de un buen número de plantas productivas. Por otro lado, ha posibilitado la consolidación de grandes grupos empresariales, corrigiendo el alto nivel de atomización que de manera reiterada se consideraba uno de los principales problemas de la acuicultura en España.

En el Gráfico 2 aparece la evolución sufrida en los volúmenes productivos de las cinco especies principales que actualmente se producen en España, donde se observa un ritmo sostenido hasta estos últimos años, menos en la trucha, donde se registra una reducción paulatina en los últimos años.

Gráfico 2. Evolución de la producción piscícola en España. En toneladas



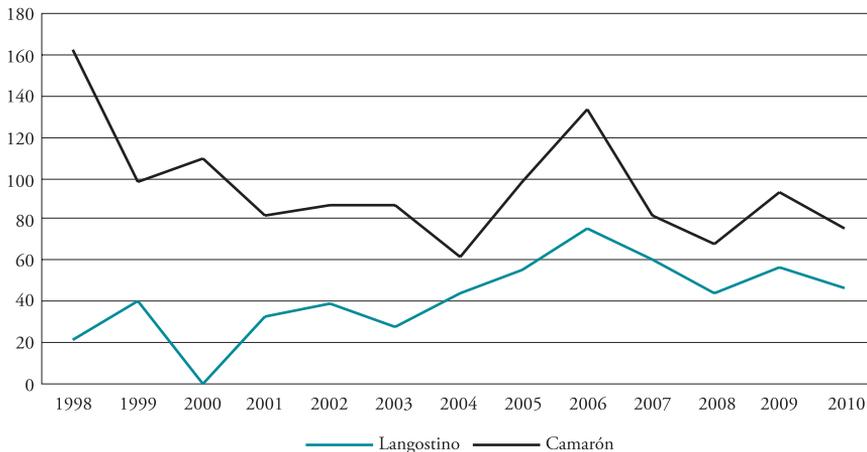
Fuente: JACUMAR. Elaboración propia.

La producción de pescados marinos de crianza en España supuso 43.888 toneladas en 2010, y de 42.675 toneladas en 2011. Estas cifras suponen una reducción del

9,4 % en 2010 y del 2,8 % en 2011. Esta caída de las producciones ha ocurrido en todas las especies relevantes (dorada, lubina y rodaballo) y supone la primera reducción en los últimos 25 años de esta actividad. Conviene recordar que en los primeros años de la presente década se habían venido registrando crecimientos medios del 20 %, y que el crecimiento mínimo necesario para mantener la competitividad a nivel global se estima entre el 15 y 20 % anual (Aproimar, informe 2012).

En cuanto a la producción de crustáceos, esta se ha situado a niveles puramente testimoniales, donde solo dos especies alcanzan volúmenes de producción significativos: el langostino y el camarón, ambas producciones desarrolladas de manera mayoritaria en la comunidad andaluza (Gráfico 3).

Gráfico 3. Producción de crustáceos en España. En toneladas



Fuente: JACUMAR. Elaboración propia.

En 2011 había en funcionamiento en España 15 instalaciones de cría (*hatcheries*) para la reproducción comercial de peces marinos. De estas, 14 dedicadas a la reproducción de peces y una a crustáceos. En total produjeron 103 millones de alevines de las principales especies de peces y 3,6 millones de postlarvas de langostino. Estas cifras suponen un incremento medio de esta producción del 32 % respecto a 2010.

La producción de alevines de dorada en España en 2011 fue de 52,9 millones de unidades, lo cual suponía un incremento del 45,1 % sobre el dato de 2010, mostrando una recuperación de las producciones. A pesar de ello, se está aún lejos del máximo histórico de 67,3 millones de 2007. La producción de alevines de dorada

en España se concentra en la Comunidad Valenciana (29 %), Cantabria (27 %), Baleares (29 %) y Andalucía (19 %). El precio medio de venta (CIF) de los alevines de dorada en 2011 fue de 0,23 euros por unidad referencia de 2 g. (APROMAR).

Según los últimos datos, cerca de 28.000 trabajadores dedicaron su labor a la actividad acuícola en el año 2010, consolidándose un crecimiento del 20 % en cinco años. Este es uno de los principales datos que se recoge en el informe «Indicadores de Acuicultura 2011», elaborado por la Fundación Observatorio Español de Acuicultura (OESA) a partir de distintas fuentes oficiales de información.

2.2. Situación actual: evolución y producción acuícola en Andalucía

Si bien el desarrollo de la acuicultura en Andalucía parece que ha seguido caminos muy parecidos al registrado a nivel nacional, hay determinados elementos que señalan que podían haberse alcanzado ritmos mayores.

Este hecho queda perfectamente reflejado al analizar las estadísticas de producción a nivel nacional, ya que según los datos piscícolas aportados por la asociación nacional (APROMAR), en los últimos años Andalucía ha pasado de ocupar el primer lugar con el 36 % de la representatividad a ser la cuarta comunidad autónoma en importancia, con apenas el 20 % de la producción piscícola nacional.

Es por ello que los productores acuícolas, conscientes de que era necesario afrontar un desarrollo tecnológico importante iniciaron en el año 2007 los trabajos para la constitución de una entidad que, dedicada a la I+D+i aplicada, permitiera recuperar los niveles productivos y favorecer el crecimiento del sector y de las empresas; en definitiva, favorecer el desarrollo económico en nuestra comunidad autónoma; se trata de la Fundación Centro Tecnológico de Acuicultura de Andalucía (CTAQUA).

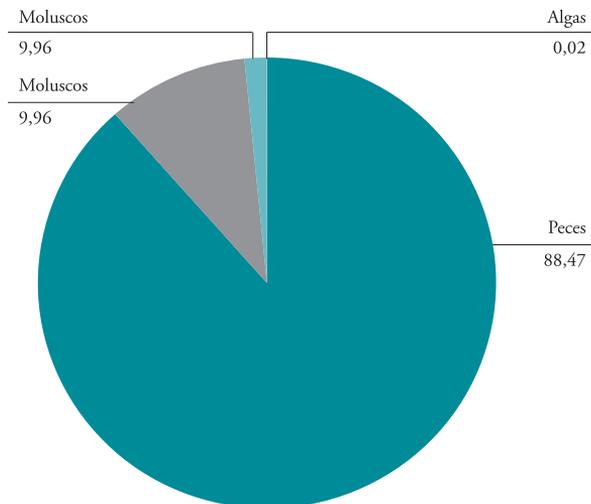
En el año 2010 se han producido aproximadamente 28 millones de unidades en la fase de *hatchery*, de las cuales destaca el grupo de peces con un 56 % de la producción, seguido de los crustáceos con un 44 %. Entre las especies de peces producidas en esta fase de cultivo la dorada se sitúa como la principal, seguida de la lubina y el langostino entre los crustáceos.

En Andalucía existen actualmente ocho criaderos, que disponen también de *nurseries* donde realizan la fase de preengorde con lo cual, además de su propio abastecimiento de alevines, también pueden ofrecer este servicio a otras empresas del sector que lo demanden.

En el año 2010 en la fase de engorde se alcanzó la cifra de 7.936,77 toneladas, entre las cuales destacan la dorada y la lubina con un 39 y 43,7 % respectivamente de la producción total, seguidas por la producción de mejillón con un 9,5 % y el resto de las especies que suponen un 7,7 % sobre el total. La producción se incrementó un 6,3 % respecto al año anterior. El 88 % de esta producción correspondía al grupo de peces, el 10 % al de moluscos y el 2 % a crustáceos.

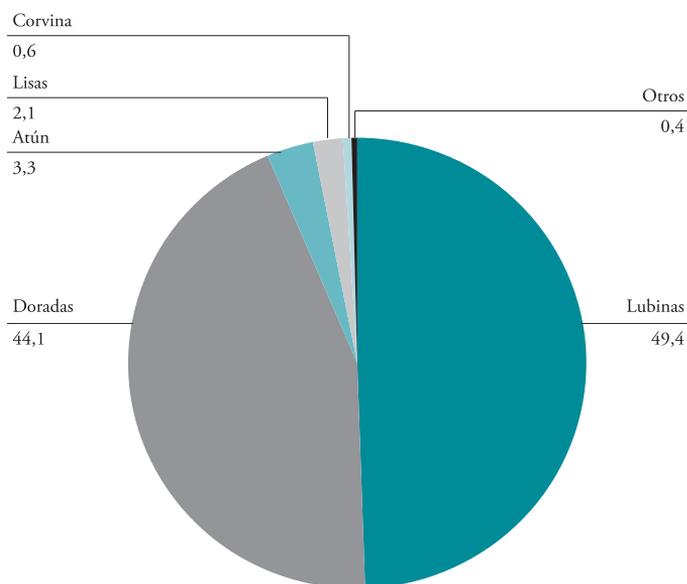
En definitiva, que podemos afirmar que, si bien han sido muchas las iniciativas desarrolladas en la línea de consolidar la acuicultura como un sector estratégico y fundamental para la economía andaluza, todavía hoy, en 2012, esto no ha ocurrido, teniendo que alcanzar su ansiada madurez y que las dudas que se plantean sobre su viabilidad se disipen de manera permanente.

Grafico 4. Reparto de la producción por especies en Andalucía (2010). En porcentaje



Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Elaboración propia.

Grafico 5. Reparto de la producción de peces en Andalucía (2010). En porcentaje



Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Elaboración propia.

3. Perspectivas a corto y medio plazo

Es difícil hacer una previsión clara del desarrollo de la acuicultura en los próximos años dadas las circunstancias económicas actuales que condicionan todo el entramado empresarial. Lo que sí podemos afirmar es que España en general, y Andalucía en particular, poseen todas las características necesarias y suficientes para que el sector de la acuicultura se consolide como un sector estratégico. Indudablemente el sector agroalimentario en general, y la acuicultura en especial, están destinados a convertirse en sólidos basamentos de la economía productiva de Andalucía. Y la acuicultura cada vez tiene un mayor peso específico.

La diversificación en nuevas especies, el desarrollo de marcas distintivas y de calidad, la innovación en nuevos productos y la investigación aplicada son elementos que tienen que jugar un papel fundamental en el futuro inmediato del desarrollo acuícola. Las características de la acuicultura desarrollada en nuestro país y en nuestra región, donde la sostenibilidad ambiental es una constante, hacen que esté en total sintonía con las directrices emanadas de foros internacionales y posibilitan un apoyo decidido de instituciones europeas y mundiales. Esta sostenibilidad también tiene que ampliarse al ámbito económico, ya que el desarrollo de la actividad se encuadra y está sometido a las leyes de los mercados, donde la rentabilidad se constituye en un elemento fundamental para su mantenimiento y consolidación.

El trabajo coordinado de las distintas instituciones públicas y privadas (universidad, centros tecnológicos, entidades financieras, consejerías, etc.) y las empresas productivas es también un elemento clave que debe potenciarse y facilitarse por parte de las administraciones competentes, disponiendo de financiación suficiente, para afrontar con garantías los retos que actualmente están planteados.

En cualquier caso tiene que ser capaz de adaptarse a los nuevos sistemas de comercio y a los nuevos mercados. Los hábitos actuales de consumo y las exigencias de los consumidores deben de ser la referencia fundamental que guíe este desarrollo; productos transformados, accesibles, de fácil almacenamiento, con garantías de salubridad son algunos de los requisitos que de manera ineludible tiene que poseer el producto de acuicultura. Todo esto sin olvidar incrementar los niveles de productividad ya que, como hemos dicho anteriormente, la globalización de los mercados ha acrecentado el nivel de competencia de manera muy significativa. Dichos mercados son cada vez más exigentes en todas las facetas de la producción y la comercialización, por lo que las cosas no solo hay que hacerlas bien, sino mejor que los demás.

En definitiva, la acuicultura está «condenada» a afrontar de manera inminente un gran desarrollo, lo que obliga a todos los implicados a establecer una estrategia a medio y largo plazo que confirme todas las expectativas que sobre esta actividad hay creadas.

TIPOLOGÍA Y CAPACIDAD PRODUCTIVA EN LAS EMPRESAS ANDALUZAS DEL SECTOR ACUÍCOLA

Antonio Concepción Toscano
Asociación de Empresas de Acuicultura Marina de Andalucía - ASEMA

RESUMEN

La acuicultura se puede convertir en un sector estratégico para la economía de Andalucía. En este artículo se hace un resumen de las capacidades productivas de las dos zonas piscícolas andaluzas y se ponen en relieve algunos de los retos a los que debe enfrentarse el sector de cara a su maduración empresarial.

SUMMARY

Aquaculture can become a strategic sector for the Andalusian economy. Therefore, this article summarizes the productive capacities in both fish farming areas of this region, bringing to the fore some challenges this sector will have to face to its full development.

1. Vertebración del sector acuícola andaluz

En primer lugar, quisiera destacar que la actividad acuícola marina comenzó a profesionalizarse en los años 80 y ya desde 1983 los empresarios entendieron que una actividad nueva y emergente debía contar con una entidad que respaldara a la misma y que, frente a las diferentes administraciones e instituciones, hablara por todos con una sola voz y con un solo propósito: garantizar el adecuado desarrollo de la actividad. Y así surgió la Asociación de *Empresas de Acuicultura Marina de Andalucía*, conocida como ASEMA, que desde sus orígenes viene trabajando en la defensa de los intereses de las empresas del sector.

Posteriormente, y conforme ha ido evolucionando la actividad y planteándose nuevos retos, los acuicultores y empresarios han ido creando los diferentes instrumentos necesarios para afrontar con garantías cada uno de ellos. Así pues, en el año 2001 se crea y constituye la *Organización de Productores de Piscicultura Marina de Andalucía*, reconocida por las administraciones en el año 2002 como tal al amparo de lo dispuesto en el Reg. (CE) 104/2000, siendo sus fines garantizar el ejercicio racional de la actividad, mejorar las condiciones de venta, programar la producción, promover la concentración y fomentar métodos de producción que favorezcan una acuicultura sostenible.

Del mismo modo, con la finalidad de complementar el buen trabajo de investigación básica que se ha ido desarrollando desde los orígenes de la acuicultura marina en los distintos centros de investigación, y considerando que el sector andaluz está compuesto por pymes –cuya capacidad de investigación y de inversión en I+D+i es limitada por la escasez de recursos económicos–, las empresas constituyeron en el año 2007 la *Fundación Centro Tecnológico de Acuicultura de Andalucía*, que se está constituyendo día a día como un motor importante de la investigación aplicada, impulsando y desarrollando proyectos que por sus características y tipología quedan fuera del alcance y ámbito de actuación de otras entidades de investigación, aunque siempre en estrecha colaboración con ellas.

Otro reto importante lo supone el proporcionar a la sociedad productos más saludables, con más garantías sanitarias, sostenibles y seguros para el medioambiente y en los que el bienestar animal quede patente en el método de producción. Hecho este que ha supuesto que en el año 2010 constituyéramos la *Asociación de Defensa Sanitaria Ganadera Acuícola de Andalucía* –conocida como Adsaqua– y cuyos principales fines son la mejora del estatus sanitario de nuestras explotaciones, así como de la higiene de los productos acuícolas y el bienestar de los animales. A través de

esta entidad, que ha sido creada a instancias de las propias empresas, pretendemos autoimponernos voluntariamente una serie de requisitos y obligaciones más allá de las impuestas por la normativa y que, además, nos inculque hábitos preventivos más que correctivos, sabedores de lo apropiado del dicho *más vale prevenir que curar*.

Ahora bien, este importante avance y toda esta vertebración sectorial que ha ido desarrollándose desde los años 80 no hubiera sido posible sin el concurso de los numerosos y excelentes organismos de investigación con los que cuenta nuestra CCAA y sin el decidido apoyo de las diferentes administraciones con implicaciones y competencias en la materia que han trabajado codo con codo con las empresas del sector y con sus representantes a fin de ir solventando todos aquellos problemas, dificultades y adversidades que nuestra actividad –por novedosa y desconocida– ha ido encontrándose.

Así pues, y espero acepten mis disculpas aquellos a los que pueda olvidar, es momento de agradecer el trabajo y esfuerzo de todos aquellos investigadores adscritos a los centros de investigación del IFAPA, a las universidades, al ICMAN-CSIC, al IEO y a los institutos de enseñanza por su excelente labor y contribución a nuestro sector.

2. Sistemas de cultivo

Desde el punto de vista de los cultivos marinos, Andalucía es una comunidad autónoma singular. Y digo esto porque el desarrollo de los mismos está directamente vinculado a las características geomorfológicas de nuestras costas. Así pues, el Estrecho de Gibraltar establece una división entre la zona occidental y la zona oriental que propicia que la tipología de los cultivos sea diferente.

Mapa 1. División de Andalucía a efectos de cultivos marinos: zona occidental y zona oriental



Fuente: elaboración propia.

La zona occidental, el litoral suratlántico, se caracteriza por disponer de una amplia plataforma continental, con importantes mareas, donde desembocan grandes ríos y donde existen zonas estuáricas, marismas, antiguas salinas, caños y esteros. Este hecho ha provocado que estos espacios sean compatibles con la producción de peces, crustáceos, moluscos, algas...

Por el contrario, la zona oriental, el litoral mediterráneo, se caracteriza por disponer de una reducida plataforma continental y un régimen mareal escaso, lo que propicia la colocación de elementos flotantes cerca de la costa, tales como viveros de mar, bateas y long-lines donde producir fundamentalmente peces y moluscos.

Los orígenes de la acuicultura marina en Andalucía –y en la Europa Mediterránea– se encuentran precisamente en el litoral Suratlántico. Y más concretamente en los *esteros*, el reservorio de agua de las antiguas explotaciones salineras donde se engordaba pescado que entraba en fase alevín a la instalación por captación natural gracias a las mareas y al manejo de la lámina de agua. Los primeros «aventureros» pensaron que si en estas zonas se captaban peces y este engordaba de manera natural, posiblemente sería posible introducir más alevines en el medio y obtener mayores producciones. Y ahí comenzaron las primeras investigaciones y ensayos.

Señalar que estas zonas estuáricas, intermareales, de caños y esteros, son también propicias para el cultivo de los moluscos y crustáceos y siempre han estado vinculadas a ellas los aprovechamientos marisqueros de almejas, ostiones, camarones y otras especies. Por tanto, al ser espacios favorables para la cría y obtención de estas especies, la actividad acuícola –una vez más gracias a la colaboración de los investigadores– también se dirigió hacia estas especies, floreciendo una industria acuícola vinculada a moluscos y crustáceos que perdura hasta nuestros días.

Tradicionalmente, en el caso de la piscicultura, se han descrito diferentes clasificaciones para los cultivos marinos, hablándose de cultivos extensivos, cultivos extensivos mejorados, cultivos semiextensivos o semiintensivos y cultivos intensivos. Y en ellas se hace alusión al método de cultivo, las densidades finales de los cultivos o al aporte o no de alimento artificial, etc pues hay que recordar que en los esteros el pescado allí obtenido también se alimenta de alimento vivo que encuentra en el rico medio en el que se encuentra (Macías Rivero, 2003 y Fernández y Ruesga, 1999). No obstante, en la actualidad, el sector habla únicamente de cultivo en tierra o esteros –donde especificamos «*estero tradicional*» cuando la captación de los alevines se produce de manera natural y, además, no hay aporte exógeno de alimento– y de cultivos en viveros de mar.

Así pues, hoy día, las antiguas explotaciones salineras de la zona occidental han sido transformadas a fin de obtener un mejor rendimiento acuícola, hablándose de acuicultura en tierra o, simplemente, de esteros y siendo este sistema de producción prácticamente exclusivo del arco suratlántico de la Península Ibérica. Como características principales, cabe señalar que el aporte de agua a la instalación se hace por aporte mareal o por bombeo y, una vez dentro del reservorio, la acción de la gravedad permite que el agua circule por la instalación. La densidad de cultivo es baja, pues está limitada por la disponibilidad de oxígeno, el volumen de agua, la temperatura, etc, lo que ocasiona que los rendimientos máximos se sitúen en torno a 4 o 5 kg/m³ y que se hable de cultivo semiextensivo o semiintensivo (García de Lomas *et al.*, 2010 y Macías Rivero, 2003).

Figura 1. Vista aérea de esteros para cultivos marinos en la Bahía de Cádiz



Fuente: José Beardo Grosso.

Paralelamente al desarrollo del engorde, y conjuntamente con los investigadores, se desarrollaron los criaderos o *hatcheries* y las instalaciones de preengorde o *nurseries*; es decir, aquellas instalaciones donde era posible –en esta ocasión gracias a tanques ubicados en tierra– la obtención de huevos, de alevines, de larvas, etc y que sirvieron para desarrollar igualmente una serie de cultivos auxiliares que resultan imprescindibles para la acuicultura –me refiero al cultivo de fitoplancton y de zooplancton–.

Hoy día podemos encontrar en Andalucía varias de estas instalaciones desde las que se abastece tanto el consumo interno o propio de cada explotación como el consumo externo, es decir, que se comercializan los alevines a nivel nacional e internacional, a fin de ser engordados en otras explotaciones.

No es hasta la década de los 90 cuando comienza a desarrollarse un nuevo sistema de producción en la zona mediterránea. Nos referimos a los viveros de mar, a las jaulas flotantes. De manera resumida, podemos decir que estas instalaciones de engorde de peces están formadas por una estructura compuesta por varias jaulas que se encuentran ancladas al lecho marino. En estas, el volumen de las redes y, por tanto, la disponibilidad de espacio para los peces es mucho mayor que en los esteros, lo que ocasiona que la densidad de cultivo sea bastante más elevada. Al ser este tipo de sistema de producción bastante reciente, los diámetros de las jaulas y el volumen de las redes ha variado mucho desde sus inicios. Esta variabilidad viene determinada por los avances producidos en la investigación en este campo, habiéndose pasado de diámetros iniciales de 12 m hasta los 50 m que utilizan algunas instalaciones. En estas ocasiones, y al no disponer de tantas limitaciones, la densidad de cultivo es mucho mayor, hablándose de cultivo intensivo y existiendo descritas densidades desde los 15-20 kg/m³ hasta 40 kg/m³ (Ruesga *et al.*, 2005).

Figura 2. Viveros de mar en la Provincia de Almería



Fuente: Alfonso Macías Dorado.

El cambio de siglo ha traído igualmente la incorporación de nuevos sistemas de producción en Andalucía. Nos referimos a los cultivos de moluscos en artefactos flotantes, tanto en bateas –análogas a las existentes en Galicia– como en log-lines, largas cuerdas flotantes de las que cuelgan otras en las que se produce el engorde de moluscos.

El cultivo del mejillón está regulado en Andalucía por la Orden de 10 de abril de 2006, por la que se establecen las condiciones para el cultivo del mejillón en la Comunidad Autónoma de Andalucía (*BOJA* núm. 76; 24 de abril de 2006), que determina una serie de polígonos en los que se autoriza y permite el desarrollo de la actividad. La Orden, publicada en el año 2006 y elaborada en base a los conocimientos y experiencias adquiridos hasta la fecha, contempla una serie de condicionantes técnicos que a día de hoy, junto con otros factores ambientales, han imposibilitado el adecuado desarrollo de la producción. Este hecho ha motivado que en la actualidad se esté trabajando en una modificación de la normativa que regula la actividad a fin de lograr que las condiciones de cultivo se adapten a las características y necesidades de la especie en nuestras costas. Así pues, una vez más asistimos a un trabajo conjunto y coordinado entre los empresarios y la Administración. Y dentro de unos años, si los cultivos se desarrollan técnicamente y fuera necesario adaptar nuevamente el marco normativo, estamos convencidos que la Administración trabajaría con el sector.

Figura 3. Long-lines para cultivo de moluscos en la Costa de Málaga



Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.

3. El sector y su capacidad productiva

Como ya hemos indicado, la actividad acuícola en Andalucía tuvo su origen en el arco suratlántico de la Península Ibérica con los primeros aprovechamientos de los esteros y salinas abandonadas. Eso propició que se creasen y constituyesen numerosas empresas de carácter familiar y tres o cuatro de mayor envergadura que supusieron el germen de la acuicultura mediterránea. Junto a este desarrollo piscícola, y de la mano de los investigadores, también se crean diferentes parques de cultivo de moluscos de carácter familiar y algunas cooperativas de pequeño tamaño. Ya unos años más tardes con el desarrollo de la acuicultura en mar comienzan a surgir empresas de pequeño y mediano tamaño –algunas a manos de empresarios procedentes del sector pesquero– y empresas dedicadas al cultivo de moluscos, que hoy día no terminan de consolidarse.

Es decir, que podemos afirmar que el sector acuícola marino andaluz es un sector muy atomizado y que está compuesto –en su inmensa mayoría– por empresas familiares y por pymes.

Destacamos aquí el papel de algunas empresas, tales como la gaditana Cupimar, considerada por el sector como la pionera en nuestro país y verdadero motor del desarrollo de la acuicultura mediterránea. Igualmente, de empresas de la zona de Huelva tales como Mariscos de Estero o Langostinos de Huelva, iniciadas en el cultivo del langostino pero reconvertidas con éxito a empresas productoras de peces. También en Sevilla hay que destacar el papel de la empresa Pesquería de Isla Mayor, que aprovecha de manera sostenible la inmensa extensión de la finca Veta la Palma. Digno de mención es también la apuesta que hiciera el grupo Pescanova, a través de su filial Acuinoval, por el desarrollo de la actividad en nuestra comunidad autónoma.

No obstante, es importante señalar que la tendencia a nivel europeo y nacional en estos últimos años es la creación de grandes grupos empresariales que tratan de posicionarse adecuadamente en los mercados. Andalucía no podía quedar ajena a este hecho y el grupo Culmarex lleva varios años trabajando en Andalucía a través de las empresas Piagua y Cultivos del Ponto, existiendo interés por parte de otros importantes grupos nacionales por encontrar espacios adecuados para su implantación en nuestra comunidad.

Esta variabilidad y atomización de empresas ocasiona que exista una verdadera diversificación en el sector acuícola andaluz de la que sentirse verdaderamente orgulloso, pues en Andalucía podemos encontrar una amplia variedad de peces, crustáceos, moluscos y algas que se obtienen gracias al aprovechamiento acuícola.

Según los datos que maneja la asociación nacional APROMAR, Andalucía ha sido hasta hace unos años la primera autonomía en niveles de producción, si bien en estos momentos es la cuarta pero, tal y como señalan las estadísticas de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, estamos ampliamente diversificados y contamos con todos los ciclos productivos; es decir, con la fase de *hatchery* o criadero, *nursery* o preengorde y engorde, como se aprecia en la Tabla 1.

Extrapolando estos datos a cifras económicas, señalar que la fase de criadero ha supuesto un volumen de negocio de casi 6 millones de euros en el año 2010, mientras que la fase de engorde unos 44 millones de euros, lo que representa una cifra de negocio de más de 50 millones de euros.

Subrayar que este volumen de negocio y estos datos económicos también tienen su traslado directo a las cifras socioeconómicas y de empleo de aquellas zonas donde se desarrolla la actividad, que por lo general son espacios –especialmente en los esteros de la zona occidental– donde es muy difícil desarrollar otros usos y actividades. Así, las cifras oficiales de la Junta de Andalucía cifran en 700 los empleos directos relacionados con la actividad para el año 2010 y, dado que la proporción de empleos indirectos asociados a la acuicultura es de 3 a 1, podemos estimar que son unos 2.100 empleos adicionales los que se sustentan de nuestra actividad, lo que arroja un balance total de casi 3.000 familias andaluzas que dependen del sector acuícola marino andaluz.

Tabla 1. Producción acuícola andaluza en el año 2010

<i>Hatchery</i> (incubación o cría)				
Peces				
Especie	Producción (uds.)	Producción comercializada (%)	Precio medio (€/ud.)	Valor (€)
Corvina	200.000			
Dorada	11.436.500			
Lenguado	80.000			
Lubina	4.077.100			
Peces	15.793.600			
Crustáceos				
Especie	Producción (uds.)	Producción comercializada (%)	Precio medio (€/ud.)	Valor (€)
Langostino tigre	12.657.000			
Crustáceos	12.657.000			
Total hatchery	28.450.600			

Tabla 1 (cont.). Producción acuícola andaluza en el año 2010

<i>Nursery (preengorde o semillero)</i>				
Peces				
Especie	Producción (uds.)	Producción comercializada (%)	Precio medio (€/ud.)	Valor (€)
Corvina	150.000	60,0	0,40	36.000,00
Dorada	19.946.749	82,6	0,20	3.264.411,72
Lubina	17.448.851	77,1	0,19	2.504.071,53
Peces	37.545.600	80,0	0,19	5.804.483,25
Crustáceos				
Especie	Producción (uds.)	Producción comercializada (%)	Precio medio (€/ud.)	Valor (€)
Langostino tigre	5.378.000	27,9	0,04	52.500,00
Crustáceos	5.378.000	27,9	0,04	52.500,00
Moluscos				
Especie	Producción (uds.)	Producción comercializada (%)	Precio medio (€/ud.)	Valor (€)
Ostión	800.000			
Moluscos	800.000			
TOTAL NURSERY	43.723.600	72,1	0,19	5.856.983,25
<i>Engorde</i>				
Peces				
Especie	Producción (kg)	Producción comercializada (%)	Precio medio (€/kg)	Valor (€)
Anguila	12.235	99,7	6,47	78.900,15
Atún rojo	231.000	100,0	11,26	2.600.000,00
Baila	47	100,0	2,44	114,60
Corvina	44.879	99,6	4,11	183.894,77
Dorada	3.098.411	100,0	4,65	14.402.984,11
Fúndulus	1.200	100,0	0,70	840,00
Lenguado senegalés	13.134	96,2	11,67	147.487,62
Lisas	145.706	98,5	3,57	512.887,51
Lubina	3.470.105	99,9	6,84	23.709.283,23
Pejerrey	1.000	0,0	0,00	0,00
Sardina	20	0,0	0,00	0,00
Sargo	912	100,0	1,74	1.583,70
Seriola	2.107	100,0	14,53	30.623,27
Peces	7.020.755	99,9	5,94	41.668.598,96

Tabla 1 (cont.). Producción acuícola andaluza en el año 2010

Crustáceos				
Especie	Producción (kg)	Producción comercializada (%)	Precio medio (€/kg)	Valor (€)
Camarón	75.244	100,0	2,64	198.440,00
Coñeta	100	100,0	5,00	500,00
Langostino	390	97,4	14,74	5.600,00
Langostino tigre	47.514	85,8	27,29	1.113.113,36
Quisquilla	1.000	100,0	27,20	27.200,00
Crustáceos	124.248	94,6	11,44	1.344.853,36
Moluscos				
Especie	Producción (kg)	Producción comercializada (%)	Precio medio (€/kg)	Valor (€)
Almeja fina	3.959	98,5	12,12	47.269,00
Almeja japonesa	12.093	100,0	6,33	76.579,00
Choco	50	100,0	7,00	350,00
Mejillón	756.679	99,7	0,69	516.868,44
Ostión	17.655	92,3	3,18	51.809,43
Pulpo	20	0,0	0,00	0,00
Zamburiña	54	100,0	11,93	638,00
Moluscos	790.510	99,5	0,88	693.513,87
Anélidos				
Especie	Producción (kg)	Producción comercializada (%)	Precio medio (€/kg)	Valor (€)
Gusana de Canutillo	5	100,0	100,00	500,00
Gusana de Sangre	6	100,0	166,67	1.000,00
Anélidos	11	100,0	136,36	1.500,00
Algas				
Especie	Producción (kg)	Producción comercializada (%)	Precio medio (€/kg)	Valor (€)
<i>Nannochloropsis gaditana</i>	1.100	100,0	450,00	495.000,00
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	75	100,0	450,00	33.750,00
<i>Tetraselmis chuii</i>	75	100,0	450,00	33.750,00
Algas	1.250	100,0	450,00	562.500,00
Total engorde	7.936.773	99,8	5,59	44.270.966,19
Valoración total de hatchery, nursery y engorde (€):				50.127.949,44

Fuente: Dirección General de Pesca y Acuicultura de la Junta de Andalucía.

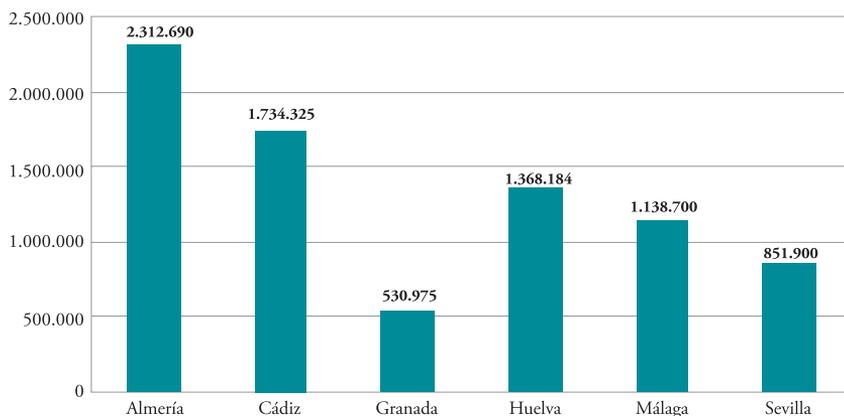
Refiriéndonos a la fase de engorde, que es el producto que llega a la red de distribución y comercialización, y atendiendo a la distribución por provincias, observamos que las provincias de Almería, Cádiz y Huelva son las principales productoras, seguidas de Málaga. Este hecho no hace sino reflejar la situación empresarial que antes hemos indicado, pues en la zona occidental tenemos numerosas pymes que producen en esteros y en la zona oriental tenemos dos principales empresas que están integradas en un gran grupo empresarial, con capacidad para acometer nuevas inversiones e ir aumentando progresivamente su capacidad productiva.

Tabla 2. Distribución provincial de la fase de engorde (2010). En kg

	Peces	Crustáceos	Moluscos	Anélidos	Algas	Total
Almería	2.312.690,0					2.312.690,0
Cádiz	1.341.745,0	4.501,0	386.817,5	11,0	1.250,0	1.734.324,5
Granada	530.974,9					530.974,9
Huelva	1.269.745,0	44.747,0	53.692,0			1.368.184,0
Málaga	788.700,0		350.000,0			1.138.700,0
Sevilla	776.900,0	75.000,0				851.900,0
Total	7.020.754,9	124.248,0	790.509,5	11,0	1.250,0	7.936.773,4

Fuente: Dirección General de Pesca y Acuicultura de la Junta de Andalucía.

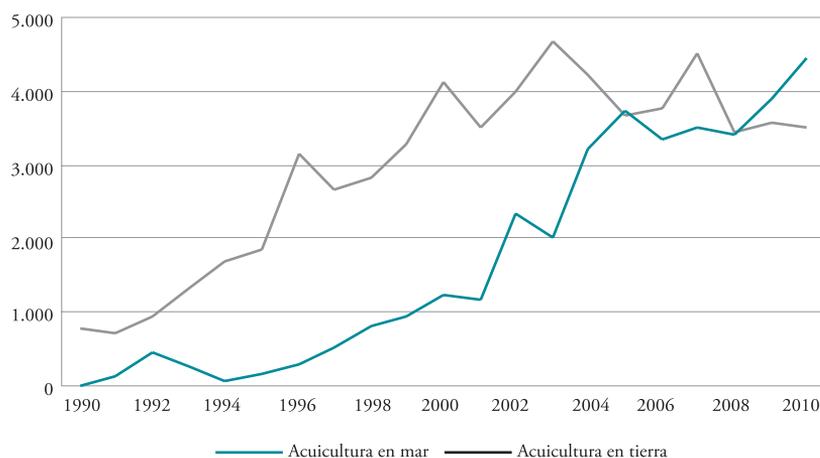
Gráfico 1. Distribución provincial de la fase de engorde (2010). En kg



Fuente: Dirección General de Pesca y Acuicultura de la Junta de Andalucía.

Representados de manera gráfica, estos datos se aprecian mejor y ya se avanza la idea de la paridad que existe entre la producción del cultivo en esteros –en la zona de Huelva, Sevilla y Cádiz– y el cultivo en viveros de mar –representado por las provincias de Málaga, Granada y Almería–, aspecto que recogemos en el gráfico 2.

Gráfico 2. Comparativa de la evolución de la producción en tierra (esteros) y en viveros de mar. En toneladas



Fuente: Dirección General de Pesca y Acuicultura de la Junta de Andalucía.

4. Aspectos limitantes y gobernanza

Al margen de las cuestiones técnicas y científicas –que no pretendemos abordar en este capítulo– la acuicultura marina, al ser una actividad novedosa, ha tenido que hacer frente a numerosos aspectos desde sus orígenes; aspectos que ha tratado de resolver gracias a una adecuada cooperación y coordinación con las diferentes administraciones. Y máxime cuando la actividad necesita y debe desarrollarse en espacios específicos donde también se desarrollan otras actividades de carácter socioeconómico. Y es fácil adivinar que el último en llegar tiene que hacer mayores esfuerzos por encontrar su sitio.

Pero, precisamente por esa especificidad en el espacio que necesita, la actividad está afectada por numerosa normativa de diversa índole y también por diferentes administraciones con competencia en la materia, tanto a nivel local, como regional,

nacional e incluso comunitario, lo que no hace sino limitar las posibilidades de desarrollo de la acuicultura.

Son numerosos los aspectos a considerar, pudiendo resumirse –de manera general– en tres grandes bloques:

Marco administrativo y legal

En muchos casos se dependen de concesiones administrativas y son numerosas las administraciones y organismos públicos involucrados. Los procedimientos son tediosos, largos y complejos, que desaniman a inversores. Además, existe una gran cantidad de leyes y normativa que afecta a la actividad.

Competencia con otros usos

Estamos ante una actividad novedosa que es muy desconocida para la ciudadanía y que tiene que desarrollarse en unos espacios donde ya se dan otras actividades socioeconómicas, lo que ocasiona que pueda haber conflictos al considerarse a la acuicultura como menos importante. Es decir, las autoridades tienden a potenciar otras actividades frente a la acuicultura y, además, estamos en una sociedad donde todo el mundo tiene algo que decir y, por desconocimiento, las opiniones no siempre son las que debieran.

Falta de seguridad jurídica en zonas costeras y humedales

Un aspecto concreto que afecta a la acuicultura andaluza, y especialmente a la acuicultura en tierra del litoral suratlántico, y que limita las inversiones es la falta de seguridad jurídica existente tras la publicación de la Ley 22/1988 de Costas y el Reglamento 1471/1989, de desarrollo de la Ley. Este hecho ha motivado que exista un conflicto por la propiedad de los espacios y el crecimiento se haya visto afectado.

Y ahora bien, ¿qué consecuencias tiene para el sector empresarial? Pues, lamentablemente, desde el año 2004 hasta la actualidad, los niveles de producción se encuentran estabilizados en torno a 7.500-8.000 toneladas/año y no se está creciendo al ritmo que debería. Son varias las razones que han provocado esta situación, pero una de las más importantes es la poca disponibilidad de adecuados emplazamientos y la restricción en el acceso a los mismos. Esto provoca que las empresas tengan una menor capacidad de crecimiento, tengan que conformarse con espacios considerados como menos óptimos para desarrollar la actividad, tengan peores condiciones de producción, tengan menor eficiencia en la producción, tengan unos mayores costes

de producción y una pérdida de competitividad frente a otros países. En definitiva, esta situación origina que las empresas no obtengan beneficios, con lo cual no pueden realizar inversiones en I+D+i para avanzar en cuestiones científico-técnicas relacionadas con el cultivo, no pueden afrontar inversiones productivas y, en definitiva, se limita su crecimiento y desarrollo.

Los empresarios entendemos que una de las principales soluciones pasa por realizar una adecuada Gestión Integrada de las Zonas Costeras (GIZC o ICZM, en inglés), pues a través de esta herramienta podrían coordinarse, resolverse y gestionarse adecuadamente la práctica totalidad de los aspectos que limitan la producción y, por tanto, el crecimiento de la actividad acuícola andaluza (UICN, FEAP, MAPA). En Andalucía ya se han realizado algunos estudios –a cargo de la Dirección General de Pesca y Acuicultura de la Junta de Andalucía– que han abordado la localización de zonas idóneas para el desarrollo de la actividad, analizando las posibles trabas administrativas y conflictos en el uso de espacios que pudieran plantearse, habiéndose incluso analizado algunas de las características fisicoquímicas y de batimetría, etc, de estos espacios. No obstante, el sector espera que la Junta de Andalucía, de manera decidida, declare Zonas de Interés para Cultivos Marinos, tal y como se recoge en la Ley 1/2002, de 4 de abril, de Ordenación, Fomento y Control de la Pesca Marítima, el Marisqueo y la Acuicultura Marina, pues así tendríamos menos procedimientos administrativos y nuestra actividad podría tener prioridad frente a otros usos, lo que estamos convencidos permitiría un mejor desarrollo y crecimiento del sector y las empresas.

Referencias bibliográficas

- MACÍAS RIVERO, J. C. (2003): «Tipos y sistemas de cultivo empleados»; en GAITEIRO, J. M y SANTIAGO, J. A., dirs.: *La acuicultura marina en Andalucía*. Sevilla, Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía; pp. 14-17.
- FERNÁNDEZ POLANCO, J. Y RUESGA, S. (coords.) (1999): «Especies y cultivo»; *La acuicultura: biología, regulación, fomento, nuevas tendencias y estrategia comercial Tomo I. Análisis del desarrollo de los cultivos: medio, agua y especies*.
- GARCÍA DE LOMAS MIER, J. M. (coord.) (2010): *Plan estratégico del sector de los productos y transformados del mar en la Bahía de Cádiz y su entorno económico: análisis acuicultura*. Cádiz, Fundación Centro Tecnológico de Acuicultura de Andalucía-Consejería de Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía.

- LOZANO SOLDEVILLA, G. (2005): «Características biológicas de las especies *Dicentrarchus labrax* (lubina) y *Sparus auratus* (dorada)»; en RUESGA, S., dir.: *Acuicultura marina mediterránea: producción, comercialización. Competencia internacional del sector español de la lubina y la dorada*. Madrid, Fundación Alonso Martín Escudero; pp. 1-21.
- UICN, FEAP y MAPA (2009): *Guía 2 para el desarrollo sostenible de la acuicultura mediterránea. Acuicultura: selección y gestión de emplazamientos*.

ACUICULTURA ECOLÓGICA EN EL MEDIO MARINO UN CASO PRÁCTICO DE PRODUCCIÓN EN EL MEDITERRANEO

María Dolores López Belluga
Grupo CULMAREX

RESUMEN

El proyecto piloto de crianza ecológica de dorada y lubina se desarrolla en la Piscifactoría de Aguadulce, Almería y consiste en la producción, certificación y comercialización de sendos lotes de dorada y lubina de crianza ecológica. El proceso de engorde hasta talla Real® (1 kilo) ha tenido una duración de tres años, durante los que se ha comparado el cultivo ecológico con el convencional. La certificación se ha realizado bajo la norma europea (CE) N° 834/2007 para la acuicultura ecológica, en vigor desde 1 de julio de 2010. La nueva marca ecológica ha permitido la introducción en el mercado de nuevos productos y el estudio de la capacidad y particularidades del mercado de la dorada y lubina ecológicas.

SUMMARY

Pilot project «Organic breeding of seabream and seabass» develops in Aguadulce, Almería. Project principal subjects are breeding, certification and marketing of a batch of sea bream and a batch of sea bass according with organic aquaculture rules (UE 834/2007). Project main goals are viability of a culture of seabass and seabream in the open sea according with European standards for organic aquaculture, characterization, from a nutritional, sensory and environmental point of view, for bream and bass and study of the capacity and special characteristics of the market for organic sea bream and sea bass.

1. La acuicultura del futuro, la acuicultura con futuro

La acuicultura es la fuente de proteínas animales con un crecimiento más rápido a nivel mundial, hoy en día aporta cerca de la mitad de todo el pescado consumido en el mundo. La producción global de pescado de acuicultura creció más del 60 por ciento entre los años 2000 y 2008, desde 32,4 millones de toneladas a 52,5 millones, según un informe presentado por la FAO en la conferencia mundial sobre la acuicultura celebrada en 2010 en Phuket, Tailandia.

Mientras continúa el incremento de la demanda de productos de la acuicultura, cada vez se reconoce más la necesidad de abordar la preocupación de los consumidores sobre la calidad e inocuidad de los productos y por la sanidad y bienestar de los animales, según el informe. De este modo, cuestiones como la inocuidad alimentaria, la rastreabilidad, certificación y el etiquetado ecológico adquieren cada vez mayor importancia y son consideradas prioritarias por muchos gobiernos.

La producción ecológica de animales de la acuicultura y algas marinas ha aumentado a gran velocidad en la última década, al igual que los mercados de estos productos. Si bien son muy pocos los datos fiables y detallados disponibles, fuentes de la industria estiman que la producción mundial de la acuicultura ecológica ha alcanzado las 50.000 toneladas.

La acuicultura europea se considera líder mundial en la producción de especies de alto valor (salmónidos, bacalao europeo, lubinas, doradas, rodaballo) y contribuye perceptiblemente al desarrollo global de la acuicultura con transferencia del conocimiento y de tecnología.

Existe pues un compromiso de unir esfuerzos, especialmente en los países con mayor capacidad tecnológica y trabajar en pos de una acuicultura con futuro, en una acuicultura sostenible.

«Desarrollo sostenible es la gestión y conservación de la base de los recursos naturales y la orientación de cambios tecnológicos e institucionales de manera que se asegure el logro y la satisfacción de las necesidades humanas para generaciones presentes y futuras. Dicho desarrollo sostenible (en sectores agrícolas, forestales y pesqueros) preserva los recursos de la tierra, el agua, así como los genéticos de plantas y animales, no degrada el medio ambiente, es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable» (FAO, 1997).

La necesidad de certificar las características de los productos se genera por la desaparición de las relaciones directas entre el productor y el consumidor, las que

constituían un factor de confianza para el consumidor. Por lo tanto se volvió necesario proponer herramientas con el fin de reasegurar las características de un producto.

2. El largo camino de la certificación

2.1. Normativa de aplicación

En 1991, la Unión Europea aprueba el primer Reglamento que regula las producciones ecológicas. Casi veinte años después, en 2009, adopta normas detalladas sobre la producción ecológica de animales de la acuicultura y algas marinas, por medio del Reglamento (CE) nº 710/2009 de la Comisión, que modifica el Reglamento (CE) nº 889/2008 por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) nº 834/2007, en lo que respecta a la fijación de disposiciones de aplicación para la producción ecológica de animales de la acuicultura y de algas marinas (publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea el 6 de agosto de 2009 y disponible en <http://eur-lex.europa.eu>).

La acuicultura ecológica en Europa se desarrolla sobre todo en salmónidos y hasta 2010 se produce bajo normas privadas disponibles para algunas especies como Naturland (Alemania) y Soil Association (RU) o normativas de los diferentes estados. En Andalucía, Piscifactoría de Sierra Nevada es pionera en la producción de trucha y esturión ecológico, los primeros productos certificados salen al mercado con el sello de la norma desarrollada por el Comité Andaluz de Agricultura Ecológica (CAAEE) en el año 2001. Posteriormente, en el año 2007 la Junta de Andalucía publica la Orden de 17 de septiembre, por la que se establecen las normas técnicas de producción marina ecológica.

El proyecto ecológico de Piagua nace al amparo de esta norma aunque no llega a certificarse bajo la misma ya que el 1 de julio de 2010 entra en vigor la normativa europea.

Por fin, la producción ecológica europea puede identificarse con un sello único que hace referencia a una normativa común.

La producción ecológica, biológica u orgánica, está definida en el Reglamento (CE) Nº 834/2007 como «un sistema general de gestión y producción de alimentos que combina las mejores prácticas ambientales, un elevado nivel de biodiversidad, la preservación de recursos naturales, la aplicación de normas exigentes sobre bienestar animal y una producción conforme a las preferencias de determinados consumidores por productos obtenidos a partir de sustancias y procesos naturales».

Figura 1. Logotipo europeo para los productos ecológicos



Fuente: Junta de Andalucía.

El Reglamento (CE) nº 710/2009 hace referencia a los principales aspectos a tener en cuenta para la producción ecológica de animales de la acuicultura y algas marinas.

Asimismo la propia normativa reconoce que la acuicultura ecológica es un campo relativamente nuevo de la producción ecológica comparada con la agricultura ecológica y por tanto la necesidad de realizar revisiones de la normativa actual teniendo en cuenta la experiencia y los conocimientos técnicos que se adquieran.

A continuación se explican los principales apartados de la norma y su aplicación en la experiencia piloto de crianza ecológica de Piscifactoría de Aguadulce:

- *Producción paralela o producción simultánea de animales de la acuicultura ecológicos y no ecológicos:* la producción paralela es posible siempre y cuando la autorice la autoridad competente. Para ello debe demostrarse que existe una clara separación física entre las unidades y no hay riesgo de contaminación cruzada entre las mismas. La autoridad competente, en este caso, la Secretaría General del Medio Rural y la Producción Ecológica estima la solicitud de la piscifactoría de Aguadulce y para ello tiene en cuenta el carácter piloto o investigador de la experiencia y las medidas adoptadas en la instalación que garantizan que no se va a producir contaminación cruzada entre unidades de producción eco y no eco.
- *Procedencia de los alevines:* los alevines ecológicos se pueden obtener: a partir de reproductores ecológicos, a partir de reproductores silvestres, a partir de reproductores no ecológicos que hayan sido gestionados ecológicamente durante al menos 3 meses. Cuando se inicia el proyecto no hay alevines

ecológicos en el mercado. Actualmente, en Europa, solo hay una *hatchery* de dorada y lubina ecológica, *Galaxidi*, en Grecia. En Piagua se considera que el riesgo de bioseguridad y coste energético de un transporte desde Grecia justifica que esta no sea una opción y se ha optado por estudiar la viabilidad de producir alevines ecológicos en el criadero del Grupo Culmárex, Acuicultura Balear.

- *Tratamientos veterinarios*: si surgen problemas sanitarios podrán utilizarse tratamientos veterinarios en el siguiente orden de preferencia:
 - 1) Sustancias de plantas, animales o minerales en una dilución homeopática.
 - 2) Plantas y sus extractos que no tengan efectos anestésicos.
 - 3) Sustancias tales como oligoelementos, metales, inmunoestimulantes naturales o probióticos autorizados.
 - 4) Los tratamientos alopáticos pueden ser empleados al máximo 2 veces al año (1 vez al año si el ciclo de producción es inferior a un año), con la excepción de las vacunaciones y los programas de erradicación obligatorios.

El empleo de tratamientos antiparasitarios está limitado a 2 o 1 vez al año si el ciclo de producción es inferior a 18 meses.

El tiempo de espera tras los tratamientos alopáticos y los tratamientos antiparasitarios será el doble del tiempo de espera legal y si este periodo no está especificado, 48 horas.

Si se utilizan medicamentos veterinarios, el uso debe ser declarado antes que los animales se comercialicen.

Se hace necesaria la investigación en la búsqueda de terapias alternativas de origen natural ya que no se han encontrado referencias bibliográficas al respecto y aunque es una práctica poco habitual en caso de surgir la necesidad de tratar dorada o lubina en mar abierto hay que recurrir a los tratamientos alopáticos.

- *La dieta*: se caracteriza por ser de menor energía que la utilizada de forma convencional en la instalación. La principal diferencia frente a una dieta tradicional, además del menor contenido en grasa, es la de estar compuesta en un 60 % por harinas y aceites de pescado procedentes de descartes de la industria alimentaria.

«Los piensos para los animales carnívoros de la acuicultura se obtendrán teniendo en cuenta las siguientes prioridades:

1. Piensos ecológicos procedentes de acuicultura.
2. Harina de pescado y aceite de pescado procedentes de despojos de la acuicultura ecológica.
3. Harina de pescado y aceite de pescado e ingredientes procedentes de peces derivados de despojos ya capturados para el consumo humano en pesquerías sostenibles.
4. Materias primas ecológicas de origen vegetal y animal recogidas en el anexo V (...). Máximo 60 % de ingredientes vegetales.

Hasta 31 de diciembre de 2014 (hasta el 30 %) puede utilizarse harina y aceite de pescado procedentes de despojos de la acuicultura no ecológica o despojos de pescado capturado para el consumo humano.

Está prohibido el uso de antioxidantes de síntesis: el único antioxidante autorizado en piensos ecológicos para peces es el tocoferol (vitamina D).

Este punto junto con el del origen de las harinas de pescado, son dos factores limitantes importantes para los fabricantes de dietas ecológicas debido a su escasez en el mercado y al alto riesgo de contaminación cruzada.

3. Proyecto piloto de crianza ecológica en piscifactoría de Aguadulce

En octubre de 2010 Piscifactoría de Aguadulce pesca y comercializa su primera dorada y lubina de crianza ecológica certificada. De esta forma se convierte en la primera granja española en sacar al mercado estos productos y en certificarse bajo la norma (CE) N° 834/2007.

Un año y medio antes, en un momento caracterizado por coincidir el comienzo de una gran crisis económica mundial y una fuerte crisis del sector acuícola nacional, el Grupo Culmárex realiza una decidida apuesta de futuro y con la ayuda de CDTI (Centro de Desarrollo Tecnológico Industrial) inicia el proyecto de crianza ecológica de dorada y lubina en la Piscifactoría de Aguadulce, Almería.

El proyecto nace con la intención, por parte del Grupo Culmárex, de diversificar su producción y continuar ofreciendo en el mercado productos de alta gama. Esta vez dorada y lubina de producción ecológica certificada.

El primer paso, antes de lanzarse una gran producción de dorada y lubina ecológicas es necesario conocer:

- Cómo funciona, a nivel productivo, un sistema ecológico; es decir, cómo crecen los peces, a qué nuevos parámetros de producción nos enfrentamos. De esta forma se podrán elaborar planificaciones de producción.
- Cómo funciona el mercado, cantidades, preferencias de acabado, precios, destinos, tipo de cliente... De esta forma se podrá hacer un plan de mercado.

En septiembre de 2009 se seleccionan dos unidades de producción dentro de una planta de cultivos tradicional. Durante todo el ciclo productivo, primero hasta talla ración y en el segundo año, hasta talla de un kilo, se comparan los parámetros productivos así como el tipo de pienso y la calidad obtenida de producto final con la de peces obtenidos mediante el sistema de cultivo tradicional.

Las unidades de crianza seleccionadas para realizar la experiencia ecológica, están situadas en sendos extremos de las flotillas, con el objetivo de establecer la máxima separación con respecto al resto de unidades de producción tradicional.

La estrategia de alimentación utilizada es la misma que en el resto de la granja, basadas en un modelo realizado con datos de la propia instalación y respetando el apetito de los peces. Los peces se alimentan con una plataforma de alimentación o con cañón, en ambos casos los silos utilizados son de uso exclusivo para el pienso ecológico.

La carga máxima autorizada en jaulas de producción ecológica es de 15 kg/m³ (Reglamento CE nº 710/2009). Antes de alcanzar esta carga se procede a «desdoblarse» la unidad, así pues las unidades de producción ecológica pasan a ser cuatro en la Piscifactoría Aguadulce.

Con los peces procedentes de muestreos se realizan controles sanitarios y de índice de condición rutinarios, los resultados obtenidos de los análisis macroscópico, microscópico y microbiológico no muestran alteraciones destacables que puedan originar una merma en la salud del pez.

No se producen mortalidades extraordinarias, pérdidas de apetito ni detecciones extraordinarias dentro de los controles rutinarios de la granja que conduzcan a un diagnóstico patológico.

Mensualmente, se realiza un seguimiento de parámetros biológicos lo que permite comprobar que el factor de conversión y el crecimiento son muy parecidos a los de los lotes de control.

Sin embargo, el coste medio de producción resulta entre un 20 y un 30 % superior.

Esto es debido a varios factores, principalmente dos:

- El alto coste de la dieta ecológica, aproximadamente un 30 % superior al de las dietas convencionales.
- Mayores costes indirectos, en esta prueba piloto se han tenido que desdoblarse las unidades ecológicas con el objetivo de no sobrepasar los 15 kg/m³ que es la carga máxima permitida según el reglamento CE 710/2009.

Desde un punto de vista zootécnico la acuicultura ecológica de dorada y lubina en mar abierto es viable y, si nos fijamos en parámetros de salud de peces y crecimiento, sus resultados son positivos. Sin embargo, los costes productivos resultan entre un 20 y un 30 % superiores a los de un cultivo convencional debido al alto precio de las dietas ecológicas y al aumento del coste indirecto debido a las bajas cargas de cultivo y a que el periodo de comercialización es muy alto.

A pesar de tener unas cantidades de $\omega 3$ y DHA+EPA totales muy parecidas a la de las doradas y lubinas de acuicultura convencional, las doradas y lubinas de crianza ecológica tienen menos $\omega 6$ con lo que su relación $\omega 3/\omega 6$ es superior, igualando, en el caso de la lubina, los valores de los peces salvajes.

4. Comercialización de dorada y lubina ecológicas

No hay que olvidar que con este proyecto la empresa persigue diseñar nuevos productos o formas de comercialización para satisfacer las exigencias de un nicho de mercado «diferente» al habitual.

Entonces surge la necesidad de certificar el producto. Para conocer el comportamiento del mercado, los productos deben ser comercializados con la certificación ecológica. En concreto la certificación europea.

En 2011 Piscifactoría de Aguadulce logra comercializar un total de 220 toneladas de doradas y lubinas ecológicas con la marca ECOLÓGICA CULMAREX. El diseño

de la imagen y la marca Ecológica Culmárex ha sido uno de los logros del proyecto ecológico, el resultado ha sido la nueva etiqueta de producto y el nuevo marchamo con el que se identifican los peces.

La dorada ecológica tiene buena aceptación en el mercado europeo especializado de productos ecológicos, sobre todo en cadenas de distribución de Alemania y Francia. A nivel nacional el principal cliente es la pescadería de una gran superficie y se han encontrado serias dificultades para llegar a pequeños comercios y cooperativas de productos ecológicos ya que no existe una sólida cadena de distribución. En estos, para dar respuesta a sus necesidades, ya que es un mercado con dificultades para acceder a productos frescos, se ha desarrollado un nuevo producto: dorada y lubina de crianza ecológica en conserva. Este producto es totalmente novedoso y está previsto su salida al mercado nacional en verano de 2012.

Una vez finalizado el proyecto piloto, Piscifactoría de Aguadulce plantea la conversión de una de las tres flotas de la instalación a la producción ecológica y, de esta forma, convertirse en la primera planta andaluza y del mediterráneo español con una producción de dorada y lubina ecológica con capacidad de abastecer al mercado nacional y de exportación durante todo el año.

Piscifactoría de Aguadulce tiene autorización de la Secretaría General del Medio Rural y la Producción Ecológica de la Junta de Andalucía para realizar producción paralela en sus instalaciones, de acuerdo con un estudiado plan de conversión progresiva a la producción ecológica, comprometiéndose a convertir la última jaula de la flota ecológica en octubre de 2013.

Figura 2. Dorada (izda.) y lubina (dcha.) de crianza ecológica



Fuente: Grupo Culmarex.

5. Discusión final

El crecimiento y en cierto modo la supervivencia de la producción de dorada y lubina ecológica, tal y como sucede para otras especies carnívoras como salmón y trucha, está íntimamente ligada a la capacidad de aprovisionamiento de materias primas para la fabricación de las dietas ecológicas. La disponibilidad de materias primas vegetales procedentes de la agricultura ecológica producidas en la misma región en la que se fabrican los piensos así como la disponibilidad de aceites y harinas de pescado procedentes de descartes de la industria alimentaria son recursos limitados.

La acuicultura ecológica de peces carnívoros, por tanto, está limitada en su crecimiento. El futuro de la acuicultura ecológica en Europa necesita un cambio de enfoque, una visión ecosistémica de la actividad puede ser la solución. En el caso de Piscifactoría de Aguadulce, acaba de iniciarse un proyecto de investigación que contempla el desarrollo de cultivos multitrofos integrados.

Referencias y enlaces de interés

- BERGLEITER, S. *et al.* (2009): «Organic Aquaculture 2009-Production and markets»; *Naturland e.V & Organic Services GmbH*.
- MANUAL DE CAPACITACIÓN: *certificación de calidad de los alimentos orientada a sellos de atributo de los valor en países de América latina*: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/ad094s/ad094s00.pdf>.
- PROGRAMA DE CANAL SUR: *cocinando lubina ecológica*: <http://www.youtube.com/watch?v=ncGV0RZyJ50&feature=related>.
- REGLAMENTO (CE) nº 710/2009.
- REGLAMENTO (CE) nº 889/2008.
- REGLAMENTO (CE) nº 834/2007, disponible en <http://eur-lex.europa.eu>.
- PROYECTO AQUANOSTRUM: *Boletín Electrónico sobre Acuicultura Sostenible y Ecológica* (2); septiembre 2010; <http://aquanostrum.malaga.es/>
- SUSTAINABILITY, COOKE: <http://www.youtube.com/watch?v=-Khwh0HLsjk&feature=plcp>.
- THE END OF THE LINE: <http://www.youtube.com/watch?v=oNWWMdEkOBA&feature=related>.
- UICN (2010): «Guía para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura Mediterránea 3»; *Acuicultura: Prácticas Responsables y Certificación*.

PRODUCCIÓN DE TILAPIAS EN INVERNADERO TECNOLOGÍA Y POTENCIAL APLICACIÓN EN EL SURESTE ESPAÑOL

Guadalupe López Díaz
Fundación Tecnova

RESUMEN

La producción bajo invernadero en áreas mediterráneas se encuentra centrada en la producción hortofrutícolas tradicionales. La rentabilidad de esta horticultura tradicional del área mediterránea se está viendo comprometida en los últimos años por factores como el incremento de costes de producción, la liberalización de los mercados, la entrada en producción de terceros países con menores costes estructurales,.... Como alternativa a la producción hortícola bajo plástico se ha realizado una valoración técnica y económica de diversificación de la actividad bajo las estructuras de producción: acuicultura de tilapia.

SUMMARY

Greenhouse production in Mediterranean area is focus in traditional horticultural crops. This activity has decreased its profitability and has been questioned in last years because several factors as the increasing production costs, free market agreements, new countries producing with lower structural costs,....As an alternative to the horticultural crops under greenhouse, an economical and technical evaluation has been performed in order to promote the diversification of greenhouse farmers in this structures: Tilapia Aquaculture.

1. Introducción

La agricultura en invernadero en áreas mediterráneas, y especialmente en el sureste español con el caso de la provincia de Almería, ha representado tradicionalmente uno de los motores económicos y de empleo de la región.

En los últimos años se ha vivido una paulatina reducción de la superficie cultivada produciéndose el abandono de algunas explotaciones. Aún a pesar de que el sector primario es uno de los sectores económicos más estables, la crisis económica actual ha dejado su huella en la producción hortofrutícola de alto rendimiento: incremento de los costes de producción, pérdida de la rentabilidad del agricultor, coyuntura de políticas de exportación en la Unión Europea de productos procedentes de terceros países, crisis de seguridad alimentaria como el reciente caso del *E.coli* en la campaña 2010/2011,...

En este marco de trabajo es necesario la búsqueda de nuevos escenarios que permitan relanzar la economía regional y generar nuevos puestos de trabajo. Para ello, debemos analizar cuáles son las fortalezas y oportunidades que se presentan alrededor del sistema productivo bajo invernadero en el sureste español. De un lado tenemos unas condiciones climáticas favorables y unas estructuras productivas, de otro lado encontramos un incremento en la demanda de productos procedentes de la acuicultura.

Con este punto de partida a lo largo de este capítulo analizaremos la viabilidad técnica y económica de una nueva actividad en los invernaderos del sureste español: la acuicultura.

Los datos presentados en este capítulo proceden de los resultados del proyecto de I+D+i, *Nuevas Alternativas en Acuicultura: Cultivo intensivo de tilapia bajo invernadero*, financiado por la Consejería de Innovación Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía, y con la colaboración del Centro Tecnológico de la Acuicultura de Andalucía y las empresas constructoras de invernaderos: Invernaderos Ferrer, Construcción de invernaderos Agro-Inver, Novedades Agrícolas, Tecnoponiente Invernaderos y Frada Invernaderos.

2. Situación de la acuicultura

La producción global de acuicultura ha crecido de manera espectacular desde menos de 0,6 millones de toneladas en 1950 (y un valor de menos de 400.000 euros), a los mencionados 73 millones de toneladas en 2009 (con un valor global aproximado de 88.120 millones de euros). Este hecho ha sido motivado tanto por el aumento de la población en el mundo como por el incremento en el consumo per cápita de pescado que en el año 2009 se situó en 17 kg según la FAO (*APROMAR, 2011*).

La acuicultura se perfila según la FAO como una actividad económica que contribuye de manera efectiva a la utilización eficaz de los recursos naturales, a la seguridad alimentaria y al desarrollo económico, con un limitado y controlable impacto sobre el medio ambiente. Asimismo, representa una importante fuente de alimentos ricos en proteínas, aceites, vitaminas y minerales para una población creciente y con problemas de malnutrición.

En relación a la producción, China es la principal productora de productos de acuicultura, con 45,3 millones de toneladas de producción en 2009, situándose España en la 19ª posición con 266.000 toneladas, de las cuales 43.888 corresponden a pescados marinos de crianza con especies como la dorada, lubina, rodaballo, corvina, lenguado o anguila. Estas especies, de elevada representación en la acuicultura española, ocupan sin embargo puestos por encima del 65 de las principales especies producidas mediante acuicultura en el mundo, ocupando los primeros puestos de esta clasificación especies como la laminaria japonesa, diferentes especies de carpas, y la especie objeto de este estudio, la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), que se sitúa en el séptimo puesto en volumen de producción con 2.542.960 toneladas.

En la actualidad la búsqueda de nuevas especies y producciones se centra en especies de cultivo con alimentaciones de bajo nivel de proteína animal, los cuales mejoran la calidad de los efluentes en los cultivos y propician una producción sostenible con el medioambiente. En este sentido, el cultivo de la Tilapia en España bajo condiciones controladas se presenta como una alternativa de estudio interesante, ya que tiene unas cualidades y aptitudes muy favorables para el éxito como su facilidad de cultivo, ya que se adapta fácilmente a una amplia gama de ambientes, cuenta con una alta tasa de reproducción, elevada resistencia a enfermedades, alta supervivencia y es capaz de desarrollarse adecuadamente en un amplio rango de calidades físico-químicas del agua. Además se trata de un producto de gran calidad (de carne blanca, sólida, de buen sabor y muy nutritiva) para el consumidor.

3. La acuicultura en invernadero, antecedentes y especies susceptibles de adaptación

El cultivo de especies acuícolas bajo invernadero a nivel internacional se centra en América (Norte y Sur). La mayor implantación de estructuras invernadas se presenta en el cultivo de camarón en el que se utilizan estructuras sencillas para proteger las balsas de cultivo (Figura 1). Asimismo son conocidas experiencias de acuaponía, es decir, cultivo combinado de peces y un sistema de riego hidropónico para el cultivo de hortalizas, habitualmente lechuga y tilapia, por ser una especie de elevada resistencia.

Figura 1. Vista general de invernaderos para el cultivo de camarón en las instalaciones del Cenaim, en Guayaquil (Ecuador)



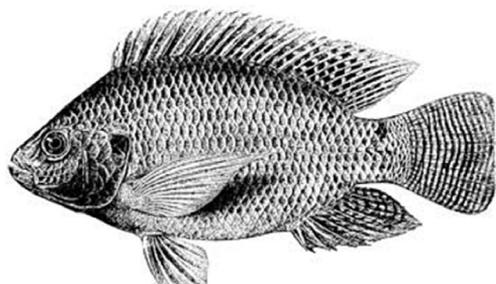
En el caso de España, el uso de invernaderos se encuentra limitado a algunas aplicaciones muy concretas, como es el caso de fases de cría de larvas o alevines de especies de dorada y lubina. En los últimos años se han desarrollado experiencias de investigación para el cultivo de diferentes especies acuícolas bajo invernadero por parte de algunas casas comerciales y organismos de investigación como el Aula del Mar de Málaga, la Universidad Politécnica de Madrid y el Centro Tecnológico Fundación Tecnova.

En cuanto a especies susceptibles de cultivo bajo invernadero la tilapia (*Oreochromis nilotica*) se ha convertido en la apuesta más segura, debido a su excelente capacidad de adaptación a diferentes medios y a su gran aceptación en los mercados (actualmente es la 7ª especie en importancia en producción acuícola). Otras especies con potencial de cultivo bajo invernadero en condiciones mediterráneas son la Carpa (*Ciprinus carpio*), la Tenca (*Tinca tinca*) o la Anguila (*Anguilla anguilla*).

4. Zootecnia del cultivo: tilapia del Nilo (*Oreochromis nilotica*)

Las tilapias son peces originarios de África que habitan en muchos países tropicales del mundo. Son peces de aguas cálidas pero toleran un amplio rango de temperatura del agua; son bastante resistentes a enfermedades, consumen una gran variedad de alimentos y toleran aguas con bajas concentraciones de oxígeno. La mayoría de especies de tilapia son tolerantes al agua salobre, algunas incluso resisten al agua de mar. Todos estos caracteres hacen de las tilapias animales idóneos para su explotación mediante sistemas de cultivo intensivos.

Figura 2. *Oreochromis nilotica*



Cl. Osteíctio
Or. Perciformes
Fam. Ciclidae
Gen. Oreochromis

Las principales especies de tilapia cultivadas son *Oreochromis aureus*, *O. mossambicus*, *O. niloticus*. Las tres se caracterizan por que las hembras incuban los huevos en el interior de su boca tras el desove y la fecundación. Los mantienen en la cavidad bucal hasta varios días después de la eclosión. Las hembras no ingieren alimento durante la incubación de los huevos. La especie más cultivada en todo el mundo es *O. niloticus*, que representa el 80 % de todas las tilapias cultivadas. Esta especie constituye una de las más resistentes, y con un mejor índice de conversión de alimento, es la que presenta mejores respuestas en cuanto a crecimiento y un excelente aprovechamiento del alimento natural y artificial, por eso su cultivo es el más extendido.

No obstante, no se suelen cultivar líneas puras de estas especies, como se ha comentado antes, lo más usual es cultivar híbridos de *O. niloticus* con *O. mossambicus* y *O. aureus*, ya que cada una de ellas proporcionan características interesantes para su cultivo. Por ejemplo la *nilótica* aporta un mayor crecimiento, *aureus* aporta una mayor resistencia a bajas temperaturas y la *mosambica* tolerancia a una mayor salinidad; además la obtención de híbridos hace que se desarrolle un cultivo compuesto casi exclusivamente por machos.

- *Características generales del medio de cultivo:*
 - *Temperatura:* se requiere que la temperatura del agua se mantenga dentro del rango que va desde los 22 °C a 33 °C, el rango óptimo para crecimiento es de 28-32 °C. aunque pueden tolerar temperaturas por encima y por debajo de este rango siendo el límite inferior de 12 °C (por debajo del cual dejarían de crecer).
 - *Salinidad:* tolera salinidades de hasta 20 ‰.

- *pH*: el rango de pH adecuado para la tilapia es de 6,5-8,5. Dependerá de la concentración en el agua de carbonatos, bicarbonatos y dióxido de carbono (CO₂)
- *Oxígeno disuelto*: toleran bajas concentraciones de oxígeno en el agua, no obstante, el contenido de este gas en el agua no debe ser inferior a 3 mg/l.
- *Amoniaco*: es un compuesto directamente excretado por los peces, aunque su presencia en determinadas concentraciones en el medio de cultivo es especialmente tóxica para ellos (bloquea el metabolismo, produce lesiones en branquias y órganos internos, altera el balance de sales, provoca inmunodepresión aumentando la vulnerabilidad a enfermedades y aumenta el riesgo de exoftalmia y ascitis). La tilapia admite valores de 0,01 mg/l (con 0,1 mg/l se producen ya efectos nocivos sobre mucosas y branquias, y a dosis de 0,5 mg/l sobreviene la muerte).
- *Nitritos*: altamente tóxicos por su papel como inhibidores del transporte de oxígeno por parte de la hemoglobina. Se recomienda mantener el nivel de estas sales de nitrógeno por debajo de 25 mg/l.
- ***Características biológicas:***
 - *Alimentación*: las larvas se alimentan de zooplancton mediante filtración. Los individuos adultos son omnívoros, se alimentan de zooplancton, fitoplancton, insectos y toleran muy bien la alimentación artificial, piensos con un bajo porcentaje en proteínas. Esto hace posible disminuir el contenido en harinas y aceites de pescado de los piensos, muy importante hoy día para conseguir que la acuicultura sea una actividad totalmente sostenible.
 - *Reproducción*: alcanzan la madurez sexual a los dos meses de vida, cuando miden unos 13 cm de longitud y han alcanzado un peso de unos 80-100 gramos; tiene una elevada capacidad reproductora. Las hembras incuban los huevos en la boca durante 48-72 horas hasta que eclosionan, manteniendo a las crías protegidas durante unos 7-12 días más. En climas con aguas constantemente calientes (rango óptimo de 25-29 °C) la reproducción se mantiene durante todo el año, desovando entre 3 y 10 veces al año, y cada hembra produce entre 1.500 y 10.000 huevos/año. La tasa de supervivencia suele ser bastante elevada.

Los parámetros óptimos de reproducción son:

- Temperatura: 24 a 29 °C.
 - Dióxido de carbono: 5 a 6 ppm.
 - Salinidad: 2-5 ppm.
 - Turbidez: 25 cm.
 - pH: 7-8 mg/l.
 - Amonio: 0,1 mg/l.
 - Nitritos: 4,6 a 5,0.
 - Alcalinidad y dureza: 80 a 100 mg de CaCO_3 /l.
- *Engorde*: las hembras presentan un menor crecimiento, esto unido a la elevada fertilidad de estas especies, que provocan la sobrepoblación de los estanques, hace que sea más conveniente el cultivo de poblaciones monosexo («todo machos»). Los cultivos monosexo se consiguen cultivando especies híbridas o bien mediante reversión sexual de los alevines.

5. Evaluación de estructuras invernadas en el área mediterránea para la cría de tilapia

Con objeto de valorar la viabilidad de implantación de acuicultura de tilapia en estructuras de invernadero en el área mediterránea como alternativa económica a la producción hortofrutícola debemos analizar el balance térmico, como limitante de la rentabilidad del cultivo.

Dentro del área mediterránea, España representa la mayor concentración de superficie de invernaderos con cincuenta y dos mil hectáreas, de las cuales aproximadamente el 52 % se sitúan en la provincia de Almería. La estructura de invernadero más interesante para su evaluación es el «invernadero tipo Almería», estructura que representa un 96,5 % de la superficie invernada de la provincia de Almería (*Baeza, 2007*).

La cría de tilapia exige unos condiciones térmicos elevados, como son el mantenimiento de la temperatura del agua en los tanques de cultivo en 26 °C, como temperatura óptima para el crecimiento.

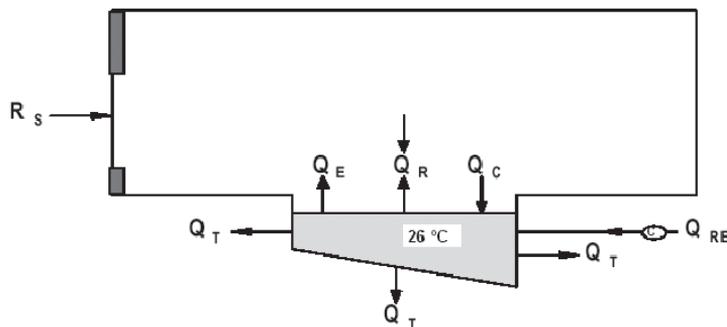
Realizando un balance térmico teórico del comportamiento de unos tanques de cultivo comerciales de tilapia situados en una estructura de invernadero a lo largo de un año climático tipo en condiciones de Almería se evalúa la viabilidad y rentabilidad del cultivo:

Las **condiciones de contorno** tenidas en cuenta en el estudio son:

- Temperatura de consigna del agua: 26 °C.
- Cultivo bajo invernadero tipo Almería (dimensiones del invernadero (32 x 32 m: 1.024 m²).
- Invernadero con plástico tricapa en cubierta y bandas, ventilaciones de malla antiinsectos.
- Estanques de cultivo: 14 tanques comerciales de las siguientes dimensiones 12 x 2 x 0,95 sobre tierra.
- Datos climáticos tomados de medias anuales de invernaderos de similares características al propuesto en la provincia de Almería.

Podemos detectar varios focos de pérdidas y ganancias de temperatura que establecen el balance térmico en los tanques de cultivo (Figura 3).

Figura 3. Balance de calor en estanques de cultivo



Q_E : Energía Térmica por evaporación de agua del vaso.

Q_R : Energía Térmica por radiación de calor por diferencias de temperatura.

Q_C : Energía Térmica por Convección entre agua y aire.

Q_T : Energía Térmica por Transmisión del agua del vaso.

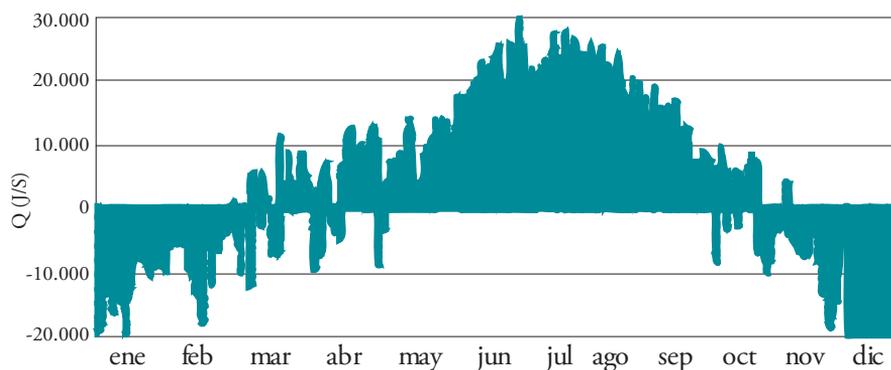
R_s : Energía Térmica por Radiación Solar (R_s).

Q_{RE} : Renovación de agua del vaso.

El *balance térmico* teórico de los tanques comerciales de tilapia en invernadero tipo Almería muestra los siguientes resultados:

En el Gráfico 1 se presenta el modelo térmico teórico para el año 2008 de un tanque de cría de tilapia bajo condiciones de invernadero Almería.

Gráfico 1. Flujo de calor total en tanque de cría



En el Gráfico 2 se representan en porcentaje las fuentes de pérdidas de calor en los estanques de cultivo.

En el Gráfico 3 se representan las temperaturas del agua obtenidas en un año climático medio bajo un invernadero tipo Almería (sin aportes térmicos adicionales).

Gráfico 2. Peso relativo de las fuentes de pérdida de calor. En porcentaje

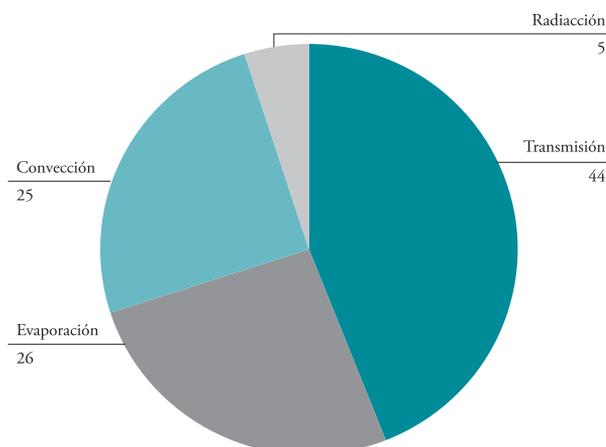
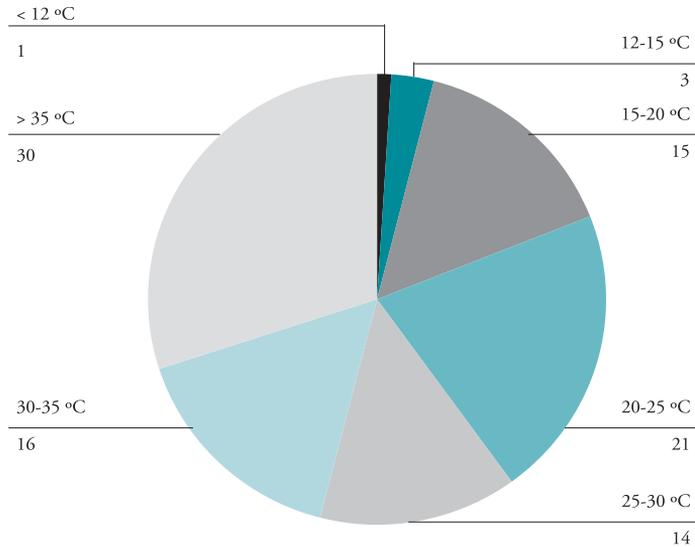


Gráfico 3. Temperatura del agua en los tanques sin aportes de calor. En porcentaje

Como conclusiones del estudio del balance térmico realizado para la cría de tilapia en invernaderos tipo Almería podemos establecer las siguientes:

- El cultivo de tilapia en invernaderos tipo Almería en el área mediterránea posee un elevado potencial, ya que las condiciones ambientales generadas en estas estructuras permiten, según los valores de simulación de balance térmico, un mantenimiento de la temperatura de los tanques de cría durante más del 60 % de los días del año. Los meses en los que se produce un balance negativo de calor (descenso de la temperatura del agua por debajo de 26 °C) son enero, febrero, noviembre y diciembre.
- Las estructuras tradicionales de invernaderos tipo Almería, pueden ser reutilizadas para la acuicultura de tilapia, realizando durante los meses más fríos un aporte térmico adicional (calefacción) para el mantenimiento del cultivo, y medidas correctoras para evitar las pérdidas de calor del agua de los tanques de cría, debidas fundamentalmente a fenómenos de transmisión y evaporación desde la lámina de agua. Como medidas correctoras se propone aislar térmicamente las paredes de los tanques de cría, y la utilización de mantas térmicas en invierno y mallas de sombreado en verano, sobre la superficie de agua para mejorar el comportamiento térmico y evitar pérdidas de agua por evaporación.

6. Investigación y futuro de la cría de tilapia en invernadero en España

Como hemos visto la cría de tilapia en invernaderos mediterráneos presenta un elevado potencial de implantación gracias a las condiciones favorables para su cultivo. Esta potencialidad ha suscitado gran interés comercial y como consecuencia la generación de investigaciones al respecto. Algunas de estas investigaciones más destacadas se presentan a continuación:

- Diseño de una estructura de invernadero específica para la cría de tilapia en condiciones mediterráneas, desarrollado por el Centro Tecnológico Fundación Tecnova. Con la información obtenida del comportamiento térmico de los tanques de cría de tilapia se ha propuesto una estructura de invernadero optimizada para el cultivo de tilapia. Esta estructura posibilita un mejor comportamiento de la temperatura del agua sin aportes térmicos adicionales y ofrece la posibilidad de integrar energías renovables como placas solares fotovoltaicas en la estructura del invernadero como medio de soporte térmico de apoyo.
- Alimentación de tilapias con residuos vegetales, desarrollado por el grupo de investigación ACUMA de la Universidad Politécnica de Valencia en el que se ha valorado el crecimiento de tilapia nilótica alimentada con restos vegetales como residuos de pepino, pulpa de naranja o restos hortícolas procedentes de la huerta valenciana.
- Proyecto Hidrotilapia (Proyecto de la UPM de Madrid en colaboración con la empresa NGS). El proyecto consiste en aprovechar los residuos que producen los peces, ricos en amoníaco, como alimento nitrogenado para el cultivo de plantas de fresón. Este circuito se establece de la siguiente forma: a los peces se les suministran alimentos concentrados en forma de pienso. La disolución nutritiva que va a las plantas, previa desinfección con ozono (O_3) (un gas que al descomponerse no deja residuos), se ajusta en cuanto a su contenido en sales minerales (macro y micronutrientes), pH y conductividad eléctrica, y se hace circular con la ayuda de una bomba hasta el lugar donde están las raíces de las plantas, que son las encargadas de absorber los nitratos y transformarlos en tallos, hojas, flores y frutos.
- Cultivo experimental del género *Oreochromis* «tilapia», como alternativa piscícola en el litoral andaluz (Proyecto del Aula del Mar de Málaga) en

el cual se han obtenido reproductores y valorado el cultivo de diferentes híbridos obtenidos (crecimiento, alimentación, posibles patologías, tiempo de crecimiento por fase, calidad de la carne...).

Referencias bibliográficas

- ABU HENA, M. D.; MOSTOFA, K.; GRAHAM, C. y MAIRB, T. (2005): «Salinity tolerance in superior genotypes of tilapia *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis mossambicus* and their hybrids»; *Aquaculture* (247); pp. 189-201.
- APROMAR. (2011): *La acuicultura marina de peces en España*.
- BAEZA, E. (2007): *Optimización del diseño de los sistemas de ventilación en invernadero tipo parral*. Tesis doctoral.
- CASTILLA, N. (2009): *Sistemas productivos en horticultura protegida*. XVIII Congreso Internacional CIPA.
- CASTRO RIVERA, R.; PAZ, J. y AGUILAR, G. (2004): «Evaluación del crecimiento de alevines de tres especies de Tilapia (*Oreochromis* sp.) en aguas duras, en la región de la Cañada»; *Acuatic* (20). Oaxaca, México; pp. 38-43.
- Dadzie, S. (1981): *Species combination in tilapia culture*. Department of Zoology. University of Nairobi. Nairobi, Kenya.
- FAO (2008): *The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA)*; Departamento de Pesca, Roma.
- VON ELSNER, B.; BRIASSOULIS, D.; WAAIJENBERG, D.; MISTRIOTIS, A.; ZABELTITZ VON, C.; GRATRAUD, J.; RUSSO, G. y SUAY-CORTES, R. (2000a): «Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries, part I»; *Design Requirements. J. Agric.*
- VON ELSNER, B.; BRIASSOULIS, D.; WAAIJENBERG, D.; MISTRIOTIS, A.; ZABELTITZ VON, C.; GRATRAUD, J.; RUSSO, G. y SUAY-CORTES R. (2000b): «Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries, part II»; *Design Requirements. J. Agric. Engng Res.* (75); pp. 111-126.
- WICKI, G. A. (1998): «Estudio de desarrollo y producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*)»; *Revista AquaTIC* (2).

CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y DETERMINANTES DE CALIDAD EN EL PESCADO DE CRIANZA

María Dolores Hernández Llorente
IMIDA

RESUMEN

En un cultivo de peces se pueden modificar los factores que influyen sobre la calidad del producto final teniendo, por lo tanto, un cierto control sobre la misma. El consumidor espera que los peces cultivados tengan unas características similares a los de vida libre. Sin embargo, aún existiendo una buena aceptación del producto cultivado, hay discrepancia entre la percepción subjetiva y objetiva de la calidad del pescado de crianza.

SUMMARY

In fish farming, the factors that influence the final quality of the product can be modified, allowing to have a certain control of this quality. Consumer expects that farmed fish have characteristics similar to free-living ones. However, although there is a good acceptance of the farmed fish, there is a discrepancy between objective and subjective perception of the quality of farmed fish.

1. Introducción

Según las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en el año 2009 el 19,6 % del volumen de la producción acuícola y pesquera total de la Unión Europea (UE) fue de productos procedentes de la acuicultura. España es el Estado miembro de la UE con mayor producción en acuicultura, seguido de Francia y Reino Unido. En algunas comunidades autónomas, la relevancia económica y social de la acuicultura supera ya a la de la pesca. Según el último informe APROMAR («La acuicultura marina de peces en España, 2011»), la producción en 2009 de productos acuícolas en España fue de 266.479 toneladas, y un valor comercial de 413 millones de euros.

La calidad del pescado es un concepto complejo en cuanto a que engloba numerosos atributos y características que la determinan. En términos generales, «calidad del pescado» se refiere a la apariencia estética y de frescura, o al grado de deterioro que ha sufrido (Huss, 1995). Su percepción depende, por un lado, de la persona que la valora (comprador, intermediario, procesador o consumidor) y de las necesidades que esta tenga del producto en cuestión, y, por otro lado, del tipo de producto. Por tanto, los requerimientos de calidad pueden tener distinta importancia según el momento de la cadena de suministro y distribución, que además varían mucho entre países (Olafsdottir *et al.*, 2004). Para el consumidor, la calidad del pescado implica seguridad, calidad nutricional, disponibilidad, conveniencia e integridad, frescura, palatabilidad, y los atributos físicos más evidentes como los propios de la especie, el tamaño y el tipo de producto (Bremner, 2000).

La calidad del pescado depende en mayor medida de los factores *ante mortem* que la carne de los animales de sangre caliente, debido en parte a que los peces son más sensibles al entorno que los animales domésticos y las aves (Suárez, 2006). Estos factores pueden ser intrínsecos (como la especie, el tamaño, y la maduración sexual) y extrínsecos (como la fuente de nutrientes, la estación del año, la salinidad del agua, la temperatura, etc.), y pueden influir en parámetros de calidad como la composición química, la textura o el color, entre otros (Børresen, 1992). En este sentido, los productos procedentes de la acuicultura presentan una ventaja frente a los de pesca extractiva, ya que se producen bajo condiciones más controladas.

2. Calidad nutritiva

Las especies marinas representan un grupo de alimentos importante en la dieta humana por su aporte en constituyentes fundamentales como aminoácidos y ácidos grasos esenciales, vitaminas liposolubles y minerales. Según el estudio «Hábitos de consumo y compra de los productos pesqueros en la población española» realizado por el Fondo de Regulación y Organización del Mercado de los productos de la pesca y cultivos marinos (FROM, 2011), la principal razón del consumo de pescado es precisamente el hecho de querer llevar una dieta sana.

2.1. Porción proteica

El pescado constituye una importante fuente de proteínas, tanto por su alto contenido (15-20 % en peso húmedo) (Ordóñez, 1998) como por la calidad de estas, debido a su alto contenido de aminoácidos esenciales, de forma que con 200-250 g de carne de pescado se cubren las necesidades diarias de aminoácidos (Zamora y Rubio, 2006). La composición de aminoácidos es similar entre las distintas especies.

Las proteínas del músculo del pescado se dividen en tres grupos. Las proteínas sarcoplásmicas o hidrosolubles (20-30 % del total) poseen características similares a las de los productos cárnicos, aunque con menores cantidades de proteínas coloreadas (mioglobina y citocromo C) (Ordóñez, 1998). Estas proteínas están constituidas por enzimas que juegan un papel importante en los cambios de sabor del pescado almacenado, pero son poco relevantes para la textura. Las proteínas miofibrilares (65-75 % del total), sin embargo, están constituidas por los mismos tipos (actina, miosina y tropomiosina) y proporciones que en la carne, aunque en mayor cantidad (Ordóñez, 1998). Las proteínas contráctiles actina y miosina son más sensibles a la desnaturalización y a la proteólisis que las de la carne (Suárez, 2006). La alteración de la textura del pescado está directamente relacionada con los cambios producidos en este tipo de proteínas, por lo que son de gran importancia desde el punto de vista nutritivo y tecnológico. En cuanto al tejido conectivo, constituido por las proteínas del estroma, la proporción es menor en pescado (3 % en gádidos-10 % en elasmobranquios) que en mamíferos, y es más débil y fácil de romper, por lo que se desgrana más rápidamente y a temperaturas más bajas (Ordóñez, 1998). Además, el pescado es menos rico en colágeno que el de la carne, por lo que la textura del pescado es generalmente más tierna (Suárez, 2006).

2.2. Lípidos

En un cultivo intensivo, los peces tienen un aporte constante de alimento lo cual los capacita, entre otras cosas, para mantener grandes reservas de lípidos. Sin embargo, los peces salvajes están sujetos a fluctuaciones constantes tanto en la disponibilidad como en la composición del alimento, las cuales afectan a la composición de su músculo. Generalmente el contenido en lípidos de los peces cultivados es mayor que sus homólogos de vida libre (Haard, 1992). Se considera que la cantidad de grasa del músculo influye en propiedades sensoriales como la textura y el sabor (Ackman, 1990) de manera que a mayor cantidad de grasa, disminuye la firmeza del músculo.

La influencia de la dieta en la salud humana ha incrementado el interés de la población por el consumo de alimentos saludables y por la calidad nutricional de estos. El pescado es una excelente fuente de proteínas y lípidos, y ha recibido especial atención por su contenido en ácidos grasos altamente insaturados de cadena larga (HUFA) de la serie n-3. Dentro de estos, los ácidos grasos eicosapentaenoico (EPA, C20:5n-3) y docosahexaenoico (DHA, C22:6n-3) tienen una función nutritiva importante en la dieta, ya que son esenciales para el ser humano. Debido a su carácter antitrombótico y antiinflamatorio, el consumo de pescado ha sido muy recomendado para la prevención de enfermedades crónicas de origen cardiovascular. También se ha sugerido un efecto positivo en la diabetes, cáncer y enfermedades degenerativas relacionadas con la edad (Simopoulos, 2005; Kris-Etherton y col., 2009).

En los últimos años, la disminución de la disponibilidad mundial de aceites y harinas de pescado para la fabricación de los piensos de acuicultura ha obligado al sector a la búsqueda de fuentes alternativas. Según los resultados aportados para dorada, es posible sustituir hasta un 69 % del aceite de pescado por aceites vegetales como los aceites de soja y colza sin que afecte al crecimiento o al índice de conversión (Fountoulaki *et al.*, 2009). Sin embargo, la sustitución del aceite de pescado por aceites vegetales modifica la composición de ácidos grasos del pescado de forma que los ácidos grasos EPA y DHA disminuyen. Pero como, de manera general, el producto de acuicultura tiene un mayor porcentaje de grasa en el filete, esto compensa la disminución en estos ácidos grasos siendo necesaria una menor ingesta para cubrir las necesidades de HUFA n-3.

Aparte de cubrir los requerimientos de EPA y DHA, es importante mantener una baja relación n-6/n-3. Según diversos estudios las dietas de nuestros ancestros primitivos contenían cantidades similares de n-6 y n-3 (ratio de 1-2/1), pero debido a un mayor consumo de alimentos con un alto contenido de ácidos grasos n-6, esta

ratio ha ido incrementando hasta niveles de 15-16,7/1 en los países occidentales (Simopoulos, 2006). Frente a esta situación, nutricionistas de todo el mundo han recomendado la ingesta de productos marinos por su alto contenido en HUFA n-3, que contribuya a disminuir el ratio $n-6/n-3$. Existe una relación directa entre el perfil de ácidos grasos de la dieta del pez y la composición de ácidos grasos del pescado (Regost *et al.*, 2004) por lo que, en el caso del pescado de crianza el perfil de ácidos grasos del músculo debe ser controlado mediante la formulación de los piensos, presentando los aceites vegetales altos contenidos en ácido linoleico (LA, C18:2n-6). Pero la producción de un pescado con un alto contenido en ácido linoleico contribuiría al desajuste $n-6/n-3$ en la dieta. El pescado de crianza tiene un ligero peor $n-6/n-3$ que el proveniente de pesca extractiva. En cualquier caso, esos valores pueden considerarse totalmente óptimos.

2.3. Contenido en agua

El agua es el nutriente más abundante en el pescado (53-80 % del total), y uno de los más variables con la especie y la época del año, dándose una relación inversamente proporcional entre el contenido de agua y el de grasa (Ordóñez, 1998).

2.4. Vitaminas y minerales

Los minerales más abundantes son calcio, fósforo, sodio, potasio y magnesio y en cantidades traza pueden encontrarse yodo, hierro, cobre, flúor, cobalto y cinc. En general, los productos de origen marino son los alimentos naturales más ricos en yodo (Ordóñez, 1998). Respecto al contenido en vitaminas destacan las del grupo B y las liposolubles A y D, sobre todo en los pescados grasos. Por ejemplo, los aceites de hígado de pescado, como el de bacalao, son excelentes fuentes de vitamina A (Ordóñez, 1998).

3. Seguridad

Uno de los objetivos del Plan Nacional de Cultivos Marinos (JACUMAR) «Caracterización de la calidad del pescado de crianza» (2008-2012) financiado por la Secretaría General del Mar, ha sido determinar los niveles de contaminantes del pescado de crianza y de las mismas especies de pesca extractiva. Para ello, se analizaron

los niveles de contaminantes orgánicos y metales pesados en la fracción comestible de pescados de las especies cultivadas mayoritariamente en España. Además del origen (pesca extractiva o crianza), se evaluaron las posibles diferencias entre el sistema de crianza, la localización geográfica de la granja de engorde y la época del año.

Los resultados de cadmio y plomo obtenidos ($<0,01$ y $<0,04$ respectivamente), tanto en pescado procedente de pesca extractiva como de crianza, están por debajo de los límites de cuantificación del método reglamentado oficialmente, y más aun de los límites establecidos en el Reglamento (CE) 1881/2006 de la Comisión de 19 de diciembre de 2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios, concretamente para la carne de pescado en 0,30 y 0,05 mg/kg peso fresco respectivamente. En cuanto a los valores de mercurio, estos oscilan entre el mínimo de 0,01 mg/kg de peso fresco para la dorada salvaje y el máximo de 0,27 mg/kg para la lubina salvaje, datos por debajo del límite señalado en el citado reglamento de 0,50 mg/kg de peso fresco para carne de pescado.

Entre los PCB analizados, los congéneres 101, 105, 118, 138, 153, 156 y 180 fueron detectados en las muestras analizadas, mientras que no sucedió así para los más tóxicos, congéneres 77, 126 y 169. Teniendo en cuenta que el Reglamento (CE) 1881/2006 establece un máximo de 4 pg/g de peso fresco, se está muy lejos de ser considerado conflictivo.

4. Calidad sensorial

Un aspecto fundamental en la calidad de un alimento son sus características sensoriales. Su percepción, aun siendo muy variable entre potenciales consumidores, puede ser cuantificable mediante el análisis sensorial.

4.1. *Propiedades sensoriales del pescado*

Las características sensoriales del pescado de crianza pueden ser modificadas o, al menos, controladas. El cultivo de peces, como proceso productivo que es, puede actuar sobre la calidad del producto final. Como el consumidor espera que los peces procedentes de cultivos tengan las mismas características que los salvajes, es importante conocer las diferencias sensoriales entre los peces salvajes y de crianza. De forma general (ver Grigorakis, 2007), pero dependiendo de la especie, los peces salvajes muestran una textura más firme, más sabor y un color más oscuro. Mientras que los cultivados

tienen un carácter graso más intenso con mayor olor y sabor aceitoso. Esto puede estar motivado por el estilo de vida: los peces salvajes nadan continuamente, lo cual le da una mayor firmeza a su carne y un tono más oscuro, con mayor proporción de músculo rojo. La mayor cantidad de grasa en los peces cultivados le aporta, además de menor firmeza, una apariencia más blanca. Además, el perfil de volátiles de los peces salvajes contiene un mayor número de componentes que contribuyen al sabor del pescado (Grigorakis *et al.*, 2003).

4.2. Percepción del consumidor

En nuestro país una importante parte del pescado que se consume procede de la acuicultura; sin embargo, se conoce muy poco sobre las creencias del consumidor español sobre este sistema de cría y la imagen de calidad de los productos que de él se derivan. Por ello, otro de los objetivos del Plan Nacional de Cultivos Marinos (JACUMAR) «Caracterización de la calidad del pescado de crianza» antes mencionado, ha sido evaluar la percepción que tienen los consumidores de la calidad del pescado en general y del pescado de crianza en particular.

Las características sensoriales, especialmente el sabor y la textura, se identificaron como uno de los principales factores limitantes en la aceptación del pescado de crianza. Es de destacar que algunos de los aspectos que fueron citados como ventajas o motivos en el consumo de pescado por algunos consumidores, fueron también citados como inconvenientes o barreras por parte de otros. Así, el pescado de crianza se percibió como una opción más económica, más controlada, con menos parásitos, con menos metales pesados y menos contaminado por los vertidos marinos que el pescado de pesca extractiva. El pescado salvaje se describió principalmente como aquel de mayor calidad, mayor sabor y menor carácter artificial (Claret *et al.*, 2009; Guerrero *et al.*, 2009). En general se constata el correcto conocimiento de ambos productos por parte de los consumidores en algunos aspectos y su gran desconocimiento en otros. El país de origen parece ser el factor más importante para los consumidores, mientras que el método de obtención posee menos importancia. El pescado ideal para los consumidores españoles es aquel que se presenta fresco, ha estado obtenido mediante pesca extractiva y tiene origen español (Claret *et al.*, 2012).

Los resultados obtenidos muestran la existencia de diferencias sensoriales entre los peces salvajes y de crianza, cuando se evalúan sin información, prefiriéndose en todos los casos el pescado de crianza por encima del de pesca extractiva. Sin embargo, cuando se informa al consumidor sobre el origen del pescado que va a degustar los resultados

cambian, en el sentido de otorgar una mayor puntuación al proveniente de pesca extractiva, aunque en ningún caso penalizando al de acuicultura (Claret *et al.*, 2011).

Estos resultados indican que, si bien desde el punto de vista sensorial, el sector debe mostrarse optimista, sí que es preciso mejorar la imagen del pescado de crianza entre los consumidores.

Referencias bibliográficas

- ACKMAN, R. G. (1990): «Seafood lipids and fatty acids»; *Food Rev. Int.* 6(4); pp. 617-646.
- APROMAR (2011): «Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos»; *La acuicultura marina de peces en España 2011*. España.
- BØRRESEN, T. (1992): «Quality aspects of wild and reared fish»; en HUSS, H. H.; JACOBSEN, M. y LISTON, J., eds.: *Quality assurance in the fish industry*. London, UK; pp. 1-17.
- BREMNER, H. A. y SAKAGUCHI, M. (2000): «A critical look at whether 'freshness' can be determined»; *Journal of Aquatic Food Product Technology* (9); pp. 5-25.
- CLARET, A.; GUERRERO, L.; AGUIRRE, E.; RINCÓN, L.; HERNÁNDEZ, M. D.; MARTÍNEZ, I.; PELETEIRO, J. B.; GRAU, A. y RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, C. (2012): «Consumer preferences for sea fish using conjoint analysis: the importance of country of origin, obtaining method, storage conditions and purchasing price»; *Food Quality and Preference* (26); pp. 259-266.
- CLARET, A.; GUERRERO, L.; GUÀRDIA, M. D.; HERNÁNDEZ, M. D.; AGUIRRE, E.; GINÉS, R.; OLMEDO, M.; GRAU, A.; RODRÍGUEZ, C. y MARTÍNEZ, I. (2009): «Assessment of the Advantages and Disadvantages of Fish Consumption by Spanish Consumers»; *8th Pangborn Sensory Science Symposium*. Florencia, Italia.
- CLARET, A.; GUERRERO, L.; HERNÁNDEZ, M. D.; AGUIRRE, E.; RIAL, E.; FERNÁNDEZ, C.; GRAU, A.; RODRÍGUEZ, C. y RINCÓN, L. (2011): «Consumers' acceptability of wild and farmed sea fish in blind and informed conditions»; *9th Pangborn Sensory Science Symposium*. Toronto, Canadá.
- DO L 32 (2006): Reglamento (CE) No 199/2006 de la Comisión de 3 de febrero de 2006 que modifica el Reglamento (CE) n° 466/2001 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios por lo que se refiere a dioxinas y PCB similares a dioxinas.

- FENOLL, J.; HERNÁNDEZ, M. D.; CAVA, J.; MARTÍNEZ, M.; MOLINA, M. V.; HELLÍN, P. y FLORES, P. (2010): «Levels of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in farmed fish from Murcia Region»; *European Pesticide Residue Workshop (EPRW)*. Strasbourg, Francia.
- FENOLL, J.; HERNÁNDEZ, M. D.; CAVA, J.; MARTÍNEZ, M.; MOLINA, M. V.; HELLÍN, P. y FLORES, P. (2010): «Organochlorine contaminants (PCBs and OCPs) in captured and farmed fish from Spain»; *36th International Symposium on Environmental Analytical Chemistry*. Roma, Italia.
- FOUNTOULAKI, E.; VASILAKI, A.; HURTADO, R.; GRIGORAKIS, K.; KARACOSTAS, I.; NENGAS, I.; RIGOS, G.; KOTZAMANIS, Y.; VENOS, B.; y ALEXIS, M. N. (2009): «Fish oil substitution by vegetable oils in commercial diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.); effects on growth performance, flesh quality and fillet fatty acid profile. Recovery of fatty acid profiles by a fish oil finishing diet under fluctuating water temperatures»; *Aquaculture* (289); pp. 317-326.
- FONDO DE REGULACIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL MERCADO DE LOS PRODUCTOS DE LA PESCA Y CULTIVOS MARINOS (FROM) (2011): *Hábitos de consumo y compra de los productos pesqueros en la población española*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, España.
- GRIGORAKIS, K.; TAYLOR, K. D. A. y ALEXIS, M. N. (2003): «Organoleptic and volatile aroma compounds comparison of wild and cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*): sensory differences and possible chemical basis»; *Aquaculture* (225): pp. 109-119.
- GRIGORAKIS, K. (2007): «Compositional and organoleptic quality of farmed and wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and factors affecting it: A review»; *Aquaculture* (272); pp. 55-75.
- GUERRERO, L.; CLARET, A.; HERNÁNDEZ, M. D.; AGUIRRE, E.; RINCÓN, L.; PÉREZ, E.; GRAU, A.; RODRÍGUEZ, C. y FERNÁNDEZ C. (2009): *Creencias de los consumidores españoles sobre el pescado de crianza en comparación con el de pesca extractiva*. XII Congreso Nacional de Acuicultura. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Haard, N. F. (1992): «Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish»; *Food Research International* (25); pp. 289-307.
- Huss, H. H. (1995): «Quality and Quality Changes in Fresh Fish»; *FAO Fisheries Technical Paper* (348). Roma, Italia.

- KRIS-ETHERTON, P. M.; GRIEGER, J. A. Y ETHERTON, T. D. (2009): «Dietary reference intakes for DHA and EPA»; *Prostaglandins, Leukotrienes, and Essential Fatty Acids* (81); pp. 99-104.
- OLAFSDOTTIR, G.; NESVADBA, P.; NATALE, C. D.; CARECHE, M.; OEHLenschLÄGER, J.; TRYGGVADÓTTIR, S. V.; SCHUBRING, R.; KROEGER, M.; HEIA, K.; ESAIASSEN, M.; MACAGNANO, A. Y JORGENSENG, B. M. (2004): «Multisensor for fish quality determination»; *Trends in Food Science and Technology* (15); pp. 86-93.
- ORDÓÑEZ PEREDA, J. A. (1998): «Características generales del pescado»; en *Tecnología de los alimentos 1*(II). Vallehermoso, Madrid.
- REGOST, C.; JAKOBSEN, J. V. Y RORA, A. M. B. (2004): «Flesh quality of raw and smoked fillets of Atlantic salmon as influenced by dietary oil sources and frozen storage»; *Food Research International* (37); pp. 259-271.
- SIMOPOULOS, A. P. (2005): «Omega-3 polyunsaturated fatty acids»; en CABALLERO, B.; ALLEN, L. Y PRENTICE, A., eds.: *Encyclopedia of Human Nutrition 2*(1); pp. 205-219. Oxford, Elsevier.
- SIMOPOULOS, A. P. (2006): «Evolutionary aspects of diet, the omega-6/omega-3 ratio and genetic variation: nutritional implications for chronic diseases»; *Biomedicine and Pharmacotherapy* (60); pp. 502-507.
- SUÁREZ MEDINA, M. D. (2006): «Calidad nutricional en peces cultivados: influencia de las condiciones del cultivo»; en ZAMORA NAVARRO, S.; MARTÍNEZ LÓPEZ, F. J. Y RUBIO FERNÁNDEZ, V. C., eds.: *Acuicultura III: cultivo y alimentación de peces*. Murcia, España.
- ZAMORA NAVARRO, S. Y RUBIO FERNÁNDEZ, V. C. (2006): «La acuicultura en la alimentación humana»; en ZAMORA NAVARRO, S.; MARTÍNEZ LÓPEZ, F. J. Y RUBIO FERNÁNDEZ, V. C., eds.: *Acuicultura III: cultivo y alimentación de peces*. Murcia, España.

PRODUCCIÓN DE MICROALGAS CON APLICACIONES NUTRICIONALES PARA HUMANOS Y ANIMALES

María del Carmen Cerón García
Universidad de Almería

RESUMEN

Las microalgas son un diverso grupo de microorganismos fotosintéticos capaces de captar la luz solar para sintetizar reservas de energía tales como carbohidratos, lípidos o proteínas. A diferencia de los cultivos vegetales tradicionales, aquellas pueden ser cultivadas en sistemas de cultivos abiertos, como balsas o lagos, o en sistemas de cultivo cerrados altamente controlados con los que se alcanzan mayores productividades y en condiciones climáticas y regiones donde otros cultivos no pueden llevarse a cabo, tales como áreas desérticas o costeras. Hoy en día, el consumidor demanda alimentos más naturales con beneficios para la salud y, en consecuencia, se espera que la microalgas desarrollen en el futuro un importante papel en la industria alimentaria y farmacéutica.

SUMMARY

Microalgae are a diverse group of photosynthetic microorganisms capable of capturing sunlight to synthesize energy reserves such as carbohydrates, lipids or proteins. Unlike traditional crops, those can be grown in open culture systems such as ponds or lakes, or in closed culture systems with highly controlled conditions to achieve higher productivity and climatic conditions and regions where other crops cannot be carry out, such as desert or coastal areas. Today, consumers demand more natural food with health benefits and, therefore, are expected to develop in the future microalgae an important role in the food and pharmaceutical industries.

1. Introducción

Las microalgas son seres unicelulares muy variados en tamaño y forma, que existen en casi todos los hábitats conocidos, principalmente acuáticos, tanto marinos como dulceacuícolas o a veces bajo tierra. Las microalgas podrían caracterizarse por los siguientes rasgos:

- a) son seres principalmente fotoautotróficos (en menor medida heterótrofos), estimándose que el 90 % de la fotosíntesis total de la tierra es realizada por estos vegetales acuáticos;
- b) son seres con gran capacidad de producción de biomasa; a pesar de que la biotecnología de microalgas es similar a la agricultura convencional, las microalgas tienen muchas ventajas sobre las plantas terrestres. Ellas crecen con mayor rapidez por su facilidad de división, tienen mayor productividad que los cultivos tradicionales y pueden obtenerse en condiciones climáticas y regiones donde los cultivos no pueden hacerlo, tales como los desiertos o zonas costeras. Una de las principales ventajas de la microalgas es que sostienen (*hold*) el exceso del CO₂ atmosférico y producen O₂, que ayudan a reducir el efecto invernadero;
- c) son seres de composición compleja que encuentran un campo de actuación bastante amplio en la nutrición humana y animal, pudiendo ser comestibles las algas verdes (*chlorophyta*) y las cianobacterias. Por un lado contienen pigmentos útiles tales como clorofilas y carotenoides (xantofilas, carotenos y astaxantina), pertenecientes a las especies *Chlorella vulgaris*, *Haematococcus pluvialis*, *Dunaliella salina*, *Isochrysis galbana* y *Diacronema vlkianum*. También contienen sustancias de alto valor biológico, tales como ácidos grasos poliinsaturados, proteínas, antioxidantes, vitaminas y minerales. Por otro lado, recientes estudios indican que las microalgas podrían ser usadas para producir biodiesel e hidrogeno;
- d) son seres con gran plasticidad metabólica, constituyendo por ejemplo, la materia prima para obtener biodiesel y un importante eslabón formando el fitoplancton en la cadena trófica en acuicultura y
- e) el número de taxones es elevado, existiendo gran variedad de especies catalogadas y disponibles. Se cuentan hasta ahora más de 30.000 especies de microalgas sobrepasando las 10.000 especies de cianofíceas y clorofíceas, representando en la actualidad un recurso prácticamente inexplorado, ya

que son solo unas pocas las estudiadas y aprovechadas comercialmente, aproximadamente unas 50 especies han sido estudiadas con detalle desde el punto de vista fisiológico y bioquímico.

El éxito del mundo de la biotecnología de microalgas radica en elegir la correcta especie con relevantes propiedades para que, en condiciones específicas de cultivo, produzca los compuestos de interés. El mercado de la biomasa de microalgas tiene un tamaño de aproximadamente 5.000 toneladas/año de materia seca y genera un volumen de ventas de aproximadamente $1,25 \times 10^9$ dólares/año (Pulz y Gross, 2004).

La biotecnología de microalgas ha adquirido una considerable importancia en las últimas décadas. Las aplicaciones van desde la producción de simple biomasa para alimentos, piensos para animales o productos de valor para aplicaciones ecológicas. Considerando la enorme biodiversidad de microalgas y los recientes desarrollos en ingeniería genética, este grupo de organismos representa una de las fuentes más prometedoras para nuevos productos y aplicaciones. Con la investigación de sofisticados cultivos y técnicas de búsqueda de cepas, la biotecnología de microalgas ya puede satisfacer las altas exigencias de las industrias alimentaria y farmacéutica. Entre otras aplicaciones podemos citar la industria cosmética, la acuicultura, el tratamiento de aguas residuales, la bioremediación de suelos, los biocombustibles, etc. Pero en este trabajo nos centraremos en la principal forma de comercialización: la nutrición humana y animal.

2. Composición bioquímica de microalgas

Si comparásemos la composición bioquímica de las microalgas con la de los alimentos tradicionales sería posible que estas fueran capaces de aumentar el contenido nutricional de los alimentos tradicionales e incluso afectar positivamente tanto a la salud humana como a la animal. Esto es debido a su original composición química. La Tabla 1 presenta una comparativa entre la composición general de fuentes nutritivas para humanos y las diferentes especies de algas comestibles (Spolaore *et al.*, 2006; Becker, 2007 y Gouveia *et al.*, 2008).

El alto contenido proteico de varias especies microalgales es una de las principales razones para considerarlas como una fuente de proteína no convencional. A su vez, el perfil de aminoácidos de casi todas las algas es más favorable que el comparado con las fuentes convencionales. Los carbohidratos en microalgas pueden ser encontrados en forma de almidón, glucosa, azúcares u otros polisacáridos. Su digestibilidad es alta,

por lo que no hay limitación de uso en preparados alimenticios tanto para animales como para humanos. Los lípidos en las microalgas están compuestos de glicerol, bases esterificadas de ácidos grasos saturados e insaturados (12 a 22 átomos de carbono). Entre todos los ácidos grasos en microalgas tienen especial interés algunos de las familias $\omega 3$ y $\omega 6$ (ácido eicosapentaenoico, 20:5n3 o ácido docohexaenoico, 22:6n3). La cantidad y la relativa proporción de ácidos grasos pueden estar afectadas por factores nutricionales y medioambientales, por ejemplo la limitación por nitrógeno, estrés producido por un exceso de luz o salinidad que pueden producir un aumento considerable del contenido en ácidos grasos (ejemplo de plasticidad metabólica).

Tabla 1. Comparación de la composición bioquímica de fuentes nutricionales convencionales humanas y de algunas microalgas comestibles marinas y de agua dulce. En porcentaje en peso seco

Especies comestibles	Composición Bioquímica		
	Proteínas (%)	Lípidos (%)	Carbohidratos (%)
Levadura de panadería	39	1	38
Carne	43	34	1
Leche	26	28	38
Arroz	8	2	77
Soja	37	20	30
Chlorella vulgaris	51-58	14-22	12-17
Haematococcus pluvialis	48	15	27
Dunaliella salina	39-61	14-20	14-18
Spirulina maxima	60-71	4-9	8-14
Chlamydomonas reinhardtii	48	21	17
Scenedesmus obliquus	50-56	12-14	10-17
Porphyridium cruentum	28-39	9-14	40-57

3. Aplicaciones de las microalgas

3.1. Biomasa microalgal

La biomasa de microalgas, que se suele comercializar en polvo o en forma de grageas comprimidas (Figura 1), es el producto predominante en la biotecnología microalgal.

Figura 1. Formas más comunes de presentación de microalgas (grageas o en polvo)



Spirulina sp.



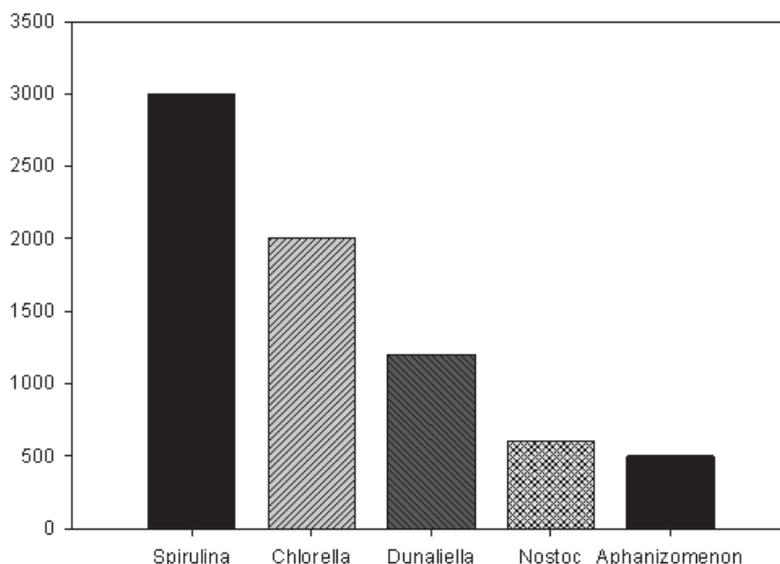
Haematococcus pluvialis



Chlorella pyrenoidosa

Esta biomasa es cosechada de aguas naturales, de lagos artificiales o fotobio-reactores con la correspondiente separación del medio de cultivo y posterior secado. Para quitarle la humedad a la biomasa existen diversos mecanismos de secado: al sol o liofilizando o por *spray*, preservándose sus propiedades en estas dos últimas operaciones básicas.

Gráfico 1. Producción anual mundial de biomasa de microalga. En toneladas/año



El Gráfico 1 presenta una estimación a groso modo de las producciones de microalgas más importantes del mundo. El producto final de la producción de biomasa tiene una coloración determinada (en función de la cepa), por ejemplo, verde o

rojo-anaranjado que se comercializa principalmente en el mercado de la alimentación humana saludable.

4. Alimento dietético

En los inicios de los años cincuenta los humanos comenzaron a usar microalgas en sus dietas, principalmente como suplementos dietéticos (proteicos y vitamínicos), en forma de polvo, capsulas, pastillas o tableta (Pulz y Gross 2004). Estas suelen ser incorporadas en alimentos tales como pasta, galletas, pan, caramelos, yogures o refrescos. A su vez, a día de hoy, se estima que aproximadamente el 30 % de las algas producidas en el mundo es usado en nutrición humana debido a su alto contenido en proteína.

Spirulina sp. y *Chlorella* sp. son cultivadas extensamente para uso alimenticio. Mientras que *Spirulina* posee grandes cantidades de 18:3n6 (GLA), tiene falta de cantidades de ácidos grasos ω -3, tales como el ácido eicosapentaenoico (20:5n3, EPA) o el ácido docohexanoico (22:6n3, DHA).

La especie más empleada para este fin es la cianobacteria *Spirulina*, la cual se usa como alimento de alto valor proteico en poblaciones de México y África Central. Hoy día, la mayor instalación comercial para la producción de biomasa de *Spirulina* con fines alimenticios se encuentra en el lago Texcoco (México). Otros importantes países productores son Taiwán, Estados Unidos, Tailandia, Japón e Israel, alcanzando una producción global de 850 toneladas/año (Richmond, 1986). *Spirulina* cuando es incorporada en los alimentos ayuda al tránsito digestivo estimulando el desarrollo de diferentes especies lactobacilas. También presenta diversas aplicaciones terapéuticas. Así, se comercializan compuestos nutracéuticos a base de *Spirulina* con propiedades como la protección anticancerígena por su contenido en β -caroteno (Richmond y Becker, 1986), la prevención de malnutrición en vitamina A y niveles de azúcar en sangre, la estimulación de ciertas prostaglandinas (PGE₁), la prevención de enfermedades degenerativas y la cicatrización acelerada de heridas (Yoshida, 1977).

Por otro lado, la microalga *Chlorella* se comercializa como preparado multivitamínico en Japón y Taiwán, y como alimento dietético en otros países occidentales. Su producción a escala comercial está relativamente extendida en el sudeste asiático. *Chlorella* sp., *Chlamydomonas reinhardtii* o *Stichococcus mirabilis* producen antibióticos, al igual que determinados ácidos grasos, como el EPA, que muestran también propiedades antibióticas. De la microalga *Porphyridium* se extrae la enzima superóxido

do dismutasa (SOD), utilizada como terapéutico frente a distintas enfermedades. Microalgas como *Scenedesmus*, *Muriellopsis* o *Chlorella* producen luteína, pigmento que previene la formación de cataratas o diversos tipos de cánceres (Granado *et al.*, 2003; Krinsky *et al.*, 2003).

5. Papel de los PUFAs de microalgas en la salud humana

En las dos últimas décadas evidencias médicas demuestran que el consumo de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga omega-3 (LC-PUFAs) previene enfermedades cardiovasculares (Shahidi y Miraliakbari, 2004), cáncer (Roynette *et al.*, 2004), infartos (Hankey y Jamrozik, 1996), diabetes (Seo *et al.*, 2005), enfermedades inflamatorias (Nagel *et al.*, 2003), desorden neuropsiquiátrico (Reddy y Yao, 2003). Actualmente la mejor fuente de los PUFAs son los alimentos de origen marino. En países desarrollados como Australia, EEUU, o Reino Unido el consumo de alimentos de origen marino es muy bajo. En Australia, por ejemplo, la dosis media de consumo de los dos más beneficiosos PUFA omega-3, ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA), es 30 mg/día (Australian Bureau of Statistics, 1995). Sin embargo, no ha sido aún recomendada la dosis diaria para EPA y DHA. Por ejemplo, el rango puede variar desde 450 mg/día recomendado por la agencia de alimentación del Reino Unido, hasta los 500 mg/día por la Sociedad Internacional para el Estudio de los Ácidos Grasos y Lípidos (ISSFAL), o 650 mg/día del combinado de EPA y DHA por grupos de expertos de Australia, quienes indicaron que el DHA debería representar un mínimo de 220 mg (Simopoulos *et al.*, 1999).

El contenido en lípidos de las microalgas se ve influenciado por los distintos factores ambientales en los que se desarrollan los cultivos, afectando tanto a la producción relativa de ácidos grasos como a su contenido total.

Con respecto a la luz, no se puede decir que exista una pauta de comportamiento general y los efectos dependen de la especie en estudio. Sin embargo, en estudios realizados con *Isochrysis galbana* y *Phaeodactylum tricornutum* se ha observado como el aumento de la intensidad media en el seno del cultivo favorece la poliinsaturación de los ácidos grasos, además de reducirse el contenido en lípidos totales (Molina Grima *et al.*, 1994b).

Respecto al nitrógeno, su limitación en el medio hace aumentar la síntesis de lípidos en las microalgas. Sin embargo, aunque el contenido en lípidos puede aumentar con esta limitación, la eficiencia de los cultivos disminuye debido a la menor

productividad de biomasa originada por reducirse la velocidad de crecimiento. Pohl (1974) informa que para el fitopláncton marino, concentraciones de nitrógeno en el agua superiores a 400 μ molar favorecen la síntesis de PUFAs, mientras que por debajo de esta, se ven favorecidos los ácidos grasos saturados y monoinsaturados.

También existen variaciones en los ácidos grasos encontrados en función de la especie estudiada. Así, *Porphyridium cruentum* y *Porphyridium aeruginosum* poseen altos niveles de ácido araquidónico (20:4n6), palmítico (16:0), oleico (18:1) y linoleico (18:2n6). En cambio, las crisofíceas tienen altos contenidos relativos de docosahexaenoico (22:6n3), y docosatetraenoico (22:4n6).

El ácido eicosapentaenoico tiene importantes aplicaciones comerciales en el mercado de alimentos dietéticos, se utiliza como complemento alimentario en acuicultura y como sustrato de síntesis en la industria farmacéutica. En los últimos años se viene trabajando tanto en su purificación a partir de aceites de pescado (Nisshing Oil Mills, 1986) como en su posible obtención a partir de microalgas que son los organismos que lo sintetizan y lo introducen en la cadena alimenticia marina (Robles Medina *et al.*, 1995).

Actualmente la fuente comercial de ácidos grasos poliinsaturados es el aceite de pescado, el cual es rico en estas sustancias debido a que los peces se nutren en una proporción elevada de fitopláncton marino que es el organismo que en origen los sintetiza. Desgraciadamente, la mayoría de los aceites de pescado que se producen hoy día se destinan a la producción de margarinas vía hidrogenación (Yongmanitchai y Ward, 1989), por lo que no se satisface la demanda mundial de estos compuestos.

Cabe por tanto pensar en el fitoplancton marino como fuente potencial de ácidos grasos poliinsaturados, cuya principal dificultad estriba en la selección o mutación de la especie adecuada y en el desarrollo de sistemas de cultivo apropiados. Las ventajas de las microalgas como fuente de EPA respecto de los aceites de pescado son diversas. En primer lugar, el EPA obtenido a partir de microalgas se encuentra libre de colesterol, del olor propio del pescado, así como de diferentes tóxicos que tienden a acumularse en las grasas del pescado y facilita además una biomasa de composición homogénea lo cual simplifica en mucho los procesos de extracción y purificación posteriores.

6. Pigmentos procedentes de microalgas

Como organismos fotosintéticos, las microalgas contienen una serie de pigmentos captadores de la luz que suelen encontrarse en bajas concentraciones, si bien, bajo

ciertas condiciones fisiológicas, pueden acumularse en la célula alcanzando concentraciones considerables. Aparte de las clorofilas, los pigmentos más importantes desde el punto de vista comercial son las ficobiliproteínas (pigmentos antena que se encuentran en cianobacterias y algas rojas, como la ficocianina y la ficoeritrina) y los carotenoides (carotenos y xantofilas que actúan en las células como fotoprotectores y pigmentos antena, de los que existen unos 400 diferentes). Sin embargo, solo unos cuantos son utilizados comercialmente, como el β -caroteno, la zeaxantina, la astaxantina, la cantaxantina y la luteína.

β -caroteno: la microalga *Dunaliella bardawil* (= *Dunaliella salina*) puede acumular hasta un 10 % de su peso seco en forma de β -caroteno, lo que la convierte en una potencial fuente de este pigmento ha estimulado una gran inversión comercial (Cohen, 1986). Esta microalga ha sido cultivada para la obtención y comercialización de β -caroteno por diversas empresas (Richmond, 1990): Koor-Foods Ltd. (Israel), Microbio Resources, Inc. (Estados Unidos), Cyanotech Corp. (Estados Unidos), Western Biotechnology Ltd. (Australia), Betatene Ltd. (Australia) y Martek Corp. (Estados Unidos). La empresa Microbio Resources Inc. empleaba una cepa de *D. salina* mejorada por mutación y selección con un 20 % de su peso seco en forma de β -caroteno. El β -caroteno de *Dunaliella* presenta las formas *cis* y *trans*, mientras que el sintético solo presenta la forma *trans*. Esta microalga es cultivada en estanques abiertos gracias a que se trata de un organismo halotolerante capaz de crecer con concentraciones 3 M de NaCl, lo que evita la competencia con otras algas (Borowitzka, 1986). A pesar de ello, el β -caroteno obtenido de *Dunaliella* no es económicamente competitivo frente al fabricado sintéticamente, y su mercado depende de la aceptación de su consumo a un coste más elevado como producto «natural» frente al pigmento sintético. Su utilización comercial comprende el empleo como colorante alimentario natural, fuente de vitamina A (se trata del precursor de esta vitamina) y como fármaco antioxidante en la prevención del cáncer (Krinsky 2003; Spolaore *et al.*, 2006)

Astaxantina: Es un carotenoide de alto valor añadido con aplicaciones en la industria nutracéutica, cosmética y alimentaria. Esta xantofila se encuentra en muchas microalgas en muy bajas cantidades. *Haematococcus pluvialis* es la única microalga que se ha explotado comercialmente para la producción de este pigmento ya que su contenido en él puede contener hasta un 3 % del peso seco de la biomasa y cultivada a escala industrial (Del Campo *et al.*, 2007; Olaizola y Huntley, 2003). Por ejemplo, la empresa estaounidense Microbio Resources Inc. ha realizado cultivos de esta microalga con esa finalidad (Richmond, 1990). Este compuesto se utiliza en acuicultura para dar pigmentación a la carne de los peces.

La ingesta de astaxantina, acumulada en elevadas cantidades por la microalga *Haematococcus pluvialis*, resulta efectiva contra el cáncer de mama (Chew *et al.*, 1999). Por último, varios productos derivados de cianobacterias son activos *in vitro* contra el virus del SIDA. Estos productos activos se han identificado como glucolípidos pero no se han descrito hasta ahora ni su modo de acción ni el componente activo. Los contenidos en astaxantina en diversas especies varían además en función de las condiciones de cultivo; por ejemplo, la limitación de nitrógeno incrementa el contenido en astaxantina de *Haematococcus pluvialis* (Boussiba y Vonshak, 1991; Del Río *et al.*, 2005). Cyanotech corporation financia, por otro lado, un estudio sobre la astaxantina natural como protector solar (interno), protegiendo la piel del daño causado por la exposición a rayos UV. Demuestran, por tanto, que la astaxantina natural tiene un gran potencial como suplemento antiedad de belleza y protector de la piel (Capelly y cols., 2012).

Luteína: El organismo humano no biosintetiza la luteína, por lo que debe ser obtenida a partir de otras fuentes naturales para ser ingerida en la dieta. Estas fuentes naturales pueden ser microalgas, bacterias y plantas superiores, las cuales acumulan luteína como pigmento fotosintético y agente protector frente a la luz solar.

A pesar de la amplia distribución de la luteína en plantas superiores y en productos industriales no es hasta hace varias décadas cuando se están realizando esfuerzos para establecer una producción comercial de este pigmento a partir de microalgas. Estos microorganismos constituyen una importante fuente para la producción de carotenoides debido a que pueden ser acumulados en cantidades muy superiores a las de otros organismos fotosintéticos. La generación de estos pigmentos depende de la capacidad bioquímica de la especie de microalga seleccionada, ya que muchas se han especializado en acumular algún carotenoide en concreto en cantidades muy superiores a los que otra microalga o planta superior podría generar.

Las microalgas que han sido referenciadas como potencialmente útiles para esta aplicación por su elevado contenido en luteína son *Muriellopsis* sp., *Chlorella zofi-giensis*, *Chlorella protothecoides* y *Scenedesmus almeriensis* (Shi *et al.*, 2002; Sánchez-Fernández 2008). La síntesis de luteína está ligada a la generación de biomasa, de forma que las mayores productividades de luteína se alcanzan para las condiciones de cultivo que también maximizan la productividad de biomasa. En este sentido, con *S. almeriensis* se han referenciado productividades de luteína de hasta 1.400 kg/ha¹ x año empleando un fotobiorreactor tubular de 3.000 L (Molina *et al.*, 2005), muy superiores a los 22 kg/ha¹ x año obtenidos a partir de marigold.

7. Microalgas en alimentación animal

Hace pocos años, las algas eran usadas en la dieta de los rumiantes para enriquecer sus productos con ácidos grasos poliinsaturados de alto valor. Investigadores han mostrado que la adición de microalgas (*Schizochytrium* sp.) en dietas de vacas lecheras o cabras contribuyó por un lado a un incremento de los niveles de DHA y ácido linoleico, reduciéndose por tanto los ácidos grasos saturados en vacas, y por otro lado, que la adición de esta cepa en el alimento a cabras se traduce en el aumento de niveles de DHA y EPA en la leche y también en el yogurt o queso feta (Papadopoulos *et al.*, 2002).

Diversos investigadores han mostrado cómo la incorporación de *Spirulina platensis* en dietas para conejos reduce los niveles de colesterol en el suero de la sangre de animales e incrementa el colesterol lipoproteínico. Por otro lado, en otro estudio relativo a conejos adultos, encontraron que la incorporación de *S. platensis* en la dieta incrementó la digestibilidad de la proteína cruda. Además, se ha estudiado que el consumo de algas ricas en ácidos grasos poliinsaturados enriquece la carne con esos mismos ácidos grasos. A su vez, las microalgas *S. platensis* y *Schizochytrium* sp. han sido utilizada como un suplemento proteico y suplemento de DHA (en la dieta para cerdos).

Por otro lado, la alimentación de *Chlorella* en un porcentaje de un 2 y 10 % en gallinas condujo a un aumento del ácido linolénico y DHA en la yema de huevo, con una simultánea reducción del ácido docosatetraenoico, en especial cuando la cantidad de algas añadida a la alimentación excedía del 10 %. Además, la adición de *Spirulina* en la dieta de las gallinas ponedoras mejoró el color de la yema de huevo.

La acuicultura es una de las áreas de mayor crecimiento en los últimos años dentro del campo de la producción de alimentos. Esta aumenta cada día por su producción en cantidad y variedad de nuevas especies. Las microalgas son una importante fuente alimenticia y de aditivos en la cría comercial de muchas especies acuáticas, especialmente de larvas y rotíferos; estos últimos empleados en la crianza de crustáceos y peces, aunque existen otras alternativas a las algas como las levaduras y los alimentos microencapsulados. El cultivo de microalgas para este fin es una industria de alto valor y con un importante tamaño de mercado (Borowitzka, 1999).

Las microalgas son el punto de inicio biológico en el flujo de energía a través de las cadenas alimentarias acuáticas. Su presencia influye también en el contenido de O₂ y CO₂ del medio, afectando de forma directa al crecimiento de la fauna de los ecosistemas acuáticos. De este modo, su obtención y manipulación resulta funda-

mental en las operaciones acuícolas. El uso de las microalgas en la acuicultura permite simplificar las piscifactorías y aumentar la razón de supervivencia en larvas de peces y moluscos mediante la mejora de su alimentación y condiciones de desarrollo. Para ello, las microalgas utilizadas deben tener un tamaño y grosor de pared celular apropiados para que puedan ser adecuadamente digeridas, así como una composición bioquímica determinada, que puede variar según la especie que la consuma.

Las microalgas no son solamente consideradas como fuentes esenciales de alimentación en acuicultura, sino que también juegan un papel importante en el incremento de la calidad de las especies animales cultivadas. El contenido en aminoácidos, ácidos grasos, así como otras biomoléculas, influye de forma determinante en el desarrollo de larvas y bivalvos. Hoy en día existen más de 40 especies diferentes utilizadas en acuicultura (Tabla 2), seleccionadas según su aporte nutricional y la facilidad de su producción masiva.

Tabla 2. Perfil bioquímico de las cepas marinas destinadas a acuicultura con mayor contenido proteínico y lipídico

Especie de microalga	Proteínas, % d.w.	Carbohidratos, % d.w.	Lípidos, % d.w.
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	34	6,0	16
<i>Thalassiosira pseudonana</i>	34	8,8	19
<i>Tetraselmis chui</i>	31	12,1	17
<i>Isochrysis aff. galbana</i> (T-ISO)	23	6,0	20
<i>Nannochloropsis</i> sp.	40	20,0	27
<i>Pavlova lutheri</i>	29	9,0	12

Fuente: Richmond *et al.* (2010).

El valor nutricional de una especie de microalga está relacionado con su composición bioquímica. En este sentido, la concentración de aminoácidos juega un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo de larvas de bivalvos. Además, se ha demostrado que es de vital importancia la calidad de los lípidos, más que la cantidad de los mismos. Algunos ácidos grasos poliinsaturados sintetizados por las microalgas son esenciales para el crecimiento y supervivencia de muchas larvas de peces, peneidos (gambas, camarones) y moluscos bivalvos, encontrándose que una deficiencia en el contenido de ácidos grasos n3 de la microalga reduce su valor nutritivo sustancialmente.

El fitoplancton constituye la más importante fuente de alimento para la mayoría de los organismos acuáticos. Además, las microalgas pueden ser usadas como pigmentos en piensos para carpas, salmones, camarones, etc. (Gouveia *et al.*, 2008).

8. Comercialización de las microalgas

8.1. Mercado mundial

Varias empresas han desarrollado recientemente numerosos y novedosos sistemas para obtener productos microalgales para la producción y el tratamiento posterior de la biomasa. La Tabla 3 nos presenta un resumen de los principales productos microalgales desarrollados internacionalmente.

Tabla 3. Estimaciones de mercado para productos microalgales

Grupo de producto	Producto	Coste (U.S. \$x 10 ⁶)	Desarrollo
Biomasa	Alimento salud	1250-2500	En fase de crecimiento
	Alimento funcional	800	En fase de crecimiento
	Aditivo pienso	300	Rápido crecimiento
	Acuicultura	700	Rápido crecimiento
	Acondicionador de suelos		Prometedor
Colorantes	Astaxantina	<150	En fase de inicio
	Ficocianina	>10	Estancado
	Ficoeritrina	>2	Estancado
Antioxidantes	β - caroteno	>280	Prometedor
	Tocopherol		Estancado
	Extracto antioxidante	100-150	
	ARA	20	En fase de crecimiento
	DHA	1500	Rápido crecimiento
	Extractos PUFA	10	
Productos especiales	Toxinas	1-3	
	Isótopos	>5	

Fuente: Pulz *et al.* (2004).

En la Tabla 4 se recogen los compuestos de interés que producen diferentes microalgas comercializadas, su área de aplicación y las empresas productoras.

Tabla 4. Especies de microalgas con alta relevancia en aplicaciones biotecnológicas

Especie	Producto/ Áreas de aplicación	Usos terapéuticos	Compañías
<i>Spirulina pl.</i>	Biomasa ^a , ácido γ -linolenic, ficocianina ^a , alimentos saludables ^a , cosmética ^{a,d} , fórmulas infantiles ^a , suplementos nutricionales ^a , nutrición humana y animal ^d , vitamina B12 ^a .	Tratamiento de enfermedades del corazón, obesidad, depresión maníaca, efecto antitumoral, actividad antioxidante ^e , suplementos nutricionales para inhibir la replicación e infección de virus incluyendo HIV, CMV y HSV.	Cyanotech (www.cyanotech.com) ^{a,d,f} (EEUU), Earthrise Nutritionals (www.earthrise.com) ^{a,d,f} (EEUU), Panmol/Madaus (www.panmol.com) ^a (Austria), Parry Nutraceuticals (www.murugappa.com) ^d (India), Spirulina Mexicana (Sosa Texcoco) SA ^b (México), Siam Alga Co., Ltd. ^b , Nippon Spirulina Co., Ltd. ^c , Koor Foods Co., Ltd. ^c , Nan Pao Resins Chemicals Co., Ltd. ^c , Hainan Simai Pharmacy Co., Ltd. ^b Myanmar Spirulina Factory (Myanmar) ^{c,d} , Blue Continent Co., Ltd. ^b .
<i>Chlorella</i>	Biomasa ^a , carbohidratos ^a , ficobili-proteínas ^a , alimentos salud ^a , suplementos alimenticios ^{a,d} , suplementos piensos ^{a,d} , cosmética, nutrición humana y animal ^d , acuicultura ^d	Mejora el sistema inmune ^{a,d} , reduce lípidos en sangre ^d , antioxidante ^d , Alimento mejora salud ^d : úlcera gástrica, prevención arterosclerosis y hipercolesterolemia y acción antitumoral	Nikken Sohonsa Corp. (www.chlostanin.co.jp) ⁱ (Japon), Earthrise Nutritionals (www.earthrise.com) ^f (EEUU), Ocean Nutrition (www.ocean-nutrition.com) ^g (Canada), l'age vert ^d (www.agevert.com), Chlorella manufacturing and Co. ^d (Taiwan), Klötzel ^d (Germany)
<i>Dunaliella</i>	β - caroteno ^a , glicerol ^a , alimento salud ^{a,e} , suplemento alimenticio ^a , suplemento pienso ^a , pigmentos ^a , nutrición animal y humana ^a , fuente de proteína ^a	Precursor de vitamina A ^a , anticarcinógeno, antioxidante ^{d,e} , antiviral, influencia positiva en el metabolismo de la piel ^d , analgésico ^a , relajante muscular ^a , actividad anti edema ^a .	Nature Beta Technologies Cognis (www.cognis.com) ^d (Australia), Cyanotech (www.cyanotech.com) ^{d,e} (EEUU), Nikken Sohonsa Corp. (www.chlostanin.co.jp) ^f (Japan), Earthrise Nutritionals (www.earthrise.com) ^f (EEUU), Betadene (www.betadene.com.au) ^e (Australia), Inner Mongolia Biological Eng. ^{d,e} (China), Nature Beta Technologies ^d , ^e (Israel), Parry agro Industries (www.murugappa.com) ^e (India), ABC Biotech Ltd. ^e (India), Tianjin Lantai Biotechnology ^d , ^e (China), Western Biotechnology Ltd. ^e (Australia), Aqua Carotene Ltd. ^e (Australia), Dutch State Mines, Proalgen Biotech, Shaanxi Sciphar Biotechnology Co.,
<i>Haematococcus</i>	Astaxantina ^a , carotenoides ^a , alimentos salud ^a	Antiinflamatorio ^a , antioxidante ^e , tratamiento del síndrome carpal ^a , farmacéuticos, aditivos en piensos ^a , nutrición humana, acuicultura ^{d,e} , cosmética	Mera Pharmaceuticals (www.aquasearch.com) ^{a,e} (EEUU), Cyanotech (www.cyanotech.com) ^{a,e} (EEUU), BioReal (www.bioreal.se) ^{d,e} (EEUU), Algatech Algaltechnologies (www.algotech.com) ^d (Israel), Fuji Health Science (www.fujichechemical.co.jp), Dutch State Mines (http://www.dsm.com), Changsha Organic Herb Inc. (http://www.organic-herb.com), Health Sources Industry Co., Ltd (http://health-sources.com), Parry agro Industries (www.murugappa.com) ^e (India).
<i>Odontella au.</i>	Ácidos grasos ^a , farmacéutica ^a , cosmética ^a , alimento de bebé ^a , EPA y DHA	Antiinflamatorio	InnovalG (France) ^h Pharmaceuticals l'age vert (http://www.agevert.com/), Cosmetics Blue-Biotech Int.Mikroalgen Biotechnologie (http://www.bluebiotech.de/)
<i>Porphyridium</i>	Polisacáridos, farmacéutica, cosmética ^{a,e} , fórmula infantil ^d , nutrición ^{a,d} , B-ficocitrina ^a , C-ficocianina ^a	Nutrición, actividad antioxidante	InnovalG (France)
Especie	Producto/ Áreas de aplicación	Usos terapéuticos	Compañías
<i>Schizochytrium</i>	Aceite de DHA, biomasa, alimentos salud, cosmética, alimento bebé y fórmula infantil ^d , aditivos alimentos, acuicultura ^d	Tratamiento cerebro y ataques de corazón, ayuda al desarrollo del cerebro	In research by Sciro-Australia
<i>Isochrysis</i>	Aceite de DHA, ácidos grasos poli-saturados ^a , suplemento alimenticio, nutrición animal ^d	Nutrición humana, biodiesel	Innovative Aquaculture Products Ltd. (http://www.innovativeaqua.com/)

^a Pulz y Gross (2004); ^b Shimamatsu (2004); ^c Gouveia *et al.* (2008); ^d Spolaore *et al.* (2006); ^e Dufossé *et al.* (2005); ^f Walker *et al.* (2005).

Fuente: Chacón-Lee y González-Mariño (2010).

9. Mercado e investigación nacional

Las microalgas son el objeto de interés de las grandes empresas del sector alimentario. Actualmente en España podemos encontrar alguna que otra empresa reciente sobre microalgas en vías de producción, entre ellas podemos citar Easy algae, Algae-nergy o Aqualgae (EBT) para acuicultura o Cleanalgae también para el mercado de la acuicultura o incluso empiezan en el mercado de la cosmética, nutrición, farmacéutica o bioenergía. Por otro lado, solo en España se implementan más de un centenar de proyectos de desarrollo tecnológico basados, en microalgas y más de una decena de grandes proyectos de construcción de plantas de cultivo.

Figura 2. Bio-fotorreactor experimental



Fuente: Foto cedida por Cajamar.

Sin ir más lejos, en Almería se encuentra la estación experimental de Cajamar, que se ha convertido en un aliado fundamental para avanzar en el conocimiento de la producción de las microalgas. En sus instalaciones está la planta de producción de estos microorganismos vegetales más eficiente del mundo, un sistema llevado a cabo con tecnología almeriense y en cuya construcción han participado varios grupos de investigación de la Universidad de Almería, concretamente, el Grupo de Biotecnología de Microalgas Marinas dirigido por Emilio Molina Grima es el que impulsa su construcción. La planta de Cajamar, con una capacidad de 40 m³, permite producir

unas 70 toneladas de microalgas al año por cada hectárea (Figura 2). Las que más se acercan son unas plantas alemanas que solo producen 20 toneladas al año por hectárea. Esta instalación es de carácter demostrativo y muestra los avances que se van generando en el laboratorio. Todos los proyectos han sido financiados con fondos del actual Ministerio de Economía y Competitividad, o de la Junta de Andalucía y cofinanciado con el apoyo de diversas empresas como Acciona, Aqualia SA, Albaida SA, Endesa o Algaenergy, participada por grandes compañías energéticas como Repsol o Iberdrola. En esta estación, la finalidad de producción de microalgas para fines nutricionales se ha centrado, entre otras en la obtención de carotenoides, ácidos grasos poliinsaturados o biomasa microalgal destinada a acuicultura.

Referencias bibliográficas

- AUSTRALIAN BUREAU OF STATISTICS (1995): *National nutrition survey, foods eaten, Australia* 4804.0.
- BECKER, E. W. (2007): «Micro-algae as a source of protein»; *Biotechnol* (25); pp. 207-210.
- BOROWITZKA, M. A. (1999): «Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters»; *Journal of Biotechnology* (70); pp. 313-321.
- BOUSSIBA, S. y VONSHAK, A. (1991): «Astaxanthin accumulation in the green alga *Haematococcus pluvialis*»; *Plant Cell Physiol* 32(7); pp. 1077-1082.
- CAPELLI, B. y CYSEWSKI, G. (2012): «Interal Beauty Pill? Sunscreen in a pill?»; *The world's best kept health secret: Natural Astaxanthin*. Cyanotech Corporation.
- CHACON- LEE, T. L. y GONZÁLEZ-MARIÑO G. E. (2010): «Microalgae for «Healthy» Foods-Possibilities and Challenges Comprehensive Reviews»; *Food Science and Food Safety* 9(6); pp. 655-675.
- CHEW, B. P.; PARK, J. S.; WONG, M. W. y WONG T. S. (1999): «A comparison of the anticancer activities of dietary β -carotene, canthaxanthin and astaxanthin in mice in vivo»; *Anticancer Res.* (19); pp. 1.849-1.854.
- COHEN, D.; FINKEL, A. y SUSSMAN, M. (1976): «On the role of algae in larviculture of *Macrobrachium rosenbergii*»; *Aquaculture* (8); pp. 199-207.

- DEL RIO, E.; ACIÉN, F. G.; GARCÍA-MALEA, M. C.; RIVAS, J.; MOLINA, E. y GARCÍA GUERRERO, M. (2005): «Efficient one-step production of astaxanthin by the microalga *Haematococcus pluvialis* in continuous cultura»; *Biotechnology and Bioengineering* 91(7); pp. 808-815.
- DUFOSSE, L. y PINTEA, A. (2005): «Third International Congress on pigments in food (Conference Paper)»; *Food Research International* (38); pp. 381-382.
- GOUVEIA, L.; BATISTA, A. P.; SOUSA, I.; RAYMUNDO, A. y BANDARRA, N. M. (2008): «Microalgae in novel food products»; en PAPADOPOULOS, K. N., ed.: *Food chemistry research developments*. Nova Science Publishers, Inc. Nueva York, EEUU.
- GRANADO, F.; OLMEDILLA, B. y BLANCO, I. (2003): «Nutricional and clinical relevante of lutein in human health»; *British Journal of Nutrition* (90); pp. 487-502.
- HANKEY, G. J. y JAMROZIK, K. (1996): «Risk factors for stroke: lifestyle factors»; *Cardiovasc Risk Factors* (6); pp. 5-17.
- KRINSKY, N. I.; LANDRUM, J. T. y BONE, R. A. (2003): «Biologic mechanisms of the protective role of lutein and zeaxanthin in the eye»; *Ann. Rev. Nutr.* (23); 171-201.
- MOLINA GRIMA, E.; SÁNCHEZ PÉREZ, J. A.; GARCÍA CAMACHO, F.; FERNÁNDEZ SEVILLA, J. M.; ACIÉN FERNÁNDEZ, F. G. y URDA CARDONA, J. (1994b): «Biomass and eicosapentaenoic acid productivities from an outdoor batch culture of *Phaeodactylum tricornutum* UTEX 640 in an air-lift photobioreactor»; *Appl. Microbiol. Biotechnol.* (42); pp. 658-663.
- MOLINA, E.; FERNÁNDEZ, J. M.; ACIÉN, F. G.; SÁNCHEZ, J. F.; GARCIA, J.; MAGÁN, J. J. y PÉREZ, J. (2005): «Production of lutein from the microalga *Scenedesmus almeriensis* on a industrial size photobioreactor: case study»; Oral communication. *6th European Workshop Biotechnology of Microalgae*. Potsdam, Alemania.
- OLAIZOLA, M. y HUNTLEY, M. E. (2003): «Recent advances in commercial production of astaxanthin from microalgae»; in FINGERMAN, M. y NAGABHUSHANAM, R., eds.: *Recent advances in marine biotechnology. Biomaterials and bioprocessing* (9); Enfield, NH: Science Publishers. pp. 143-164.
- PAPADOPOULOS, G.; GOULAS, C.; APOSTOLAKI, E. y ABRIL, R. (2002): «Effects of dietary supplements of algae containing polyunsaturated fatty acids, on milk yield and the composition of milk products in dairy ewes»; *J. Dairy. Res.* (69), pp. 357-365.

- POHL, P. (1974): «Control of Unsaturated Fatty Acid Biosynthesis in Unicellular Algae by the Nitrogen Content of the Nutrient Medium and by the Wavelength of Light»; *J. Am. Oil Chemists Soc.* (51); p.521.
- PULZ, O y GROSS, W. (2004): «Valuable products from biotechnology of microalgae»; *Appl Microbiol Biotechnol* 65(6); pp. 635-648.
- RICHMOND, A. y BECKER, E. W. (1986): «Technological aspects of mass cultivation, a general outline»; *Handbook of Microalgal Mass Culture, Richmond*, ed.: CRC Press Inc. Boca Ratón. Florida. pp. 245-263.
- ROBLES MEDINA, A.; GIMÉNEZ GIMÉNEZ, A.; GARCÍA CAMACHO, F.; SÁNCHEZ PÉREZ, J. A.; MOLINA GRIMA, E. y CONTRERAS GÓMEZ, A. (1995): «Concentration and Purification of Stearidonic, Eicosapentaenoic, and Docosahexaenoic Acids from Cod Liver Oil and the Marine Microalga»; *Isochrysis galbana, J. Am. Oil Chem. Soc.* 72(5); pp. 575-583.
- ROYNETTE, C. E.; CALDER, P. C.; DUPERTUIS, Y. M. y PICHARD, C. (2004): «n-3 Polyunsaturated fatty acids and colon cancer prevention»; *Clin. Nutr.* (23); pp. 139-151.
- SÁNCHEZ, J. F.; FERNÁNDEZ-SEVILLA, J. M.; ACIÉN, F. G.; CERÓN, M. C.; PÉREZ-PARRA, J. y MOLINA-GRIMA, E. (2008): «Biomass and lutein productivity of *Scenedesmus almeriensis*: Influence of irradiance, dilution rate and temperature»; *Appl. Microbiol. Biotechnol.* (79); pp. 719-729.
- SEO, T.; BLANER, W. S. y DECKELBAUM, R. J. (2005): «Omega-3 fatty acids: molecular approaches to optimal biological outcomes»; *Curr Opin Lipidol* (16); pp. 11-18.
- SHI, X. M.; JIANG, Y. y CHEN, F. (2002): «High-yield production of lutein by the green microalga *Chlorella protothecoides* in heterotrophic fed-batch culture»; *Biotech. Prog.* 18(4); pp. 723-727.
- SHIMAMATSU, H. (2004): «Mass production of Spirulina, an edible microalga (Conference Paper)»; *Hidrobiologia* (512); pp. 39-44.
- SHAHIDI, F. y MIRALIKBARI, H. (2004): «Omega-3 (n-3) fatty acids in health and disease: Part I-Cardiovascular disease and cancer»; *J. Med. Food* (7); pp. 387-401.
- SPOLAORE, P.; JOANNIS-CASSAN, C.; DURAN, E. y ISAMBERT, A. (2006): «Commercial applications of microalgae»; *J. Biosci. Bioeng.* (101); pp. 87-97.
- WALKER, A. y WALKER, B. (2005): «Why is there disinterest in the appreciation of beneficial dietary recommendations?»; *American J. Clin. Nutr.* 81(1); p. 197.

YONGMANITCHAI, W. y WARD, O. P. (1989): «Omega-3 fatty acids: alternative sources of production»; *Process Biochem* (24); pp. 117-125.

YOSHIDA, R. (1977): «*Spirulina* hydrolysates for cosmetic packs»; *Kokai* (77)31. Japan; p. 836.

