



RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD

REVISTA DIGITAL DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA



CENTRO DE INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S. C.



RESEÑA HISTÓRICA Y ACADÉMICA DEL CULTIVO DE CAMARÓN EN EL CIBNOR

HISTORICAL AND ECONOMIC REVIEW OF SHRIMP FARMING IN CIBNOR

Resumen: El cultivo de camarón ha sido la actividad de acuicultura más importante en México en los últimos 20 años y su desarrollo ha dependido en gran medida de la aplicación de la investigación científica y tecnológica.

En esta reseña se presentan antecedentes sobre la creación del grupo de investigación del CIBNOR enfocado al cultivo del camarón y su vinculación con la industria, y se muestran datos de productividad académica que ha sido base de su consolidación como un prominente grupo de investigación acuícola en el ámbito nacional e internacional. Asimismo, se resumen algunos de los resultados académicos más relevantes en el ámbito de las siguientes especialidades: Nutrición, Sanidad, Genética y Genómica, y Fisiología y Reproducción. Se concluye con reflexiones acerca de los temas de investigación y desarrollo tecnológico de frontera

Recursos Naturales y Sociedad, 2016. Vol. 2 (1): 36-59.
DOI:10.18242/RENAYSOC.2016.02.02.01.0004

Pérez-Enríquez R., Acosta-Salmón H., Arcos-Ortega F., Ascencio F., Campa- Córdova A.I., Campos-Ramos R., Civera-Cerecedo R., Cruz-Hernández P., Hernández-Llamas A., Ibarra-Humphries A.M., Mazón-Suástegui J.M., Mejía-Ruiz C.H., Mercier L., Nolasco-Soria H., Palacios-Mechetnov E., Racotta I.S., Romero-Vivas E., Vázquez-Juárez R., Villarreal-Colmenares H.

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Instituto Politécnico Nacional No. 195. Colonia Playa Palo de Santa Rita Sur. C.P. 23096. La Paz, Baja California Sur, México.

* Autor de correspondencia: rperez@cibnor.mx

que será necesario afrontar en los próximos años para que el cultivo de camarón contribuya a atender el gran reto de nuestro país en la producción de alimentos en un marco de sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: Investigación científica, desarrollo tecnológico, vinculación academia-industria, acuicultura, camaronicultura

Abstract

Shrimp farming has been the most important aquaculture activity in Mexico for the past 20 years, and its development has been highly dependent on scientific and technological research. This review provides background information of the research group dedicated to shrimp farming at CIBNOR and its linkage with industry. It also shows the academic productivity data that has been the basis for the consolidation of this prominent aquaculture research group both at the national and international level. It discusses an overview of some of the most relevant academic results in the specialties of Nutrition, Aquatic Health, Genetics and Genomics,

and Physiology and Reproduction and concludes with considerations about borderline topics on research and technological development that the group will have to face in the following years to make shrimp farming a main contributor to sustainable feed production.

Keywords: Scientific research, technological development, academia-industry linkage, aquaculture, shrimp farming

Introducción

El cultivo de camarón en el mundo contribuye con el 6% de la producción acuícola por volumen (4.3 millones de toneladas) y con el 14% en valor (20 mil millones de dólares) (FAO, 2014). En 2012, México contribuyó con 100,031 ton de camarón que representó el 2% de la producción mundial posicionándolo en el lugar 7°

por detrás de China, Tailandia, Vietnam, Indonesia, Ecuador e India (CONAPESCA, 2013). Aunque se han investigado y cultivado varias especies de camarón, actualmente el 75% del camarón cultivado en el mundo es el camarón blanco (*Penaeus* [= *Litopenaeus*] *vannamei*) (FAO, 2014).

Los estados de la región noroeste de México (Sonora, Sinaloa, Nayarit y Baja California Sur) producen más del 90% del camarón nacional. Hasta 2009, la tasa de crecimiento de la producción de camarón en México era superior a la de cualquier otra industria primaria con un 13% anual (Fig. 1). A pesar de que la mortalidad por enfermedades ocasionó una reducción de la producción entre 2010 y 2013 llegando a un mínimo de 60,292 ton (CONAPESCA, 2013), los datos más recientes indican un repunte en 2014 y 2015 (Fig. 1).

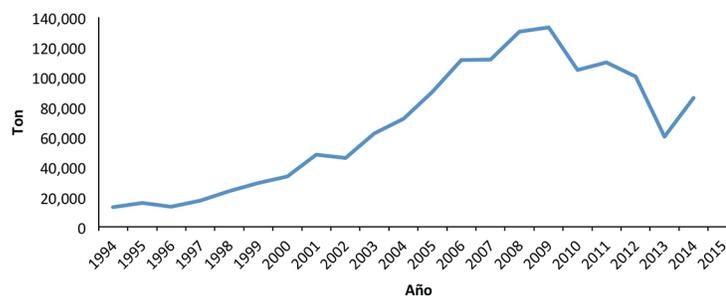


Fig. 1. Serie histórica de la producción de camarón de cultivo en México (Fuente: CONAPESCA, 2013; <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx>).

Un componente esencial para el mejoramiento productivo, ha sido la investigación científica y el desarrollo tecnológico en áreas enfocadas a la producción (nutrición, genética, reproducción y el manejo de los sistemas de cultivo) y a la prevención de enfermedades (patología, inmunología, epidemiología, entre otras). En este escenario y de acuerdo con la base de datos SCOPUS, a partir de 2000 la producción científica del CIBNOR enfocada al camarón de cultivo ha sido de 181 publicaciones, abarcando las especialidades antes mencionadas (Fig. 2).

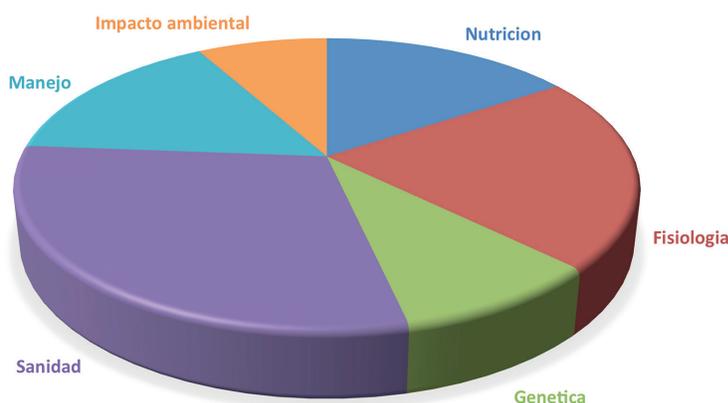


Fig. 2. Producción científica del CIBNOR enfocada al camarón de cultivo por área del conocimiento.

Reseña del cultivo de camarón en el CIBNOR

Las primeras investigaciones sobre cultivo de camarón azul *Litopenaeus stylirostris* en el entonces Centro de Investigaciones Biológicas de La Paz (CIB) tuvieron lugar en 1985. Los trabajos experimentales se realizaron en una granja ubicada en el área de Puerto Chale B.C.S., en las inmediaciones de Bahía Magdalena bajo un proyecto interinstitucional con la participación de la Delegación Federal de Pesca (SEPES), la Unidad de Fomento Pesquero y el Centro de Investigaciones Biológicas de B.C.S., en

atención a una solicitud realizada por la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera “Ley Federal de Aguas No. 1”. Con las experiencias desarrolladas de 1985 a 1988 se lograron evaluar los modelos tecnológicos existentes, detectar los principales problemas inherentes al proyecto tales como; la calidad de agua, el clima y las especies nativas. A partir de esos trabajos, también se generó la primera publicación arbitrada sobre bioeconomía del cultivo de camarón en México (Hernández-Llamas y Magallón-Barajas, 1991), así como las primeras sobre cultivo del camarón en estanques en nuestro país (Hernández-Llamas et al., 1993; Hernández-Llamas et al., 1995). Sin embargo, el proyecto de “Puerto Chale” requería para su desarrollo un modelo tecnológico apropiado con un mayor respaldo técnico y científico. Es por ello que la entonces División de Biología Marina y la dirección general del Centro plantearon una estrategia de desarrollo que permitiera generar más y mejor investigación incorporando especialistas de áreas como la nutrición, fisiología, patología y genética para fortalecer

el conocimiento científico a fin de ser competitivos con los avances a nivel mundial. La siguiente especie que se estudió fue el camarón café, curiosamente, a consecuencia de un desove incidental de una hembra capturada en Bahía Magdalena y transportada al CIB, en mayo de 1990, derivándose así las primeras investigaciones relacionadas con el efecto de la temperatura sobre el desarrollo embrionario de esta especie.

En 1988 y 1989 se inició la construcción de un laboratorio y estanquería para el cultivo experimental de camarón en las instalaciones del CIB, mismos que sirvieron de base para construir lo que ahora es una importante infraestructura que ha permitido desarrollar investigación sobre cultivo de camarón con impacto a nivel nacional e internacional.



Fig. 3. Estanquería de mareas del CIBNOR (Foto H. Acosta Salmón).

En ese momento se iniciaron los estudios con camarón blanco a través de la donación de postlarvas por parte de la empresa Acuacultores de la Península (APSA). Los primeros estudios fueron sobre nutrición con el uso de dietas basadas en langostilla como sustituto de harina de pescado. El primer “contrato” de servicios con la industria se dio con la empresa Purina, que facilitó dietas comerciales y experimentales que utilizaban para camarón blanco. Como resultado se demostró que un tratamiento mostraba posibles deficiencias de vitamina C, que al final se rastrearon a un proveedor que había accidentalmente cambiado la vitamina C termoestable por una normal en una dieta experimental.

La presencia de enfermedades en la industria, específicamente

la ocasionada por el virus de la necrosis hipodérmica y hematopoyética (IHHNV) fue el parteaguas para que se diera el primer taller academia-empresa en el CIB, que se organizó con diversos empresarios. Ahí arrancó la relación firme que se tiene ahora con los productores. Como resultado, se organizaron las primeras capturas de reproductores en el barco del CIB. De manera paralela, con el apoyo de la Unidad Guaymas, se logró la instalación del que fue el primer laboratorio de patología en una empresa comercial (APSA).

El primer intento de cultivo intensivo de camarón blanco en el CIBNOR se realizó en un par de estanques supralitorales a finales de los noventa. Una falla del sistema de aireación propició que de la cosecha de emergencia se generara el primer lote de camarón de ciclo cerrado al “seleccionarse” accidentalmente los organismos más grandes, los cuales resultaron ser reproductores aptos que fueron utilizados como reproductores por un laboratorio comercial para producir postlarvas. Los resultados fueron sobresalientes y dieron un impulso que la industria necesitaba

al prescindir de la necesidad de capturar reproductores silvestres. Además, permitió la implementación del primer programa de selección genética de la industria en México con la participación del CIBNOR y las empresas APSA, PIASA y Maricultura del Pacífico, junto con la Red de Acuicultura en México.



Fig. 4. Elaboración de dietas experimentales para camarón en la planta de alimentos del Laboratorio de Nutrición Acuícola (Foto: H. Acosta Salmón).

Por otra parte, el Simposio Internacional de Nutrición Acuícola y los proyectos internacionales de CYTED, le dieron la relevancia internacional al trabajo del Centro, sobre camarón.



Fig. 5. Estanquería supralitoral del CIBNOR (Foto: H. Acosta Salmón)

Cuando nuevas mortalidades de camarón afectaron al país (1999), el Programa de Acuicultura y Biotecnología Marina, organizó a un grupo de

expertos del Centro para analizar el problema. El grupo determinó que lo que afectaba al cultivo era el virus de la Mancha Blanca, siendo la primera institución académica que presentaba evidencias científicas de la presencia de la enfermedad ante la Secretaría de Pesca, empresarios acuícolas e instituciones académicas.

El campo de la sanidad acuícola ha sido uno de los más importantes para el CIBNOR, contribuyendo con diversos productos y servicios al desarrollo acuícola del noroeste del país, principalmente a través del campus Hermosillo de la Unidad Sonora. El objetivo del ahora denominado Laboratorio de Referencia, Análisis y Diagnóstico en Sanidad Acuícola (LARADSA) ha sido mantener en operación un laboratorio de investigación, desarrollo y transferencia tecnológica en sanidad acuícola, que por sus potencialidades y capacidades atienda problemas sanitarios de la acuicultura.

La participación del CIBNOR en el desarrollo de los programas acuícolas del gobierno federal ha sido muy relevante. Un ejemplo de ello fue la elaboración de

un documento relativo a las orientaciones estratégicas para el desarrollo sustentable de la acuicultura (Magallón-Barajas *et al.*, 2008). Este libro constituyó en su momento, un elemento base para la propuesta de un Programa Rector que articulara al Plan Sectorial de Pesca y Acuicultura.

El esfuerzo e interés de vinculación ha sido permanente. A raíz del “Taller para la instrumentación de proyectos acuícolas de base tecnológica en el noroeste de México” llevado a cabo entre la academia y el sector productivo, el CIBNOR creó y coordinó los trabajos de la Alianza Estratégica y Red de Innovación de la Industria Acuícola (AERI) durante el período 2006-2013. Los proyectos realizados en el marco de esta Alianza se convirtieron en importantes contribuciones en el ámbito de la sanidad, genética y ecoeficiencia, entre otros temas.

En el período más reciente (2010-2015) el Programa de Acuicultura ha focalizado la vinculación de la investigación con el sector productivo a través de proyectos específicos de investigación, transferencia de

tecnología o servicios especializados con empresas en el ámbito de la nutrición, el cultivo hiperintensivo, la genética y el uso de probióticos, entre otros.

Aportaciones académicas del CIBNOR

A continuación se presenta una revisión de varios de los resultados académicos más relevantes en el ámbito de las siguientes especialidades: Nutrición, Sanidad, Genética y Genómica, Fisiología y Reproducción.

Nutrición

El alimento representa entre el 60 y el 70% de los costos de producción en el cultivo de camarón. Por ello, el alimento que se proporcione en los cultivos tiene que cumplir con características como: alto valor nutritivo, bajo costo y sustentabilidad ambiental.

La línea de trabajo sobre Nutrición Acuícola del CIBNOR ha tenido como objetivo realizar investigación para desarrollar alimentos balanceados funcionales para camarón, a base de ingredientes y aditivos de alta calidad. Los trabajos se han enfocado principalmente a: 1) Determinación de requerimientos nutricionales de camarones y 2) Evaluación nutricional de recursos naturales como ingredientes o aditivos en alimentos para crustáceos.

Derivado de estos estudios, se conocen ahora los requerimientos de proteína del camarón café *Farfantepenaeus californiensis* y la influencia de los niveles de ácidos grasos altamente insaturados en el alimento de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* expuestos a estrés por salinidad (Hurtado *et al.*, 2007; Palacios *et al.*, 2004) y que el desempeño de camarones durante el cultivo no depende de altos niveles de DHA/colesterol lo cual puede disminuir los costos considerablemente durante la engorda (Navarro-Hurtado *et al.*, 2013). Asimismo, se han hecho investigaciones sobre la fisiología y actividad enzimática digestiva de diversas especies y se ha determinado la digestibilidad aparente *in vivo* de diversos ingredientes y alimentos (Vega-Villasante *et al.*, 1995).

Estos estudios en su conjunto, han permitido desarrollar alimentos balanceados altamente digestibles, que optimizan el crecimiento y la supervivencia de los organismos en cultivo, así como su resistencia al estrés, a la vez que tienen menor impacto en el ambiente.

macroalgas *Sargassum* y Kelp y microalga *Spirulina platensis*, así como harinas de subproductos pesqueros (vísceras de almeja Catarina, hacha y calamar) que no sólo permiten sustituir ingredientes convencionales en alimentos, como la harina de pescado, la pasta de soya y el trigo, sino

uso en alimentos para camarón (Villarreal-Colmenares y Civera-Cerecedo, 2015).

Por otra parte, se ha enfatizado en el uso de sustancias que mejoren la atracción de los alimentos por el camarón. La inclusión de estos *atrayentes* en alimentos formulados aumenta su consumo y reducen la pérdida del alimento en los estanques, contribuyendo a disminuir los costos de producción.

Para ello, se ha evaluado el potencial atrayente de moléculas naturales y extractos de animales y vegetales, todos ellos incluidos en dietas prácticas. Los alimentos que presentaron los mejores resultados fueron aquéllos con inclusión de cadaverina, arginina, extracto de coco y el liofilizado de langostilla.

Con base en lo anterior, se han desarrollado técnicas de medición de la atracción de alimentos, ingredientes y moléculas, con el fin de incrementar la calidad del alimento ofrecido a los organismos en la acuicultura (Nolasco, 2014a).

El aprovechamiento óptimo de los alimentos requiere que, además de que cumplan con los requerimientos nutricionales del organismo en cultivo, sean



Fig. 6. Cromatógrafo de gases con detección de ionización de flama (FID) utilizado principalmente para análisis de ácidos grasos metil-esterificados, de esteroides y de isómeros del ácido linoleico conjugado (Foto H. Acosta Salmón).

Dentro de los recursos naturales evaluados como ingredientes o aditivos se encuentran la langostilla roja (Goytortúa-Bores *et al.*, 2006; Hernández-Llamas *et al.*, 2006), el cártamo (Galicia-González *et al.*, 2010), insectos (Martínez-Córdova *et al.* 2013), el frijol yorimón (Rivas-Vega *et al.*, 2006), *Artemia franciscana* (Campaña-Torres *et al.*, 2010), las

también mejoran el crecimiento del camarón y su calidad nutricional para consumo humano y la textura; adicionalmente mejoran la estabilidad en el agua y atractabilidad de los alimentos (Ezquerro *et al.*, 1997; Palacios *et al.*, 2014; Villarreal *et al.*, 2006). De manera particular, se cuenta con una patente para la extracción de harina de langostilla para su

altamente digestibles. Por lo anterior se hace necesario conocer la digestibilidad de insumos y alimentos para su adecuado suministro a los sistemas de cultivo. Para ello, se desarrolló un Manual de Digestibilidad *in vitro* (Nolasco, 2014b), el cual presenta una metodología novedosa para determinar la digestibilidad de ingredientes y alimentos con uso potencial y actual en la acuicultura de diferentes especies. La digestibilidad *in vitro* debe ser considerada como una herramienta complementaria en el pronóstico de digestibilidad por los organismos en cultivo.

El manejo de la alimentación ha sido también elemento relevante que se ha desarrollado en el CIBNOR en términos del desempeño en función de la reducción del recambio de agua (Martínez-Córdova *et al.*, 1995), el incremento de la aireación (Martínez-Córdova *et al.*, 1997) y estrategias de alimentación (Martínez-Córdova *et al.*, 1998), entre otros elementos ambientales.

Sanidad

Las especies en cultivo pueden estar sometidas a diversas presiones ambientales como el hacinamiento, variaciones en factores físico-químicos del agua (oxígeno disuelto, salinidad, temperatura, amonio, etc.), manejo, alimentación deficiente, entre otras.

Este conjunto de presiones crea las condiciones adecuadas para que los patógenos presentes en el agua o en organismos silvestres, infecten a las poblaciones en cultivo causando la enfermedad y, eventualmente, la muerte de los organismos (Laurencin y Vigneulle, 1994).

En el caso del cultivo del camarón, patógenos virales como el IHNV (virus de la necrosis hipodérmica y hematopoyética), TSV (virus del Síndrome de Taura), WSSV (virus del Síndrome de la Mancha Blanca) o bacterianos como *Vibrio* spp, han causado o siguen causando serias mortalidades. Por ello, las enfermedades son la causa más importante de pérdidas económicas en la industria, no sólo en términos de la producción sino también en otros elementos de

la cadena productiva (empleos, divisas, etc.). La estimaciones de pérdidas económicas en el continente americano suman más de 5 mil millones de dólares (Lightner *et al.*, 2012).

Por lo anterior, es de suma importancia llevar a cabo estudios sobre patogénesis microbiana e inmunología, encaminados a conocer los principales factores de virulencia por medio de los cuales agentes patógenos pueden causar procesos infecciosos, así como para conocer los mecanismos de defensa inmune por medio de los cuales el camarón pueda contrarrestar un proceso infeccioso, y con ello diseñar estrategias preventivas de aplicación de suplementos inmunoestimulantes e inmunobióticos, para el control y manejo de enfermedades infecciosas.

En este contexto, se ha trabajado con el aislamiento y caracterización de microorganismos benéficos de diferentes fuentes marinas y hospederos blanco para utilizarse como mejoradores de la respuesta inmune y como remediadores de la calidad de agua en cultivo de camarón blanco (Campa-Córdova

et al., 2002; Campa-Córdova *et al.*, 2004; Pacheco *et al.*, 2012). Se han caracterizado, seleccionado e identificado microorganismos *in vitro* e *in vivo* que utilizados en mezclas sinérgicas que inducen experimentalmente el incremento con el Síndrome de Taura (Zarain-Herzberg *et al.*, 2003), *Vibrio penaeicida* (Aguirre-Guzman *et al.*, 2005), Síndrome del Virus de la Mancha Blanca (Sánchez-Paz 2010) y el IHHNV (Vega-Heredia *et al.*, 2012), entre otros.



Fig. 7. Toma de muestra de hemolinfa de camarón blanco para análisis de patógenos (Foto: R. Pérez Enríquez).

en crecimiento, respuesta inmune y respuesta antioxidante (actividad enzimática y expresión génica), así como en resistencia a infecciones virales (Luna-González *et al.*, 2013), supervivencia larvaria (Luis-Villaseñor *et al.*, 2013) y resistencia a infecciones experimentales bacterianas (Luis-Villaseñor *et al.*, 2015).

Los estudios de caracterización de patógenos y su comportamiento en el ambiente se ha realizado

Dada su importancia, el WSSV se ha estudiado de manera más intensiva para mejorar los métodos de detección y diagnóstico (Moser *et al.*, 2012), determinar variaciones en el sistema antioxidante del hospedero ante infecciones (Parrilla-Taylor *et al.*, 2013), entender el comportamiento epidemiológico en estanques (Durán-Avelar *et al.*, 2015; Esparza-Leal *et al.*, 2009; Esparza-Leal *et al.*, 2010; Esparza-Leal *et al.*,

2012; Ruiz-Velazco *et al.*, 2010) y evaluar el impacto económico de la enfermedad (Hernández-Llamas *et al.*, 2014a).

Se ha trabajado de igual manera en proponer estrategias de manejo para su prevención a través de la modificación de prácticas de manejo (Hernández-Llamas *et al.*, 2014b) y se han logrado importantes avances para su control mediante la aplicación de un tratamiento biotecnológico basado en el ARN de interferencia (Mejía-Ruiz *et al.*, 2011; Álvarez-Ruiz *et al.*, 2013). Asimismo, se han obtenido significativos avances en la prevención de mortalidad por *Vibrio parahaemolyticus* mediante productos homeopáticos (Mazon *et al.*, 2015).

Genética y Genómica

El mejoramiento genético se ha reconocido como una alternativa para el incremento de la producción a través de la selección hacia características productivas como tasa de crecimiento, resistencia a enfermedades, capacidad reproductiva, entre otras y con ello contribuir a satisfacer la demanda futura de proteína animal.

El inicio de los programas de mejoramiento genético del camarón en México ocurrió alrededor del año 1998, paralelamente al desarrollo de investigaciones dirigidas a establecer el primer pie de cría de camarón en el CIBNOR con la participación principal de la empresa APSA (Pérez-Rostro *et al.*, 1999).

Con la introducción a México del virus de la mancha blanca en el año 1999, la producción de un pie de cría de camarón utilizando reproductores silvestres no fue posible, por lo que éste se inició utilizando una línea importada de Venezuela, conocida como la línea Mélagos. Las investigaciones realizadas con esta línea, la cual fue inicialmente replicada por seguridad en el CIBNOR y en instalaciones de la empresa Maricultura del Pacífico en Sinaloa, indicaron que de realizarse una selección se obtendría una mejora generacional del peso del camarón similar en ambos sitios (Pérez-Rostro e Ibarra, 2003). A pesar de que un análisis molecular reveló suficiente variabilidad genética de este lote, en la tercera generación se realizó un entrecruzamiento

con ejemplares derivados de una línea colombiana que contribuyó a incrementar la diversidad genética (Cruz *et al.*, 2004).

Con el fin de conocer si la selección podría ser aplicada para mejorar características reproductivas del camarón

al primer desove, número de desoves, fecundidad, tamaño de huevo, contenido de vitelina, lípidos y proteínas en huevo, peso en hembras maduras, entre otros (Arcos *et al.*, 2004; Arcos *et al.*, 2005; Ibarra *et al.*, 2005, Ibarra *et al.*, 2007a, Ibarra *et al.*,



Fig. 8. Marcaje con elastómeros de color para identificación de grupos genéticos (Foto: R. Pérez Enríquez)

blanco, se estimó la heredabilidad (proporción heredable de una característica particular de un individuo) de caracteres reproductivos y la correlación genética entre ellos. Se demostró la existencia de variabilidad genética-aditiva y asociaciones genéticas entre distintos caracteres usados para evaluar la capacidad y potencial reproductivo de hembras, como son la latencia

2009). Finalmente, debido a que la tendencia para el cultivo del camarón es realizarlo en cultivos controlados a altas densidades, se evaluó si la selección realizada en una densidad baja resultaría también en una mejora para organismos cultivados a altas densidades, encontrando que cada densidad de cultivo requerirá el desarrollo de su propio programa de selección bajo esas condiciones

(Ibarra y Famula, 2008).

Asimismo, se ha desarrollado trabajo de genética en poblaciones, cuyo enfoque ha sido determinar los niveles de diversidad y endogamia (grado de parentesco entre individuos) en poblaciones de cultivo. Entre los resultados más relevantes se tiene que se desarrolló un panel de marcadores genéticos tipo microsatélites (Cruz *et al.*, 2002) para su aplicación en los estudios de variabilidad genética en una línea de reproductores, lo que permitió monitorear los cambios en la diversidad genética a través de dos generaciones y con base en ello proponer estrategias específicas de entrecruzamiento (Cruz *et al.*, 2004). Se encontró que los niveles de variabilidad genética de las poblaciones en cultivo son menores a lo registrado en el medio silvestre, aunque mayores a lo esperado de poblaciones cerradas (Perez-Enriquez *et al.*, 2009).

Asimismo, derivado de los niveles de endogamia observados en las poblaciones de cultivo, se propuso la instrumentación de estrategias para enriquecer la diversidad y disminuir la endogamia.

Genómica

En la actualidad el mejoramiento genético puede apoyarse de forma importante en desarrollos en el campo global de la genómica, la cual comprende el estudio de la secuencia del ADN de los organismos en relación con sus características de desarrollo. Por ejemplo, el desarrollo de mapas genéticos que localizan diferentes genes o loci en los

establecida desde 2007 en la revisión realizada por Ibarra *et al.* (2007b). Hoy en día contamos con librerías de genes asociados a la reproducción, la muda y genes involucrados con la diferenciación sexual (Galindo-Torres, 2014; López-Cuadros, 2014).

Estos últimos son importantes para una aplicación futura en la producción de cultivos monosexo, específicamente en cultivos de 'solo hembras' debido a que éstas



Fig. 9. Bioruptor utilizado para seccionar el DNA en fragmentos como paso intermedio para generar librerías de secuenciación. (Foto H. Acosta Salmón)

cromosomas permite llevar a cabo una selección de tipo asistida por marcadores moleculares. En el caso del camarón, la importancia de encontrar genes específicamente asociados con características productivas y reproductivas fue

alcanzan mayor peso que los machos.

En el marco de un proyecto sobre genómica de camarón se generó un microarreglo de ADN específico de camarón blanco. Los microarreglos de ADN se usan para

analizar la expresión diferencial de genes, es decir, para determinar o conocer los genes que un organismo tiene “encendidos” o “apagados” en una situación en particular. El microarreglo obtenido (CIBarray®) incluye 5,275 genes por triplicado relacionados con funciones ecofisiológicas, inmunogenómicas, de intensificación, nutrigenómica y reproducción, que pueden ser evaluados en experimentos de cuantificación de expresión génica (ver aplicación en Ascencio *et al.*, 2015).

Adicionalmente se ha desarrollado la línea de bioinformática que tiene como objetivo el desarrollar métodos matemáticos, estadísticos y computacionales para almacenar, analizar, predecir o simular la composición o estructura de material genético y proteínas. Se han analizado y procesado las bases de datos para el diseño de microarreglos de expresión génica para *L. vannamei* y se han desarrollado los métodos para su análisis optimizados en unidades de procesamiento gráfico GPU (Romero Vivas *et al.*, 2013), además de diseñar e implementar la

infraestructura computacional que requiere el CIBNOR para análisis bioinformáticos (Romero-Vivas *et al.*, 2012).

Fisiología y Reproducción

El estrés es una respuesta adaptativa ante condiciones adversas que al repetirse o prolongarse pierde su carácter adaptativo y se convierte en un desbalance fisiológico perjudicial para el organismo (Mercier *et al.*, 2009). Este tipo de respuestas ocurre frecuentemente durante diferentes etapas y tipos de cultivo de camarón ante cambios ambientales (e.g. hipoxia, cambios de salinidad) o prácticas de manejo (e.g. biometría, cosechas parciales) inherentes al cultivo.

Por ello, la evaluación de la susceptibilidad del camarón al estrés en función de variables fisiológicas y del sistema inmune se considera un elemento importante para mejorar las prácticas de manejo acuícola (Mercier *et al.*, 2009). Los resultados indican que la glucosa y el lactato son dos de las variables metabólicas más apropiadas para detectar condiciones de estrés agudo (de

horas a algunos días) (Mercier *et al.*, 2006; Racotta y Palacios, 1998).

De igual manera, el efecto del estrés causado por altas densidades durante la precría del camarón se ha visto aminorado con el empleo de sistemas “bioflocs”, los cuales consisten en cultivar a los organismos en presencia de flóculos microbianos (Martínez-Antonio, 2014; Guemez-Sorhouet, 2015).

Por otro lado, una dieta rica en ácidos grasos altamente insaturados (HUFA, por sus siglas en inglés) de la familia de los omega 3 incrementa significativamente la concentración de la lipoproteína HDL-BGBP (High Density Lipoprotein-Beta Glucan Binding Protein, por sus siglas en inglés) en la hemolinfa del camarón (Mercier *et al.*, 2009), mientras que una dieta alta en HUFA omega 6 incrementa la tolerancia al estrés, la producción de oxígeno reactivo y la coagulación (Aguilar *et al.*, 2012).

De manera más reciente, se ha estudiado la respuesta de escape como modelo particular de estrés por representar el mecanismo de defensa más común de camarones peneidos tanto en su medio



natural (importancia ecológica) como en condiciones de cautiverio (importancia en acuicultura) (Robles-Romo *et al.*, 2013). El patrón comportamental y energético de dicha respuesta escape representa un índice de vigor fisiológico que se ha usado de manera reciente en estudios nutricionales, en los cuales el mayor vigor fisiológico está relacionado con un mejor desempeño en cultivo con dietas elaborada a partir de desechos pesqueros (calamar y callo de hacha) (Licon-Jain, 2015).

Asimismo, se ha observado que la infección por virus de la mancha blanca implica ciertas alteraciones en el metabolismo energético del camarón (Apun-Molina, 2014), lo cual permite entender más a fondo la evolución de la infección viral que está causando grandes pérdidas en la industria camaronícola.

Otro de los temas desarrollados fue establecer criterios de calidad para huevos, larvas y postlarvas de camarón que puedan ser usados para predecir la supervivencia y desempeño posterior, sobre la base de variables fácilmente medibles con el propósito de que éstas sean usadas por los productores. Así, se

establecieron una serie de criterios bioquímicos y productivos de calidad temprana en los estadios de huevo, nauplio y zoea (Palacios *et al.*, 1998, Racotta *et al.*, 2003, 2004) y se validó el uso de la tolerancia de las postlarvas al estrés de salinidad como predictor de supervivencia durante la siembra en estanques (Álvarez *et al.*, 2004; Palacios y Racotta, 2007).

Por otra parte, los estudios de fisiología reproductiva están orientados a entender los mecanismos fisiológicos y genómicos-moleculares asociados con el proceso reproductivo y su control neuroendocrino en hembras y machos. La investigación en machos relativa a la glándula androgénica, indica que ésta se desarrolla a partir de los 65-70 días como postlarva, diferencia la gónada en testículo y desarrolla las características sexuales secundarias en los machos. En la espermatogénesis, la meiosis es continua durante el ciclo de muda, sin embargo, la cantidad de esperma es fija una vez que el camarón muda y forma el nuevo espermatóforo, el cual contiene su máxima carga energética.

La hormona que produce esta glándula es del tipo de la insulina y a nivel de expresión del gen *Litopenaeus vannamei* Insulin-like Androgenic Gland (LVIAG), el ápula terminal es el órgano en donde más se transcribe. La glándula androgénica está bajo el control del complejo de la glándula del seno-órgano X, localizado en los pedúnculos oculares, y la síntesis de la hormona está sincronizada con el ciclo de muda (Campos-Ramos *et al.*, 2006; Garza-Torres *et al.*, 2009; 2011; Vázquez-Islas *et al.*, 2013; 2014; 2015).

En colaboración con laboratorios de producción comercial se determinó que los ciclos de producción, dados por lo que se conoce como agotamiento reproductivo de los camarones, se deben a una diferencia entre la capacidad reproductiva de hembras, donde algunas siguen produciendo huevos después de más de 20 desoves, mientras que otras no desovan nunca después de la ablación del tallo ocular (Palacios *et al.*, 1999a; 1999b; 2003). Esta diferencia de capacidad reproductiva se usó como uno de los criterios de selección del pie

de cría de una empresa comercial en 1998 (Arcos *et al.*, 2003; 2004; 2005). También se evaluó el efecto de la producción en machos (Ceballos *et al.*, 2004) y sobre la calidad de los huevos, larvas y postlarvas resultantes (Palacios *et al.*, 1998; 1999a; 2001).

Conclusiones y Perspectivas

Sin duda, el papel de CIBNOR en el desarrollo de la industria de camarón del país es notorio y

formación de recursos humanos capacitaciones, seminarios, congresos, asesorías, etc.

El reto de la industria acuícola es grande. Se estima que para el 2030 deberá estar proveyendo alrededor del 60% de la proteína animal de origen acuático a la producción mundial, con un incremento de la producción del camarón de cultivo de un 10% (FAO, 2014). En este sentido, el propio reto del Programa de

incremento de la producción y la rentabilidad del cultivo de camarón en un marco de sostenibilidad ambiental.

Las oportunidades en el ámbito de la biotecnología y la genómica para la fabricación de alimentos y aditivos que aporten elementos necesarios con el fin de mejorar caracteres fisiológicos, la respuesta inmune y el control de patógenos, incidir en la función y selección de genes específicos de interés para



Fig. 10. Cosecha de camarón blanco de la estanquería de mareas del CIBNOR (Foto H. Acosta Salmón)

se manifiesta no sólo a través de su participación en publicaciones científicas, sino también a través de proyectos de investigación y transferencia de tecnología,

Acuicultura del CIBNOR será el de continuar generando conocimiento científico y realizando desarrollos tecnológicos que aporten soluciones para coadyuvar al

los productores e intensificar los cultivos en ambientes multitrofos más propicios, entre otros, son una realidad sobre la cual el CIBNOR está enfocando sus estrategias de



investigación para los próximos años.

Por otra parte, el CIBNOR ha sido factor fundamental para fortalecer la vinculación de la academia con el sector productivo. Actualmente, la mayoría de las investigaciones en camarón se hacen en colaboración con empresas; en donde estas mismas son las que vienen a buscar el apoyo del Centro. Ese seguirá siendo un elemento indispensable para que el desarrollo futuro del cultivo de camarón cuente con sólidas bases científicas.

Agradecimientos

Las aportaciones de tres revisores anónimos contribuyeron a la mejora del manuscrito. Los Autores agradecemos al Lic. Gerardo Hernández el diseño gráfico editorial y a la Ms.C. Diana Dorantes la revisión del Idioma Inglés del Abstract.

Literatura citada

Aguilar V., I.S. Racotta, E. Goytortua, M. Wille, P. Sorgeloos, R. Civera y E. Palacios. 2012. *The influence of dietary arachidonic acid on the immune response*

and performance of Pacific whiteleg shrimp, Litopenaeus vannamei, at high stocking density. Aquaculture Nutrition, 18(1): 258-271.

Aguirre-Guzman, G., F. Ascencio y D. Saulnier. 2005. *Pathogenicity of Vibrio penaeicida for white shrimp Litopenaeus vannamei; a cysteine protease-like exotoxin as a virulence factor.* Diseases of Aquatic Organisms 67(3): 201-207.

Álvarez, A.L., I.S. Racotta, O. Arjona y E. Palacios. 2004. *Salinity stress test as a predictor of survival during growout in Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei).* Aquaculture, 237(1-4): 237-249.

Apun-Molina, J.P. 2014. *Indicadores fisiológicos e inmunológicos de la condición de salud del camarón blanco Litopenaeus vannamei en diferentes condiciones experimentales y cultivado en granjas ante la incidencia del virus de la mancha blanca.* Tesis Doctoral. Instituto Tecnológico de Sonora.

Álvarez-Ruiz, P., C.H. Mejía-Ruiz, F.J. Magallón-Barajas y C.M. Escobedo-Bonilla. 2013. *Silencing Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei LvRab7 reduces mortality in brooders challenged with white spot syndrome virus.* Aquaculture Research 44(5): 772-782.

Arcos G. F., A.M. Ibarra, E. Palacios, C. Vazquez-Boucard e I.S. Racotta. 2003. *Feasible predictive criteria for reproductive performance of white shrimp Litopenaeus vannamei: egg quality and female physiological condition.* Aquaculture, 228(1-4): 335-349.

Arcos, F.G., I.S. Racotta y A.M. Ibarra. 2004. *Genetics parameters for reproductive traits and egg composition in Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei.* Aquaculture 236: 151-165.

Arcos, F.G., E. Palacios, I.S. Racotta y A.M. Ibarra. 2005. *Ovary development at the onset of gametogenesis is genetically determined and correlated with reproductive traits at maturity in shrimp Penaeus*

- (*Litopenaeus vannamei*). Marine Biology 148: 339-346.
- Ascencio, F., E. Velazquez y H. Villarreal. 2015. *Expression of immune related genes in White Shrimp (Litopenaeus vannamei) after treatment with mineral extract used as feed additive (MEFA) to reduce WSSV and Vibrio parahaemolyticus infections: DNA Microarray analysis.* Middle East Aquaculture Forum 2015, Dubai, U.A.E.
- Campa-Córdova, A.I., N.Y. Hernández-Saavedra, R. De Philippis y F. Ascencio. 2002. *Generation of superoxide anion and SOD activity in American white shrimp (Litopenaeus vannamei) haemocytes and muscle as a response to β -glucan and sulfated polysaccharides.* Fish and Shellfish Immunology 12: 353-366.
- Campa-Córdova, A.I., N.Y. Hernández-Saavedra, R. De Philippis y F. Ascencio. 2004. *Antioxidant response of superoxide dismutase in American White Shrimp (Litopenaeus vannamei) exposed to sulfated polysaccharide and β -glucan.* Journal of Marine Biotechnology 6: S91-S94.
- Campos-Ramos, R., R. Garza-Torres, D.A. Guerrero-Tortolero, A.M. Maeda-Martínez y H. Obregón-Barboza. 2006. *Environmental sex determination, external sex differentiation, and structure of the androgenic gland in the Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei (Boone).* Aquaculture Research 37: 1583-1593.
- Campaña-Torres, A., L.R. Martínez-Cordova, H. Villarreal-Colmenares y E. Cortes-Jacinto. 2010. *Evaluation of different concentrations of adult live artemia (Artemia franciscana, Kellogs 1906) as natural exogenous feed on the water quality and production parameters of Litopenaeus vannamei (Bonne 1931) intensively pre grown.* Aquaculture Research 42, 40-46.
- Ceballos-Vázquez, P., B. Aparicio-Simón, E. Palacios e I.S. Racotta. 2004. *Sperm quality over successive spermatophore regenerations in the Pacific White shrimp Litopenaeus vannamei.* Journal of the World Aquaculture Society, 35(2): 178-188.
- CONAPESCA. 2013. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca, Edición 2013. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Mazatlán, Sinaloa, México.
- Cruz, P., C.H. Mejia-Ruiz, R. Perez-Enriquez y A.M. Ibarra. 2002. *Isolation and characterization of microsatellites in Pacific white shrimp Penaeus (Litopenaeus) vannamei.* Molecular Ecology Notes 2 (3): 239-241.
- Cruz, P., A.M. Ibarra, C.H. Mejia-Ruiz, P.M. Gaffney y R. Perez-Enriquez. 2004. *Genetic variability assessed by microsatellites in a breeding program of Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei.* Marine Biotechnology 6(2): 157-164.



- Durán-Avelar, M.J., R. Pérez-Enríquez, J.F. Zambrano-Zaragoza, L. Montoya-Rodríguez, R. Vázquez-Juárez y N. Vibanco-Pérez. 2015. *Genotyping WSSV isolates from northwestern Mexican shrimp farms affected by white spot disease outbreaks in 2010–2012*. *Diseases of Aquatic Organisms* 114: 11-20.
- Esparza-Leal, H.M., C.M. Escobedo-Bonilla, R. Casillas-Hernández, P. Álvarez-Ruiz, G. Portillo-Clark, R.C. Valerio-García, J. Hernández-López, J. Méndez-Lozano, N. Vibanco-Pérez y F.J. Magallón-Barajas. 2009. *Detection of white spot syndrome virus in filtered shrimp-farm water fractions and experimental evaluation of its infectivity in Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. *Aquaculture* 292(1-2): 16-22.
- Esparza-Leal, H.M., F.J. Magallón-Barajas, G. Portillo-Clark, R. Perez-Enriquez, P. Alvarez-Ruiz, C.M. Escobedo-Bonilla, J. Méndez-Lozano, N. Mañón-Ríos, R. Valerio-García, J. Hernández-López, N. Vibanco-Pérez y R. Casillas-Hernández. 2010. *Infection of WSSV-negative shrimp, Litopenaeus vannamei, cultivated under fluctuating temperature conditions*. *Journal of the World Aquaculture Society* 41: 912-922.
- Esparza-Leal, H.M., F.J. Magallón-Barajas, R. Perez-Enriquez, R. Casillas-Hernández, J.A. Cabanillas-Ramos y W. Valenzuela-Quiñónez. 2012. *Región endémica y regímenes de infección con el virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) en las granjas camaronícolas del noroeste de México*. *Ra Ximhai* 8: 117-129.
- Ezquerro, J. M., F.L. García-Carreño, R. Civera y N.F. Haard. 1997. *pH-stat method to predict protein digestibility in white shrimp (Penaeus vannamei)*. *Aquaculture* (157): 249-260.
- FAO. 2104. *The State of World Fisheries and Aquaculture. Opportunities and challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- Galicia-González, A., E. Goytortúa-Bores, F.J. Moyano-López, L.E. Cruz-Suárez, D. Ricque-Marie, E. Palacios y R. Civera-Cerecedo. 2010. *Chemical Composition and Digestibility of Three Mexican Safflower Meals Used as Ingredients in Diets for Whiteleg Shrimp, Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society* 41(S2): 191-202.
- Galindo-Torres, P.E. 2014. *Caracterización del transcrito del gen fem-1 en Litopenaeus vannamei (Boone, 1931) y análisis de su función en la reproducción mediante RNA de interferencia*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 112 p.
- Garza-Torres, R., R. Campos-Ramos y A.M. Maeda-Martínez. 2009. *Organogenesis and subsequent development of the genital organs in female and male Pacific white shrimp Penaeus (Litopenaeus)*

- vannamei. *Aquaculture* 296(1-2): 136-142.
- Garza-Torres, R, A.M. Maeda-Martínez, D.A. Guerrero-Tortolero, H. Obregón-Barboza y R. Campos-Ramos. 2011. *Description of meiosis in female and male Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei* (DECAPODA: PENAEIDAE). *Journal of Crustacean Biology*, 31(1): 75-81.
- Goytortúa-Bores, E., R. Civera-Cerecedo, S. Rocha-Meza y A. Green-Yee. 2006. *Partial replacement of red crab (Pleuroncodes planipes) meal for fish meal in practical diets for the white shrimp Litopenaeus vannamei. Effects on growth and in vivo digestibility.* *Aquaculture* 256 (1-4): 414-422.
- Guemez-Sorhouet, E.E. 2015. *Respuesta fisiológica e inmune del camarón Litopenaeus vannamei bajo condiciones de alta densidad e hipoxia aguda, en presencia de flóculos biológicos y sustratos artificiales durante la precría.* Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 141p.
- Hernández Llamas A. y F.J. Magallón Barajas. 1991. *Análisis bioeconómico del cultivo del camarón azul (Penaeus stylirostris) con fertilizantes orgánicos e inorgánicos y alimentación balanceada.* *Investigaciones Marinas CICIMAR* 6(2): 267-281.
- Hernández Llamas A., J.L. Hernández Lizardi, M. González Garibay y F.J. Magallón Barajas. 1993. *Growth and survival response of Penaeus stylirostris to fertilization, pelleted feed and stocking density in earthen ponds.* *Aquaculture and Fisheries Management* 24: 57-69.
- Hernández Llamas A., F.J. Magallón Barajas, C.H. Lechuga Devezé, J.J. Bustillos Guzmán y D. López Cortés. 1995. *Growth potential of wild juvenile (Penaeus stylirostris) in earthen ponds receiving chemical and organic fertilizers and pelleted feed.* *Aquacultural Engineering* 14(4): 317-330.
- Hernández-Llamas A., E.F. Balart, G. Ponce-Díaz y R. Civera-Cerecedo. 2006. *Feasibility of a new fishery in Baja California, Mexico based on the red crab Pleuroncodes planipes: preliminary economic evaluation and risk assessment.* *Aquatic Living Resources* 19: 173-179.
- Hernández-Llamas, A., J. Cabanillas-Ramos y F.J. Magallón-Barajas. 2014a. *Estimating impact of white spot disease on economic risk in semi-intensive shrimp farms in Mexico: the case of the State of Sinaloa.* *Reviews in Aquaculture* 6: 1-10.
- Hernández-Llamas, A., F.J. Magallón-Barajas, R. Pérez-Enriquez, J. Cabanillas-Ramos, H.M. Esparza-Leal y G. Portillo-Clark. 2014b. *Pond shutdown as a strategy for preventing outbreaks of white spot disease in shrimp farms in Mexico.* *Reviews in Aquaculture* 5: 1-8.
- Hurtado, M.A., O. Arjona, L. Ibarra, R. Civera, M. Hernández-Rodríguez, I.S. Racotta, y E. Palacios. 2007. *Effect*



- of hypo- and hypersaline conditions on osmolarity and Na⁺/K⁺-ATPase activity in juvenile shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed low and high-HUFA diets. *Comparative Biochemistry and Physiology* 147A(3): 703-710.
- Ibarra, A.M., F.G. Arcos, T.R. Famula, I.S. Racotta y E. Palacios. 2005. *Heritability of the categorical trait 'number of spawns' in Pacific white female shrimp Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. *Aquaculture* 250: 95-110.
- Ibarra A.M., C.I. Pérez-Rostro, J.L. Ramirez y E. Ortega-Estrada. 2007a. *Genetics of the resistance to hypoxia in postlarvae and juveniles of the Pacific white shrimp Penaeus (Litopenaeus) vannamei (Boone 1931)*. *Aquaculture Research* 38: 838-846.
- Ibarra, A.M., I.S. Racotta, F.G. Arcos y E. Palacios. 2007b. *Progress on the genetics of reproductive performance in penaeid shrimp*. *Aquaculture* 268: 23-43
- Ibarra, A.M. y T.R. Famula. 2008. *Genotype by environment interaction for adult body weights of shrimp Penaeus vannamei when grown at low versus high densities*. *Genetics, Selection, Evolution* 40: 541-551.
- Ibarra, A.M., T.R. Famula y F.G. Arcos. 2009. *Heritability of vitellogenin in haemolymph, a pre-spawning selectable trait in Penaeus (Litopenaeus) vannamei, has a large genetic correlation with ovary maturity measure as oocytes mean diameter*. *Aquaculture* 297: 64-69.
- Laurencin, F.B. y M. Vigneulle. 1994. *Aquaculture diseases*. Part V. En: Barnabé, G. (Ed.) *AQUACULTURE. Biology and Ecology of Cultured Species*. Ellis Horwood Limited, Hertfordshire, U.K. pp. 375-392.
- Lightner, D.V., R.M. Redman, C.R. Pantoja, K.F.J. Tang, B.L. Noble, P. Schofield, L.L. Mohny, L.M. Nunan y S.A. Navarro. 2012. *Historic emergence, impact and current status of shrimp pathogens in the Americas*. *Journal of Invertebrate Pathology* 110: 174-183.
- López-Cuadros, I. 2014. *Caracterización y localización de la expresión de Sxl (Sex-lethal) en camarón blanco del Pacífico Litopenaeus vannamei (Boone, 1931)*. Tesis Maestría en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 103 p.
- Licona-Jain, A.B. 2015. *Respuesta al estrés y calidad bioquímica post-mortem del camarón blanco en relación a la inclusión del sub-productos pesqueros en el alimento*. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Luis-Villaseñor, I.E., A.I. Campa-Córdova, N. Huerta-Aldaz, A. Luna-González, J.M. Mazón-Suástegui y F. Flores-Higuera. 2013. *Effect of beneficial bacteria on larval culture of Pacific whiteleg shrimp, Litopenaeus vannamei*. *African Journal of Microbiology Research* (7)27: 3471-3478.
- Luis-Villaseñor, I.E., D. Voltolina, B. Gomez-Gil, F. Ascencio, A.I. Campa-Córdova, J.M.

- Audelo-Naranjo y O.O. Zamudio-Armenta. 2015. *Probiotic modulation of the gut bacterial community of juvenile Litopenaeus vannamei challenged with Vibrio parahaemolyticus* CAIM 170. Latin American Journal of Aquatic Research 43(4): 766-775.
- Luna-González, A., J.T. Moreno-Herrera, A.I. Campa-Córdova, H.A. González-Ocampo, J.A. Fierro-Coronado, P. Álvarez-Ruiz y M.A. Bueno-Ibarra. 2013. *Respuesta inmune y expresión de genes en el camarón blanco (Litopenaeus vannamei) inducida por inmunostimulantes microbianos*. Latin American Journal of Aquatic Research 42, 898-907.
- Magallón-Barajas, F.J., H. Villarreal-Colmenares, F. Arcos-Ortega, S. Aviles-Quevedo, R. Civera-Cerecedo, P. Cruz-Hernández, A. González-Becerril, V. Gracia-López A. Hernández-Llamas, J. Hernández-López, A.M. Ibarra-Humphries, C. Lechuga-Deveze, J.M. Mazón-Suástegui, A.F. Muhlia-Melo, J. Naranjo-Paramo, R. Pérez-Enriquez, M. Porchas-Cornejo, G. Portillo-Clark y J.C. Pérez-Urbiola. 2008. *Desarrollo Sustentable de la Acuicultura en México. Orientaciones Estratégicas*. Cámara de Diputados, LX Legislatura. 256 pp.
- Martínez-Antonio, E. 2014. *Niveles de nutrientes residuales, ecoeficiencia, desempeño productivo y estado fisiológico de Litopenaeus vannamei a diferentes niveles de proteína por efecto de micro biota en cultivos hiperintensivos*. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Martínez-Córdova, L.R., H. Villarreal-Colmenares y M. POrchas-Cornejo. 1995. *Culture of white shrimp Penaeus vannamei in reduced water exchange ponds in Sonora, Mexico*. World Aquaculture 26, 47-48.
- Martínez-Córdova, L.R., H. Villarreal-Colmenares, M. Porchas-Cornejo, J. Naranjo-Paramo y E.A. Aragon Noriega. 1997. *Effect of aeration rate on growth, survival and yield of white shrimp Penaeus vannamei in low water exchange ponds*. Aquaculture Engineering 16, 85-90.
- Martínez-Córdova, L.R., M. Porchas-Cornejo y H. Villarreal-Colmenares. 1998. *Respuesta del fitoplancton, zooplancton y bentos a tres estrategias de alimentación utilizadas en el cultivo de camarón blanco Penaeus vannamei Boone, 1931, en estanques con bajo recambio de agua*. Investigaciones Marinas 24, 267-281.
- Martínez-Córdova, L.R., A. Campaña-Torres, H. Villarreal-Colmenares, J. Ezquerro-Brauer, M. Martinez-Porchas, y E. Cortes-Jacinto. 2013. *Evaluation of partial and total replacement of formulated feed by live insects trichocorixa spheroptera corixidae on the productive and nutritional response and postharvest quality of shrimp Litopenaeus vannamei Boone 1931*, Aquaculture Nutrition 19, 218-226.



- Mazón-Suástegui, J.M., M. García-Bernal, F. Abasolo-Pacheco, M.A. Avilés-Quevedo, A.I. Campa-Córdova, M.C. Rodríguez-Jaramillo y R. Medina Marrero. 2015. *Homeopathy for shrimp aquaculture: Increased survival and superoxide dismutase activity in juvenile white shrimp Litopenaeus vannamei during a bacterial pathogen-challenge*. Poster; HRI Rome Jun-2015 / Cutting Edge Research in Homeopathy.
- Mejía-Ruíz, C.H., S. Vega-Peña, P. Álvarez-Ruiz y C.M. Escobedo-Bonilla. 2011. *Double-stranded RNA against white spot syndrome virus (WSSV) vp28 or vp26 reduced susceptibility of Litopenaeus vannamei to WSSV, and survivors exhibited decreased susceptibility in subsequent re-infections*. Journal of Invertebrate Pathology 107: 65–68.
- Mercier, L., E. Palacios, A.I. Campa-Córdova, D. Tovar-Ramírez, R. Hernández-Herrera e I.S. Racotta. 2006. *Metabolic and immune responses in the whiteleg shrimp Litopenaeus vannamei exposed to a chronic stress*. Aquaculture 258, 633-640.
- Mercier, L., I.S. Racotta, G. Yepiz-Plascencia, A. Muhlia-Almazán, R. Civera, W.M. Quiñones-Arreola, P. Sorgeloos y E. Palacios. 2009. *Effect of diets containing different levels of highly unsaturated fatty acids on metabolic and immune responses in Pacific whiteleg shrimp Litopenaeus vannamei exposed to handling stress*. Aquaculture Research 40, 1849-1863.
- Moser, J.R., D.A. Galván Álvarez, F. Mendoza Cano, T. Encinas García, D.E. Coronado Molina, G. Portillo Clark, M. Risoleta, F. Marques, F.J. Magallón Barajas y J. Hernández López. 2012. *Water temperature influences viral load and detection of White Spot Syndrome Virus (WSSV) in Litopenaeus vannamei and wild crustaceans*. Aquaculture 326-329: 9-14.
- Nolasco, H. 2014a. *Manual de Digestibilidad in vitro*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 67 pp.
- Nolasco, H. 2014b. *Manual de Atractabilidad de Ingredientes y Alimentos*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 29 pp.
- Pacheco, R., A.I. Campa, G. Aguirre, A. Luna, M.A. Guzmán y F. Ascencio. 2012. *Effect of Debaryomyces hansenii on the antioxidant response of juvenile white shrimp Litopenaeus vannamei*. Revista MVZ Córdoba 17: 2820-2826.
- Palacios E. e I.S. Racotta. 2003. *Effect of number of spawns on the biochemical composition of eggs and nauplii of Penaeus vannamei (Boone)*. Aquaculture Research 34: 427-435.
- Palacios, E. e I.S. Racotta. 2007. *Sailinity stress test in shrimp postlarvae: Relation to further performance and physiological basis*. Aquaculture 268: 123-135.
- Palacios, E., A.M. Ibarra, J.L. Ramírez, G. Portillo e I.S. Racotta.

1998. *Biochemical composition of egg and nauplii in white pacific shrimp, Penaeus vannamei (Boone), in relation to the physiological condition of spawners in a commercial hatchery.* Aquaculture Research 29: 183-189.
- Palacios, E., C.I. Pérez-Rostro, J.L. Ramírez, A.M. Ibarra e I.S. Racotta. 1999a. *Reproductive exhaustion in shrimp (Penaeus vannamei) reflected in larval biochemical composition, survival, and growth.* Aquaculture 171: 209-221.
- Palacios E., I.S. Racotta y APSA. 1999b. *Spawning frequency analysis of wild and pond-reared Penaeus vannamei broodstock under large-scale hatchery conditions.* Journal of the World Aquaculture Society 30: 180-191.
- Palacios E., I.S. Racotta, H. Heras, Y. Marty, J. Moal, E. Krauffe y J.F. Samain. 2001. *Relation between lipid and fatty acid composition of eggs and larval survival in white pacific shrimp (Penaeus vannamei).* Aquaculture International 9: 531-543.
- Palacios E., I.S. Racotta y M. Villalejo. 2003. *Assessment of ovarian development in a commercial hatchery and its relation to mating in wild and pond-reared Penaeus vannamei shrimp.* Journal of the World Aquaculture Society 34: 466-477, 2003.
- Palacios, E., A. Bonilla, A. Pérez, I.S. Racotta y R. Civera. 2004. *Influence of highly unsaturated fatty acids on the responses of white shrimp (Litopenaeus vannamei) postlarvae to low salinity.* Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 299: 201-215.
- Palacios, E., C. Navarro-Hurtado, E.A. Toyas-Vargas, R. Civera y M. Casas. 2014. *Use of alternative marine products for fishmeal and oil replacement in feed for shrimp Litopenaeus vannamei.* World Aquaculture, Adelaide, Australia 7-11 de Junio.
- Parrilla-Taylor, D.P., T. Zenteno-Savin y F.J. Magallon-Barajas. 2013. *Antioxidant enzyme activity in pacific whiteleg shrimp (Litopenaeus vannamei) in response to infection with white spot syndrome virus.* Aquaculture 380-383: 41-46.
- Perez-Enriquez, R., F. Hernández-Martínez y P. Cruz. 2009. *Genetic diversity status of White shrimp Penaeus (Litopenaeus) vannamei broodstock in Mexico.* Aquaculture 297: 44-50.
- Pérez-Rostro, C.I., J.L. Ramírez y A.M. Ibarra. 1999. *Maternal and cage effects on genetic parameter estimation for Pacific white shrimp (Penaeus vannamei Boone).* Aquaculture Research 30: 681-693.
- Pérez-Rostro, C.I. y A.M. Ibarra. 2003. *Heritabilities and genetic correlations of size traits at harvest size in sexually dimorphic Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei) grown in two environments.* Aquaculture Research 34: 1079-1085.
- Racotta, I.S. y E. Palacios. 1998. *Haemolymph metabolic variables in response to experimental manipulation stress and se-*



- rotonin injection in *Penaeus vannamei*. Journal of the World Aquaculture Society 29: 351-356.
- Racotta, I. S., E. Palacios y A.M. Ibarra. 2003. *Shrimp larval quality as a function of broodstock condition: A review*. Aquaculture 227: 107-130.
- Racotta, I.S., E. Palacios, R. Hernández-Herrera, A. Bonilla, C.I. Pérez-Rostro y J.L. Ramírez. 2004. *Criteria for assessing larval and postlarval quality of Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei, Boone, 1931)*. Aquaculture 233: 181-195.
- Rivas-Vega, M.E., E. Goytortúa-Bores, J. M. Ezquerro-Brauer, M. G. Salazar-García, L. E. Cruz-Suárez, H. Nolasco y R. Civera-Cerecedo. 2006. *Nutritional value of cowpea (Vigna unguiculata L. Walp) meals as ingredients in diets for Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei Boone)*. Journal of Food Chemistry 97 (1): 41-49.
- Robles-Romo, A., M.O. Arjona Lopez e I. Racotta Dimitrov. 2014. *Influence of sampling, storage, processing and optimal experimental conditions on adenylate energy charge in penaeid shrimp*. Archives of Biological Sciences 66: 651-666.
- Romero Vivas, E., F.D. Von Borstel Luna, J. Gutierrez Jaguey y R. VazquezJuarez. 2012. *Análisis de información genómica: Investigación Bioinformática (CIBNOR)*. Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo de México PCTI 119(5).
- Romero-Vivas, E., F.D. Von Borstel e I. Villa-Medina. 2013. *Analysis of Genetic Expression with Microarrays using GPU Implemented Algorithms*. Computación y Sistemas 17: 357-364.
- Ruiz-Velazco, J.M.J, A. Hernández-Llamas, V.M. Gomez-Muñoz y F.J. Magallon. 2010. *Dynamics of intensive production of shrimp Litopenaeus vannamei affected by white spot disease*. Aquaculture 300(1-4): 113-119.
- Sánchez-Paz, A. 2010. *White spot syndrome virus: an overview on an emergent concern*. Veterinary Research 41(6): 43.
- Vázquez-Islas, G., I. S. Racotta, A. Robles-Romo y R. Campos-Ramos. 2013. *Energy balance of spermatophores and sperm viability during the molt cycle in intact and bilaterally eyestalk ablated male Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei*. Aquaculture: 414-415: 1-8.
- Vázquez-Islas G., R. Garza-Torres, D.A. Guerrero-Tortolero y R. Campos-Ramos. 2014. *Histology of the androgenic gland and expression of the insulin-like androgenic gland hormone precursor gene in the genital organ of Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei*. Journal of Crustacean Biology 34: 293-299.
- Vázquez-Islas, G., D.A. Guerrero-Tortolero, R. Garza-Torres, P. Álvarez-Ruiz, H. Mejía-Ruiz y R. Campos-Ramos. 2015. *Quantitative analysis of hypertrophy and hyperactivity in the androgenic gland of eyestalk-ablated male Pacific*

- white shrimp Litopenaeus vannamei during molt stages.* Aquaculture 439: 7-13.
- Vega-Heredia, S., F. Mendoza-Cano y A. Sánchez-Paz. 2012. *The infectious hypodermal and haematopoietic necrosis virus: A brief review of what we do and do not know.* Transboundary Emergent Diseases 59(2): 95-105.
- Vega-Villasante, F., H. Nolasco y R. Civera. 1995. *The digestive enzymes of the Pacific brown shrimp Penaeus californiensis. II.- Properties of protease activity in the digestive tract.* Comparative Biochemistry and Physiology 112B: 123-129.
- Villarreal, H., R. Civera-Cerecedo y A. Hernández-Llamas. 2006. *Effect of partial and total substitution of shrimp meal, fish meal and soy meal with red crab meal Pleuroncodes planipes (Stimpson) on the growth of juvenile white shrimp Litopenaeus vannamei (Boone).* Aquaculture Research 37: 293-298.
- Villarreal-Colmenares, H. y R. Civera-Cerecedo, R. 2015. *Método de extracción de harina de langostilla roja de base seca.* Título de patente 330201, Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. Fecha de otorgamiento: 20 de Febrero de 2015.
- Zarain-Herzberg, M., N.Y. Hernandez-Saavedra y F. Ascencio. 2003. *Biological characterization of Taura Syndrome in Pacific White Shrimp Litopenaeus vannamei (Crustacea:Decapoda) cultured in Sinaloa, Mexico: gross Signs, histopathological lesions, and mortalities.* International Journal of Aquaculture 34: 99-105.

Cita de este artículo

Pérez-Enríquez R*, H. Acosta-Salmón, F. Arcos-Ortega, F. Ascencio, A.I. Campa-Córdova, R. Campos-Ramos, R. Civera-Cerecedo, P. Cruz-Hernández, A. Hernández-Llamas, A.M. Ibarra-Humphries, J. M. Mazón-Suástegui, C.H. Mejía-Ruiz, L. Mercier, H. Nolasco-Soria, E. Palacios-Mechetnov, I. S. Racotta, E. Romero-Vivas, R. Vázquez-Juárez, H. Villarreal-Colmenares. 2016 *Reseña histórica y académica del cultivo de camarón en el CIBNOR.* Recursos Naturales y Sociedad, 2016. Vol. 2 (3): 9-34. DOI:10.18242/RENAYSOC.2016.02.02.01.0004

Sometido: 25 de octubre de 2015

Revisado: 12 de enero de 2016

Aceptado: 26 de Marzo de 2016

Editor asociado: Dr. Alfredo Ortega Rubio

Idioma Inglés Abstract: Ms.C. Diana Dorantes

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández