T
1127

ACA ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INFORMACIÓN
ARCHIVO HISTÓRICO

123930

23930

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
SERVICIOS DE INFORMACION
ARCHIVO HISTORICO

Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

RELACIONES MORFOMÉTRICAS ENTRE LAS ESTRUCTURAS DEL ESPERMATÓFORO Y SU ASOCIACIÓN CON LA FECUNDIDAD EN HEMBRAS EN EL CAMARÓN BLANCO DEL PACÍFICO PENAEUS (LITOPENAEUS) VANNAMEI

T É S I S

(IDONEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS)

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

P R E S E N T A

BIÓL. MARÍA DE LOS ÁNGELES PERALTA MARTÍNEZ

COMITÉ TUTORAL:

DIRECTOR
DR. HÉCTOR CASTILLO JUÁREZ

ASESOR
DR. HUGO MONTALDO VALDENEGRO

ASESOR
DR. MARCO LINNÉ UNZUETA BUSTAMANTE

MÉXICO, D. F. MARZO 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
SERVICIOS DE INFORMACION
ARCHIVO HISTORICO

DEDICO ESTE TRABAJO A:

DARIÉN Y CÉSAR

Mis preciosos hijos forjadores de mi perseverancia

LUPITA Y PIRIO

Por ser los mejores niñeros.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Héctor Castillo Juárez director de la presente tesis por ser guía y colaborador en la realización de este trabajo y por la confianza que me brindó siempre.

A la Dirección General de Investigación en Acuacultura del Instituto Nacional de la Pesca por el apoyo prestado durante toda la elaboración y realización de este trabajo de investigación.

Al Dr. Marco Linné Unzueta Bustamante por su valioso apoyo y aportación de sus conocimientos para la realización y conclusión de este trabajo.

Al Dr. Hugo Horacio Montaldo Valdenegro por su apoyo en la realización de este trabajo.

Al Laboratorio de Producción de Larvas de camarón "Maricultura del Pacífico S.A. de C.V.", por su colaboración en el uso de sus instalaciones, la obtención y manejo de organismos.

Al Técnico Alfonso Martínez Ortega por el apoyo brindado en la obtención y manejo de los organismos.

A la M en C. Karina Morales Ueno por su apoyo en el manejo de los organismos y sus conocimientos en reproducción de camarón.

A los técnicos y trabajadores de Maricultura del Pacífico S.A. de C.V. por su apoyo en el manejo de los organismos.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo prestado en la realización de este estudio.

A la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Maestría en Ciencias Agropecuarias Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco

Y a todas aquellas personas que de alguna manera u otra participaron en la realización de este proyecto.

ÍNDICE

	Página
1.-Resumen	2
2.-Abstract	3
3.-Introducción	4
4.-Antecedentes	5
5.-Justificación	7
6.-Objetivos	8
7.-Hipótesis	8
8.-Métodos	9
9.-Resultdos	11
10.-Discusión	18
11.-Conclusiones	20
12.-Bibliografía	21

RESUMEN

La calidad del esperma en los machos adultos del camarón blanco del Pacífico *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* es importante para el adecuado manejo de los reproductores en los laboratorios de producción de larvas. Esta calidad no es observable a simple vista, por lo que conocer las relaciones que guardan las características morfométricas del espermatóforo del macho adulto con la fecundidad, permitirá definir los criterios para la elección de machos con mayor potencial reproductivo. Se realizó un estudio para evaluar los indicadores que determinan las características de los machos con mayor potencial reproductivo. Las variables que se consideraron en los machos fueron peso corporal, talla, peso del espermatóforo, número total de espermatozoides y porcentaje de espermatozoides muertos. En la evaluación de la fecundidad se consideró el número total de huevos, número de nauplios y el porcentaje de eclosión. Se utilizaron 200 machos y 200 hembras de 7 a 9 meses de edad, con pesos que variaron entre 28.1 y 57.5 y entre 51.8 y 80.3 g, respectivamente. Se encontró una correlación positiva del peso del espermatóforo con el peso y con la talla corporal (0.86 y 0.63, respectivamente), así como del número total de espermatozoides con el peso del macho y con el peso del espermatóforo (0.52 y 0.61, respectivamente). No se encontró asociación entre el peso del macho, peso del espermatóforo, y número de espermatozoides, con el número de nauplios (P>0.05). Tampoco se encontró asociación entre el peso de la hembra y el número de nauplios (P>0.05). En cambio, el peso de las hembras y el número de huevos sí estuvieron correlacionados (0.33). El porcentaje de esperma muerto observado en ningún caso excedió 20%, y el porcentaje de eclosión fue muy variable (2.6 a 98%), lo que puede asociarse con los múltiples factores relacionados con el proceso de inseminación artificial.

ABSTRACT

Sperm quality in adult males of Pacific white shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* is important for the proper management of the hatcheries' broodstock. This quality is not easy to determine. Knowledge on the relationships between morphometric characteristics of the spermatophore, and its fertility, will help to define the criteria for choosing males with higher reproductive potential. A study was conducted to assess the indicators that determine the characteristics of males with higher reproductive potential. The variables considered were body weight, body length, spermatophore weight, sperm number, and percentage of dead sperm. To evaluate fertility, we considered the total number of eggs, number of nauplii, and hatching rate. We used 200 males and 200 females from 7 to 9 months of age, with body weights ranging between 28.1 and 57.5 g and between 51.8 and 80.3 g, respectively. We found a positive correlation of weight of spermatophore with body weight and body length (0.86 and 0.63, respectively) and of the total number of sperm with the male body weight and the spermatophore weight (0.52 and 0.61, respectively). No association was found between male body weight, spermatophore weight, and sperm count, with the number of nauplii ($P > 0.05$). Neither association was found between female body weight and the number of nauplii ($P > 0.05$). In contrast, the female body weight and the number of eggs were correlated (0.33). The percentage of dead sperm found did not exceed 20% in any case, and the hatching rate was very variable (2.6 to 98%), which may be associated with multiple factors related to the artificial insemination process.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de camarón es una de las industrias con mayor crecimiento en México. De acuerdo a FIRA (2009), esta actividad tuvo una tasa media de crecimiento porcentual anual de 9.8% al pasar de 30,805 toneladas en 2002 a 53,866 toneladas en 2008. Debido a este crecimiento, la demanda en la cantidad y calidad de larvas para su desarrollo y cultivo también ha ido en aumento, teniendo los laboratorios productores de larva que adoptar y adaptar nuevas tecnologías para controlar los procesos reproductivos e intentar producir generaciones de camarones libres de patógenos y con mejores tasas de crecimiento. Lo anterior se ha ido consiguiendo por medio de programas de mejoramiento genético, empleo de inseminación artificial y un mayor control sanitario en el manejo de reproductores.

La tecnología aplicada en la reproducción de camarón se encuentra bajo un constante perfeccionamiento por parte de grupos comerciales y académicos (Treece, 2000). El desarrollo de técnicas para inducir la maduración y reproducción en camarones peneidos, ha sido enfocado principalmente al estudio de las hembras, a pesar de que los problemas reproductivos en los machos también son un factor importante para el éxito reproductivo en cautiverio (Leung-Trujillo y Lawrenz, 1987). En la actualidad el comportamiento reproductivo de los machos de camarones peneidos es considerado como uno de los mayores obstáculos dentro de la industria del camarón (Alfaro-Montoya, 2010). Los avances en investigación del sistema reproductivo de machos del genero *Penaeus* han sido descritos por este autor en una revisión de las condiciones reproductivas concluyendo que el sistema reproductor masculino en peneidos de télico abierto es una unidad fisiológica compleja, tanto por el control hormonal de la diferenciación sexual masculina, como por la producción de esperma y posible liberación de feromonas.

La calidad del esperma es importante en la elección de camarones reproductores en los procesos de producción de larvas. La calidad ha sido evaluada en algunos estudios a partir del peso del espermatóforo, conteo espermático, porcentaje de

esperma vivo, y porcentaje de esperma anormal (Leung Trujillo y Lawrens, 1987; Ceballos-Vázquez, 2003). Sin embargo, es necesario conocer las relaciones que guardan estas variables entre sí y con la fertilidad, para establecer los criterios de elección de machos reproductores.

El objetivo de este trabajo fue evaluar las relaciones morfométricas entre las estructuras macro y microscópicas del espermatóforo del camarón blanco del Pacífico, *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* y la fecundidad en las hembras.

ANTECEDENTES

La mayoría de las investigaciones en biología reproductiva de camarones peneidos se han enfocado principalmente en las hembras y se conoce poco sobre la reproducción de los machos.

Leung Trujillo y Lawrence (1987) describieron una técnica con la cual ofrecen criterios para la evaluación del potencial reproductivo de los machos de *P. setiferus* que incluye el peso del espermatóforo, la calidad espermática, medida como número total de espermatozoides por espermatóforo, porcentaje de espermatozoides vivos normales, y porcentaje de espermatozoides con anormalidades.

La edad y la talla son características relacionadas con el potencial reproductivo que varían con relación a la especie (Browdy, 1992). Tanto en la naturaleza como en estanques artificiales, los machos con mejor potencial para alcanzar la madurez sexual y convertirse en reproductores en *P. vannamei* son los que tienen tallas de 40 g o más en *P. stylirostris* (Bray y Lawrence, 1992). Por otro lado, se reconoce que la talla por sí misma no es un buen indicador de la reproducción, y que ésta se encuentra relacionada con la edad. Los machos alcanzan su madurez sexual entre los 8 y 10 meses de edad (Bray y Lawrence, 1992).

Con base en las condiciones previas a la maduración, Alfaro (1993) sugiere que los machos adultos de *P. stylirostris* criados en cautiverio requieren tener mayores

tallas que las alcanzadas por los silvestres en su primera maduración para estar aptos desde el punto de vista reproductivo. Al evaluar el potencial reproductivo de los machos de *P. stylirostris* provenientes de estanques, este autor observó que la calidad de los espermatóforos fue significativamente superior en camarones de 30 a 40 g de peso comparados con los de 20 a 30 g, tomando en cuenta el número total de espermatozoides vivos normales.

Al evaluar la calidad espermática de machos de 5, 7 y 9 meses de edad de *P. schmitti* en ciclo cerrado, Betancourt *et al.* (1994) observaron que el número total de espermatozoides aumentó desde los 5 hasta los 7 meses, no encontrando diferencias entre los 7 y 9 meses de edad. El mayor número de espermatozoides vivos anormales lo observaron en machos de 5 meses de edad.

Pérez-Velázquez *et al.* (2001) estudiaron el efecto de la temperatura sobre eficiencia reproductiva en machos de *P. vannamei*, basados en el conteo de esperma y el porcentaje de esperma anormal por espermatóforo. Los resultados indicaron que estas variables se pueden mantener en niveles adecuados con una temperatura del agua de 26.8° C, pero no a 29.8 ni a 32.8° C.

Pérez-Velázquez *et al.* (2003) obtuvieron valores mayores en el conteo de células espermáticas (13.7×10^{6}) al utilizar una combinación de alimento seco (75%) con alimento fresco (25%) en *P. vannamei* y por el contrario, indican que el alimento fresco (60% de calamar y 40% de poliquetos) provocó pérdida de peso en los machos y disminuyó el conteo total de espermatozoides cuando se ofreció como único alimento para reproductores.

Ceballos-Vázquez *et al.* (2003) evaluaron el efecto de la edad y peso corporal en la calidad espermática en machos de diferentes edades (6, 8, 10, y 12 meses) en reproductores de *P. vannamei, y* encontraron que el número de espermatozoides y el peso del espermatóforo fue mayor en machos de 12 meses de edad. Por otro lado, utilizando machos de la misma edad pero de diferente peso corporal (unos cultivados en estanques de tierra y otros en estanques naturales), observaron diferencias en la cantidad y calidad de células espermáticas, obteniendo los

valores más altos en aquellos de mayor peso que fueron criados en condiciones naturales, donde la densidad de siembra fue menor y existía la presencia de alimento natural, por lo que concluyen que el número de células espermáticas dependió de las condiciones de cultivo y fue independiente del peso de los animales.

Rendón *et al.* (2007) evaluaron las características reproductivas como peso del espermatóforo, número de espermatozoides y porcentaje de espermatozoides normales en 86 organismos de *P. vannamei.* De éstos, 46 individuos provinieron de estanques de cultivo con un peso de 21.4 ± 0.6 g y, 40 silvestres, con un peso de 36.1 ± 0.7 g. Encontraron que la relación entre el peso del macho y el peso del espermatóforo fue, significativamente, más alta en los camarones cultivados que en los silvestres. El número de espermatozoides no fue, significativamente, diferente en ninguno de los dos grupos y el porcentaje de espermatozoides normales fue, significativamente, más elevado en camarones cultivados. En ambos grupos las diferencias entre los espermatóforos derecho e izquierdo no fueron estadísticamente diferentes. En ambos grupos se encontró una relación lineal positiva entre el número de espermatozoides, peso del espermatóforo, y peso de los organismos. La anormalidad más frecuente tanto en los camarones cultivados como en los silvestres fue la esperma sin espina.

JUSTIFICACIÓN

El conocimiento de los aspectos reproductivos de los machos puede permitir un mejor uso y manejo de camarones reproductores de los laboratorios de producción de larvas. Este conocimiento ayudará a establecer y delimitar los criterios adecuados para la elección de los machos reproductores.

OBJETIVOS

GENERAL:

- Estudiar la relación existente entre características del espermatóforo (número de espermatozoides, peso del espermatóforo, porcentaje de esperma vivo y de esperma muerto) con el peso corporal y talla de los machos, así como su fecundidad en las hembras empleando inseminación artificial.

PARTICULARES:

- Estudiar la relación entre el peso y talla corporal de los machos con las estructuras microscópicas del espermatóforo.
- Determinar la relación entre el peso corporal del macho adulto y la fecundidad en las hembras.
- Definir las asociaciones morfológicas del espermatóforo a nivel macro y microscópico con la fecundidad en las hembras.

HIPÓTESIS

El tamaño y peso de los machos guarda una relación con el peso del espermatóforo, así como con el número y porcentaje de espermatozoides vivos.

El peso del espermatóforo y el número de espermatozoides están asociados directamente con la fecundidad.

MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Producción de Postlarvas de Camarón Maricultura del Pacífico S. A. de C. V., en la localidad de Los Pozos, Sinaloa. Se muestrearon 50 camarones machos por día hasta obtener una muestra total de 200 organismos con edades que variaron entre 180 y 270 días de edad. A cada organismo se le midió la talla (longitud en centímetros desde la punta del rostrum hasta el borde del telson de acuerdo a Farmer (1986), y el peso corporal (g). El espermatóforo se extrajo manualmente aplicando presión en la base del quinto par de periópodos en cada ámpula terminal (Figura 1).

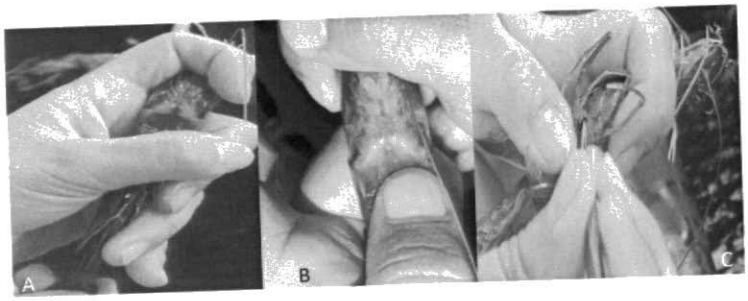

Figura 1. Ubicación de espermatóforo dentro de las ámpulas terminales en la base del quinto par de periopodos (A) y su extracción por presión manual (B yC).

De los dos sacos espermáticos que componen el espermatóforo, uno (elegido al azar) fue utilizado para fecundar a una hembra usando inseminación artificial (se emplearon 200 hembras con gónada madura elegidas al azar) y el otro segmento fue empleado para medir sus características microscópicas.

En los sacos espermáticos obtenidos para las características microscópicas, se eliminó el exceso de agua y se colocó cada uno en un tubo Ependdorf de 1.5 ml. Se les agregó una gota de una solución "extender" en la base del tubo sin que cada saco espermático la tocara, con la finalidad de mantener la humedad dentro de la cámara y para ser pesados posteriormente en una balanza analítica OAHAUS de 0.005 mg de precisión. Al término del pesaje, el saco espermático se colocó en un tubo Ependdorf y se le agregó 1 ml de solución "extender"

(composición por un litro de solución: 21.63 g NaCl, 1.12 g KCl, 0.53 g H_3BO_3, 0.19 g NaOH, 4.93 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, (Leung-Trujillo y Lawrence, 1987) y 25 µl/ml solución de antibiótico de acuerdo a Morales-Ueno (2009). Se homogenizó con una varilla de vidrio y se le colocó una gota de Azul de Tripán. Después de homogeneizar se colocó 0.1ml de muestra en una cámara de Newbauer para realizar el conteo de esperma, según la técnica descrita por Leung-Trujillo y Lawrence (1987). La evaluación espermática fue determinada mediante el conteo de las células de esperma teniendo en cuenta las características morfológicas de las mismas, y por la reacción de biotinción con azul de Tripán al 0.1%. Las células espermáticas muertas fueron detectadas al teñirse con la solución de azul de Tripán. Después de 10-15 minutos de dejar en reposo la cámara de Newbauer, los espermatozoides fueron contados por observación en un microscopio óptico con objetivo 40X. Figura 2.

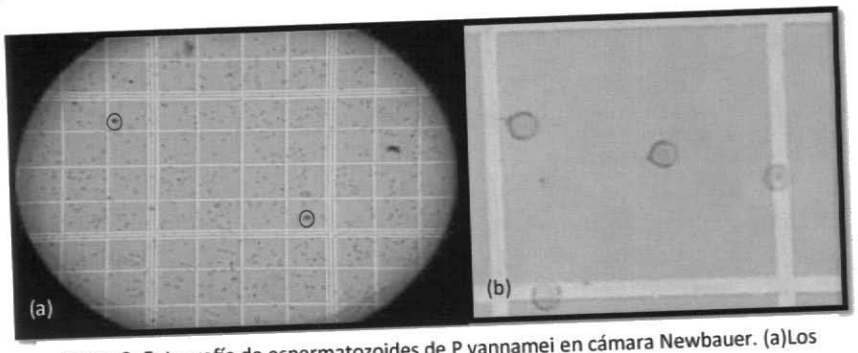

Figura 2. Fotografía de espermatozoides de P vannamei en cámara Newbauer. (a)Los teñidos con azul de Tripán encerrados en círculos son espermatozoides muertos (objetivo 10X). (b) Espermatozoides sin deformidades, Vista en objetivo 40X

Las hembras fueron pesadas y posteriormente se fecundaron por medio de inseminación artificial utilizando el segundo saco espermático que se extrajo a los machos (Arce *et al.*, 2000) (Figura 3). Las hembras se depositaron, de manera individual, en tanques de 300 l tapados, a temperatura de 27°C, 34 ppt de salinidad y con recambio de agua con flujo continuo. Al efectuarse el desove se retiró la hembra del tanque y a las 12 horas del desove se realizó el conteo de huevos y nauplios.

Figura 3. Inseminación artificial en hembras. A) Selección de hembras maduras, B) telico de la hembra de *P. vannamei*, C) colocación del espermatóforo en el télico de la hembra.

Para estudiar la relación entre las variables se empleó un modelo de regresión lineal simple, utilizando el programa estadístico JMP V8 (SAS Institute).

RESULTADOS

Cuadro 1. Estadística descriptiva de las variables analizadas.

Variable	n	Media ± de	Mínimo	Máximo
Peso machos (g)	200	37.4 ± 6.0	28.1	57.5
Talla machos (cm)	197	16.8 ± 0.6	15.2	18.8
Peso del espermatóforo (mg)	200	24.1 ± 12.2	6.0	61.0
Núm. de espermatozoides ($X10^6$)	200	1.05 ± 1.43	0.42	8.75
% de esperma muerto	197	5.5 ± 4.0	0	27.4
Peso hembras(g)	200	66.1 ± 5.3	51.8	80.3
Número de nauplios($X10^4$)	167	4.5 ± 3.5	0.3	14.0
Número de huevos($X10^5$)	162	1.1 ± 0.3	0.11	1.91
% de eclosión	162	41.1 ± 27.9	2.6	98.0

de: desviación estándar

El peso corporal y la talla de los machos, estuvieron relacionadas linealmente con el peso del espermatóforo (P□ 0.0001). La talla mostró una relación lineal positiva con el peso del espermatóforo, pero en menor grado que el peso corporal. En las Figuras 4 y 5 se observa la relación existente entre el peso del macho con el peso del espermatóforo y la talla, con el peso del espermatóforo, respectivamente.

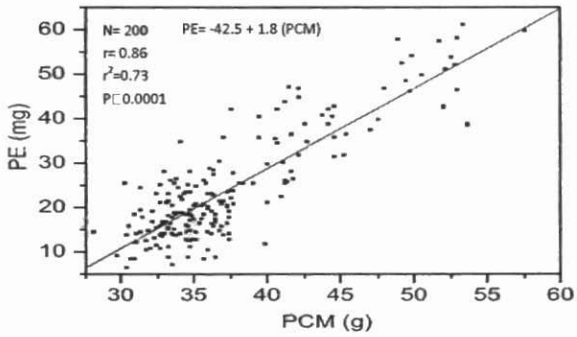

Figura 4. Relación del peso corporal del macho (PCM) con el peso del espermatóforo (PE) en *P. vannamei*.

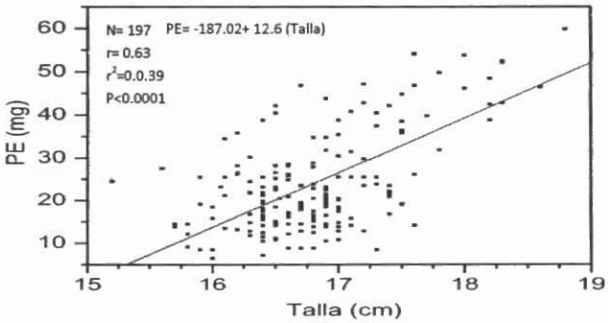

Figura 5. Relación de la talla con el peso del espermatóforo (PE) en *P. vannamei*.

Las tallas y pesos de los machos variaron de 15.2 a 18.8 ± 0.6 cm y de 28.1 a 57.5 ± 6.0 g respectivamente, siendo la talla la que presentó una menor variación. Como se esperaba, la correlación entre el peso y la talla en los machos fue alta y positiva (0.79) (P□ 0.0001)(figura 6).

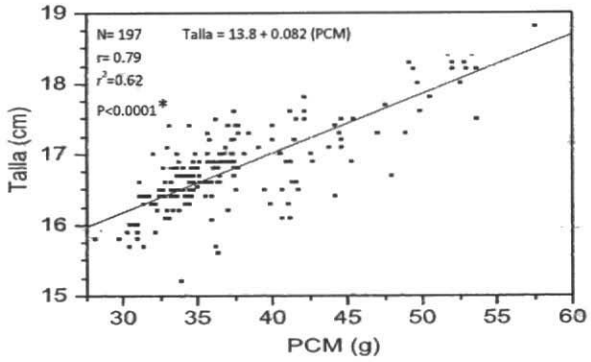

Figura 6. Relación del peso corporal del macho (PCM) con la talla en el *P. vannamei*.

El número de espermatozoides totales varió entre 42,000 y 8,750,000. La correlación del peso corporal con el número de espermatozoides fue positiva (0.52) (P□ 0.0001) (figura 7), al igual que la del peso del espermatóforo con el número total de espermatozoides (0.61) (P<0,0001) (figura 8).

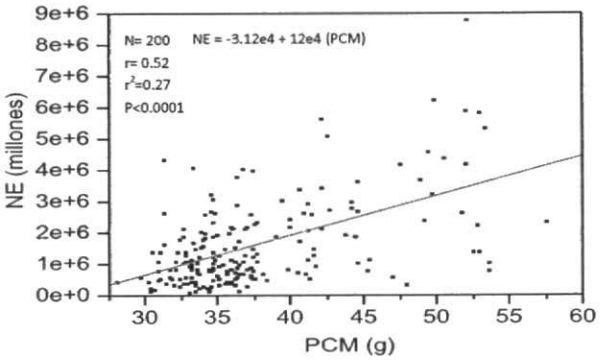

Figura 7. Relación entre el peso corporal de macho (PCM) y el número de espermatozoides (NE) contenidos en el espermatóforo en *P. vannamei*.

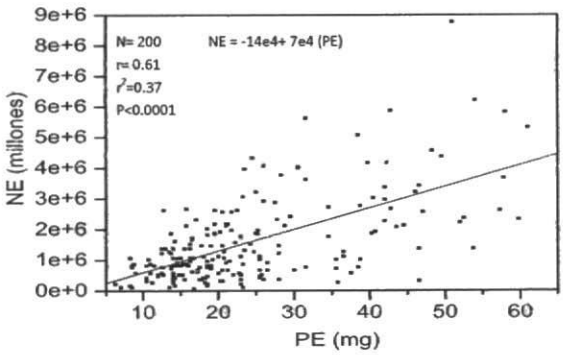

Figura 8 Relación entre el peso del espermatóforo (PE) y el número de espermatozoides (NE) en *P. vannamei.*

El peso corporal del macho, el peso del espermatóforo, y el número de espermatozoides totales no estuvieron relacionados con el número de nauplios (figuras 9,10 y 11).

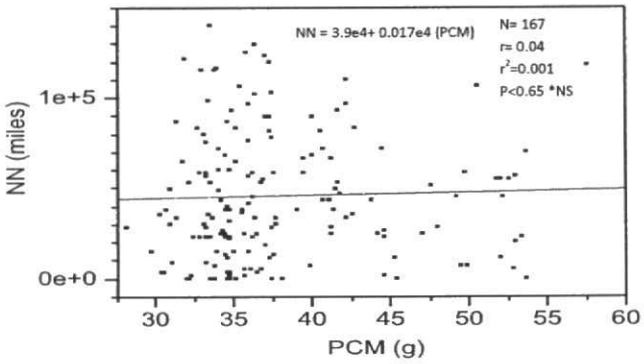

Figura 9 Relación entre el peso corporal del macho (PCM) y el número de nauplios (NN) obtenidos en cada desove en *P. vannamei.* *NS: No significativa.

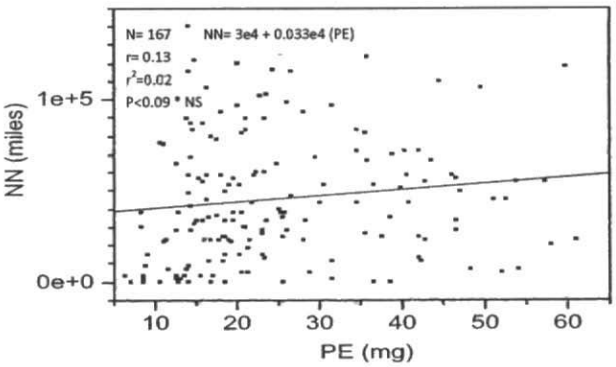

Figura 10 Relación entre el peso del espermatóforo (PE) con el número de nauplios (NN) en *P. vannamei*. * NS: No significativa.

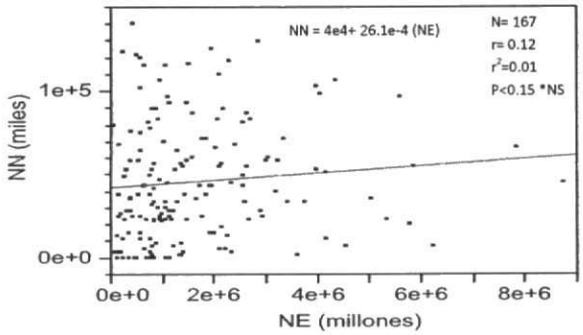

Figura 11. Relación entre el número de espermatozoides (NE) con el número de nauplios (NN) en *P. vannamei*. * NS: No significativa.

La correlación entre el peso de las hembras y el número de huevos fue positiva (0.33) (P□ 0.0001) (figura 12) y no se encontró relación entre el peso corporal de las hembras y el número de nauplios (figura 13).

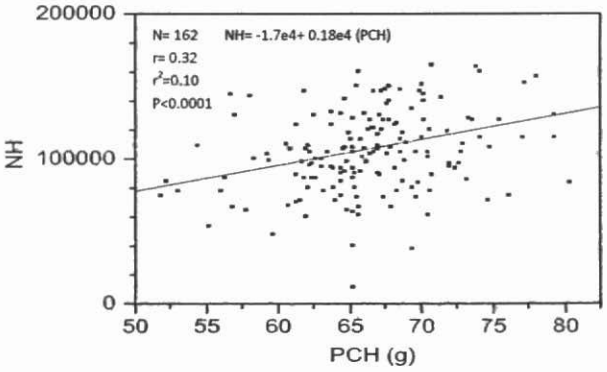

Figura 12. Relación entre el peso corporal de las hembras (PCH) con el número de huevos producidos (NH) *en P. vannamei*.

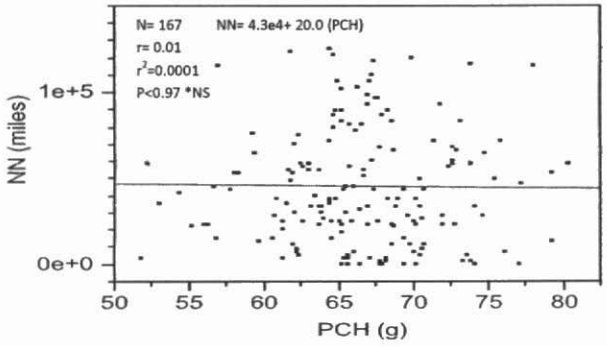

Figura 13. Relación entre el peso corporal de las hembras (PCH) con el número de nauplios (NN) en *P. vannamei*. * NS: No significativa.

En la mayoría de las muestras se encontró una alta proporción de esperma vivo, (más de 90%). La figura 14 muestra el porcentaje de esperma muerto, mismo que estuvo, en general, debajo de 27%. Para el análisis de los datos se excluyeron 3 observaciones consideradas como anómalas con valores que variaron entre 39 y 81% y que estuvieron muy por encima de la media de la mayoría de los datos.

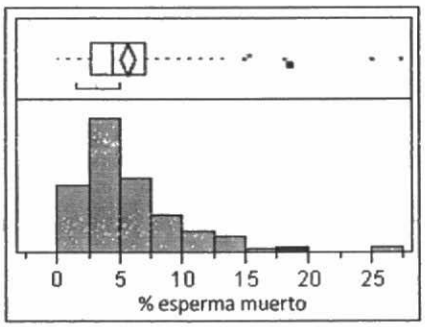

Figura 14. Histograma del porcentaje de células espermáticas muertas encontradas en los espermatóforos de *P. vannamei*.

El porcentaje de eclosión fue muy variable. No desovaron 32 (16%) de las 200 hembras, lo que indicó un error en la detección de su madurez gonadal y por lo tanto se excluyeron del análisis. De las 168 que desovaron, en 11 no hubo fecundación (5 %) y 157 presentaron una eclosión que varió de 2.6 a 98.0 %, con media de 41.4%. La figura 15 muestra el porcentaje de eclosión observado.

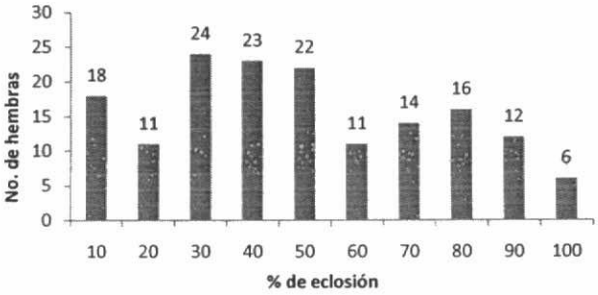

Figura 15. Porcentaje de eclosión de nauplios en hembras inseminadas artificialmente.

DISCUSIÓN

El peso de los camarones varió entre 28.0 y 57.5 g en los machos y entre 51.8 y 80.3 g en las hembras. Los pesos de los reproductores machos y hembras fueron mayores a los reportados por otros autores (Pérez *et al.*, 2001; Ceballos *et al.*, 2003, Lezcano *et al.*, 2004; Rendón *et al.*, 2007) debido probablemente a que son organismos reproductores de una línea de producción comercial que ha sido seleccionada para crecimiento desde 1998.

Por otro lado, varios estudios han evaluado la calidad espermática en *P. vannamei* por medio del conteo de espermatozoides bajo condiciones de laboratorio. Estos conteos han sido muy variables con valores que van de 1.9 a 10.0 $x10^6$ (Alfaro y Lozano, 1993; Bray y Lawrence, 1998; Pérez-Velázquez *et al.*, 2001; Parnes *et al.*, 2004). Los animales utilizados en este estudio fueron reproductores bajo condiciones de cultivo con peso promedio de 37.4 g., de los que se obtuvo una cantidad baja de esperma (1.05 millones). Rendón (2007) observó una media de $3.9x10^6$ millones de espermatozoides en animales cuyo peso corporal promedio fue de 21.4 g en estanques de cultivo. En nuestro estudio los machos son parte de una población seleccionada para crecimiento, y alcanzan tallas más altas a edades menores, pero con cantidades de espermatozoides más bajas, lo que parece indicar que su sistema reproductor no está completamente maduro. Bray y Lawrence (1998) determinaron que la madurez en camarones peneidos ocurre entre los 8 y 10 meses de edad. Parnes (2004) menciona que a los 5.5 meses de edad los camarones pueden presentar su sistema reproductor bien desarrollado con ámpulas terminales y espermatóforo completos, pero con un número pequeño de células espermáticas. Ceballos (2003) respalda esta afirmación encontrando diferencia significativa en el número total de espermatozoides a diferentes pesos en edades diferentes, con un mayor número de espermatozoides (4.57 millones) a los 12 meses de edad en camarones que promediaron 38 g de peso vivo y una menor cantidad de espermatozoides (1.96 millones) en camarones de 6 meses de edad cuyo peso promedio fue de 24 g.

Los resultados muestran que los camarones de mayor peso producen espermatóforos más grandes y con un mayor número de espermatozoides. Esta asociación también fue reportada por Ceballos-Vásquez *et al.* (2003) y por Rendón *et al.* (2007). Independientemente de la edad de los machos, el peso corporal presentó una relación lineal positiva con el peso del espermatóforo y el número de espermatozoides. No se encontró asociación entre las características del macho y la fecundidad, es decir, entre el peso del macho y el número de nauplios, entre el peso del espermatóforo y el número de nauplios, ni entre el número de espermatozoides y el número de nauplios ($P>0.05$) lo cual puede deberse al diseño experimental utilizado con la evaluación del desempeño reproductivo del macho utilizando una sola hembra por macho. La asociación observada entre el peso de las hembras y el número de huevos fue, más bien, moderada (0.33), y no se encontró relación entre el peso de la hembra y el número de nauplios. Estos hallazgos coinciden con lo observado por Caballero-Zamora (2009) quien en condiciones de cultivo encontró en *P. vannamei* una correlación lineal entre el peso de las hembras y el número de huevos que varió entre 0.24 y 0.34. Igualmente no encontró asociación significativa entre el peso de las hembras y el número de nauplios producidos. Por otro lado, 16% de las 200 hembras utilizadas no desovó, lo que se atribuyó a una mala elección de hembras que en apariencia presentaban características de gónadas maduras y que en realidad no habían completado la correcta maduración. Del 84% que sí desovó en el 5% no hubo fecundación y el restante del 79% de hembras que si fueron fecundadas, el porcentaje de eclosión fue muy variable (2.6 al 98%) con media del 41%. Este porcentaje de eclosión coincide con lo observado por Caballero-Zamora (2009) quien lo estimó como 42.3% en hembras reproductoras bajo condiciones de cultivo e inseminadas artificialmente.

En un proceso natural de fecundación, en el que el macho coloca los dos sacos espermáticos que componen el espermatóforo en el télico de la hembra, se puede llegar a obtener porcentajes de eclosión altos (≥80%). En nuestro caso se realizó inseminación artificial, lo que suele ocasionar una disminución en la tasa de

fecundación, por la utilización de uno de los dos sacos que componen el espermatóforo, .

El porcentaje de esperma muerto fue inferior a 20%, lo que muestra una alta sobrevivencia de los espermatozoides, aun cuando la cantidad total de espermatozoides encontrada en cada segmento del espermatóforo fue baja. Otros estudios también han encontrado porcentajes bajos de esperma muerto (Leung-Trujillo, 1987; Cevallos *et al.*, 2003), con altos porcentajes de esperma anormal. Este porcentaje bajo puede deberse a una estrategia adaptativa, ya que en camarones silvestres el porcentaje de esperma muerto es más alto, pero también el número de esperma es mucho mayor que el encontrado en camarones cultivados.

CONCLUSIONES

- Se encontró que hay una relación lineal positiva más alta entre el peso de los machos y el peso del espermatóforo que entre la talla de los machos y el peso del espermatóforo.
- Se observó que a mayor peso corporal existe un mayor peso del espermatóforo y un mayor número de espermatozoides
- El porcentaje de esperma muerto no fue nunca superior a 20%.
- No hubo asociación entre el peso del espermatóforo y el número de nauplios ($P>0.05$).
- No hubo asociación entre el número de espermatozoides y el numero de nauplios ($P>0.05$)
- El tamaño de los machos y el del espermatóforo no parece influir en la producción de nauplios (fecundidad).
- El número de huevos se asoció positivamente con el peso de las hembras ($P<0.05$).
- El porcentaje de eclosión fue muy variable y no estuvo asociado con el peso de las hembras.

BIBLIOGRAFÍA

Alfaro, J., Lozano, X., 1993. Development and deterioration of spermatophores in pond-reared *Penaeus vannamei*. J. World Aquacult. Soc. 24: 522-529.

Alfaro Montoya J., 2010. The reproductive conditions of male shrimps, genus Penaeus, sub-genus Litopenaeus (open thelyca penaeoid shrimps): A review. Aquaculture 300 1-9.

Arce Steve M, Moss Shaun M. and Argue Brad J. 2000. Artificial insemination and spawning of pacific white shrimp litopenaeus vannamei: implications for a selective breeding program. UJNR Technical Report No. 28 pp 5-8.

Arcos, G., F., Ibarra, A.M., Palacios, E., Vázquez-Boucard, C., Racotta, I.S., 2003. Feasible predictive criteria for reproductive performance of white shrimp Litopenaeus vannamei: eggs quality and female physiological condition. Aquaculture 228: 335-349.

Betancourt, A., Ramos, L., Tamayo, A., Carballo, N., Bécquer, U., Torres, M., 1994. Calidad de la esperma de Penaeus schmitti en condiciones de cautiverio. Rev. Invest. Mar. 15: 251-255.

Bray, W.A. Lawrence, A.L., 1992. Reproduction of Penaeus species in captivity. 93-173 En: Fast A. W. y Lester L. J. (Eds). Marine shrimp culture: Principles and practices. Elsevier Science Publishers. Saint Louis.

Bray W.A., Lawrence A.L. 1998. Male viability determinations in Penaeus vannamei: evaluation of short-term storage of spermatophores up to 36 h and comparison of Ca-free saline and seawater as sperm homogenate media. Aquaculture 160: 63–67.

Browdy, C. L., 1992. A review of the reproductive biology of Penaeus species: Perspectives on controlled shrimp maturation systems for high quality nauplii production pp: 22-51. En: J.A. Wyban, editor. Proceeding of the Special Session on Shrimp Farming. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.

Caballero- Zamora A. 2009. Asociaciones fenotípicas entre el peso corporal de la hembra y características reproductivas en camarón blanco del pacífico Penaeus (Litopenaeus) vannamei. Tesis UNAM. 22 pp.

ARCHIVO HISTORICO

Ceballos-Vázquez, B. P., Aparicio-Simón, B., Palacios, E., Racotta, I.S., 2003. Sperm quality over consecutive spermatophore regenerations in the pacific white shrimp Litopenaeus vannamei. J. World. Aquacult. Soc. 35: 178-188.

Ceballos-Vázquez, B. P., 2003. Evaluación del potencial reproductivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamrei* en condiciones de domesticación. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Farmer, A.S.D. 1986. Morphometric relationships of commercially important species of penaeid shrimp from the Arabian Gulf. Kuwait Bull. Marine Sci., 7: 121.

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2009. Boletín Informativo, Situación Actual y perspectivas del camarón en México. Nueva época No. 3.

Heitzmann, J. C., Diter, A., Aquacop .1993. Spermatophore formation in the white shrimp, Penaeus vannamei Boone 1931: dependence on the intermoult cycle. Aquaculture 116: 91-98.

King, J.E., 1948. A study of the reproductive organs of the common marine shrimp, Penaeus setiferus (Linnaeus). Biol. Bull. 94: 244-262.

Leung-Trujillo, J.R., Lawrence, A.L., 1987. Observations on the decline in sperm quality of *Penaeus setiferus* under laboratory conditions. Aquaculture 65: 363-370.

Lezcano Magda., Granja Clarissa and Salazar Marcela., 2004. The use of flow cytometry in the evaluation of cell viability of cryopreserved sperm of the marine shrimp (Litopenaeus vannamei). Cryobiology 48: 349–356.

Martínez Córdova. R., 1993. Camaronicultura, bases técnicas y científicas para el cultivo de camarones peneidos. AGT EDITOR, S.A. México D.F. 1ª. ed XI –24.

Mendoza, R., 1997. Nauplii production from wild, cultivated, and mixed populations of blue shrimp, *Penaeus stylirostris* . J. Appl. Aquac. 7: 41-50.

Morales Ueno Karina. 2009. Evaluación de un extensor para el esperma del camarón blanco del pacífico *Penaeus* (*Litopenaeus*) *vannamei* para su almacenamiento a

corto plazo. Tesis Maestría (Maestría en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal)-UNAM, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Palacios, E., Racotta, I.S., APSA.1999c. Spawning frequency analysis of wild and pond-reared pacific white shrimp Penaeus vannamei broodstock under large-scale hatchery conditions. J. World Aquacult. Soc. 30: 180-191.

Páez O. F. 2001 "Camaronicultura y Medio Ambiente" Editores: Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Programa universitario de alimentos, El Colegio de Sinaloa. Mazatlán Sinaloa, México. 452 pp.

Parnes S., Mills E., Segall C., Raviv S., Davis C., Sagi A., 2004. Reproductive readiness of the shrimp Litopenaeus vannamei grown in a brackish water system. Aquaculture 236: 593–606.

Pérez-Farfante, I., 1975. Spermatophores and thelyca of the American white shrimps, genus Penaeus, subgenus Litopenaeus. Fishery Bulletin, United States 73: 463-486.

Pérez-Farfante, I., Kensley, B., 1997. Penaeoid and Sergestoid shrimps and prawns of the world, keys and diagnoses for the species and genera. Mémoires Muséum National d'Histoire Naturalle, Zoologie, Tome 175: 235 pp.

Pérez-Jar, L., 2005. Fisiología y calidad reproductiva de machos de camarón blanco Litopenaeus schmitti en condiciones e cautiverio. Trabajo de Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste S.C., 132pp.

Pérez-Velázquez, M., Bray, W. A., Lawrence, A. L., Gatlin III, D.M., González-Félix, M. L., 2001. Effect of temperature on sperm quality of captive Litopenaeus vannamei broodstock. Aquaculture 198: 209-218.

Pérez-Velázquez, M., González-Félix, M. L., Lawrence, A. L., Bray, W. A., Gatlin III, D.M., 2003. Dietary effects on sperm quality of Litopenaeus vannamei broodstock. J. World Aquacult. Soc., 34: 92-98.

Rendón Rodríguez S., Macías Regalado E., Calderón Pérez J.A., Núñez Pastén A., Solís Ibarra R. 2007. Comparison of some reproductive characteristics of farmed and

wild white shrimp males Litopenaeus vannamei (Decapoda: Penaeidae). Rev. Biol. Trop. Vol. 55 (1): 199-206.

Treece Granvil D. 2000. Shrimp maturation and spawning. UJNR Technical Report No. 28. 121-134.