

Polisacáridos de algas como ingredientes funcionales en acuicultura marina: alginato, carragenato y ulvano

Polysaccharides from seaweed as ingredients in marine aquaculture feeding:
alginate, carrageenan and ulvan

Patricia Peso-Echarri¹, Carmen Frontela-Saseta¹, Carlos A. González-Bermúdez¹,
Gaspar F. Ros-Berrueto¹ y Carmen Martínez-Graciá¹

¹Departamento de Tecnología de los Alimentos, Nutrición y Bromatología, Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia 30100, Murcia, España. patri.peso@um.es

Abstract.- Excessive use of antibiotics can select antibiotic-resistant organisms leading to a potential risk for public health. For this reason, aquaculture industry is looking for alternatives to the use of these compounds. Recent studies suggest that the use of functional ingredients in marine aquaculture, such as some seaweed polysaccharides, can be associated with the improvement of the immune system of aquaculture organisms reducing the risk of infection and therefore, the use of antibiotics. Seaweeds are rich in polysaccharides which have been associated with many beneficial effects such as an immunostimulant and prebiotic activity. It is because of these effects that seaweed polysaccharides could be regarded as promising functional compounds and a good alternative to the use of antibiotics. The aim of this review was to perform an overview of 3 algal polysaccharides: alginate, carrageenan and ulvan, which are able to improve the health of cultured organisms in marine aquaculture, and to compile the most important current studies that have demonstrated different effects of these compounds when they are added to fish diets in marine aquaculture.

Key words: Alginate, carrageenan, ulvan, immunostimulant, prebiotic

Resumen.- El uso excesivo de antimicrobianos en acuicultura puede seleccionar bacterias resistentes que puede suponer a un riesgo para la salud pública. Por esta razón, actualmente se buscan alternativas al uso de estos compuestos. Recientes estudios indican que el uso de ingredientes funcionales en acuicultura marina, como ciertos polisacáridos derivados de algas, puede estar relacionado con una mejora del sistema inmunológico de los organismos en cultivo, disminuyendo el riesgo de infecciones y por lo tanto, el uso de antimicrobianos. Las algas marinas son ricas en polisacáridos que poseen diversos efectos beneficiosos como actividad inmunoestimulante y prebiótica, que los convierten en compuestos funcionales prometedores y en una buena alternativa a la utilización de antibióticos. El objetivo de la presente revisión ha sido realizar una descripción de tres polisacáridos algales: alginato, carragenato y ulvano, capaces de mejorar el estado de salud de los organismos cultivados en acuicultura marina, así como recopilar estudios recientes que relacionan estos compuestos con diferentes efectos beneficiosos producidos en piscicultura marina.

Palabras clave: Alginato, carragenato, ulvano, inmunoestimulante, prebiótico

INTRODUCCIÓN

El cultivo de peces se ha incrementado a nivel mundial en los últimos años debido a un aumento en el consumo de pescado y a la disminución de las reservas naturales. Tras 4 décadas de continuo crecimiento de la producción acuícola más de la mitad del pescado consumido en el mundo es abastecido por dicha actividad (APROMAR 2010¹). Actualmente, el diseño de dietas para alimentación acuícola, va encaminado no sólo a proporcionar los nutrientes necesarios para el desarrollo óptimo, sino también a proporcionar ingredientes funcionales que mejoren el estado de salud del pez (Burr *et al.* 2005). Además, el estado nutricional del pez y el estrés van a

influir en su estado inmunológico y por lo tanto en la defensa contra enfermedades (Gatlin *et al.* 2006).

La intensificación de la producción en acuicultura permite optimizar la rentabilidad, pero también puede aumentar la susceptibilidad a enfermedades en los organismos cultivados, ya que se deteriora la calidad del agua y aumentan las condiciones de estrés. Al igual que en otros sistemas de producción, los agentes antimicrobianos han sido ampliamente utilizados en acuicultura (tetraciclina, amoxicilina, quinolonas, etc.) para tratar infecciones causadas por diversos patógenos

¹APROMAR. 2010. Informe anual sobre la acuicultura marina en España. Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos. [en línea] <<http://www.apromar.es>>

(*Aeromonas hydrophila*, *A. salmonicida*, *Edwardsiella tarda*, *Pasteurella piscicida*, *Vibrio anguillarum* y *Yersinia ruckeri*) (Angulo 1999). Sin embargo, el uso frecuente de antibióticos ofrece controversias debido a la aparición de resistencias microbianas, al impacto potencial que se produce en las comunidades bacterianas del ambiente y al riesgo de aparición de residuos de agentes antimicrobianos en los productos de acuicultura destinados al consumo (Li 2006, FAO/OIE/WHO 2006, Kesarcodi-Watson *et al.* 2008).

Debido al abuso de los antimicrobianos en acuicultura las bacterias del medio acuático pueden desarrollar resistencias que podrán transferir a otras bacterias, por lo que se produce un riesgo potencial para la salud pública, debido al desarrollo de resistencia adquirida en bacterias del ambiente acuático que pueden infectar a humanos y a que estas bacterias resistentes pueden actuar como reservorio de los genes de resistencia y diseminarlos, incorporándose en último lugar a los patógenos humanos. En el primer caso, las bacterias resistentes pueden llegar a los seres humanos por el consumo de productos de acuicultura, a través del agua potable, o por contacto directo con el agua o los organismos acuáticos (Schwarz *et al.* 2001, FAO/OIE/WHO 2006).

Debido a lo anterior, se han propuesto varias alternativas a la utilización de antimicrobianos en acuicultura, tales como el uso de las vacunas, el aumento de los mecanismos de defensa no específicos, así como el uso de prebióticos, probióticos y sustancias inmunoestimulantes (Irianto & Austin 2002, Gatesoupe 2005, FAO/OIE/WHO 2006).

Se ha definido alimento funcional como aquel que posee un efecto beneficioso demostrado, sobre una o varias funciones específicas en el organismo, más allá de los efectos nutricionales habituales, siendo este hecho relevante para mejorar la salud y el bienestar y/o la reducción del riesgo de enfermedad (ILSI 1999²). En el presente trabajo se proponen 3 polisacáridos derivados de las algas (alginato, carragenato y ulvano) como ingredientes funcionales en acuicultura marina para mejorar el estado de salud de los organismos y reducir así el uso de antibióticos.

El objetivo principal planteado en este trabajo, fue realizar una revisión de los estudios actuales sobre la utilización de algas marinas y/o sus polisacáridos, como ingredientes funcionales en acuicultura, así como describir

los efectos beneficiosos que pueden aportar estos compuestos a los peces marinos en cultivo. Este trabajo se centra principalmente en la adición de polisacáridos obtenidos de algas pardas (alginato), de algas rojas (carragenato) y de algas verdes (ulvano) a la alimentación de peces marinos.

POLISACÁRIDOS DE ALGAS

Las algas marinas contienen sustancias bioactivas como polisacáridos, proteínas, lípidos y polifenoles con variada actividad antibacteriana, antiviral y antifúngica, entre otras (Castro *et al.* 2006). Estas actividades biológicas dan a las algas gran potencial como suplemento en alimentación piscícola. La pared celular de las algas contiene entre otros elementos abundante matriz polisacárida formada por azúcares neutros y ácidos que también se pueden encontrar en plantas terrestres. Sin embargo, en estas últimas los hidratos de carbono no están sulfatados y son estos grupos los que permiten la formación de moléculas con diferentes estructuras y les confieren propiedades beneficiosas (Castro *et al.* 2006).

CARACTERÍSTICAS DEL ALGINATO

Los alginatos son polisacáridos sulfatados presentes en la pared celular de las algas pardas (clase Phaeophyceae) en especies tales como *Macrocystis pyrifera* y *Ascophyllum nodosum* (Khotimchenko *et al.* 2001), existiendo también ciertas bacterias capaces de sintetizar alginato de manera extracelular (por ejemplo, los géneros *Azotobacter* y *Pseudomonas*) (Draget 2005). Los alginatos se estructuran en cadenas lineales de polímeros, compuestos por monómeros de ácido manurónico y de su epímero el ácido gulurónico unidos por enlaces α (1-4). Los monómeros se pueden organizar en paquetes homopoliméricos ricos en ácido gulurónico, o ricos en ácido manurónico y en paquetes heteropoliméricos alternando los dos ácidos (Brownlee *et al.* 2005). El porcentaje de estos 3 paquetes depende del origen del alginato, de la edad del tejido y de otros factores. El ácido manurónico se encuentra en algas jóvenes, y en las senescentes este ácido se transforma en su epímero, el ácido gulurónico, debido a la enzima C5-epimerasa. En los tejidos maduros el ácido manurónico se localiza principalmente en los espacios extracelulares, mientras que el ácido gulurónico se encuentra en las paredes celulares (Khotimchenko *et al.* 2001).

²ILSI North America Technical Committee on Food Components for Health Promotion (1999). Food Component Report. ILSI Press, Washington, DC, USA.

Los efectos fisiológicos que se producen debido al consumo de alginato en humanos y mamíferos terrestres han sido demostrados ampliamente, observándose una reducción de colesterol en sangre, actividad prebiótica, movilización de ácidos grasos, reducción de glucosa en sangre, reducción de la actividad enzimática en el intestino, efecto preventivo contra el cáncer, aumento de la sensación de saciedad, reducción de la presión sanguínea y estimulación la respuesta inmune (Hoebler *et al.* 2000, Vaugelade *et al.* 2000, Warrand 2006). Además, estudios recientes sugieren que ciertos alginatos pueden mejorar la reparación de daños en la mucosa intestinal (Brownlee *et al.* 2005, Warrand 2006).

Wang *et al.* (2006) investigaron el efecto prebiótico del alginato *in vitro* y en ratas, comparándolo con fructooligosacáridos y, llegaron a la conclusión de que era capaz de incrementar los recuentos de Bifidobacterias y Lactobacilos de forma más significativa que los fructooligosacáridos.

CARACTERÍSTICAS DEL CARRAGENATO

Carragenato es un término genérico para una compleja familia de polisacáridos que se extraen de diferentes algas rojas. Es un polisacárido compuesto de residuos alternados de β -D-Galactosa unidos por enlace 1,3 y α -D-Galactosa unidas por enlace 1,4. Existen 3 tipos de carragenato comercial para la industria alimentaria: kappa-, iota y lambda que difieren en la cantidad y posición del grupo sulfato (Warrand 2006).

Los efectos fisiológicos demostrados hasta el momento para este polisacárido son: reparación de daños intestinales, estimulación del sistema inmune de peces (Fujiki *et al.* 1997, Castro *et al.* 2004), actividad antiviral especialmente contra el virus del papiloma humano (Buck *et al.* 2006, Roberts *et al.* 2007) y modificación de la composición de la microbiota intestinal ya que estos compuestos no son metabolizados en el colon (Jimenez-Escrig *et al.* 2000, Warrand 2006). Por otro lado, Lahaye & Kaefffer (1997) observaron que la adición de iota-carragenato a la dieta de ratas, favorecía la proliferación de la mucosa intestinal. Los carragenatos han sido utilizados principalmente como suplemento inmunoestimulante en acuicultura, actividad que se desarrolla en el siguiente apartado de este trabajo.

CARACTERÍSTICAS DEL ULVANO

Ulvano son polisacáridos solubles en agua extraídos de las paredes celulares de las algas verdes, principalmente

de especies pertenecientes al complejo *Ulva - Enteromorpha* (Lahaye & Robic 2007, Robic *et al.* 2009). Está compuesto principalmente de ramnosa, ácidos glucurónico e idurónico y xilosa, encontrándose la mayoría de las veces distribuido en unidades repetidas de disacáridos (Robic *et al.* 2009).

Los hidratos de carbono de algas verdes no son degradados por las enzimas digestivas humanas ni por las bacterias del colon (Paradossi *et al.* 2002). El ulvano puede servir como estabilizador y promotor ya que se une a los factores de crecimiento involucrados en el crecimiento y reparación de la mucosa intestinal (Warrand 2006).

En diferentes estudios se ha demostrado *in vitro* las diversas propiedades funcionales de estos polisacáridos; por ejemplo, una actividad antitumoral (Kaefffer *et al.* 1999), antioxidante (Qi *et al.* 2005), inmunoestimulante (Castro *et al.* 2004, 2006; Leiro *et al.* 2007), actividad antiviral (Schaeffer & Krylov 2000) y actividad anticoagulante (Mao *et al.* 2004). También estudios *in vivo* se han observado otras actividades beneficiosas, como la producción de mucina en el colon de ratas (Barcelo *et al.* 2000) y la modulación del metabolismo lipídico disminuyendo la hiperlipidemia en ratas (Sathivel *et al.* 2008). Recientes estudios en que se evalúan los polisacáridos procedentes de estas algas sobre fagocitos de rodaballo han mostrado estimulación en la respuesta del sistema inmune (Castro *et al.* 2004, 2006).

EFFECTOS BENEFICIOSOS RELACIONADOS CON LA UTILIZACIÓN DE POLISACÁRIDOS DE ALGAS COMO SUPLEMENTO EN ACUICULTURA MARINA

En los últimos años son muchos los estudios que se han realizado sobre el empleo de diferentes sustancias como suplemento en la producción piscícola y que permiten sustituir de un modo progresivo al empleo de antimicrobianos (Burr 2005, FAO/OIE/WHO 2006, Ringø *et al.* 2010a, b). Estos compuestos se pueden clasificar en inmunonutrientes (compuestos que sirven de sustrato o fuente de energía al sistema inmune), inmunoestimulantes (regulan la respuesta del sistema inmune mediante el envío de señales al sistema neuro-inmuno-endocrino) y en compuestos y/o organismos vivos moduladores de la flora colónica (Burr *et al.* 2005, Gatlin *et al.* 2002).

A continuación se mencionan los efectos beneficiosos que puede producir la adición de compuestos polisacáridos procedentes de algas marinas a la dieta de organismos acuáticos marinos. En la Tabla 1 se presentan

algunos de los estudios recientes, realizados *in vivo*, en los que se evalúan estos polisacáridos y que presentan efectos beneficiosos en los organismos de acuicultura marina. Como se puede observar en dicha tabla, la mayoría de estudios se centran en el empleo de alginato, siendo pocos los que evalúan la funcionalidad del carragenato y ninguno la del ulvano.

EFFECTO SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA EFICIENCIA DE ALIMENTACIÓN DE LOS ORGANISMOS ACUÁTICOS

La adición de pequeñas cantidades de algas en la alimentación de peces produce un incremento en el crecimiento, en la eficiencia de alimentación, en la síntesis de proteínas (disminuyendo la actividad proteasa) y en los depósitos de lípidos en músculo (Nakagawa 2010).

En relación al alginato procedente de *Ascophyllum nodosum*, algunos autores demostraron su potencial para modificar el metabolismo lipídico, así Yone *et al.* (1986) y Nakagawa *et al.* (1997) lo utilizaron como aditivo en la alimentación de dorada japonesa (*Pragus major*) en niveles de 2,5% y 5%. Estos autores encontraron un incremento en la proporción de proteína muscular mejorándose la absorción y asimilación de la proteína de la dieta.

Son diversos los estudios que demuestran que la adición de alginato a la dieta de peces de acuicultura marina produce una mejora en el crecimiento y en la eficiencia de alimentación (Conceição *et al.* 2001, Yeh *et al.* 2008, Ahmadifar *et al.* 2009, Jalali *et al.* 2009). Además, Conceição *et al.* (2001) observaron un incremento en la retención de proteínas de nueva síntesis 3 veces mayor en los ejemplares de rodaballo a los que se le suplementó la dieta con alginato.

ACTIVIDAD SOBRE EL SISTEMA INMUNE

La inmunidad engloba todos los mecanismos y respuestas usados por el organismo para defenderse frente agentes patógenos. Los peces poseen un sistema inmune menos específico, en comparación con los mamíferos, con una respuesta más corta, menor repertorio de inmunoglobulinas y una memoria inmunológica y una respuesta mucosal débil (Trichet 2010).

En los últimos años ha sido de interés el estudio de compuestos con actividad inmunoestimulante entre los que se encuentran productos microbianos como β -glucanos, lipopolisacáridos, peptidoglicanos, productos de fermentación bacteriana y algunos extractos herbales en acuicultura, ya que aumentan la respuesta inmune del hospedador, lo que puede suponer una buena alternativa

Tabla 1. Estudios que evalúan *in vivo* alginato, carragenato y ulvano como suplemento dietético en el cultivo de peces marinos / *In vivo* research studies evaluating alginate, carrageenan and ulvan as supplement feed in the cultured marine fish

Compuesto	Dosis/ Tiempo tratamiento	Hospedador	Efectos	Referencia
Alginato AM [□]	cápsulas 0,5 g /cápsula	<i>Scophthalmus maximus</i>	La retención de nuevas proteínas sintetizadas se incrementó tres veces	Conceição <i>et al.</i> 2001
Alginato AM	50-150 ng /larva día	<i>Hippoglossus hippoglossus</i>	↑ Supervivencia contra <i>Vibrio anguillarum</i>	Skjeremo & Bergh 2004
Ergosan [¶]	0,1% y 0,5%, 15 días	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Estimulación del sistema. Inmune en condiciones de estrés	Bagni <i>et al.</i> 2005
Alginato AM	Microesferas (2-30µm) 30 días	<i>Gadus morhua</i>	↑ Supervivencia	Skjeremo <i>et al.</i> 2006
Alginato AM	0,01-0,1%/ 55-62 días	<i>Gadus morhua</i> <i>Anarhichas minor</i>	↑ Tasa de crecimiento diaria	Vollstad <i>et al.</i> 2006
Alginato de sodio + Carragenato	10, 20, 30 mg/kg (IP*) a las 24, 72 y 120 h	<i>Epinephelus coioides</i>	↑ Supervivencia ↑ Respuesta inmune no específica y la resistencia contra <i>V. alginolyticus</i>	Cheng <i>et al.</i> 2007
Alginato de sodio	1 y 2g kg ⁻¹ , 9-12 días	<i>Epinephelus fuscoguttatus</i>	↑ Respuesta inmune no específica y la resistencia contra <i>Streptococcus</i> sp y iridovirus	Chiu <i>et al.</i> 2008
Alginato de sodio kappa (k)-carragenato	5, 10 y 20 g kg 14 semanas	<i>Epinephelus fuscoguttatus</i>	↑ Supervivencia y la inmunidad innata ↑ Resistencia contra <i>V. alginolyticus</i>	Cheng, <i>et al.</i> 2008
Alginato de sodio	1 y 2g kg ⁻¹ , 2-8 semanas	<i>Epinephelus coioides</i>	Mejora la conversión del alimento y el crecimiento ↑ Respuesta inmune y la resistencia contra <i>Streptococcus</i> sp.	Yeh <i>et al.</i> 2008
Ergosan	0, 2, 4 y 6 g kg ⁻¹ , 60 días	<i>Huso huso</i>	Mejora el crecimiento y el sistema inmune	Ahmadifar <i>et al.</i> 2009
Ergosan	0, 2, 4, y 6 g kg ⁻¹ 60 días.	<i>Huso huso</i>	Mejora el crecimiento y los parámetros hematológicos	Jalali <i>et al.</i> 2009
Alginato de sodio	0, 0,5, 1 y 2 g kg ⁻¹ , 15 días	<i>Epinephelus bruneus</i>	↑ Inmune y la resistencia contra <i>Streptococcus iniae</i>	Harikrishnan <i>et al.</i> 2011

[□] Alginato AM: alto contenido en ácido manurónico, [¶]Ergosan: ácido alginico, *IP: administración intraperitoneal. ↑ aumenta, ↓ disminuye.

a la utilización de antibióticos (Li 2006). Los efectos biológicos de los inmunostimulantes son dependientes de los receptores en las células diana que los reconocen como moléculas de alto riesgo potencial y desencadenan las rutas de defensa. Cada vez son más los estudios que avalan el beneficio del empleo de los inmunostimulantes en acuicultura ya que inducen la protección frente a enfermedades debido al incremento de la respuesta inmune (Bricknell & Dalmo 2005, Jaafar *et al.* 2011).

Diversos estudios demuestran la actividad inmunostimulante de las algas y sus compuestos polisacáridos en acuicultura (Bagni *et al.* 2005, Cheng *et al.* 2007, 2008; Chiu *et al.* 2008, Yeh *et al.* 2008, Ahmadifar *et al.* 2009, Harikrishnan *et al.* 2010). Estudios *in vitro* realizados con fagocitos de rodaballo han puesto de manifiesto que los polisacáridos extraídos de algas como *Ulva rigida*, y *Chondrus crispus* (Castro *et al.* 2004, 2006) producían una mayor respuesta del sistema inmune.

Por otro lado, cada vez son más los estudios *in vivo* que reiteran la capacidad de aumentar la respuesta del sistema inmune de los compuestos polisacáridos de diferentes algas. La actividad inmunostimulante del alginato ha sido demostrada en diferentes peces marinos; como el fletán *Hippoglossus hippoglossus* L. (Skjermo & Bergh 2004), lubina *Dicentrarchus labrax* (Bagni *et al.* 2000) y distintas especies de mero *e.g.*, *Epinephelus coioides*, *Epinephelus fuscoguttatus*, *Epinephelus bruneus* (Cheng *et al.* 2007, 2008; Chiu *et al.* 2008, Yeh *et al.* 2008, Harikrishnan *et al.* 2011), produciendo un aumento de la supervivencia de los peces. El carragenato y el ulvano como moduladores de la respuesta del sistema inmune en peces marinos han sido menos estudiados; aun así los resultados obtenidos hasta el momento son prometedores. Dos estudios realizados con diferentes tipos de carragenato en *E. coioides* y *E. fuscoguttatus* obtuvieron resultados positivos en la resistencia a la infección por *Vibrio alginolyticus* (Cheng *et al.* 2007, 2008).

Aunque el uso de inmunostimulantes en acuicultura ha obtenido buenos resultados en diversas investigaciones, existen dos posturas acerca de sus efectos cuando se aplican en estadios tempranos del desarrollo de los peces. Hay investigadores que piensan que pueden ser añadidos a la alimentación de larvas de organismos acuícolas con un impacto mínimo sobre el desarrollo del sistema inmune de estos animales y otros que opinan que su administración temprana puede ir en detrimento del desarrollo del sistema inmune del pez (Bricknell & Dalmo 2005).

CAMBIOS EN LA MICROBIOTA INTESTINAL. ACTIVIDAD PREBIÓTICA

En animales homeotermos, la microbiota del tracto gastrointestinal participa en la función digestiva y además actúa como barrera de protección contra patógenos. Los peces también albergan en su intestino diferentes bacterias capaces de inhibir la colonización de patógenos (Nayak 2010). Por otro lado, estudios con modelos animales libres de microorganismos han observado que dicha microbiota intestinal está involucrada en la proliferación, maduración e inmunidad epitelial de los peces (Rawls *et al.* 2004, Rekecki *et al.* 2009).

Debido al papel que posee la microbiota intestinal en la nutrición, el crecimiento, la inmunidad, el equilibrio intestinal y la resistencia a enfermedades en animales acuáticos (Kesarcodei-Watson *et al.* 2008), la modulación de la microbiota intestinal se presenta como una de las alternativas al uso de antimicrobianos en acuicultura (Ringø *et al.* 2010a, b). La adición de prebióticos y probióticos, son dos vías mediante las que se pueden inducir cambios en la microbiota intestinal. Los principales efectos beneficiosos relacionados con dichos cambios bacterianos son una mejora del crecimiento y un aumento de la respuesta del sistema inmune (Nayak 2010).

Los prebióticos son ingredientes no digeribles que afectan de forma beneficiosa al hospedador, estimulando de manera selectiva el crecimiento y/o la actividad de unas determinadas poblaciones bacterianas del colon (Gibson & Roberfroid 1995). Su utilización ha sido muy amplia en la producción de aves y otros mamíferos terrestres; sin embargo, en acuicultura serían necesarios más estudios a fin de confirmar dicho efecto.

El tracto gastrointestinal de invertebrados y vertebrados proporciona un hábitat adecuado para diversos microorganismos que juegan un papel importante en la salud y nutrición del hospedador. Sin embargo, la composición de las poblaciones microbianas anaerobias que habitan el intestino de los peces es poco conocida, por lo que se hacen necesarias investigaciones que aporten más información a este respecto. Dicha flora es fundamental para caracterizar la comunidad microbiana intestinal de los peces y así evaluar los suplementos dietéticos necesarios para estimular la producción de bacterias beneficiosas en los peces de acuicultura (Burr *et al.* 2005, Ringø *et al.* 2010b). Además, las poblaciones bacterianas intestinales son diferentes en peces de agua dulce y marina, así en peces marinos aparecen como bacterias dominantes las pertenecientes a los géneros

Photobacterium, *Pseudomonas* y *Vibrio*, mientras que en la de peces de agua dulce dominan especies de los géneros *Aeromonas*, *Pleisomonas* *Bacteroides*, *Fusobacterium*, *Eubacterium* y de la familia Enterobacteriaceae (Ringo *et al.* 2010a).

Por otro lado, es sabido que determinadas poblaciones microbianas del tracto gastrointestinal como las bacterias ácido-lácticas, son capaces de producir compuestos antibacterianos que pueden reducir considerablemente los recuentos de especies patógenas de la microbiota intestinal del pez, mejorando así su desarrollo (Verschuere *et al.* 2000, Burr *et al.* 2005). Estas bacterias ácido-lácticas forman parte de la microbiota intestinal normal de los peces desde los primeros días de vida, aunque no son dominantes (Ringø & Gatesoupe 1998, Ringø *et al.* 2005). Diversos factores regulan las poblaciones microbianas (*e.g.*, las bacterias lácticas) en el tracto gastrointestinal, por mencionar, la concentración de ácidos grasos poliinsaturados de la dieta, la competición por los nutrientes, la presencia de óxido crómico, la salinidad y el estrés del hospedador (Ringø & Gatesoupe 1998). La supervivencia de estas comunidades microbianas intestinales depende de la disponibilidad de sustrato, que será utilizado para generar diferentes productos como ácidos grasos de cadena corta, aminoácidos, poliaminas, factores de crecimiento, vitaminas y antioxidantes indispensables para la actividad de la mucosa intestinal (Fric 2007).

Los polisacáridos derivados de las algas marinas han sido utilizados tradicionalmente como agentes espesantes en la industria alimentaria. Sin embargo, debido a su complejidad que les hace resistentes a la degradación por enzimas intestinales humanas, son sustrato para las bacterias intestinales y podrían proponerse como potenciales prebióticos (Ramnani *et al.* 2012). Los alginatos, carragenatos y el ulvano, al ser compuestos polisacáridos pueden poseer actividad prebiótica, ejerciendo un efecto selectivo positivo sobre la microbiota intestinal de los peces. Además, los hidratos de carbono dietéticos juegan un papel importante en la respuesta inmune a través de sus interacciones con la microbiota intestinal y el tejido linfoide asociado al intestino (Trichet 2010).

En relación a otra de las alternativas propuestas para la modulación de la microbiota intestinal, Gram & Ringø (2005) estudiando la modulación de la microbiota intestinal de peces, propusieron la siguiente definición de probióticos: 'microorganismos vivos que añadidos a la alimentación o al medio ambiente (agua) aumentan la

viabilidad del hospedador'. Los probióticos se utilizan actualmente en acuicultura para controlar algunas enfermedades en los peces, aunque su modo de acción es poco conocido (Ringø *et al.* 2010a). Se han barajado varias opciones de mecanismos de acción de los mismos: desplazar a los patógenos potenciales por producción de sustancias que inhiben su crecimiento, competir por nutrientes o por espacio, alterar el metabolismo microbiano y/o estimular el sistema inmune del hospedador (Irianto & Austin 2002, Gómez & Balcázar 2008, Kesarcodi-Watson *et al.* 2008).

La principal ventaja de los prebióticos frente a los probióticos, es que los primeros son ingredientes naturales y su incorporación a la dieta no requiere precauciones especiales, por lo cual la autorización como aditivo alimentario es más fácil de obtener (Gatesoupe 2005). No obstante, aunque el objetivo de los prebióticos sea estimular la flora beneficiosa, algunas bacterias patógenas oportunistas pueden adquirir la capacidad de utilizar estas sustancias o sus productos de degradación, si se administran de manera continua (Gatesoupe 2005). Se hace por lo tanto necesario previo a su aplicación la realización de estudios en determinadas fases de engorde de diferentes especies piscícolas (Gatesoupe 2008). Además, en la utilización de probióticos, las especies utilizadas se convierten en predominantes en el tracto gastrointestinal sólo durante el tratamiento dietético, haciéndose necesario tener en cuenta que existen pocas probabilidades de colonizar el intestino, si la especie bacteriana utilizada no pertenece a la microbiota intestinal característica de una especie piscícola. Por ello, se plantea estimular el crecimiento de especies microbianas indígenas mediante la suplementación de la dieta con hidratos de carbono no digeribles que actúen como prebióticos (Mahious *et al.* 2006).

CONCLUSIONES

Aunque no existen muchos estudios enfocados al empleo de polisacáridos (alginato, carragenato y ulvano) como ingredientes funcionales en acuicultura marina, los resultados obtenidos hasta el momento, indican que podrían ser un ingrediente prometedor para mejorar el estado de salud de los peces marinos, ya que afectan de forma beneficiosa al crecimiento, la eficiencia de alimentación y la supervivencia de éstos, además de poseer capacidad prebiótica e inmunoestimulante. Tras realizar esta revisión, se observa una necesidad clara de la realización de estudios que profundicen en la composición de las poblaciones de la microbiota intestinal

de peces marinos para evaluar de manera más efectiva la modulación de la misma.

Para futuras investigaciones y teniendo en cuenta por un lado las limitaciones de los probióticos y por otro los efectos beneficiosos que pueden aportar los compuestos polisacáridos procedentes de algas a los organismos acuáticos, existen evidencias suficientes para creer que cualquiera de los tres compuestos (alginato, carragenato y ulvano) podría ser adicionada junto con una especie bacteriana, seleccionada previamente como probióticos, a la dieta de peces de acuicultura para estudiar el efecto simbiótico (polisacárido y prebiótico). Incluso se podría plantear la encapsulación de dicha bacteria con alginato para una mejor administración.

No obstante, es importante tener en cuenta el estudio en paralelo de la calidad de la carne del pescado alimentado con los polisacáridos, así como la aceptación del consumidor debido a los posibles cambios que se produzcan en sus características sensoriales, debido al impulso de la acuicultura para cubrir la demanda actual frente al consumo de pescado.

LITERATURA CITADA

- Ahmadifar E, GhA Takami & M Sudagar. 2009.** Growth performance, survival and immunostimulation, of beluga (*Huso huso*) juvenile following dietary administration of alginic acid (Ergosan). *Pakistan Journal of Nutrition* 8(3): 227-232.
- Angulo F. 1999.** Antibiotic use in aquaculture: Center for disease control memo to the Record. National aquaculture association. [on line] <<http://www.natlaquaculture.org/animal.htm>>
- Bagni M, L Archetti, M Amadori & G Marino. 2000.** Effect of long-term administration of an immunostimulant diet on innate immunity in sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Journal of Veterinary Medicine B, Infectious Disease and Veterinary Public Health* 47: 745-751.
- Bagni M, N Romano, MG Finioia, L Abelli, G Scapigliati, PG Tiscar, M Sarti & G Marino. 2005.** Short- and long-term effects of dietary yeast β -glucan (Macrogard) and Aliginic acid (Ergosan) preparation on immune response in sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Fish & Shellfish Immunology* 18: 311-325.
- Barcelo A, J Claustre, F Moro, JA Chayvialle, JC Cuber & P Plaisancié. 2000.** Mucin secretion is modulated by luminal factors in the isolated vascularly perfused rat colon. *Gut* 46(2): 218-224.
- Bricknell I & RA Dalmo. 2005.** The use of immunostimulant in fish larval aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology* 19: 457-472.
- Brownlee IA, A Allen & JP Pearson. 2005.** Alginate as a source of dietary fiber. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 45: 497-510.
- Buck CB, CD Thompson, JN Roberts, M Muller, DR Lowy & JT Schiller. 2006.** Carrageenan is a potent inhibitor of papillomavirus infection. *PLoS Pathogens* 2: 671-680.
- Burr G, D Gatlin III & S Ricke. 2005.** Microbial ecology of the gastrointestinal tract of fish and the potential application of prebiotics and probiotic in finfish aquaculture. *Journal of the World Aquaculture society* 36(4): 425-436.
- Castro R, I Zarra & J Llamas. 2004.** Water-soluble seaweed extracts modulate the respiratory burst activity of turbot phagocytes. *Aquaculture* 229: 67-78.
- Castro R, MC Piazzon, I Zarra, J Leiro, M Noya & J Llamas. 2006.** Stimulation of turbot phagocytes by *Ulva rigida* C. Agardh polysaccharides. *Aquaculture* 254: 9-20.
- Cheng AC, C-W Tu, YY Chen, FH Nan & JC Chen. 2007.** The immunostimulatory effects of sodium alginate and iota-carrageenan on orange-spotted grouper *Epinephelus coioides* and its resistance against *Vibrio alginolyticus*. *Fish & Shellfish Immunology* 22: 197-205.
- Cheng AC, YY Chen & JC Chen. 2008.** Dietary administration of sodium alginate and kappa-carrageenan enhances the innate immune response of brown-marbled grouper *Epinephelus fuscoguttatus* and its resistance against *Vibrio alginolyticus*. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 121(3-4): 206-215.
- Chiu S-T, R-T Tsai, J-P Hsu, C-H Liu & W Cheng. 2008.** Dietary sodium alginate administration to enhance the non-specific immune responses, and disease resistance of the juvenile grouper *Epinephelus fuscoguttatus*. *Aquaculture* 277: 66-72.
- Conceição LEC, J Skjermo, G Skjåk-Bræk & JAJ Verreth. 2001.** Effect of an immunostimulating alginate on protein turnover of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) larvae. *Fish Physiology and Biochemistry* 24: 207-212.
- Draget KI, O Smidsrød & G Skjak-Bræk. 2005.** Alginates from algae. In: Steinbüchel A & SK Rhee (eds). *Biopolymers. Polysaccharides II: polysaccharides from eukaryotes*, pp. 1-30. Wiley, Weinheim.
- FAO/OIE/WHO. 2006.** Antimicrobial use in aquaculture and antimicrobial resistance, 97 pp. Department of food safety, zoonoses and foodborne diseases, World Health Organization, Geneva.
- Fric P. 2007.** Probiotics and prebiotics-renaissance of a therapeutic principle. *Central European Journal of Medicine* 2: 237-270.
- Fujiki K, D Shin, M Nakao & T Yano. 1997.** Effects of δ -carrageenan on the non-specific defense system of carp *Cyprinus carpio*. *Fisheries Science* 63: 934-938.
- Gatesoupe FJ. 2005.** Probiotics and prebiotics for fish culture, at the parting of the ways. *Aqua feeds: Formulation and Beyond* 2(3): 3-5.

- Gatesoupe FJ. 2008.** Updating the importance of lactic acid bacteria in fish farming: natural occurrence and probiotic treatments. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology* 14: 107-114.
- Gatlin III DM, P Li, X Wang, GS Burr, F Castille & AL Lawrence. 2006.** Potential application of prebiotics in aquaculture. In: Cruz E, D Ricque, M Tapia, MG Nieto, DA Villarreal, AC Puello & A García (eds). *Avances en nutrición acuícola VIII. VIII Simposium I de Nutrición Acuícola*, pp. 371-376. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey.
- Gibson GR & MB Roberfroid. 1995.** Dietary modulation of the human colonic microflora: introducing the concept of prebiotics. *Journal of Nutrition* 125: 1401-1412.
- Gómez GD & JL Balcázar. 2008.** A review on the interactions between gut microbiota and innate immunity of fish. *FEMS Immunology and Medical Microbiology* 52: 145-154.
- Gram L & E Ringø. 2005.** Prospects of fish probiotics. In: Holzapfel W & P Naughton (eds). *Microbial ecology in growing animals*, pp. 379-417. Elsevier, Edinburgh.
- Harikrishnan R, J Heo, C Balasundaram, MC Kim, SJ Kim, YJ Han & MS Heo. 2010.** Effect of *Punica granatum* solvent extracts on immune system and disease resistance in *Paralichthys olivaceus* against lymphocystis disease virus (LDV). *Fish and Shellfish Immunology* 29: 668-673.
- Harikrishnan R, M-C Kim, J-S Kim, Y-J Han, I-S Jang, C Balasundaram & M-S Heo. 2011.** Immunomodulatory effect of sodium alginate enriched diet in kelp grouper *Epinephelus bruneus* against *Streptococcus iniae*. *Fish and Shellfish Immunology* 30(2): 543-549.
- Hoebler C, F Guillon, B Darcy-Vrillon & P Vaugelade. 2000.** Supplementation of pig diet with algal fibre changes the chemical and physicochemical characteristics of digesta. *Journal of the Science Food and Agriculture* 80: 1357-1364.
- Irianto A & B Austin. 2002.** Probiotics in aquaculture. *Journal of Fish Diseases* 25: 633-642.
- Jaafar RM, J Skov, PW Kania & K Buchmann. 2011.** Dose dependent effects of dietary immunostimulants on Rainbow Trout immune parameters and susceptibility to the parasite *Ichthyophthirius Multifiliis*. *Journal of Aquaculture Research and Development* S3:001 <doi:10.4172/2155-9546.S3-001>
- Jalali MA, E Ahmadifar, M Sudagar & G Azari Takami. 2009.** Growth efficiency, body composition, survival and haematological changes in great sturgeon (*Huso huso* Linnaeus, 1758) juveniles fed diets supplemented with different levels of Ergosan. *Aquaculture Research* 40: 804-809.
- Jimenez-Escrig A & FJ Sanchez-Muniz. 2000.** Dietary fiber from edible seaweeds: chemical structure, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. *Nutrition Research* 20(4): 585-598.
- Kaeffer B, C Bénard, M Lahaye, HM Blottière & C Cherbut. 1999.** Biological properties of ulvan, a new source of green seaweed sulfated polysaccharides, on cultured normal and cancerous colonic epithelial cells. *Planta Medica* 65: 527-531.
- Kesarcodi-Watson A, H Kaspar, MJ Lategan & L Gibson. 2008.** Probiotics in aquaculture: The need, principles and mechanisms of action and screening processes. *Aquaculture* 274: 1-14.
- Khotimchenko YS, VV Kovalev, OV Savchenko & OA Ziganshina. 2001.** Physical-chemical properties, physiological activity, and usage of alginates, the polysaccharides of brown algae. *Russian Journal of Marine Biology* 27(Suppl. 1): S53-S64.
- Lahaye M & B Kaeffer. 1997.** Seaweed dietary fibres: Structure, physico-chemical and biological properties relevant to intestinal physiology. *Science des Aliments* 17(6): 563-584.
- Lahaye M & A Robic. 2007.** Structure and functional properties of ulvan, a polysaccharide from green seaweeds. *American Chemical Society* 8(6): 1765-1774.
- Leiro JM, R Castro, I Zarra & J Llamas. 2007.** Immunomodulating activities of acidic sulphated polysaccharides obtained from the seaweed *Ulva rigida* C. Agardh. *International Immunopharmacology* 7: 879-888.
- Li P. 2006.** Evaluation of various dietary supplements and strategies to enhance growth and disease management of hybrid striped bass *Morone chrysops* × *M. saxatilis*. Tesis Doctoral, Facultad de Nutrición, Universidad Texas A&M, Texas, 145 pp.
- Mahious AS, FJ Gatesoupe, MR Hervi, R Metailler & F Ollevier. 2006.** Effect of dietary inulin and oligosaccharides as prebiotics for weaning turbot, *Psetta maxima*. *Aquaculture International* 14: 219-229.
- Mao W, B Li, O Gu, Y Fang & H Xing. 2004.** Preliminary studies on the chemical characterization and antihyperlipidemic activity of polysaccharide from the brown alga *Sargassum fusiforme*. *Hydrobiologia* 512: 263-266.
- Nakagawa H. 2010.** Quality of cultured fish by feed supplements. *Bulletin of Fisheries Research Agency* 31: 51-54.
- Nakagawa H, T Umino & Y Tasaka. 1997.** Usefulness of *Ascophyllum* meal as a feed additive for red sea bream, *Pagrus major*. *Aquaculture* 151: 275-281.
- Nayak SK. 2010.** Role of gastrointestinal microbiota in fish. *Aquaculture Research* 41: 1553-1573.
- Paradossi G, F Cavalieri & EA Chiessi. 2002.** Conformational study on the algal polysaccharide ulvan. *Macromolecules* 35: 6404-6411.
- Qi H, Q Zhang, T Zhao, R Chen, H Zhang, X Niu & Z Li. 2005.** Antioxidant activity of different sulfate content derivatives of polysaccharide extracted from *Ulva pertusa* (Chlorophyta) in vitro. *International Journal of Biological Macromolecules* 37: 195-199.

- Ramnani P, R Chitarrari, K Tuohy, J Grant, S Hotchkiss, K Philp, R Campbell, C Gill & I Rowland. 2012.** In vitro fermentation and prebiotic potential of novel low molecular weight polysaccharides derived from agar and alginate seaweeds. *Anaerobe* 18: 1-6.
- Rawls JF, BS Samuel & JI Gordon. 2004.** Gnotobiotic zebra fish reveal evolutionarily conserved responses to the gut microbiota. *Proceedings of the National Academy of Sciences of United States* 101: 4596-4601.
- Rekecki A, K Dierckens, S Laureau, N Boon, P Bossier & W Van den Broeck. 2009.** Effect of germ-free rearing environment on gut development of larval sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*). *Aquaculture* 293: 8-15.
- Ringø E & FJ Gatesoupe. 1998.** Lactic acid bacteria in fish. *Aquaculture* 160: 177-203.
- Ringø E, U Schillinger & W Holzapfel. 2005.** Antibacterial abilities of lactic acid bacteria isolated from aquatic animals and the use of lactic acid bacteria in aquaculture. In: Holzapfel W & P Naughton (eds). *Microbial ecology in growing animals*, pp. 418-453. Elsevier, Edinburgh.
- Ringø E, L Løvmo, M Kristiansen, Y Bakken, I Salinas, R Myklebust, RE Olsen & TM Mayhew. 2010a.** Lactic acid bacteria vs. pathogens in the gastrointestinal tract of fish: a review. *Aquaculture Research* 41: 451-467.
- Ringø E, RE Olsen, TO Gifstad, RA Dalmo, H Amlund, GI Hemre & AM Bakke. 2010b.** Prebiotics in aquaculture: a review. *Aquaculture Nutrition* 16: 117-136.
- Roberts JN, CB Buck, CD Thompson, R Kines, M Bernardo, PL Choyke, R Douglas-Lowy & JT Schiller. 2007.** Genital transmission of HPV in a mouse model is potentiated by nonoxynol-9 and inhibited by carrageenan. *Nature Medicine* 13: 857-861.
- Robic A, C Gaillard, J-F Sassi, Y Lerat & M Lahaye. 2009.** Ultrastructure of ulvan: A polysaccharide from green seaweeds. *Biopolymers* 91(8): 652-664.
- Sathivel A, H Rao, B Raghavendran, P Srinivasan & T Devaki. 2008.** Anti-peroxidative and anti-hyperlipidemic nature of *Ulva lactuca* crude polysaccharide on D-Galactosamine induced hepatitis in rats. *Food and Chemical Toxicology* 46: 3262-3267.
- Schaeffer DJ & VS Krylov. 2000.** Anti-HIV activity of extracts and compounds from algae and cyanobacteria. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 45: 208-227.
- Schwarz S, C Kehrenberg & TR Walsh. 2001.** Use of antimicrobial agents in veterinary medicine and food animal production. *International Journal of Antimicrobial Agents* 17: 431-437.
- Skjermo J & O Bergh. 2004.** High-M alginate immunostimulation of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus L.*) larvae using *Artemia* for delivery, increases resistance against vibriosis. *Aquaculture* 238: 107-113.
- Trichet VV. 2010.** Nutrition and immunity: an update. *Aquaculture Research* 41: 356-372.
- Vaugelade P, C Hoebler, F Bernard, F Guillon, M Lahaye & PH Duec. 2000.** Non-starch polysaccharides extracted from seaweed can modulate intestinal absorption of glucose and insulin response in the pig. *Reproduction Nutrition Development* 40(1): 33-47.
- Verschuere L, G Rombaut, P Sorgeloos & W Verstraete. 2000.** Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 64(4): 655-671.
- Vollstad D, J Bøggwald, O Gaserod & RA Dalmo. 2006.** Influence of high-M alginate on the growth and survival of Atlantic cod (*Gadus morhua L.*) and spotted wolffish (*Anarhichas minor* Olafsen) fry. *Fish & Shellfish Immunology* 20: 548-561.
- Wang Y, F Han, B Hu, J Li & W Yu. 2006.** In vivo prebiotic properties of alginate oligosaccharides prepared through enzymatic hydrolysis of alginate. *Nutrition Research* 26: 597-603.
- Warrand J. 2006.** Healthy polysaccharides. *Food Technology and Biotechnology* 44(3): 355-370.
- Yeh SP, C-A Chang, C-Y Chang, C-H Liu & W Cheng. 2008.** Dietary sodium alginate administration affects fingerling growth and resistance to *Streptococcus* sp. and iridovirus, and juvenile non-specific immune responses of the orange-spotted grouper, *Epinephelus coioides*. *Fish and Shellfish Immunology* 25: 19-27.
- Yone Y, M Furuichi & K Urano. 1986.** Effects of dietary wakame *Undaria pinnatifida* and *Ascophyllum nodosum* supplements on growth, feed efficiency, and proximate compositions of liver and muscle of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi* 52: 1465-1488.

Recibido el 23 de marzo de 2012 y aceptado el 9 de agosto 2012

Editor Asociado: Pilar Muñoz M.