



La acuicultura y su impacto al medio ambiente

Aquaculture and environmental impact

*Angélica Espinosa Plascencia**

*María del Carmen Bermúdez Almada**

Fecha de recepción: noviembre 2011

Fecha de aceptación: abril 2012

* Coordinación de Ciencia de los Alimentos,
Laboratorio de Análisis Biológicos, CIAD

Dirección para correspondencia:

cbermudez@ciad.mx (María del Carmen Bermúdez)

Resumen / Abstract

En el noroeste de México la producción de camarón cultivado es considerada como una de las más importantes de América Latina. Sin embargo, se presentan grandes pérdidas económicas asociadas a enfermedades durante su cultivo, aunado a la intervención intensiva que generan las prácticas acuícolas que van degradando el medio ambiente. Esto es, primero, por la utilización del agua que recibe grandes cantidades de desechos, así como el alimento no consumido por los organismos que se sedimenta en el fondo marino, dañando al ambiente que es habitado no solo por los organismos cultivados sino también por otras especies. Segundo, porque se introducen antibióticos y sustancias químicas al ecosistema durante el desarrollo de la actividad. Por ello, fue necesario evaluar el efecto de un antibiótico y un biocida sobre las bacterias que habitan un sistema de cultivo, en relación al desarrollo de resistencia y la presencia de lesiones en los distintos órganos de camarón *Litopenaeus vannamei*. El empleo de los compuestos puede generar una hue-

In northwestern Mexico, the production of farmed shrimp is considered one of the most important in Latin America. However, there have been large economic losses during the cultivation process due to diseases, coupled with intensive intervention generated by culture practices which degrade the environment. This is due, first, by the use of water, which receives large amounts of waste such as uneaten food that settles on the sediment, damaging the environment that is inhabited not only by the cultured shrimp but also by other species, and second, because the residues of antibiotics and chemicals used during cultivation. Based on these reasons, the present study evaluated the effect of an antibiotic and a biocide on the bacteria common during shrimp culture, and mainly in relation to the development of resistance and the presence of lesions in different organs of shrimp *Litopenaeus vannamei*. The use of these compounds can lead to an ecological footprint, as it is considered that a culture system has an influence on the environment, ten thousand



lla ecológica, ya que se considera que un sistema de cultivo tiene una influencia en el medio ambiente diez mil veces superior a su superficie. El impacto tiene un costo ambiental, económico y social y la pregunta que surge es si esto es sustentable en el tiempo.

Palabras clave: camaronicultura, sustentabilidad, *Litopenaeus vannamei*, impacto ambiental, químicos y antibióticos.

times greater than its surface. Since the impact is not only environmental, but it also has economic and social costs, a consequent question is whether the production of farmed shrimp is sustainable over time.

Key words: aquaculture, sustainable development, *Litopenaeus vannamei*, environmental impact, chemical and antibiotics.

Introducción

En los últimos años, la industria camaronícola ha experimentado un rápido crecimiento en más de 55 países y generado una producción mundial de camarón superior a los seis millones de toneladas, de las cuales el 60% es comercializado en los distintos mercados; se convierte el camarón en el producto acuícola de mayor importancia comercial internacionalmente (FAO, 2010).

México ha registrado un crecimiento constante en la camaronicultura y es el camarón de la especie *Litopenaeus vannamei* el de mayor cultivo; la actividad representa en el país el 90% del total de la producción acuícola, con un volumen cercano a 130 mil toneladas en el año 2009, y un valor estimado mayor a 670 millones de dólares (Anónimo, 2010). Se sobrepasa la captura de camarón silvestre en más del 50% y se convierte en una buena fuente de empleos, tanto directos, como indirectos. Consecuentemente, con el éxito de la acuicultura, las granjas de cultivo de camarón han sido objeto de críticas por los ambientalistas y científicos, que han hecho referencia a los efectos negativos que provoca la actividad al medio ambiente (Gräslund et ál., 2003).

El desarrollo acelerado en la camaronicultura ha traído consigo un importante costo económico, debido a las enfermedades, tanto virales como bacterianas, que afectan los sistemas de cultivo. Algunos autores afirman que estas enfermedades que aparecen en los cultivos de camarón están estrechamente ligadas a las prácticas inadecuadas en el uso de productos químicos, incluyendo los antibióticos, la mala calidad del suelo, la excesiva producción, así como el deficiente manejo del medio ambiente (Subasinghe et ál., 2009).

Debido al difícil problema que representa mantener el control sobre las enfermedades que afectan los cultivos de camarón, se ha vuelto una práctica de rutina, la aplicación de antibióticos a través de la dieta y de desinfectantes formulados a base de sales cuaternarias de amonio en el agua de los estanques, para tratar de reducir los microorganismos patógenos. Sin embargo, no existe el debido susten-



to que demuestre la eficacia de estos compuestos, por lo que se considera necesario realizar estudios científicos que evalúen estas prácticas de producción.

Oxitetraciclina y sales cuaternarias de amonio en la acuicultura

El uso inadecuado de grandes cantidades de antibióticos como tratamiento preventivo en la industria acuícola, puede traer consigo efectos potencialmente dañinos para la salud humana y animal (Cabello, 2006). La Oxitetraciclina (OTC) es uno de los antibiótico más utilizados en la acuicultura de todo el mundo (Lunestad y Goksoyr, 1990). El antibiótico es el único aprobado desde 1970 por la Administración de Alimentos y Fármacos (FDA, por sus siglas en inglés), de los Estados Unidos de Norteamérica, para ser empleado en el cultivo de peces (Park et ál., 1995). La OTC ha demostrado ser efectiva en las granjas camaronícolas en el tratamiento de enfermedades bacterianas como Vibriosis, Hepatopancreatitis Necrotizante (NHP) y Furunculosis (Prescott et ál., 2000).

Uno de los problemas generados por el uso de OTC en la producción de camarón de cultivo son los residuos en el producto que llega al consumidor (Cabello, 2006). Estos, pueden afectar la flora intestinal humana de diversas maneras, por ejemplo, ejercer una presión selectiva en las bacterias dominantes, promover directa o indirectamente el desarrollo de resistencia, alterar la actividad metabólica enzimática, además de problemas de alergias e intoxicaciones. Existe un riesgo potencial asociado con la transmisión al ser humano de cepas bacterianas patógenas o no patógenas resistentes a antibióticos utilizados en la acuicultura, así como la posterior transferencia de esta resistencia a bacterias humanas patógenas (Chávez-Sánchez e Higuera-Ciapara, 2003).

Por otro lado, existen compuestos químicos formulados con sales cuaternarias de amonio (QAC), que actúan como detergentes catiónicos, con funciones antimicrobianas. Se ha demostrado en peces de ornato que las QAC son compuestos eficaces contra bacterias, virus y hongos (Hung-Hung et ál., 2003). En la acuicultura, las QAC cumplen la función de bactericidas y fungicidas (Gräslund y Bengtsson, 2001) y varían su actividad dependiendo de la longitud de la cadena de carbonos que componen su estructura química. Las QAC son tóxicas a concentraciones de $\mu\text{g/mL}$ (PPM) o menos para organismos acuáticos como algas, peces, moluscos, percebes, rotíferos, estrellas de mar y camarones, la DL_{50} varía entre las diferentes especies de crustáceos (Hung-Hung et ál., 2003).

Concentraciones moderadas de las QAC inhiben las funciones de la membrana celular como es la respiración, el transporte de solutos y la biosíntesis de la pared celular. Altas concentraciones de estos compuestos matan a la célula ya que le ocasionan una desintegración de las membranas, la liberación total del contenido citoplasmático y la coagulación de las proteínas y ácidos nucleicos (Tezel, 2009).

Se ha reportado, además, que las QAC pueden generar dermatitis y tener un efecto broncoconstrictor en personas asmáticas. En humanos, las intoxicaciones



con este compuesto pueden provocar la muerte si se ingieren concentraciones mayores de 100 mg/kg (Hitosugi et ál., 1998).

Los estudios de farmacocinética y biodisponibilidad de agentes antibacterianos en los cultivos de camarón son importantes para determinar las dosis y formulaciones óptimas. Con lo anterior se minimizarían los efectos ambientales y sobre la salud humana (Gómez Jiménez et ál., 2008; Capone et ál., 1996).

Principales impactos ambientales ocasionados por la acuicultura

El grado de impacto ambiental que ocasiona la acuicultura está directamente relacionado con el sistema de producción implementado. Los sistemas de producción más utilizados son: extensivo, semiintensivo e intensivo. A medida que se intensifica el sistema, mayor cantidad de insumos y materias primas son utilizados. Entre las actividades más comunes identificadas en el proceso productivo del camarón tenemos: a) el uso de alimento natural y formulado, b) el número de recambios periódicos de agua, c) la desinfección y lavado de estanques de producción, d) la cosecha, e) los estanques abandonados, f) el almacén de materiales. Todas estas actividades tienen un impacto negativo y directo en el agua, suelo y vegetación del área de cultivo (Flores et ál., 2007).

El impacto ambiental ocasionado por la utilización de compuestos químicos en la camaronicultura resulta difícil de predecir; sin embargo, puede ocurrir que los compuestos entren en la cadena trófica con una posible bioacumulación en eslabones superiores o quizá causen daño a largo plazo, por tratarse de un impacto acumulativo.

La contaminación biológica puede incrementar los riesgos de enfermedades para la población o las comunidades cercanas, por lo que este tipo de contaminación puede generar un impacto negativo e indirecto sobre el medio social (Flores et ál., 2007).

En una granja de producción semiintensiva de camarón se tiene una tasa de recambio diario de agua del 15% del volumen total. Lo anterior proporciona una idea de la cantidad de desechos que son vertidos a los esteros y la frecuencia y magnitud del impacto que se puede caracterizar como negativo, continuo y de alto impacto (Flores et ál., 2007).

Enfermedades virales y bacterianas en la camaronicultura

La presencia de enfermedades virales y bacterianas, combinadas con la pobre calidad de agua y del suelo, son la causa principal de eventos de mortalidad en camarón. Ello se debe a que las variaciones en los parámetros fisicoquímicos del agua pueden afectar el metabolismo, crecimiento, muda y sobrevivencia de los organismos en cultivo, además de reducir la capacidad de respuesta del sistema



inmune del camarón (Abad-Rosales et ál., 2011). La aparición de infecciones en los cultivos se ha convertido en un gran problema para este sector, especialmente desde la aparición del Síndrome del Virus de la Mancha Blanca (WSSV, por sus siglas en inglés), del Virus de la Cabeza Amarilla y del Virus del Síndrome de Taura (TSV, por sus siglas en inglés).

El virus de la Mancha Blanca es una de las enfermedades de mayor importancia que afecta el cultivo del camarón. Se identificó y reportó inicialmente en China al noroeste de Asia y en Japón; ha afectado granjas que cultivaban la especie *Penaeus japonicus*. En 1997, Tailandia perdió 600 millones de dólares por la infección de este virus en la especie de camarón *Penaeus monodon*. Actualmente, el virus sigue causando problemas en algunos países de Asia y se ha extendido rápidamente a otras regiones del mundo que son relevantes en el cultivo de camarón (Hoa, 2011); se ha tornado endémico en América y ha afectado a países como Ecuador, Panamá, Perú y México, entre otros, lo que ha impactado severamente los cultivos (Suárez, 2008).

El Síndrome de Taura (TSV) fue primeramente reconocido en granjas acuícolas en Ecuador a mediados de 1992. Para 1994 una epizootia con este virus causó pérdidas económicas cuantiosas en muchos países como, Perú, Colombia, Honduras, Jamaica, Guatemala, El Salvador, Belice, México y Hawái. Las pérdidas fueron estimadas en cien millones de dólares. Después del TSV originado en Ecuador, este fue detectado en Taiwán en el año 2000. A la fecha se conocen cuatro variedades diferentes del virus: el ecuatoriano, descubierto en 1992; hawaiano, en 1994; mexicano en 1998-2000 y taiwanés, 2000-2002 (Phalitakul et ál., 2006).

Además de las enfermedades virales, las infecciones bacterianas también pueden afectar seriamente los cultivos de camarón, tal es el caso de algunas bacterias del género *vibrio* que han sido reportadas como patógenos oportunistas que pueden causar serias pérdidas económicas en las granjas de camarón. Las cepas de *Vibrio harveyi*, *V. anguillarum*, *V. parahaemolyticus* y *V. vulnificus*, se han asociado frecuentemente con mortalidades, tanto en laboratorios de larvas, como en estanques de engorda de camarón (Gullian et ál., 2004). Las bacterias tienen la capacidad de infectar los cultivos de camarón y provocar la muerte, en algunos casos de alrededor del 100% de los organismos veinticuatro horas después de aparecer la infección (Gómez-Gil et ál., 1998).

Lo anterior ha obligado al sector acuícola a hacer uso de nuevas tecnologías y estrategias de cultivo más efectivas con la finalidad de mejorar el cultivo de camarón y el control de algunas patologías que afectan a los organismos. Entre las estrategias implementadas se encuentra el uso de antibióticos y otros productos químicos.

El abuso de los antibióticos ha dado lugar a la aparición de bacterias resistentes en las poblaciones microbianas, ya que los antibióticos persisten en el sedimento y en los ambientes acuáticos por varios meses después de su administración y pueden afectar a las comunidades bacterianas sedimentarias y alterar la circulación biogeoquímica de elementos tales como carbono, nitrógeno, fósforo y azufre y modificar la velocidad de degradación de la materia orgánica.



Se estima que, en la producción de camarón, una proporción del 15 al 40% de la dieta adicionada con antibióticos que es administrada a los camarones no es ingerida y se queda en los sedimentos; otra porción del medicamento no es absorbida durante el paso por el tracto intestinal del organismo y regresa al medio ambiente a través de las heces fecales. Se reporta que el valor puede ser desde 1% (cloranfenicol) hasta el 90% (OTC). Samuelsen (1989) y Hektoen et ál. (1995) reportaron que aproximadamente del 70 al 80% del antibiótico empleado en las terapias de los organismos en cultivo se queda en el ambiente y en el sedimento y que un alto porcentaje de este posee actividad antibacterial y sus residuos son muy persistentes bajo ciertas condiciones, con una vida media que excede los cien días.

Las bacterias o los brotes de enfermedades en los sistemas de cultivo son, comúnmente, el resultado de un ambiente deteriorado, el cual está determinado por diversos factores como la intensificación del cultivo, parámetros físico-químicos como, pH, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto, así como el estado fisiológico del camarón. Estos factores comprometen la respuesta inmune del camarón al incrementar la susceptibilidad a patógenos que se encuentran de manera natural en el agua de mar como las bacterias de *vibrio* (Chang-Che y Jiann-Chu, 2008). Por tanto, las cuentas bacterianas de *vibrio* que se presentan en un sistema de cultivo, pueden ser el resultado de la combinación de diversos factores, teniendo repercusiones en el estado inmunológico del camarón.

Los antibióticos y el desarrollo de resistencia bacteriana

La resistencia bacteriana puede ser determinada a través de las Concentraciones Mínimas Inhibitorias (CMI). Al realizar los aislamientos de bacterias del género *vibrio* de todos los componentes de un sistema de cultivo de camarón *Litopenaeus vannamei* (agua, sedimento, músculo y hepatopáncreas), se demostró que las cepas bacterianas presentaron diferente sensibilidad a tres antibióticos estudiados (oxitetraciclina, enrofloxacina y florfenicol). Los resultados obtenidos sobre la determinación de las CMI se presentan en el cuadro 1.

Para oxitetraciclina (OTC), las CMI variaron en un intervalo de 0.75 a 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ en las cepas aisladas de las distintas muestras del sistema de cultivo. Los resultados indicaron que la OTC debe acumularse en concentraciones superiores a las CMI en los tejidos del camarón para poder ejercer un efecto inhibitorio en las bacterias que infectan estos organismos.

La resistencia que presentan las bacterias a la OTC es el resultado del uso continuo del antibiótico en las granjas camaronícolas, donde las bacterias expuestas a este antibiótico desarrollan mecanismos de resistencia que evitan la acción bacteriostática del compuesto.

Por otra parte, las CMI para enrofloxacina (Enro) se encontraron en un intervalo de 0.25 a 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ y en el caso de florfenicol (FFC) de 0.5 a 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$, ob-

Cuadro 1. Concentraciones Mínimas Inhibitorias (CMI) para bacterias de *vibrio* aisladas de un sistema de cultivo de camarón *Litopenaeus vannamei*

	OTC	CMI (µg/mL) Enro	FFC
Agua	5-100	0.25-0.75	0.50-5
Hepatopáncreas	0.75-100	0.25-10.0	0.50-5
Músculo	5-100	0.25-5.00	0.75-5
Sedimento	1-100	0.25-5.00	0.50-10
Controles			
<i>V. parahaemolyticus</i>	50	5	5
<i>V. splendidus</i>	10	5	5

Fuente: elaboración propia.

servándose que las concentraciones de Enro y FFC requeridas para causar inhibición en las bacterias fueron similares en ambos antibióticos y menores a las concentraciones establecidas para la OTC.

Dado que la diversidad de especies bacterianas que habitan un sistema de cultivo es muy amplia, la sensibilidad que poseen las bacterias a los antibióticos puede variar de una especie a otra, esta podría ser una de las razones por la cual se requieren distintas concentraciones del antibiótico para causar inhibición, aunado al desarrollo de mecanismos de resistencia específicos en cada especie bacteriana y para cada antibiótico.

La incidencia de bacterias resistentes a los antibióticos en los sistemas de cultivo está estrechamente relacionada con el manejo que se hace de los compuestos (Tendencia y De la Peña, 2001). Lo mencionado se comprobó comparando los resultados obtenidos en esta investigación con otros estudios realizados en regiones distintas, donde se encontraron valores en las CMI para oxitetraciclina hasta de 304 µg/mL (Roque et ál., 2001). Los valores representan el triple de la concentración determinada en nuestro estudio. Mientras que Chanratchakool et ál. (1995) y Ruangpan y Kitao (1992), en otros países encontraron CMI de OTC en camarón en intervalos de 0.39 a 100 µg/mL y de 0.2 a 100 µg/mL. Para Enro y FFC, las Concentraciones Mínimas Inhibitorias determinadas por Roque et ál. (2001), fueron de 0.45 µg/mL y 1.79 µg/mL, respectivamente, los valores fueron similares a los obtenidos en este estudio.

Aplicación de terapias con oxitetraciclina en los estanques de cultivo de camarón

En relación con los tratamientos donde se emplean dietas adicionadas con OTC en los estanques de cultivo de camarón y la presencia de bacterias de *vibrio* en el sedimento, se puede mencionar que se encontraron diferencias claras en las cuentas iniciales de *vibrio* obtenidas en distintos estanques y expresadas como



Unidades Formadoras de Colonias (UFC). Esto es, que antes de aplicar el tratamiento con el antibiótico, las cuentas bacterianas en el sedimento fueron de 7.5×10^2 UFC/g en uno de los estanques y < 10 UFC/g en el otro. Durante la aplicación de la terapia con el antibiótico se presentaron las cuentas bacterianas más elevadas, fueron en promedio de 8.1×10^3 UFC/g en ambos estanques.

Cuando se aplica un tratamiento con antibiótico se espera obtener un indicador tangible de su efectividad y que se refleje en una disminución paulatina de las cuentas bacterianas conforme avanza el tratamiento y tiempo después de su aplicación. Sin embargo, no se observó en los estanques experimentales utilizados, por lo que se puede inferir que la dosis administrada de oxitetraciclina, a través de la dieta, no fue suficiente para inhibir el crecimiento bacteriano o la eficacia del antibiótico pudo ser reducida debido a la unión del antibiótico con la materia orgánica, o bien, a mecanismos de resistencia desarrollados por las bacterias que habitan los estanques.

Se ha observado en camarón, que cuando son sometidos a las mismas condiciones de cultivo, responden de manera distinta a los factores ambientales, debido a la actividad de su sistema de defensa (Guo, 2004). Esto explica el porqué el comportamiento de los organismos de un estanque es diferente al de otro. También debe considerarse que las variables ambientales juegan un papel importante en el desarrollo de las comunidades bacterianas, ya que causan modificaciones a través del tiempo, en virtud de que muchas de estas variables ambientales no se pueden controlar, esto se ve reflejado en las alzas y bajas en los valores de las cuentas bacterianas.

Los factores ambientales también tienen influencia en la muda de los crustáceos, así como en el estado fisiológico y de desarrollo de los organismos (De Oliveira et ál., 2006). Durante el periodo de muda, los camarones presentan una mayor susceptibilidad a los microorganismos patógenos que se encuentran en el agua y el sedimento de los estanques provocando la infección en los organismos en cultivo.

Las sales cuaternarias de amonio y su efecto sobre las lesiones en órganos de camarón de cultivo

Además de los antibióticos, en las granjas de producción semiintensiva, se hace uso de una gran variedad de productos químicos, algunos de ellos formulados a base de sales cuaternarias de amonio, con la finalidad de mejorar la producción y hacer frente a la problemática ocasionada por las enfermedades tanto virales como bacterianas que afectan los cultivos de camarón (Gräslund y Bengtsson, 2001).

Dentro de los parámetros evaluados se estimó la sobrevivencia de camarones expuestos a las sales cuaternarias de amonio disueltas en el agua y la presencia de lesiones en los órganos del camarón (hepatopáncreas, branquias e intestino).



En la estimación de la sobrevivencia de camarón, se observó tanto en el grupo control como en el sometido al tratamiento, un porcentaje de sobrevivencia similar, obteniendo en los organismos tratados una sobrevivencia de $88.3 \pm 8.8\%$ y en el grupo control $89.1 \pm 9.2\%$. El análisis estadístico de los datos no mostró diferencia significativa entre ambos grupos, a un valor de $P > 0.05$.

En cuanto a la determinación del daño en los órganos del camarón los parámetros evaluados fueron la presencia de necrosis en branquias (NEC), ectoparásitos (ECT) y bacterias filamentosas (BF); en hepatopáncreas, túbulos festonados (TUB) y lípidos (LIP); en intestino, gregarinas (GRE) y gametocitos (GAM). Los resultados obtenidos en las evaluaciones no mostraron una diferencia entre el grupo control y el tratado (cuadro 2).

Los resultados demuestran que el uso del compuesto químico formulado a base de sales cuaternarias de amonio, no tuvo un efecto positivo en la sobrevivencia del camarón y en la disminución de las lesiones en los órganos, por lo que el empleo de esos compuestos podría solamente ocasionar contaminación al medio ambiente.

La utilización de químicos en la industria acuícola preocupa desde el punto de vista ambiental debido a que son posteriormente eliminados a los cuerpos de agua, lo que puede afectar a otros organismos.

Actualmente, se reconoce que los antibióticos pueden estar presentes a cientos de metros de los sistemas de cultivo, permanecer en el ambiente por más de dos semanas luego de ser administrados y encontrarse en organismos que consumieron restos de alimentos con residuos de antibióticos. Por ello, es necesario desarrollar procedimientos de seguridad y/o buscar productos alternativos de menor riesgo ambiental.

Este aspecto es importante de resaltar, ya que la exposición a contaminantes ambientales también se ha identificado como un factor de estrés para los organismos, particularmente por el incremento en la prevalencia de enfermedades en crustáceos, tanto en condiciones de cultivo como en ambientes naturales, lo cual se manifiesta en la poca resistencia del organismo a una infección y la acción de patógenos oportunistas (Abad-Rosales et ál., 2011).

Cuadro 2. Porcentaje del daño en órganos del camarón de cultivo *Litopenaeus vannamei* tratado con un biocida formulado con sales cuaternarias de amonio (Tratamiento) y sin tratar (Control)

Órgano	Branquias												Hepatopáncreas												Intestino											
	NEC (%)				ECT (%)				BF (%)				TUB (%)				LIP (%)				GRE (%)				GAM (%)											
Escala de severidad	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	
Control (n = 36)	97	3	0	0	0	8	20	53	11	8	58	42	0	0	0	5	17	56	22	0	86	11	0	0	3	91	3	3	0	3	47	11	6	22	14	
Tratamiento (n = 36)	100	0	0	0	0	11	22	50	11	6	69	28	3	0	0	8	14	39	39	0	78	19	0	0	3	95	5	0	0	0	50	14	8	17	11	

NEC = Necrosis. ECT = Ectoparásitos. BF = Bacterias Filamentosas. TUB = Túbulos. LIP = Lípidos. GRE = Gregarinas. GAM = Gametocitos. 0: Ausencia de lesiones. 1: Leve. 2: Moderado. 3: Grave. 4: Severo
Fuente: elaboración propia.



El establecimiento de una infección en los organismos puede no deberse únicamente al incremento en el número de agentes patógenos y a la susceptibilidad del hospedero, sino que también depende en gran medida del efecto del ambiente en la proliferación del patógeno y en la fisiología del organismo (Abad-Rosales et ál., 2011).

Alternativas para reducir el impacto ambiental por el uso de químicos en la camaronicultura

Algunas de las alternativas globales para reducir el problema de enfermedades y con esto incrementar la sustentabilidad de la actividad acuícola son: a) el enfoque ecológico, que consiste en el manejo de sistemas integrados de cultivo a bajas densidades de siembra que mantengan un equilibrio con los procesos y funciones del ecosistema y b) la alternativa tecnológica, que corresponde a sistemas intensivos con selección genética, uso adecuado de antibióticos y un alto nivel de manejo del sistema. Además de estas, otras estrategias que se pueden emplear para una mayor sustentabilidad de la acuicultura son: a) aplicar procesos de evaluación para determinar el impacto ambiental que causa la acuicultura, con la finalidad de prevenir y reducir el daño al medio ambiente, b) controlar las actividades acuícolas en las zonas, para asegurar que su impacto se sitúe en los límites aceptables, c) establecer guías de buenas prácticas para el uso de compuestos químicos, d) regular los desechos que son vertidos al ambiente, utilizando estándares de calidad (límites de desechos vertidos y calidad de los mismos) y e) vigilar si existe un cambio ecológico (GESAMP, 1997).

La Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1988, siglas en inglés), ha expuesto que el desarrollo sustentable de una actividad industrial debe cumplir con la conservación de los recursos naturales como la tierra, el agua, las plantas y los animales y con la no degradación del medio ambiente, para lo cual se deben emplear recursos técnicamente adecuados, económicamente viables y socialmente aceptables.

Actualmente el escenario de producción de camarón en México es de alto riesgo e incertidumbre económica, debido a factores intrínsecos a la producción de organismos vivos, pero especialmente por factores externos como variables ambientales, de mercado y enfermedades (principalmente virales), entre otros.

Con base en estudios socioeconómicos en granjas acuícolas de los estados de Sonora y Sinaloa se demostró que para disminuir el riesgo económico en las actuales prácticas comerciales de cultivo de camarón a nivel semiintensivo, trabajar a bajas densidades de siembra es una estrategia adecuada, y la duración del ciclo de cultivo dependerá de otras variables que se manejan a lo largo del ciclo, siendo la más importante la aclimatación.

De acuerdo con el Banco Mundial (2006), el futuro de la acuicultura en México y en el mundo puede tomar tres vertientes: 1) grandes logros en productividad, intensificación e integración, concentración de la industria y diversificación en productos, especies y sistemas de cultivo; 2) degradación ambiental y peque-



ños productores marginados del desarrollo; 3) pleno desarrollo de la acuicultura, con lo que se proporcionaría atención a los ambientes acuáticos que actualmente se encuentran bajo presión por la explotación (Martínez-Cordero et ál., 2011).

Una buena apreciación de las relaciones entre la salud de las poblaciones en cultivo, el medio ambiente y los mecanismos de infección que pueden causar brotes de enfermedades, es fundamental para la efectividad de cualquier medida de bioseguridad (Ching y Limsuwan, 2011).

Conclusiones

Los resultados del estudio experimental mostraron que no hubo una disminución en las cuentas bacterianas determinadas en el sistema de cultivo después de la aplicación de OTC a través de la dieta, comparado con el estanque seleccionado como control.

En el sistema de cultivo donde se aplicó el tratamiento con las QAC en el agua de mar, se observó que no hubo una diferencia significativa en los parámetros fisiológicos evaluados en los camarones, entre el grupo control y el grupo tratado.

Tomando como referencia las conclusiones anteriores, es importante resaltar que la mayor preocupación para la salud humana sobre el uso y la eficacia de antibióticos y otros compuestos químicos en la producción acuícola, se basa principalmente en el incremento de bacterias resistentes y la transferencia de esta resistencia del ambiente acuático al terrestre, donde pudieran originarse cepas altamente inmunes a los antibióticos capaces de causar enfermedades en los humanos.

Por lo anterior, se recomienda que el desarrollo sustentable de la camaronicultura se dé en concordancia con el medio ambiente, respetándolo y realizando acciones que tiendan a disminuir el impacto negativo derivado de esa actividad, mediante la implementación de procedimientos y medidas de bioseguridad en la producción que no afecten la salud del consumidor ni degraden el medio ambiente.

Bibliografía

- Abad-Rosales, M. S. et ál. (2011) "Interacción de factores físicos, químicos y biológicos, en el cultivo de camarón" en L. A. Ruiz, Berlanga, R. C. A., Betancourt L. M. (eds.). *Avances en acuicultura y manejo ambiental*. Cap. 9., México, Trillas, pp. 151-163.
- Anónimo (2010) "El camarón, el principal producto acuícola de México" en *Panorama Acuícola Magazine*. Vol. 16, Núm. 1, pp. 11-13.
- Banco Mundial (2006) "Aquaculture: Changing the Face of the Waters. Meeting the Promise and Challenge of Sustainable Aquaculture. Agriculture and Rural Development" en *Report*. Núm. 36622.
- Cabello, F. C. (2006) "Heavy Use of Prophylactic Antibiotics in Aquaculture: A Growing Problem for Human and Animal Health and for the Environment" en *Environmental Microbiology*. Vol. 8, pp. 1137-1144.

- Capone, D. G. et ál. (1996) "Antibacterial Residues in Marine Sediments and Invertebrates Following Chemotherapy in Aquaculture" en *Aquaculture*. Vol. 145, pp. 55-75.
- Chang-Che, L. y C. Jiann-Chu (2008) "The Immune Response of white Shrimp *Litopenaeus vannamei* and its Susceptibility to *Vibrio alginolyticus* Under Low and High pH Stress" en *Fish & Shellfish Immunology*. Núm. 25, pp. 701-709.
- Chanratchakool, P. et ál. (1995) "Oxytetracycline Sensitivity of *Vibrio* Species Isolated from Diseased Black Tiger Shrimp, *Penaeus monodon* Fabricius" en *Journal of Fish Diseases*. Vol. 18, Núm. 1, pp. 79-82.
- Chávez-Sánchez, M. C. y I. Higuera-Ciapara (2003) *Manual de buenas prácticas de producción acuícola de camarón para la inocuidad alimentaria*. Hermosillo, Sonora, México, Sagarpa-Senasica-CIAD, pp. 95.
- Ching C.A. y C. Limsuwan (2011) "Nuevos protocolos de control para el TSV en camarón blanco" en *Industria Acuícola*. Vol. 7, Núm. 6, pp. 24-25.
- De Oliveira, C. J. R. et ál. (2006) "Morphological and Biochemical Changes in the Muscle of the Marine Shrimp *Litopenaeus vannamei* During the Molt Cycle" en *Aquaculture*. Vol. 261, Núm. 2, pp. 688-694.
- FAO (1988) "Aspects of FAO's Policies, Programmes, Budget and Activities Aimed at Contributing to Sustainable Development". Documento del 94º periodo de sesiones del consejo de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 15-25 de noviembre, FAO CL 94/6.
- (2010) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Documento Técnico de Pesca. Núm. 475, Roma, pp. 386.
- Flores I. J. et ál. (2007) "Puntos críticos en la evaluación del impacto ambiental de la camarónicultura en el pacífico de Nicaragua, durante su proceso productivo" en *Universita*. Vol. 1, Núm. 1, pp. 33-38.
- Gesamp (1997) IMO/FAO/UNESCO/WMO/MHO/IAEA/UN/INEP. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protections. Towards Safe and Effective Use of Chemicals in Coastal Aquaculture. Roma, Food and Agriculture Organization of The United Nations, Reports and studies núm. 65.
- Gómez-Gil, B. et ál. (1998) "Species of *Vibrio* Isolated from Hepatopancreas, Haemolymph and Digestive Tract of a Population of Healthy Juvenile *Penaeus vannamei*" en *Aquaculture*. Vol. 163, Núm. 1-2, pp 1-9.
- Gómez-Jimenez S. et ál. (2008) "Oxytetracycline (OTC) Accumulation and Elimination in Hemolymph, Muscle and Hepatopancreas of White Shrimp *Litopenaeus vannamei* Following an OTC-feed Therapeutic Treatment" en *Aquaculture*. Vol. 274, pp. 24-29.
- Gräslund, S. et ál. (2003) "A field survey of chemicals and biological products used in shrimp farming". *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 46, pp 81-90.
- Gräslund, S. y B. Bengtsson (2001) "Chemicals and Biological Products Used in South-East Asian Shrimp Farming and their Potential Impact on the Environment a Review" en *The Science of the Total Environment*. Vol. 280, pp. 93-131.
- Gullian M, F. et ál. (2004). "Selection of Probiotic Bacteria and Study of their Immunostimulatory Effect in *Penaeus vannamei*" en *Aquaculture*. Vol. 233, pp. 1-14.
- Guo, Z. (2004) "Distribution of Bacteria Injected in Body of Giant Black Shrimp, *Penaeus monodon*" en *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. Vol. 22, Núm. 2, pp. 186-191.
- Hektoen, H. et ál. (1995) "Persistence of Antibacterial Agents in Marine Sediments" en *Aquaculture*. Vol. 133, núm. 3-4, pp. 175-184.
- Hitosugi, M. et ál. (1998) "A Case of Fatal Benzalkonium chloride Poisoning" en *International Journal Legal Medicine*. Vol. 111, pp. 265-266.



- Hoá, T. T. et ál. (2011) "Transmisión de White Spot Syndrome Virus in Improved-Extensive and Semi-intensive Shrimp Production Systems: A Molecular Epidemiology Study" en *Aquaculture*. Vol. 313, Núm. 1-4, pp. 7-14.
- Hung-Hung, S. et ál. (2003) "Influence of Timsen on *Vibrio* Populations of Culture Pond Water and Hepatopancreas and on the Hemocytic Activity of Tiger Shrimp (*Penaeus monodon*)" en *Aquaculture*. Vol. 219, Núm. 2-3, pp. 123-133.
- Lunestad, B. T. y J. Goksoyr (1990) "Reduction in the Bacterial Effect of Oxytetracycline in Sea Water by Complex Formation with Magnesium and Calcium" en *Diseases of Aquatic Organisms*. Vol. 9, pp. 67-72.
- Martínez-Cordero, F. J. et ál. (2011) "Aplicación del análisis bioeconómico en la acuicultura efectos de las estrategias de manejo en la rentabilidad de granjas camaronícolas en el noroeste de México" en L. A. Ruiz, R. C. A. Berlanga, L. M. Betancourt (eds.) *Avances en la acuicultura y manejo ambiental*. Cap. 10, México, Trillas, pp. 165-175.
- Park, E. D. et ál. (1995) "Exploratory Bioavailability and Pharmacokinetics Studies of Sulphadimethoxine and Ormetoprim in the Penaeid Shrimp, *Penaeus vannamei*" en *Aquaculture*. Vol. 130, pp. 113-128.
- Phalitakul, S. J. et ál. (2006) "The Molecular Detection of Taura Syndrome Virus Emerging with White Spot Syndrome Virus in Penaeid Shrimps of Thailand" en *Aquaculture*. Vol. 260, Núm. 1-4, pp. 77-85.
- Prescott, J. F. et ál. (2000) *Antimicrobial Therapy in Veterinary Medicine*. EE. UU., Iowa State University Press Ames, 3a. ed. Núm. 13, pp. 275-289.
- Roque, A. et ál. (2001) "In vitro Susceptibility to 15 Antibiotics of Vibrios Isolated from Penaeid Shrimps in Northwestern Mexico" en *International Journal of Antimicrobial Agents*. Vol. 17, Núm. 5, pp. 383-387.
- Ruangpan, L. y T. Kitao (1992) "Minimal Inhibitory Concentration of 19 Chemotherapeutants against *Vibrio* Bacteria of Shrimp, *Penaeus monodon*" en M. Shariff, R. Subasinghe, Arthur, J. R. (eds.), *Diseases in Asian Aquaculture*. Manila, Asian Fisheries Society, pp. 135-142.
- Samuelsen, O. B. (1989) "Degradation of Oxytetracycline in Seawater at Two Different Temperatures and Light Intensities, and the Persistence of Oxytetracycline in the Sediment from a Fish Farm" en *Aquaculture*. Vol. 83, Núm. 1-2, pp. 7-16.
- Suárez, G. E. C. (2008) *Cuantificación y caracterización molecular en bacterias de hemolinfa de camarones *Litopenaeus vannamei* durante brotes del síndrome de mancha blanca y evaluaciones de sensibilidad a cinco productos antibacterianos*. Tesis doctoral, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, Bogotá, D. C., pp. 19-21.
- Subasinghe, R. et ál. (2009) "Global Aquaculture and its Role in Sustainable Development" en *Reviews in Aquaculture*. Núm. 1, pp. 2-9.
- Tendencia, E. A. y L. D. de la Peña (2001) "Antibiotic Resistance of Bacteria from Shrimp Ponds" en *Aquaculture*. Vol. 195, Núm. 3-4, pp. 193-204.
- Tezel, U. (2009) *Fate and Effect of Quaternary Ammonium Compounds in Biological Systems*. Tesis de doctorado, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, EE. UU., pp. 1-262.