

## **CAMARONICULTURA MEXICANA Y MUNDIAL: ¿ACTIVIDAD SUSTENTABLE O INDUSTRIA CONTAMINANTE?**

Luis R. MARTÍNEZ-CÓRDOVA<sup>1\*</sup>, Marcel MARTÍNEZ PORCHAS<sup>2</sup> y Edilmar CORTÉS-JACINTO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora. Blvd. Luis Encinas y Rosales, Hermosillo, Sonora, 83000, México. \*Autor responsable: lmtz@guaymas.uson.mx

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Carretera a La Victoria km 0.6, 83304, Hermosillo, Sonora.

<sup>3</sup> Programa de Acuicultura, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Mar Bermejo 195, La Paz, 23090, B.C.S., México, ecortes04@cibnor.mx

*(Recibido diciembre 2007, aceptado septiembre 2008)*

Palabras clave: Acuicultura sustentable, camaronicultura, contaminación de suelo y agua, impacto ambiental

### **RESUMEN**

El presente documento ofrece un panorama general sobre la camaronicultura mexicana en el contexto mundial, incluyendo su importancia, el desarrollo de la industria, éxitos y fracasos, y alternativas para ser una actividad sustentable. Actualmente la acuicultura es la actividad agroindustrial de mayor desarrollo a nivel mundial, con un volumen global superior a los 60 millones de toneladas, y un valor de alrededor de 15 mil millones de dólares, con lo que contribuye en más de 40 % a la producción de organismos acuáticos. Dentro de la actividad, la camaronicultura es una de las que ha mostrado un desarrollo más explosivo tanto a nivel mundial como en nuestro país. Asia es la región con el mayor desarrollo en el cultivo de la mayoría de las especies, siendo China, el país líder en esta actividad. Sin embargo, en términos de crecimiento, algunos países de América Latina, incluyendo México, están ahora en el escenario mundial. La camaronicultura mexicana creció alrededor de 17 % en sólo dos años y se espera un crecimiento sostenido en los próximos 10 años. Los mayores tropiezos de la actividad son aquellos relacionados con la aparición de epizootias y con el impacto ambiental sobre los ecosistemas aledaños a las granjas. Algunas alternativas han sido y están siendo aplicadas para minimizar estos problemas. El documento concluye que la camaronicultura puede ser una actividad sustentable si es manejada con la asesoría de expertos en investigación científica y desarrollo tecnológico y que en su crecimiento y expansión sean tomados en cuenta no sólo los beneficios económicos, sino primordialmente los aspectos ecológicos involucrados.

Key words: environmental impact, shrimp culture, soil pollution, sustainable aquaculture, water pollution

### **ABSTRACT**

The present document offers an overview of Mexican shrimp culture in a global context, including its importance, industry development, successes and failures, and alternatives to achieve sustainability. Aquaculture is currently the worldwide agro-industrial activity with the largest growth rate, with a global volume over 60 million tones and

an economic value of 15 billion USD, which contributes with more than 40 % to the production of aquatic organisms. Herein, shrimp culture has shown the most explosive development in México as in the rest of the world. Asia is the region with the largest development in the culture of most of the species, being China, the leader country in this activity. Nevertheless, in growth terms, some Latin American countries including México have been positioned in the world scenario. Mexican shrimp culture grew around 17 % in only two years and is expected a maintained growth during the next 10 years. The most important blunders of the activity are those related to the epizooties and environmental impacts over the neighboring ecosystems. Some alternatives have been applied to minimize or buffer these problems. The document concludes that shrimp culture can be a sustainable activity if it is managed with the advising of scientists and technological development experts, and that during the growth and expansion process of this activity it is necessary to take into account not only economical benefits, but primarily the involved ecological aspects.

## PANORAMA MUNDIAL DE LA ACUICULTURA

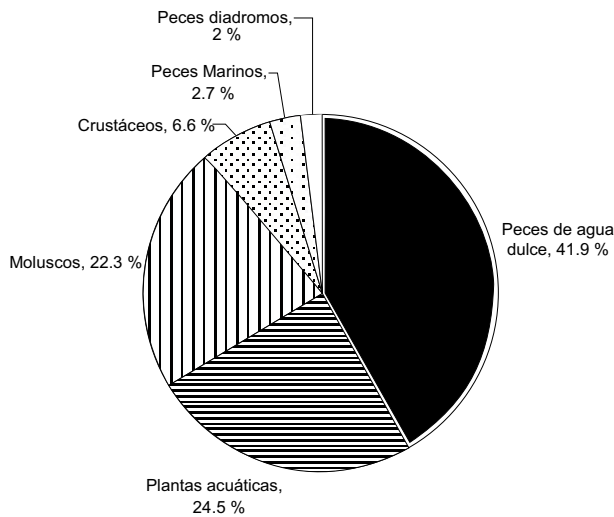
La acuicultura ha sido practicada por más de 2000 años en forma artesanal, reciclando desechos y utilizando nutrientes que no son utilizados directamente para consumo humano. Sin embargo, los sistemas intensivos de cultivo comparables a la producción altamente tecnificada de animales terrestres son mucho más recientes (Deutsch *et al.* 2007). En 2005 la producción mundial de organismos acuáticos fue de alrededor de 141.6 millones de toneladas con un valor superior a 70 mil millones de dólares (FAO 2005). De esta producción, poco más de 60 millones de toneladas provinieron de la acuicultura, lo que significó una contribución de alrededor de 42 %. Esto muestra que la actividad tiene actualmente y continuará teniendo una enorme participación en el abastecimiento de peces y mariscos en todo el mundo (Naylor y Burke 2005). Los desembarcos mundiales de organismos acuáticos por captura han permanecido relativamente estables en los últimos diez años en un volumen alrededor de 93 millones de toneladas; sin embargo, la acuicultura creció de 30 millones de toneladas en 1998 a más de 60 millones de toneladas en 2004, es decir un crecimiento de 100 % en sólo seis años. Asia es la región con el mayor desarrollo acuícola y China es el país líder con una producción de 32.5 millones de toneladas en 2005 (alrededor de 67 % de la producción mundial total). Las principales razones para este desarrollo tan polarizado son las siguientes:

- Una mayor tradición de los países asiáticos en la actividad acuícola, ya que desde hace 400 años practican la acuicultura integral a base de prueba y error, y experimentación (Chopin *et al.* 2001, Frankic y Hershner 2003).

- Un mayor consumo *per capita* y consecuentemente una mayor demanda por productos pesqueros de la población (Páez-Osuna 2005). Los peces proporcionan 26 % de la proteína consumida en Asia y 22 % en China, en comparación con menos de 10 % en Norteamérica (Tidwell y Allan 2001).
- Se cuenta con enormes superficies adecuadas para acuicultura de tipo extensivo (incluyendo clima, topografía, calidad del suelo y fuentes adecuadas de agua) (Cortés-Jacinto 1998). China cuenta actualmente con una superficie de 2,219,976 ha de estanquería acuícola (Xia *et al.* 2004).
- La urgente necesidad de generar alimento, empleo y divisas para esos países (Naylor *et al.* 2000, Tidwell y Allan 2001). China es el país que cuenta con el mayor número de piscicultores, con 4.5 millones personas en 2004 (158 % más con respecto a 1990) (FAO 2007).

Los diez principales países en cuanto a la producción acuícola en 2004 fueron: China, India, Vietnam, Indonesia, Tailandia, Bangladesh, Japón, Chile, Noruega y Filipinas (FAO 2005). Sin embargo, nuevos países han emergido en los últimos años en esta importante industria, tales como: Egipto, Myanmar, Estados Unidos de Norteamérica, República de Corea, Irán, Islas Feroes, Brasil, Rusia, México, Taiwán y Canadá.

Entre los grupos de especies que mayormente contribuyen a la producción por acuicultura destacan los peces de agua dulce con un volumen de 26 millones de toneladas (41.9 %), las plantas acuáticas con 14.5 millones de toneladas (24.5 %), los moluscos con 13 millones de toneladas (22.3 %), crustáceos con poco más de 3.9 millones de toneladas (6.6 %), peces marinos con alrededor de 1.6 millones de toneladas (2.7 %) y peces diádromos con 1.2 millones de toneladas (2 %) (Fig. 1). En el grupo de los peces marinos han emergido



Nota: total de producción en 2005, 62.9 millones de toneladas

**Fig. 1.** Estadísticas de producción acuícola por grupos taxonómicos de especies.

recientemente especies de gran potencial dentro de la actividad (*Hippoglossus hippoglossus*, *Gadus morhua*, *Lutjanus analis*). En cuanto a valor comercial, los peces dulceacuícolas nuevamente se colocan en el primer lugar con alrededor de 26 mil millones de dólares en 2005, los crustáceos se ubican en el segundo sitio con 15 mil millones de dólares, seguidos de los moluscos con 11 mil millones, las plantas acuáticas 7 mil millones, los peces marinos con 5700 millones y los peces diádomos con 3 mil millones (FAO 2005). En términos de crecimiento porcentual, desde 2000 hasta 2006, los crustáceos tienen la tasa más elevada (54 %), seguidos por los peces marinos (39 %), peces de agua dulce (24 %) y moluscos (20 %).

### UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS ACUÁTICOS

Del total de la producción de organismos acuáticos provenientes tanto de la pesca como de la acuicultura, aproximadamente 70 % son utilizados directamente para consumo humano, mientras que el resto para diferentes propósitos como: alimentos para otros animales (avicultura, ganadería, acuicultura, animales domésticos), fertilizantes, cosméticos, medicinas, etc. (Shelton y Rothbart 2006). Un asunto muy importante a considerar, pensando en la sustentabilidad, es la dependencia que la acuicultura y otras zootecnias tienen de la harina de pescado. La producción de peces y de harina de pescado ha permanecido relativamente estable en los últimos

años (Tidwell y Allan 2001, Deutsch *et al.* 2007), mientras que la demanda ha crecido en 25 % de 1988 a 2003 (Kristofersson y Anderson 2006). Es entonces absolutamente necesario buscar fuentes alternativas de proteína para la elaboración de estos alimentos para acuicultura y otros organismos animales.

### MAYORES CONTRIBUCIONES DE LA ACUICULTURA MUNDIAL

Entre los beneficios más importantes que se le pueden atribuir a la actividad acuícola mundial, son dignos de mencionar los siguientes:

1. Una enorme producción de alimentos de alta calidad a precios accesibles. Actualmente el precio por kilogramo de carpa y tilapia se ubican en alrededor de 20.00 y 32.00 pesos M.N, respectivamente. Esto es un ejemplo de que la acuicultura puede contribuir a incrementar la seguridad alimentaria urbana (Hishamunda y Ridler 2002). Además, las especies producidas en cultivo acuícola son productos higiénicos y seguros (Focardi *et al.* 2005).
2. Preservación de la biodiversidad acuática a través del reclutamiento y recuperación de especies protegidas (Frankic y Hershner 2003).
3. Generación de empleo: 36 millones de empleos directos (Tidwell y Allan 2001).
4. Contribución al desarrollo social. Cuando se practica en áreas rurales se ejerce presión para mejorar infraestructura y promover el desarrollo de pequeñas comunidades, disminuyendo la migración de jóvenes a las ciudades (Hishamunda y Ridler 2002) y generando así un impacto social positivo (Malagrino *et al.* 2008).
5. Generación de divisas para países en desarrollo. En 1990, África y América Latina tuvieron ingresos por más de 772 millones de dólares, mientras que en 2004 los ingresos fueron por más de 5600 millones de dólares (FIGIS 2007). En estos países la producción de peces marinos y crustáceos durante el periodo 2000-2004 creció a una tasa anual de 11 %, mientras que en países desarrollados fue de 2 % (FAO 2007a).
6. Diseño de tecnologías apropiadas, como sistemas de recirculación de agua, bioseguros, jaulas flotantes (Focardi *et al.* 2005), sistemas con proliferación de bacterias nitrificantes en la columna de agua (Jory 2008), entre otros.
7. Avance en el conocimiento de la fisiología de muchos organismos acuícolas tales como mo-

luscos (*Crassostrea gigas*, *Patinopecten yesoensis*, *Mytilus edulis*), crustáceos (*Litopenaeus vannamei*, *Penaeus monodon*, *Macrobrachium rosenbergii*), peces de aguas continentales (*Hypophthalmichthys molitrix*, *Cyprinus carpio*, *Catla catla*) y peces marinos (*Salmo salar*, *Achirus lineatus*), entre otras especies.

8. Desarrollo de proyectos sustentables para ciertas especies, como por ejemplo el cultivo “tierra adentro” de *L. vannamei* en el Valle de Mexicali B.C., donde el agua de los efluentes, enriquecida con nutrientes, se utiliza para riego agrícola. También se han implementado sistemas de policultivo (conocidos como acuicultura ecológica) de diversas especies como crustáceos (*L. vannamei*) y moluscos (*C. gigas*, *Chione fluctifraga*) (Páez-Osuna 2005, Martínez-Córdova *et al.* 2006) e incluso policultivo de camarón con moluscos en suspensión (mejillón, *Perna canaliculus*), los cuales no requieren alimento artificial suplementario (Folke y Kautsky 1992). El desarrollo de este tipo de proyectos implica que la producción puede ser sostenida sin cambios significativos a los procesos ecológicos de especies, poblaciones o comunidades (Gibbs 2007).

## MAYORES DIFICULTADES O RIESGOS DE LA ACUICULTURA MUNDIAL

Entre los aspectos negativos que se le atribuyen a la acuicultura a nivel mundial, los que mayormente se mencionan son:

### 1. Competencia con otras actividades

La acuicultura compite con otras actividades económicas por el uso de suelo, agua, paisaje y mercado, entre otros (Páez-Osuna 2001a). Entre las actividades con las que existe la mayor competencia se encuentran:

- La agricultura y ganadería, con las que se compite por el uso de suelo y agua. En algunos casos es posible compaginar estas actividades para un uso común del agua, lo que se conoce como sistemas integrales de producción (Neori *et al.* 2004, Muangkeow *et al.* 2007).
- La pesca, en donde la competencia se da principalmente por la utilización de larvas, juveniles y reproductores silvestres. Esto se considera un factor que afecta el reclutamiento en las poblaciones naturales utilizadas para captura por pesca (Naylor y Burke 2005). Además se compite por el mercado; en este sentido la sobreoferta de productos acuícolas ha abatido los precios de ciertos

productos como el camarón (Neori *et al.* 2007).

- Las actividades turísticas, ya que se considera que la instalación de granjas acuícolas en lugares turísticos afecta negativamente la preferencia de los turistas por estos lugares.

### 2. Impactos ambientales

Una de las principales críticas de que es objeto la actividad acuícola, es la de ser una actividad poco sustentable, que ocasiona importantes impactos ambientales (Naylor *et al.* 2000, Páez-Osuna 2001b; Rönnbäck 2001, González-Ocampo *et al.* 2006; Primavera 2006). Los impactos principalmente señalados son los siguientes:

- Destrucción de bosques de manglar y marismas (Naylor *et al.* 2000, DeWalt *et al.* 2002, Páez-Osuna 2005, Rajitha *et al.* 2007). Los bosques de mangle (Olguín *et al.* 2007) son ecosistemas de enorme importancia, ya que constituyen la fuente principal de materia orgánica de la zona costera (Tidwell y Allan 2001); son también áreas de crianza de muchos organismos económica y ecológicamente importantes: constituyen además el refugio de aves, reptiles, crustáceos y otros grupos taxonómicos (Páez-Osuna 2001b). La superficie de manglares ha disminuido de 19.8 millones de hectáreas en 1980 a menos de 15 millones de hectáreas en 2000. La tasa de deforestación de manglar fue de 1.7 % anual de 1980 a 1990 y de 1.0 % anual entre 1990 y 2000 (FAO 2007b). Reportes indican que la industria acuícola ha deforestado millones de hectáreas de mangle alrededor del mundo, en países como Tailandia, Indonesia, Ecuador y otros, lo que ha representado un grave problema para el ambiente (Naylor *et al.* 2000). De 1975 a 1993, la expansión de granjas intensivas de camarón en Tailandia disminuyó el área de manglar de 312,700 a 168,683 ha (Barbier *et al.* 2002). Filipinas ha convertido 205,523 ha de manglares y humedales en granjas acuícolas. Igualmente lo ha hecho Indonesia con 211,000 ha, Vietnam 102,000 ha, Bangladesh 65,000 ha y Ecuador 21,600 ha (Páez-Osuna 2001a). En México, esta situación no se ha dado de manera tan severa; en 1990 se documentó una superficie de manglares en de 985,600 ha, mientras que en 2005 se reportaron 820,000 ha (FAO 2007b). El impacto por la acuicultura en nuestro país no ha sido significativo y esto se debe a que los mayores polos de desarrollo de la actividad se encuentran en la zona noroeste, donde los bosques de manglar son realmente escasos. Berlanga-Robles y Ruiz-Luna (2006)

indican que en el sistema estuarino de San Blas, Nayarit, México, la cobertura de manglar no ha sido desplazada por estanques camaronícolas en forma significativa.

- Contaminación de fuentes de agua para consumo humano (Páez-Osuna 2001b).
- Eutrofización de cuerpos de agua receptores de las descargas (Feng *et al.* 2004, Gyllenhammar y Hakanson 2005). La eutrofización es el enriquecimiento de cuerpos de agua con materia orgánica, ocasionado principalmente por el alimento no consumido y lixiviado (Focardi *et al.* 2005, Crab *et al.* 2007) y por la fertilización orgánica e inorgánica en las granjas acuícolas (Burford y Williams 2001, Tacon y Forster 2003). Se ha demostrado en granjas camaronícolas australianas que, del alto porcentaje del nitrógeno contenido en el alimento, sólo una pequeña proporción es retenida por el camarón, mientras que el remanente se incorpora al sistema de los estanques en donde es degradado (Jackson *et al.* 2003). Esto puede causar serios problemas en los ecosistemas receptores de las descargas, como florecimientos explosivos de fitoplancton (Alonso-Rodríguez y Páez-Osuna 2003), algunas veces de especies tóxicas, enterramiento y muerte de comunidades bentónicas en las áreas cercanas a la descarga, olores indeseables y probable presencia de organismos patógenos (Martínez Córdova y Enríquez-Ocaña 2007). La magnitud del problema, está relacionada con la intensificación del sistema de cultivo y consecuentemente la cantidad de alimento artificial empleada (Crab *et al.* 2007, Deutsch *et al.* 2007), así como con el manejo del alimento y las prácticas de alimentación (Tacon y Forster 2003). Esto último puede ser fácilmente evaluado por el factor de conversión alimenticia (FCA) obtenido. Existen datos para el caso del cultivo intensivo de camarón (*P. monodon*) en que se reporta que, cuando el manejo es muy eficiente y se obtienen FCA cercanos a 1, y por cada tonelada de camarón producida se vierten al ambiente 500 kg de materia orgánica, 26 kg de nitrógeno y 13 kg de fósforo. En contraparte, si el manejo es muy ineficiente y el FCA es de alrededor de 2.5, la cantidad de materia orgánica desechada por cada tonelada de camarón producida será de 1625 kg, la de nitrógeno de 117 kg y la de fósforo de 38 kg (**Cuadro I**).

Esto significa que factores de conversión alimenticia superiores a 2 representan un impacto altamente significativo al ambiente, sobre todo si se considera el volumen actual de la producción camaronícola. En

**CUADRO I.** CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA, NITRÓGENO Y FÓSFORO DESCARGADOS A TRAVÉS DE LOS EFLUENTES DE GRANJAS CAMARONÍCOLAS POR CADA TONELADA DE CAMARÓN PRODUCIDA, EN RELACIÓN AL FACTOR DE CONVERSIÓN ALIMENTICIA (FCA) (Tacon 2002)

FCA	Materia orgánica (kg)	Nitrógeno (kg)	Fósforo (kg)
1.0	500	26	13
1.5	875	56	21
2.0	1250	87	28
2.5	1625	117	38

México por ejemplo, bajo este último escenario, se estarían descargando al ambiente 130,000 toneladas de materia orgánica, 9360 toneladas de nitrógeno y 3040 toneladas de fósforo por cada ciclo de cultivo. Páez-Osuna *et al.* (1997) reportan que por cada tonelada de camarón (*L. vannamei*) producida en cultivo semi-intensivo en Sinaloa, la cantidad desechada de nitrógeno es de 28.6 kg y la de fósforo de 4.6 Kg., mientras que, Casillas-Hernández *et al.* (2006) indican que por tonelada de camarón de la misma especie producida utilizando el mismo sistema de cultivo en granjas de Sonora, los valores de nitrógeno y fósforo desechados son de 73.3 y 13.2 kg, respectivamente, con práctica de alimentación mecánica, y de 70.6 y 12.8 kg, respectivamente, con práctica de alimentación en canasta.

- Modificación o destrucción del hábitat de animales acuáticos y terrestres (Naylor y Burke 2005; González-Ocampo *et al.* 2006, Shelton y Rothbart 2006). Naylor *et al.* (2000) indican que la “contaminación biológica” por especies introducidas como el salmón (*S. salar*) tiene un efecto potencial sobre las poblaciones naturales de las especies, vía propagación de enfermedades y parásitos.
- Modificación del paisaje y del patrón hidrológico (Naylor *et al.* 2000, DeWalt *et al.* 2002, Berlanga-Robles y Ruiz-Luna 2006). Ruiz-Luna y Berlanga-Robles (1999) mencionan que las actividades agrícola y acuícola han degradado el ambiente natural del sistema lagunar Huizache-Caimanero en Sinaloa, y el sistema estuarino de San Blas en Nayarit, México.
- Trampa y muerte de larvas y huevos de peces y otros organismos del medio natural (Naylor *et al.* 2000). Se estima que por cada millón de poslarvas de camarón se destruyen de 4 a 7 millones de organismos de otras especies (Páez-Osuna 2001a, 2005).

### 3. Epizootias

La aparición de epizootias se ha dado en gran medida en la acuicultura mundial y más específicamente en la camaronicultura, especialmente desde que ésta se ha convertido en una actividad industrial masiva (Naylor y Burke 2005). En algunos casos estas epizootias han acabado prácticamente con la actividad, como sucedió en Taiwán y en menor medida en Ecuador con el cultivo del camarón (Lightner 1996, Rodríguez *et al.* 2003, Sánchez-Martínez *et al.* 2007). Los agentes patógenos que afectan la acuicultura son principalmente virus y bacterias y cada vez aparecen nuevos agentes causantes de nuevas enfermedades.

Las causas principales para la aparición de enfermedades están relacionadas con las malas prácticas de manejo, movilidad de animales vivos e infectados hacia áreas libres de patógenos y la introducción de especies exóticas (Unzueta-Bustamante *et al.* 2004).

Las enfermedades que mayormente han afectado a la acuicultura mundial de camarón son:

- El síndrome de la mancha blanca o *white spot syndrome virus* (WSSV), clasificado dentro de la familia de virus *Nimaviridae* (género *Whispovirus*). Fue detectado en América en 1999. Algunas regiones han sido impactadas con pérdidas de 100 % de la producción de granjas de camarón. Este virus ha sido considerado el patógeno número uno debido a la severidad de la infección, que provoca mortalidades masivas (dentro de 7-10 días de cultivo), especialmente cuando hay cambios ambientales repentinos (Sánchez-Martínez *et al.* 2007). En México los mayores impactos de este virus se han dado en Sinaloa y sur de Sonora. En un estudio de Lyle-Fritch *et al.* (2006) reportaron que durante el ciclo de cultivo de 2001, se presentaron enfermedades asociadas a gregarinas (*Nematopsis*, *Cephalobus* y *Paraophioidina*), vibriosis (infección causada por bacterias) y WSSV, con la presencia de dos o más diferentes enfermedades en 81.8 % de las granjas de Sinaloa, México.
- El síndrome de Taura (TSV). Este virus fue el causante de 60 % de pérdidas en la producción de camarón en 1992 en granjas ubicadas cerca del Río Taura en el Golfo de Guayaquil, Ecuador (Pinheiro *et al.* 2007). Inicialmente estuvo presente con infecciones severas; posteriormente la severidad disminuyó, pero a partir de 2003 y 2004 se presentaron de nuevo mortalidades considerables en algunas granjas debido a este patógeno.
- La infección hematopoyética necrotizante (IHHNV). Fue el primer virus detectado en 1990

en la camaronicultura mexicana en el camarón azul, *L. stylirostris* (Lightner 1996, Jiménez *et al.* 1999), causando mortalidades masivas y llevando a los acuicultores a cambiar la especie por *L. vannamei*, una especie más resistente al virus. Actualmente se le ha detectado en algunas granjas, aunque su severidad ha disminuido.

- Bacterias tipo vibrio. Causan aproximadamente 10 % de las pérdidas en granjas de camarón. El mal manejo de los estanques es la principal causa de su presencia (Aguirre-Guzmán *et al.* 2003). Las infecciones incipientes pueden resultar ser reversibles.
- El virus de la cabeza amarilla (YHV), el cual ha estado presente en la camaronicultura asiática (*P. monodon*), pero que en América es relativamente reciente.
- Las bacterias intracelulares tipo NHP, clasificadas como una  $\alpha$ -protobacteria, ha causado mortalidades de hasta 95 %, ocasionando pérdidas económicas a la industria camaronícola en algunas granjas de los países de Norte y Sudamérica (Vincent y Lotz 2007).
- Aparte de las epizootias anteriormente mencionadas, se han reportado también efectos y daños producidos por florecimientos algales nocivos. Algunas especies de microalgas en condiciones favorables tienen florecimientos explosivos (*blooms*) y pueden ser tóxicas para el camarón en cultivo (Páez-Osuna *et al.* 2003). Alonso-Rodríguez y Páez-Osuna (2003) han documentado proliferaciones nocivas de dinoflagelados (mareas rojas) en estanques de cultivo de camarón en México e indican que en 1998 los dinoflagelados *Gymnodinium* causaron pérdidas económicas del orden de los 40 millones de dólares en granjas de cultivo de *P. monodon* en China.

### CAUSAS DE LAS GRANDES FALLAS EN LA ACTIVIDAD CAMARONÍCOLA

En términos generales, las causas más importantes que han ocasionado las grandes fallas de la camaronicultura son las siguientes:

1. Mala selección de los sitios para el establecimiento de las granjas, principalmente debido a un desconocimiento de la capacidad de carga de los cuerpos de agua para la toma y descarga de la misma (Magallon-Barajas *et al.* 2008). Muchas granjas utilizan el mismo cuerpo de agua para ambos propósitos, con lo que se recirculan los desechos (Burford y Williams 2001, Magallón-Barajas

*et al.* 2006). Esto tiene un impacto negativo en los cuerpos de agua o playas (Martínez-Cordero y Leung 2004). La regulación de proyectos de producción camaronícolas por parte de las autoridades federales, estatales y municipales podría minimizar este impacto.

2. Malas prácticas de manejo especialmente en aspectos como sobrealimentación y sobrefertilización, uso de alimentos inadecuados (usualmente más proteína de la necesaria o con baja digestibilidad), subutilización del alimento natural (Martínez-Córdova y Campaña-Torres 2000, Martínez-Córdova *et al.* 2002, 2003, 2006), altas tasas de recambio de agua, falta de tratamiento de los estanques entre ciclos de cultivo y uso de especies exóticas que tienen impactos ecológicos en las aguas costeras (Rajitha *et al.* 2007).

### ALTERNATIVAS PARA AVANZAR EN LA SUSTENTABILIDAD

Para que la camaronicultura pueda ser realmente una actividad sustentable es necesario avanzar en muchos aspectos, entre los que se pueden destacar:

#### 1. La planeación y el manejo estratégico de las granjas en términos de:

- Una adecuada selección del sitio en que serán ubicadas. Boyd *et al.* (2001) indican que esto es necesario para la construcción y operación sustentable de una granja acuícola. Esta selección debe considerar: el tipo de suelo, su cubierta vegetal, tipo de terreno y otros factores edáficos. En la actualidad se han utilizado los sistemas de información geográfica (GIS, por sus siglas en inglés), así como el sistema de posicionamiento global (GPS, siglas en inglés), que utilizan imágenes de satélite para delimitar áreas potenciales para la acuicultura sustentable, moderadamente sustentable o no sustentable (Karthik *et al.* 2005).
- Una evaluación precisa de la capacidad de carga de los cuerpos de agua para la toma y descarga. La necesidad de predicciones precisas de parámetros de calidad de agua ha demandado el uso de métodos tecnológicos avanzados como los sensores remotos integrados a sistemas GIS (Rajitha *et al.* 2007).
- Un adecuado sistema de toma y descarga del agua. Se debe evaluar la disponibilidad y la calidad de agua, condiciones climáticas, patrones de mareas y flujo de aguas continentales que incluyan ni-

veles y frecuencia de inundaciones (Boyd *et al.* 2001).

- Manejo preciso del recambio de agua, de tal manera que sea posible arrojar al ambiente la menor cantidad posible de efluentes sin menoscabo de la producción. Son también deseables sistemas en donde se maneje el recambio con la menor cantidad de energía posible, como los estanques de marea que se manejan en el CIBNOR, en La Paz, B.C.S. (**Fig. 2**).



**Fig. 2.** Estanque de 1 ha con recambio de agua por diferencia del nivel de mareas. (Fotografía de Edilmar por Cortés-Jacinto, Programa de Acuicultura, CIBNOR)

- Tratamiento de los estanques entre ciclos de cultivo. Summerfelt y Penne (2007) indican la importancia de remover los sedimentos de los estanques.
- El manejo sanitario de las especies acuícolas, lo cual permitirá prevenir brotes de enfermedades infecciosas y no-infecciosas. La implementación de prácticas de bioseguridad reduce costos de operación, minimizando el número y severidad de los brotes de enfermedades (Timmons *et al.* 2002).
- Cultivo de especies nativas. Chopin *et al.* (2001) indican que el desarrollo del cultivo de especies nativas de alto valor comercial sería altamente deseable. Ross *et al.* (2008) han desarrollado a escala piloto el cultivo de especies nativas como el pescado blanco (*Menidia estor*) en Pátzcuaro, Michoacán, México, proyecto que ha sido utilizado como ejemplo de conservación de la biodiversidad y explotación acuícola.
- La implementación de prácticas adecuadas de

manejo de los sistemas de cultivo, en términos de alimentos y estrategias de la alimentación, fertilización, promoción y utilización óptima del alimento natural, incluyendo comunidades microbianas dentro de los estanques de cultivo. Una reciente alternativa es el uso de *bio-flocs*, conocidos también como flóculos bacterianos (agregación de partículas sólidas en una dispersión coloidal), que son sistemas de co-cultivo de bacterias heterotróficas que proliferan en condiciones controladas en los estanques de cultivo (De Schryver *et al.* 2008). Investigaciones llevadas a cabo en Brasil (Ballester *et al.* 2006; Fernandez Da Silva *et al.* 2008) indican que es posible la maternización y precría de camarones peneidos a muy altas densidades (hasta 6000/m<sup>2</sup>), utilizando biopelículas y flóculos bacterianos como fuente primordial de alimentación, con un significativo ahorro de alimento artificial y una mejora sustancial de la calidad del agua de descarga.

- Manejo de los efluentes donde se consideren estrategias para minimizar la carga contaminante, como sistemas de recirculación, bajo o cero recambio, policultivos y sistemas de biorremediación. Los sistemas de recirculación para la acuicultura permiten cultivos a mayor intensidad, en ambiente totalmente controlado, en condiciones de bioseguridad donde los residuos sólidos son filtrados y removidos (Timmons *et al.* 2002). La aplicación a gran escala de cero recambio de agua y la tecnología de recirculación ha incrementado la confianza de los productores y su conocimiento del potencial de reducir o eliminar la rutina de recambio de agua en sus sistemas de producción de camarón (Browdy *et al.* 2001). El **cuadro II** presenta

un resumen de algunas especies que han sido evaluadas en policultivo o biorremediación. El cultivo hidropónico de vegetales en efluentes acuícolas (Timmons *et al.* 2002) representa una forma de utilizar los desechos producidos por el cultivo de organismos acuáticos en lugar de arrojarlos al ambiente; de esta manera se convierte un contaminante potencial en un producto de utilidad. La biorremediación de efluentes es un proceso biológico donde diversos microorganismos u organismos mayores, utilizan o degradan diversos contaminantes presentes en agua, suelo o aire hasta compuestos no tóxicos (Olguín *et al.* 2007). La biorremediación en acuicultura puede ser conducida mediante el uso de microbios, plantas u otros animales en condiciones ambientales *ex situ* o *in situ*. Es una de las prácticas más efectivas para disminuir los nutrientes y la carga orgánica de los efluentes acuícolas, utilizando principalmente moluscos filtroalimentadores y macroalgas (**Cuadro II**) (Neori *et al.* 2000, Chopin *et al.* 2001, Neori *et al.* 2007). Existen muchas especies de moluscos con potencial para este propósito, algunos de importancia comercial, que pueden representar un ingreso adicional para los acuicultores (Shpigel y Neori 1996). Sin embargo, es necesario evaluar la efectividad de los organismos utilizados en términos de su capacidad para remover los contaminantes específicos que se desean eliminar o minimizar, así como también la respuesta productiva bajo estas condiciones particulares del policultivo. Jones *et al.* (2001) y Jones y Preston (1999) reportan que los efluentes camaronícolas son adecuados para la engorda de moluscos bivalvos. Lefebvre *et al.* (2000) compararon el valor nutricional de una

**CUADRO II.** RESUMEN DE ESPECIES ACUÍCOLAS UTILIZADAS EN POLICULTIVO O BIORREMEDIACIÓN

Sistema de cultivo	Especie principal de cultivo	Especie alternativa (molusco o peces)	Macroalga	Referencia
Extensivo	<i>P. monodon</i>	<i>Chanos chanos</i>		Bergquist (2007)
Semi-intensivo	<i>L. vannamei</i>	<i>C. virginica</i>		Jakob <i>et al.</i> (1993)
Intensivo	<i>L. vannamei</i>	<i>C. virginica</i> / <i>C. fluctifraga</i>		Martínez-Córdova y Martínez-Porchas (2006)
Intensivo	<i>L. vannamei</i>	<i>Oreochromis niloticus</i>		Muangkeow <i>et al.</i> (2007)
Intensivo	<i>P. japonicus</i>	<i>Saccostrea commercialis</i>		Jones y Preston (1999)
Intensivo	<i>P. japonicus</i>	<i>S. commercialis</i>	<i>Gracilaria edulis</i>	Jones <i>et al.</i> (2001)
Intensivo	<i>P. monodon</i>	<i>Mytilus edulis</i>	<i>Gracilaria sp</i>	Chopin <i>et al.</i> (2001)
Intensivo	<i>Sparus aurata</i>	<i>Tapes philippinarum</i>	<i>Ulva lactuca</i>	Neori <i>et al.</i> (2007)
Intensivo	<i>S. aurata</i>	<i>Haliotis discus hannai</i>	<i>Laminaria japonica</i> / <i>U. lactuca</i>	Neori <i>et al.</i> (2000)



microalga cultivada (*Skeletonema costatum*) con un efluente del cultivo de peces (*Dicentrarchus labrax*) como fuentes de alimentación para el ostión del Pacífico (*C. gigas*), no encontrando diferencias significativas entre ambas. Jacob *et al.* (1993) utilizaron efluentes camaronícolas para cultivar ostiones americanos *C. virginica*, encontrando que dichos efluentes proveen todos los requerimientos nutricionales para los ostiones, que crecieron a una tasa de 3.7 g/semana. Martínez-Córdova y Martínez-Porchas (2006) realizaron un policultivo de camarón (*L. vannamei*), ostión japonés (*C. gigas*) y almeja negra (*Chione fluctifraga*) en lagunas de descarga de granjas camaronícolas, encontrando que tanto los camarones como las almejas se desarrollaron satisfactoriamente y que además se mejoró sustancialmente la calidad del agua del efluente.

## 2. El aprovechamiento del alimento natural

Una de las principales prácticas recomendadas por los especialistas en nutrición acuícolas para hacer de la camaronicultura una actividad más sustentable, es el aprovechamiento del alimento natural que se da en los sistemas de cultivo (Burford y Williams 2001, Tacon 2002, Martínez-Córdova *et al.* 2002). Algunas de las ventajas de esta práctica son las siguientes:

- Puede cubrir hasta 70 % de los requerimientos nutricionales de ciertas especies en diferentes fases de desarrollo y ciertos tipos de cultivos, como por ejemplo el semi-intensivo del camarón (Anderson *et al.* 1989, Focken *et al.* 1998, Casillas-Hernández *et al.* 2007, Venero *et al.* 2007), reduciendo los costos de alimentación entre 40-50 % (De Schryver *et al.* 2008).
- Tiene un efecto positivo en la condición nutricional y sanitaria de los camarones, así como en su calidad postcosecha (Rivas-Vega *et al.* 2001). El uso de *bio-floc* por su composición nutricional es

**CUADRO III.** COMPOSICIÓN NUTRIMENTAL DE ALGUNOS DE LOS FERTILIZANTES ORGÁNICOS (Modificado de Martínez-Córdova 1998)

Fertilizante	Humedad	Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Potasio (K)
Composición (%)				
Estiércol de ganado vacuno	78	0.7	0.2	0.5
Estiércol de borrego	64	1.1	0.3	1.1
Estiércol de caballo	-	2.33	0.8	1.3
Estiércol de conejo	-	1.7	1.3	1.0
Cerdaza	74	0.5	0.2	0.4
Gallinaza	76	1.1	0.4	0.4
Pollaza	76	1.6	0.7	0.7

una alternativa importante para producir especies acuícolas saludables de alta calidad a menor costo (De Schryver *et al.* 2008), además del valor adicional que brinda a los productores piscícolas al reducir costos por tratamientos de aguas de descarga (Crab *et al.* 2007).

- Evita el uso de cantidades excesivas de alimento artificial y contribuye a mejorar la calidad del agua en los estanques y efluentes (Martínez-Córdova *et al.* 1998, 2002, 2006), disminuyendo la contaminación ambiental.

Para que el alimento natural tenga una contribución importante en la nutrición de los organismos cultivados, es necesario mantenerlo en densidades adecuadas dentro de los sistemas de cultivo. Para ello se requiere implementar ciertas prácticas de promoción y manejo entre las que se considera, de acuerdo a Martínez-Córdova *et al.* (2002), las siguientes:

- Fertilización orgánica e inorgánica. Los **Cuadros III y IV** presentan la composición de fertilizantes orgánicos e inorgánicos respectivamente.
- Promoción de zooplancton (Coman *et al.* 2006).

**CUADRO IV.** COMPOSICIÓN NUTRIMENTAL DE ALGUNOS FERTILIZANTES INORGÁNICOS (Modificado de Creswell 1993)

Fuente	Fórmula química	Nitrógeno (%)	Pentóxido de fósforo, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	pH en solución acuosa
Metafosfato de amonio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>3</sub>	17.0	73	-
Nitrato de amonio	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	33.5	-	4.0
Fosfato de amonio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	11	48	4
Sulfato de amonio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20	-	5.0
Nitrato de sodio	NaNO <sub>3</sub>	16	-	7.0
Urea	H <sub>2</sub> HCONH <sub>2</sub>	46	-	7.2
Fosfato diamónico	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	21	50	8.0

- Promoción de bentos incluyendo:
  - Encierros (Zarain-Herzberg *et al.* 2006)
  - Sustratos artificiales (AquaMats™, Meridian Aquatic Technology) (Bratvold y Browdy 2004, Stewart *et al.* 2006).
  - Alimento natural exógeno (Burford *et al.* 2004).

### SITUACIÓN DE LA CAMARONICULTURA EN MÉXICO

La actividad acuícola en México comenzó a ser una actividad económicamente importante a finales de los años setenta y principios de los ochenta (DeWalt *et al.* 2002). La producción acuícola en 2005 fue de 117,500 toneladas. (FAO 2005). Un aspecto negativo es que la mayor parte de la industria acuícola de nuestro país está basada en dos grupos únicamente: los camarones y los ostiones; con relación a este último, la especie que mayormente se cultiva es una especie exótica, el ostión japonés *C. gigas*. Actualmente algunos otros grupos están siendo considerados para acuicultura, como peces de agua dulce (tilapias, pescado blanco, pejelagarto), algunos peces marinos (atún, cabrillas, huachinangos, lenguados), moluscos (almejas, pata de mula, mano de león, callo de hacha, abulones y pulpos), crustáceos dulceacuícolas (langosta de agua

dulce, langostino) y otros grupos (erizos, pepinos de mar). En la **figura 3**, se presentan las áreas de nuestro país en donde se practica la acuicultura de peces, moluscos y crustáceos en ambiente dulceacuícola o marino. La diversificación es un asunto de gran importancia a considerar en aras de la sustentabilidad, a fin de aprovechar en forma óptima la gran cantidad de cuerpos de agua marina, salobre y continental.

La captura de camarón en México ha permanecido relativamente estable en los últimos catorce años en alrededor de 60,000 toneladas; sin embargo, la producción por captura creció de 35,000 toneladas en 1990 a 80,807 toneladas en 2005 (FIGIS 2007).

Los principales factores que frenaron la actividad acuícola en México hasta antes de los ochenta fueron:

- La legislación mexicana que limitaba la inversión de la iniciativa privada en proyectos de producción acuícola.
- La asignación para pesca y cultivo de las principales especies a las sociedades cooperativas.
- La propiedad de la tierra de tipo ejidal estaba localizada en las costas del país; la Reforma Agraria y el artículo 27 Constitucional prohibían la venta de las tierras ejidales.
- La burocracia excesiva para los permisos a granjas.

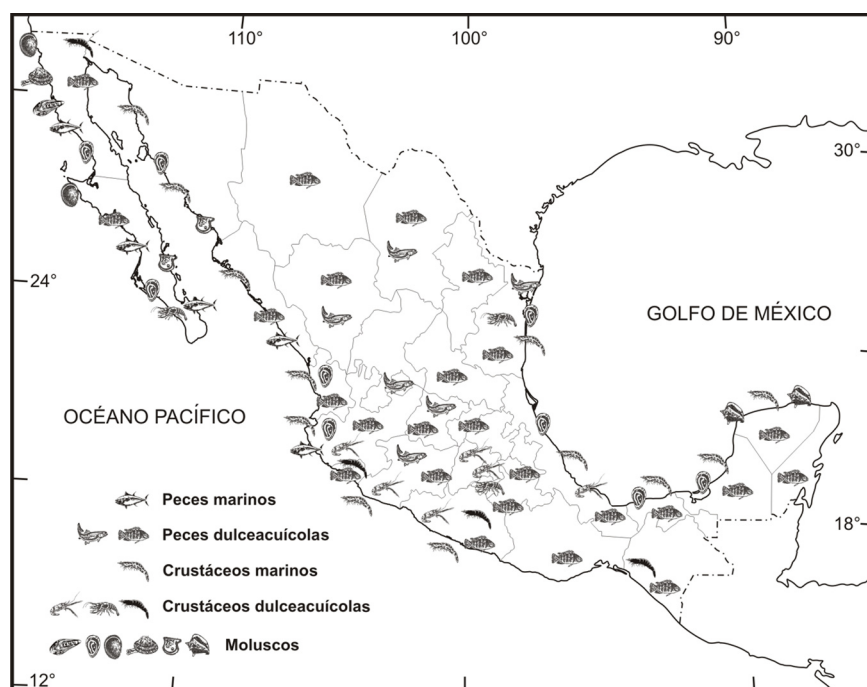


Fig. 3. Distribución de áreas del cultivo de especies dulceacuícolas y marinas en México.

- Falta de experiencia en la actividad acuícola.
- Inadecuados e insuficientes programas de apoyo por parte del gobierno federal y estatal.
- Insuficiente personal técnico altamente calificado.

A pesar de lo anterior, ha habido cambios que han propiciado el avance de la actividad, tales como:

- Modificaciones a la Ley de Pesca en 1992; se eliminan restricciones que sólo permitían el cultivo a ejidatarios, apertura al sector privado para captura de reproductores y poslarvas, se extiende la concesión acuícola de 20 a 50 años.
- Algunos programas gubernamentales de financiamiento y apoyo (Subprograma de Alto Valor Agregado en Negocios con Conocimiento y Empresarios, AVANCE-CONACyT), aunque aún insuficientes.
- Menos trámites burocráticos.
- Programas de formación de técnicos y científicos especialistas en el área (programas de posgrado profesionalizantes).
- Creación de cadenas de valor (acuicultores, productores de alimento, comercializadores, etc.).
- Proyectos acuícolas mejor estructurados.

Desde 1993, el dinamismo de la acuicultura y particularmente de la camaronicultura, refleja el efecto de los cambios legislativos y reforma fiscal en México con el incremento sostenido de la producción. A partir de este mismo año, México ha sido uno de los países que ha aplicado indicadores de desarrollo sostenible con el objetivo de generar bases de datos con información ambiental y socioeconómica (González-Ocampo *et al.* 2003).

Existen aún varios aspectos en los que se debe avanzar para consolidar la actividad acuícola y que ésta llegue a ser una industria sustentable. Entre otros se pueden mencionar los siguientes:

- Una mayor inversión en ciencia y tecnología orientada a la acuicultura en la que participen instituciones de educación superior (IES), gobierno y productores.
- Una mayor cultura ecológica que valore la importancia de mantener un equilibrio entre desarrollo económico y la salud del ambiente.
- Una relación más estrecha entre productores, investigadores y gobierno.
- Disminuir aún más el burocratismo, sin descuidar el control que se debe tener sobre la actividad, fomentando la investigación y desarrollo tecnológico en aspectos ambientales, administrativos y socioeconómicos.
- Avanzar en la creación de cadenas de valor (parques acuícolas integrales, empresas mixtas).

## VENTAJAS COMPETITIVAS DE MÉXICO PARA DESTACAR EN CAMARONICULTURA

Nuestro país tiene algunas ventajas con las cuales puede convertirse en uno de los principales países de América y del mundo en cuanto a producción de organismos por acuicultura y particularmente en el cultivo del camarón. Entre ellas se pueden destacar las siguientes:

- Amplias superficies de tierras costeras no aptas para agricultura ni ganadería, pero sí para acuicultura. La línea de costa de México es de 11,543 km, con más de 123 lagunas costeras y un área aproximada de 12,555 km<sup>2</sup> (Malagrino *et al.* 2008). El área potencial disponible para la acuicultura en México se calcula en alrededor de 236,000 ha (Páez-Osuna *et al.* 2003).
- Clima adecuado en gran parte de su territorio para el cultivo de muchas especies comerciales.
- Cercanía al principal mercado mundial de productos pesqueros (EUA).
- Especies nativas con excelentes características acuiculturales, como el camarón blanco y el camarón azul.

## CULTIVO DE CAMARÓN EN SONORA: UN CASO DE ÉXITO

La camaronicultura en Sonora se ha desarrollado de manera extraordinaria en la última década, llegando a obtener producciones superiores a 66,000 toneladas, con un valor de 261 millones de dólares, producto de 126 granjas en 2006 (Luis Arturo Amya Jiménez, SAGARPA, comunicación personal), con lo cual contribuye con alrededor de 70 % a la producción nacional. Esto se debe principalmente a la implementación de sistemas de producción altamente eficientes y que se han eficientizado más año con año. Las razones de la alta eficiencia de la camaronicultura sonoreNSE son básicamente los sistemas de toma de agua y descarga, directamente del mar mediante la construcción de escolleras, la utilización de alimentos de alto desempeño, la prevención y control efectivo de epizootias a través de los Comités de Sanidad Acuícola, que en el caso de Sonora han sido muy eficaces, y en general una planeación estratégica muy adecuada. En Sonora muchas de las granjas semi-intensivas han evitado impactos adversos al ambiente ya que han sido construidas en zonas salinas o áridas sin manglares (González-Ocampo *et al.* 2003). Otro aspecto que

también influye es el clima extremoso, que pudiera ser considerado como una desventaja, pero que en el caso del cultivo de camarón en Sonora se convierte en una ventaja sólo se puede realizar un ciclo de cultivo durante el año, permaneciendo los estanques secos durante varios meses, en los cuales debido a la alta insolación y altas temperaturas regionales, permiten que estén en muy buenas condiciones para el ciclo siguiente.

### CONCLUSIONES

Con base en la información presentada en este documento, se puede concluir que:

- La acuicultura mundial, y particularmente la camaronicultura, es y continuará siendo una industria de gran importancia debido al crecimiento sostenido comparado con otras actividades de producción alimenticia agroindustriales (pesca, ganadería, agricultura). Esto es aplicable también para México, con una expectativa de crecimiento exponencial en la actividad acuícola y particularmente camaronícola para los próximos años.
- Actualmente, en muchos de los casos, la camaronicultura no es todavía una actividad sustentable, pero puede llegar a serlo si se maneja en forma adecuada, tomando en cuenta aspectos económicos, ecológicos, financieros y sociales.
- Hay muchas herramientas actuales y potenciales para avanzar en la sustentabilidad de esta importante industria alimentaria, entre ellas: buenas prácticas de manejo, códigos de conducta para la producción de especies acuícolas, ordenamiento costero, mejoramiento genético, alimentos amigables, manejo de la productividad natural, manejo de los efluentes, incluyendo prácticas de biorremediación, sistemas de recirculación y policultivo, entre otros.

### AGRADECIMIENTOS

E. Cortés-Jacinto agradece el apoyo del CONACyT para su realización de estancia posdoctoral (050105) en la Universidad de Sonora. Se agradece a Óscar Armendáriz por el apoyo técnico en diseño gráfico.

### REFERENCIAS

Aguirre-Guzmán G., Labreuche Y., Ansquer D., Espiau B., Levy P., Ascencio F. y Saulnier D. (2003). Pro-

teinaceous exotoxins of shrimp-pathogenic isolates of *Vibrio penaeicida* and *Vibrio nigripulchritudo*. *Cienc. Mar.* 29, 77-88.

Alonso-Rodríguez R. y Páez-Osuna F. (2003). Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds: a review with special reference to the situation in the Gulf of California. *Aquaculture* 219, 317-336.

Anderson R.K., Parker P.L. y Lawrence A.L. (1987). A <sup>13</sup>C/<sup>14</sup>C tracer study of the utilization of present feed by a commercial important shrimp *Penaeus vannamei* in a pond grow out system. *J. World Aquacult. Soc.* 18, 149-155.

Ballester E.L., Wasilesky W., Cavalli R.O. y Abreu P.C. (2007). Nursery of the pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis* in cages with artificial substrates: biofilm composition and shrimp performance. *Aquaculture* 269, 355-362.

Barbier E.B., Strand I. y Sathirathai S. (2002). Do open access conditions affect the valuation of an externality? Estimating the welfare effects of mangrove-fishery linkages in Thailand. *Environ. Resour. Econ.* 21, 343-367.

Bergquist D.A. (2007). Sustainability and local people's participation in coastal aquaculture: Regional differences and historical experiences in Sri Lanka and the Philippines. *Environ. Manage.* 40, 787-802.

Berlanga-Robles C.A. y Ruiz-Luna A. (2006). Assessment of landscape changes and their effects on the San Blas estuarine system, Nayarit (México), through Landsat imagery analysis. *Cienc. Mar.* 32, 523-538.

Boyd C.E., Hargreaves J.A. y Clay J.W. (2001). Codes of conduct for marine shrimp aquaculture. En: *The new wave, proceedings of special session on sustainable shrimp culture*. *Aquaculture 2001*. (L.C. Browdy y D.E. Jory, Eds.). The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, U.S.A. pp. 303-321.

Bratvold D. y Browdy C.L. (2001). Effects of sand sediment and vertical surfaces (AquaMats TM) on production, water quality, and microbial ecology in an intensive *Litopenaeus vannamei* culture system. *Aquaculture* 195, 81-94.

Browdy C.L., Bratvold D., Stokes A.D. y McIntosh P. (2001). Perspectives on the application of closed shrimp culture systems. En: *The new wave, proceedings of special session on sustainable shrimp culture*. *Aquaculture 2001*. (L.C. Browdy y D.E. Jory, Eds.). The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, U.S.A. pp. 20-34.

Burford M.A. y Williams K. (2001). The fate of nitrogenous waste from shrimp feeding. *2001. Aquaculture* 198, 79-93.

Burford M.A., Preston N.P., Truong H.M., Tran T.T.H., Bunn S.E. y Fry V.M. (2004). Dominant sources

- of dietary carbon and nitrogen for shrimp reared in extensive rice-shrimp ponds. *Aquac. Res.* 35, 194-203.
- Casillas-Hernández R., Magallón-Barajas, F., Portillo-Clark G. y Páez-Osuna F. (2006). Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico using two feeding strategies: Trays and mechanical dispersal. *Aquaculture* 258, 289-298.
- Casillas-Hernández R., Nolasco-Soria H., García-Galano T., Carrillo-Farnes O. y Páez-Osuna F. (2007). Water quality, chemical fluxes and production in semi-intensive Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture ponds utilizing two different feeding strategies. *Aquacult. Eng.* 36, 105-114.
- Chopin T., Buschmann A.H., Halling Ch., Troell M., Kautsky N., Neori A., Kraemer G.P., Zertuche-González J.A., Yarish Ch. y Neefus Ch. (2001). Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key toward sustainability. *J. Phycol.* 37, 975-986.
- Coman E., Connolly R.M. y Preston N.P. (2006). Effects of water exchange and abiotic factors on zooplankton and epibenthic fauna in shrimp ponds. *Aquac. Res.* 37, 1387-1389.
- Cortés-Jacinto E. (1998). Frecuencia y distribución alimenticia en el cultivo intensivo de juveniles del camarón blanco *Penaeus vannamei*. Tesis de Maestría en Ciencias, CICIMAR-Instituto Ploitécnico Nacional.
- Crab R., Avnimelech Y., Defoirdt T., Bossier P. y Verstraete W. (2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture* 270, 1-14.
- Creswell L. (1993). *Aquaculture desk reference*. Florida Aqua Farms Inc. Dade City, Florida, 206 p.
- De Schryver P., Crab R., Defoirdt T., Boon N. y Verstraete W. (2008). The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture* 277, 125-137.
- DeWalt B.R., Ramírez Z.J.R., Noriega L. y González R.E. (2002). Shrimp aquaculture, the people and the environment in coastal Mexico. Report prepared under World Bank, NACA, WWF y FAO Consortium program on shrimp farming and the environment. Work in Progress for Public Discussion. 73 p.
- Deutsch L., Graslund S., Folke C., Troell M., Huitric M., Kautsky N. y Lebel L. (2007). Feeding aquaculture growth through globalization: Exploitation of marine ecosystems for fishmeal. *Global Environ.Chang.* 17, 238-249.
- FAO (2005) Estadísticas de pesca. Productos. Vol. 97. Rome/Roma, FAO. 235 p.
- FAO (2007). El estado mundial de la pesca y acuicultura 2006. Rome/Roma, FAO. 198 p.
- FAO (2007a). The world's mangroves 1980-2005. Rome/Roma, FAO. 77 p.
- Feng Y.Y., Hou L.C., Ping N.X., Ling T.D. y Kyo C.I. (2004). Development of mariculture and its impacts in Chinese coastal waters. *Rev. Fish Biol. Fisher.* 14, 1-10.
- Fernandez-Da Silva C., Ballester E., Monserrat J., Geracitano L., Wasielesky W. y Abreu P.C. (2008). Contribution of the microorganisms to the biofilm nutritional quality: protein and lipids contents. *Aquacult. Nutr.* 14, 507-514.
- FIGIS (2007). FAO. Fisheries and aquaculture information and statistics service. Global Capture Production. [en línea] <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/query/en/06/12/2007>
- Focardi S., Corsi I. y Franchi E. (2005). Safety issues and sustainable development of European aquaculture: new tools for environmentally sound aquaculture. *Aquacult. Int.* 13, 3-17.
- Focken U., Groth A., Coloso R.M. y Becker K. (1998). Contribution of natural food and supplemental feed to the gut content of *Penaeus monodon* Fabricius in a semi-intensive pond system in the Philippines. *Aquaculture* 164, 105-116.
- Frankic A. y Hershner C. (2003). Sustainable aquaculture: developing the promise of aquaculture. *Aquacult. Int.* 11, 517-530.
- Gibbs M.T. (2007). Sustainability performance indicators for suspended bivalve aquaculture activities. *Ecol. Indic.* 7, 94-107.
- González-Ocampo H.A., Beltrán L.F., Cáceres-Martínez C., Ramírez H., Hernández-Vázquez S., Troyo-Dieguez E. y Ortega-Rubio A. (2003). Sustainability development analysis of semi-intensive shrimp farms in Sonora, Mexico. *Sustain. Dev.* 11, 213-222.
- González-Ocampo H.A., Morales L.F.B., Cáceres-Martínez C., Aguirre H.R., Hernández-Vázquez S., Troyo-Dieguez E. y Ortega-Rubio A. (2006). Shrimp aquaculture environmental diagnosis in the semiarid coastal zone in Mexico. *Fresen. Environ. Bull.* 15, 659-669.
- Gyllenhammar A. y Hakanson L. (2005). Environmental consequence analyses of fish farm emissions related to different scales and exemplified by data from the Baltic - a review. *Mar. Environ. Res.* 60, 211-243.
- Hishamunda N. y Ridler N.B. (2002). Macro policies to promote sustainable commercial aquaculture. *Aquacult. Int.* 10, 491-505.
- Jakob G.S., Pruder G.D. y Wang J.K. (1993). Growth trial with the American oyster *Crassostrea virginica* using shrimp pond water as feed. *J. World Aquacult. Soc.* 24, 344-351.
- Jackson C.J., Preston N., Burford M.A. y Thompson P.J. (2003). Managing the development of sustainable

- shrimp farming in Australia: the role of sedimentation ponds in treatment of farm discharge water. *Aquaculture* 226, 23-34.
- Jiménez R., Barniol R., de Barniol L. y Machuca M. (1999). Infection of IHNV virus in two species of cultured penaeoid shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) and *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson) in Ecuador during El Niño 1997-98. *Aquac. Res.* 30, 695-705.
- Jones A.B. y Preston N.P. (1999). Sydney rock oyster, *Saccostrea commercialis* (Iredale & Roughley), filtration of shrimp farm effluent: the effects on water quality. *Aquac. Res.* 30, 51-57.
- Jones A.B., Dennison W.C. y Preston N.P. (2001). Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: a laboratory scale study. *Aquaculture* 193, 155-178.
- Jory D. (2008). Récord de producción de camarón: Oceanic Institute. *Ind. Acuic.* 4(2), 29.
- Karthik M., Suri J., Neelam S. y Biradar R.S. (2005). Brackish water aquaculture site selection in Palghar Taluk, Thane district of Maharashtra, India, using the techniques of remote sensing and geographical information system. *Aquacult. Eng.* 32, 285-302.
- Kristofersson D. y Anderson J.L. (2006). Is there a relationship between fisheries and farming? Interdependence of fisheries, animal production and aquaculture. *Mar. Policy* 30, 721-725.
- Li M.H.H., Robinson E.H., Mischke C.C., Torrains E.L. y Bosworth B.G. (2006). Effects of organic fertilization and organic diets on production of channel catfish in earthen ponds. *N. Am. J. Aquacult.* 68, 53-62.
- Lefebvre S., Barille L. y Clerc M. (2000). Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) feeding responses to a fish-farm effluent. *Aquaculture* 187, 185-198.
- Lightner D.V. (1996). Epizootiology, distribution and the impact on international trade of two penaeid shrimp viruses in the Americas. *Rev. Sci. Tech. OIE.* 15, 579-601.
- Lyle-Fritch L.P., Romero-Beltrán E. y Páez-Osuna, F. (2006). A survey on use of the chemical and biological products for shrimp farming in Sinaloa (NW Mexico). *Aquacult. Eng.* 35, 135-146.
- Magallón-Barajas F., Servín Villegas R., Portillo Clark G. y López M.B. (2006). *Litopenaeus vannamei* (Boone) post-larval survival related to age, temperature, pH and ammonium concentration. *Aquac. Res.* 37, 492-499.
- Magallón Barajas F.J., Arreola A., Portillo Clark G., Casillas Hernández R., Lechuga Deveze C., Oliva Suárez M. y Porchas Cornejo M. (2008). Capacidad de carga y capacidad ambiental en la camaronicultura. En: *Camaronicultura Sustentable* (L. Martínez Córdova, Ed.). Trillas, México, D.F., 37-80 pp.
- Malagrino G., Lagunas M. y Rubio A.O. (2008). Environmental impact reduction through ecological planning at Bahía Magdalena, Mexico. *J. Environ. Biol.* 29, 179-182.
- Martínez-Cordero F.I. y Leung P.S. (2004). Sustainable aquaculture and producer performance: measurement of environmentally adjusted productivity and efficiency of a sample of shrimp farms in Mexico. *Aquaculture* 241, 249-268.
- Martínez Córdova L. (1998). *Ecología de los sistemas acuícolas*. AGT Editor, México, D.F. 2226 p.
- Martínez Córdova L., Porchas M. y Villarreal H. (1998). Efecto de tres diferentes estrategias de alimentación sobre el fitoplancton, zooplancton y bentos en estanques de cultivo de camarón café *Penaeus californiensis* (Holmes, 1900). *Cienc. Mar.* 24, 267-281.
- Martínez Córdova L.R. y Campaña-Torres A. (2000). Promoción, manejo y evaluación del alimento natural en el cultivo del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en estanques de bajo recambio. *Biociencia* 2, 79-84.
- Martínez-Córdova L.R., Campaña-Torres A. y Porchas-Cornejo M. (2002). Promotion and contribution of biota in low water exchange ponds farmin blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson). *Aquac. Res.* 33, 27-32.
- Martínez-Córdova L.R., Campaña-Torres A. y Porchas-Cornejo M. (2002). The effect of variation in feed protein level on the culture of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* in low water exchange experimental ponds. *Aquac. Res.* 33, 995-998.
- Martínez-Córdova L.R., Campaña-Torres A. y Porchas-Cornejo M. (2003). Dietary protein level and natural food management in the culture of blue (*Litopenaeus stylirostris*) and white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in microcosms. *Aquacult. Nutr.* 9, 155-160.
- Martínez-Córdova L.R. y Martínez-Porchas, M. (2006). Polyculture of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, giant oyster, *Crassostrea gigas*, and black clam, *Chione fluctifraga* in ponds in Sonora, Mexico. *Aquaculture* 258, 321-326.
- Martínez-Córdova L.R. y Enriquez-Ocaña F. (2007). Study of the benthic fauna in a discharge lagoon of a shrimp farm with special emphasis on polychaeta. *J. Biol. Sci.* 7, 12-17.
- Muangkeow B., Ikejima K., Powtongsook S., Yang Y. (2007). Effects of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone), and Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., stocking density on growth, nutrient conversion rate and economic return in integrated closed recirculation systems. *Aquaculture* 269, 363-376.
- Naylor R., Goldburg R.J.H., Primavera J.H., Kautsky N., Beveridge M.C.M., Clay J., Folke C., Lubchenco J., Mooney H. y Troell M. (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature.* 405, 1017-1024.

- Naylor R. y Burke M. (2005). Aquaculture and ocean resources: Raising tigers of the sea. *Annu. Rev. Env. Resour.* 30, 185-218.
- Neori A., Shpigel M. y Ben-Ezra D. (2000). A sustainable integrated system for culture of fish, seaweed and abalone. *Aquaculture* 186, 279-291.
- 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, 361-391.
- Neori A., Troell M., Chopin T., Yarish C., Critchley A. y Buschmann A.H. (2007). The need for a balanced ecosystem approach to blue revolution aquaculture. *Environment* 49, 37-43.
- Olgún E.J., Hernández M.E. y Sánchez-Galván G. (2007). Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Rev. Int. Contm. Ambient.* 23, 139-154.
- Páez-Osuna F., Guerrero-Galván, S.R., Ruiz-Fernández A.C. y Espinoza-Angulo R. (1997). Fluxes and mass balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farm in North-Western Mexico. *Mar. Pollut. Bull.* 34, 290-297.
- Páez-Osuna F. (2001a). The environmental impact of shrimp aquaculture: causes, effects, and mitigating alternatives. *Environ. Manage.* 28, 131-140.
- Páez-Osuna F. (2001b). The environmental impact of shrimp aquaculture: a global perspective. *Environ. Pollut.* 112, 229-231.
- Páez-Osuna F., Gracia A., Flores-Verdugo F., Lyle-Fritch L. P., Alonso-Rodríguez R., Roque A. y Ruiz-Fernández A. C. (2003). Shrimp aquaculture development and the environment in the Gulf of California ecoregion. *Mar. Pollut. Bull.* 46, 806-815.
- Páez-Osuna F. (2005). Retos y perspectivas de la camaronicultura en la zona costera. *Rev. Lat. Am. Rec. Nat.* 1, 21-31.
- Papandroulakis N., Mylonas C.C., Maingot E. y Divanach P. (2005). First results of greater amberjack (*Seriola dumerili*) larval rearing in mesocosm. *Aquaculture* 250, 155-161.
- Pinheiro A.C.A.S., Lima A.P.S., de Souza M.E., Neto E.C. L., Adriaio M., Goncalves V.S.P. y Coimbra M.R.M. (2007). Epidemiological status of Taura syndrome and infectious myonecrosis viruses in *Penaeus vannamei* reared in Pernambuco (Brazil). *Aquaculture* 262, 17-22.
- Primavera J.H. (2006). Overcoming the impacts of aquaculture on the coastal zone. *Ocean Coast. Manage.* 49, 531-545.
- Rajitha K., Mukherjee C.K. y Chandran R.V. (2007). Applications of remote sensing and GIS for sustainable management of shrimp culture in India. *Aquacult. Eng.* 36, 1-17.
- Rivas-Vega M., Rouzaud-Sandez O., Martinez-Cordova L. y Ezquerro Brauer M. (2001). Effect of feed protein level on digestive proteolytic activity, texture and thermal denaturation of muscle protein in reared blue shrimp. *J. Aquat. Food Prod. Technol.* 10, 25-38.
- Rodríguez J., Bayot B., Amano Y., Panchana F., de Blas I., Alday V. y Calderon J. (2003). White spot syndrome virus infection in cultured *Penaeus vannamei* (Boone) in Ecuador with emphasis on histopathology and ultrastructure. *J. Fish Dis.* 26, 439-450.
- Rönnbäck P. (2001). Shrimp aquaculture—State of the art. Swedish EIA Centre, report 1. Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Uppsala. 50 p.
- Ross L.G, Martínez-Palacios C.A y Morales E.J. (2008). Developing native fish species for aquaculture: the interacting demands of biodiversity, sustainable aquaculture and livelihoods. *Aquac. Res.* 39, 675-683.
- Ruiz-Luna A. y Berlanga-Robles C.A. (1999). Modifications in coverage patterns and land use around the Huizache-Caimanero Lagoon System, Sinaloa, México: A multi-temporal analysis using Landsat images. *Estuar. Coast. Shelf S.* 49, 37-44.
- Sánchez-Martínez J.G. Aguirre-Guzmán G. y Mejía-Ruiz H. (2007). White spot syndrome virus in cultured shrimp: A review. *Aquac. Res.* 38, 1339-1354.
- Shelton W.L. y Rothbart S. (2006). Exotic species in global aquaculture - A review. *Isr. J. Aquacult. Bamidgheh.* 58, 3-28.
- Shpigel M. y Neori A. (1996). Bioremediation potential of the macroalga *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) integrated into fed fish culture in coastal waters of north China. *Aquacult. Eng.* 15, 313-326.
- Stewart N.T., Boardman G.D. y Helfrich L.A. (2006). Characterization of nutrient leaching rates from settled rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) sludge. *Aquacult. Eng.* 35, 166-178.
- Summerfelt R.C. y Penne Ch.R. (2007). Septic tank treatment of the effluent from a small-scale commercial recycle aquaculture system. *N. Am. J. Aquacult.* 69, 59-68.
- Tacon A.G.T. y Forster I.P. (2003). Aquafeeds and the environment: policy implications. *Aquaculture* 226, 181-189.
- Tacon, A.G.J. (2002). Thematic review of feeds and feed management practices in shrimp aquaculture. Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. Work in Progress for Public Discussion. Published by the Consortium. 69 p.
- Tidwell J.H. y Allan G.L. (2001). Fish as food: aquacul-

- ture's contribution. Ecological and economic impacts and contributions of fish farming and capture fisheries EMBO. Rep. 21, 958-963.
- Timmons M.B., Ebeling J.M., Wheaton F.W., Summerfelt S.T. y Vinci B. (2002). Sistemas de recirculación para la acuicultura. Fundación Chile. Vitacura, Santiago. 748 p.
- Unzueta-Bustamante M.L., Silveira-Cofficny R., Prieto A.A., Aguirre-Guzmán G. y Vázquez-Juárez R. 2004. Susceptibility of *Litopenaeus schmitti* and *Cherax quadricarinatus* to white spot syndrome virus (WSSV). *Cienc. Mar.* 30, 537-545.
- Venero J.A., Davis D.A. y Rouse D.B. 2007. Variable feed allowance with constant protein input for the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* reared under semi-intensive conditions in tanks and ponds. *Aquaculture* 269, 490-503.
- Vincent A.G. y Lotz J.M. (2007). Advances in research of necrotizing hepatopancreatitis bacterium (NHPB) affecting penaeid shrimp aquaculture. *Rev. Fish. Sci.* 15, 63-73.
- Xia L.Z., Yang, L.Z. y Yan M.C. (2004). Nitrogen and phosphorus cycling in shrimp ponds and the measures for sustainable management. *Environ. Geochem. Health.* 26, 245-251.
- Zarain-Herzberg M., Campa-Cordova A.I. y Cavalli R.O. (2006). Biological viability of producing white shrimp *Litopenaeus vannamei* in seawater floating cages. *Aquaculture* 259, 283-289.