



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

---

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA  
SALUD ANIMAL

HEREDABILIDADES Y CORRELACIONES GENÉTICAS  
PARA CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS Y DE CRECIMIENTO  
EN CAMARÓN BLANCO DEL PACÍFICO *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRA EN CIENCIAS

P R E S E N T A

ALEJANDRA CABALLERO ZAMORA

TUTOR:  
HÉCTOR CASTILLO JUÁREZ

COMITÉ TUTORAL:  
HUGO HORACIO MONTALDO VALDENEGRO  
EUGENIA GUADALUPE CIENFUEGOS RIVAS

MÉXICO D.F.

2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## DEDICATORIAS

A mi Señor Jesucristo, porque todo es por Él y para Él.

A Gabriel, por enseñarme a leer entre líneas. Te amo.

A mi Denisse, por ser el mejor ejemplo de vigor híbrido.

A mis padres Consuelo Zamora y Juan J. Caballero, por los genes y por el ambiente.

A mis hermanos Gaby y Juan y a mis cuñados Norma y Oliver, por el continuo aprendizaje dentro del tanque de crecimiento

A mi abuela Raquel (†) por mi orgulloso 25%.

A mi sobrino Eduardo, por enseñarnos una gran lección de vida...YO PUEDO.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y a CONACYT por abrir sus puertas para enseñarnos y ayudarnos a crecer.

Al Dr. Héctor Castillo Juárez por confiar en mí y enseñarme a ver más allá de lo evidente.

Al Dr. Hugo Montaldo por enseñarme una manera muy particular de pensar y enfocar el conocimiento.

Cesáreo Cabrera, Juan Carlos Quintana, Alfonso Martínez y a todo el personal del Núcleo Genético de Maricultura del Pacífico, GRACIAS.

A Gabo, por vivir juntos pero trabajar por separado.

A la doctora Hilda Castro, por ser la culpable de enseñarme este camino.

Al doctor Pedro Ochoa, por tener la puerta de su cubículo siempre abierta para mí.

A la Estudiantina Veterinaria, por siempre estar.

## RESUMEN

CABALLERO ZAMORA ALEJANDRA. Heredabilidades y correlaciones genéticas para características reproductivas y de crecimiento en Camarón Blanco del Pacífico *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. (Bajo la dirección de HUGO HORACIO MONTALDO VALDENEGRO, HÉCTOR CASTILLO JUÁREZ Y EUGENIA GUADALUPE CIENFUEGOS RIVAS).

Se estimaron parámetros genéticos de características reproductivas así como las asociaciones genéticas entre éstas y el peso a los 130 días de edad en el camarón blanco del Pacífico, *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. Se emplearon 1,418 registros reproductivos de hembras provenientes de 221 familias de los ciclos de producción 2007 a 2010 de un laboratorio mexicano productor de larva. Los registros proveyeron información sobre el número de huevos (NH), número de nauplios (NN), porcentaje de eclosión (E), y 1,413 registros del peso de la hembra a la inseminación (PH). Además se utilizaron 55,507 registros del peso a los 130 días de edad (P130) de camarones provenientes de 600 familias. La heredabilidad ( $h^2$ ) de PH se estimó como  $0.44 \pm 0.08$  y el efecto común de familia como  $0.06 \pm 0.03$ , mientras que la  $h^2$  de NH se estimó como  $0.13 \pm 0.04$ . Los estimados de  $h^2$  NN y E no fueron diferentes de cero, pero el efecto del macho inseminador se estimó, para éstas características, como 0.30 y 0.47, respectivamente. La  $h^2$  de P130 se estimó como  $0.19 \pm 0.03$  y el efecto común de familia como  $0.09 \pm 0.01$ . La correlación fenotípica entre PH y NH se estimó como  $0.27 \pm 0.03$  y su

correlación genética como  $0.49 \pm 0.15$ . Las correlaciones genéticas y fenotípicas entre PH y NN resultaron positivas pero cercanas a cero. La correlación fenotípica entre NH y NN se estimó como  $0.29 \pm 0.03$  y la genética como  $0.27 \pm 0.41$ . Las correlaciones genéticas estimadas entre PH, NH y NN, con P130 no resultaron significativas. Existe variación genética aditiva en características reproductivas de *P. vannamei*, en particular para PH y NH. Para NN y E, la inclusión del efecto del macho inseminador resulta significativa, y su exclusión puede producir la sobreestimación de su heredabilidad. No hay evidencia que sugiera un impacto adverso en la reproducción producto de la selección genética para P130.

**Palabras clave:** *Penaeus vannamei*, parámetros genéticos, características reproductivas, crecimiento.

## ABSTRACT

ALEJANDRA CABALLERO ZAMORA. Heritabilities and genetic correlations for reproductive traits and growth in the Pacific white shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. (Directed by HÉCTOR CASTILLO JUÁREZ, HUGO HORACIO MONTALDO VALDENEGRO AND EUGENIA GUADALUPE CIENFUEGOS RIVAS).

Genetic parameters for reproductive traits and genetic associations between them and body weight at 130 days of age (P130) in the Pacific white shrimp, *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* were estimated. Data included 1,418 shrimp reproductive records from 221 full- and half-sib families, and 55,507 P130 records from 600 families from a Mexican shrimp hatchery genetic nucleus corresponding to the 2007-2010 breeding program production cycles. Reproductive records included number of eggs (NH), number of nauplii (NN), hatching rate (E), and 1,413 female body weight at insemination records (PH). Heritability ( $h^2$ ) for PH was estimated as  $0.44 \pm 0.08$  and the full-sibs' family effect as  $0.06 \pm 0.03$ , while  $h^2$  for NH was estimated as  $0.13 \pm 0.04$  while  $h^2$  for NN and E were not different from zero, but the inseminating male effect for these two traits was estimated as 0.30, and 0.47, respectively. The  $h^2$  of P130 was estimated as  $0.19 \pm 0.03$  and the full-sibs' family effect as  $0.09 \pm 0.01$ . The phenotypic correlation between PH and NH was estimated as  $0.27 \pm 0.03$  and the genetic correlation as  $0.49 \pm 0.15$ . Genetic and phenotypic correlations between PH and NN were positive but not different from

zero. The phenotypic correlation between NH and NN was estimated as  $0.29 \pm 0.03$  and the genetic correlation as  $0.27 \pm 0.41$ . The estimated genetic correlations between PH, NH and NN, with P130 were not significant. Reproductive traits in *P. vannamei* show additive genetic variation, particularly in the case of PH and NH. For NN and E, the inclusion of inseminating male effect was significant, and its exclusion may result in heritability overestimation. There is no evidence suggesting an adverse effect on reproductive traits as a consequence of breeding for heavier P130.

Keywords: *Penaeus vannamei*, genetic parameters, reproductive characteristics, growth.

## CONTENIDO

1.	Introducción	1
1.1	Estadísticas mundiales de producción acuícola	1
1.2	La camaronicultura en México	2
1.3	Programas Comerciales de Mejoramiento Genético en Peneidos	3
1.4	Justificación	4
1.5	Hipótesis	5
1.6	Objetivo	5
2.	Revisión de Literatura	6
2.1	Parámetros genéticos de características reproductivas en acuicultura	6
2.2	Parámetros genéticos de características reproductivas y de crecimiento en Peneidos	6
3.	Material y Métodos	9
3.1	Datos	9
3.1.1	Origen	9
3.1.2	Edición de datos	10
3.1.3	Estructura poblacional	10
3.1.4	Manejo e identificación de reproductores	13
3.1.5	Manejo y producción de familias	14
3.1.6	Obtención de características reproductivas	15

3.1.7	Obtención del peso a los 130 días de edad	15
3.1.7.1	Manejo hasta los 130 días de edad	15
3.1.7.2	Peso corporal a los 130 días de edad	17
3.2	Análisis estadísticos	17
3.2.1	Efectos fijos y aleatorios incluidos en los modelos	17
3.2.1.1	Efectos fijos	17
3.2.1.2	Efectos aleatorios	19
3.2.2	Estimación de componentes de varianza y covarianza	21
3.2.2.1	Estimación de componentes de varianza para características reproductivas	21
3.2.2.2	Estimación de componentes de (co)varianza para las características reproductivas y el peso a los 130 días de edad	22
3.2.3	Estimación de parámetros	22
4.	Resultados	24
4.1	Análisis preliminares	24

4.2 Estadística descriptiva	24
4.3 Componentes de varianza y covarianza estimados	25
5. Discusión	28
5.1 Heredabilidades estimadas	28
5.2 Correlaciones genéticas y fenotípicas estimadas para las características reproductivas	30
5.3 Correlaciones genéticas entre características reproductivas y el peso a los 130 días de edad	31
6. Conclusiones	32
7. Referencias	33

## LISTA DE CUADROS

**Cuadro 1.1** Programas Comerciales de Mejoramiento Genético en Peneidos.

**Cuadro 4.1.1** Criterios de información de Akaike para cada modelo probado y el logaritmo de verosimilitud para las características reproductivas.

**Cuadro 4.2.1** Estadística descriptiva de las características reproductivas para los años de 2008 a 2010 y para el peso a los 130 días de edad de 2007 a 2010.

**Cuadro 4.3.1** Componentes de varianza, heredabilidad ( $h^2$ ), efectos comunes de familia ( $f^2$ ) y efectos del macho inseminador ( $s^2$ ) para el peso de la hembra, número de huevos, número de nauplios y porcentaje de eclosión en los años de 2008 a 2010 estimados a partir de los modelos animales univariados.

**Cuadro 4.3.2** Heredabilidades (diagonal), correlaciones genéticas (arriba de la diagonal) y correlaciones fenotípicas (debajo de la diagonal) para las características estudiadas en *P. vannamei* estimadas con un modelo animal multivariado.

**Cuadro 4.3.3** Efecto del macho inseminador ( $s^2$ ) y efecto común de familia ( $f^2$ ) para las características estudiadas en *P. vannamei*, estimados a partir del modelo animal multivariado

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Principales fases del Programa de mejoramiento genético de la empresa

Maricultura del Pacífico.

**Figura 2.** Estructura de la Población

## 1. Introducción

### 1.1 Estadísticas mundiales de producción acuícola

La acuicultura se ha convertido a nivel mundial en una actividad capaz de abastecer la creciente demanda de productos pesqueros arrojando beneficios sociales y económicos importantes como la creación de empleos, contribuyendo al desarrollo regional y la generación de divisas (INEGI, 2005; FAO, 2007; FAO, 2006-2010).

La tasa media de crecimiento anual mundial de la producción de camarón cultivado de 1970 a 2006 fue 18% (Benzie, 2009), tasa superior a las registradas para la producción de carne de bovinos, aves y cerdos, que fueron inferiores a 3% en el periodo de 1980 a 2007 (Mártir-Mendoza, 2006; FAO, 2009).

En 2006, el camarón cultivado constituyó 70% del camarón total vendido en los mercados mundiales, y el volumen total producido de crustáceos en la acuicultura mundial fue 9% con un valor de 17.95 miles de millones de dólares (equivalente a 23% del total de la producción acuícola) lo cual indica que el camarón tiene uno de los valores más altos por unidad de peso entre los productos básicos de la acuicultura, estimando su valor por unidad de peso en aproximadamente 3.9 veces el de los peces y 4.7 veces el de los moluscos (Benzie, 2009).

## 1.2 La camaronicultura en México.

La producción acuícola en el país ha tenido un crecimiento continuo desde la década iniciada en 1980, teniendo a partir de 1999 el mayor impacto en la camaronicultura (Mártir-Mendoza, 2006). En 2006, el valor de producción del camarón proveniente de la acuicultura fue alrededor de 19% superior al valor de producción del camarón de captura (CONAPESCA, 2007).

La camarinocultura ha evolucionado; en la década de los ochenta la producción de camarón cultivado se basó en el uso de postlarvas silvestres o producidas en los laboratorios a partir de reproductores maduros capturados en su medio natural y mantenidos bajo condiciones controladas, pero la creciente demanda de camarón, las fluctuaciones en la captura de animales silvestres y los problemas sanitarios propiciaron que la disponibilidad de postlarvas no fuera la requerida, surgiendo la necesidad en muchos países, incluyendo México, de establecer técnicas para el cierre del ciclo de vida en cautiverio, lo cual no sólo se tradujo en mayor producción de postlarvas, sino en la posibilidad de realizar programas de mejoramiento genético de los camarones (Browdy, 1998).

Entre las especies con mayor facilidad de manejo y más utilizadas en la camarinocultura destaca el camarón blanco del Pacífico (*Penaeus (Litopenaeus) vannamei*) ya que se adapta al cultivo, tolera altas densidades de siembra, tiene una alta tasa de crecimiento y supervivencia en comparación con las otras dos especies más importantes: *P. monodon* y *P. stylirostris*, además de buen mercado internacional (Arredondo-Figueroa, 2002).

### 1.3 Programas comerciales de Mejoramiento Genético en Peneidos

Los programas comerciales de mejoramiento genético en Peneidos a nivel mundial han utilizado como principales criterios de selección características de crecimiento, supervivencia y resistencia a enfermedades (Benzie, 2009) como se observa en el Cuadro 1.1.

**Cuadro 1.1** Programas Comerciales de Mejoramiento Genético en Peneidos

Grupo	Lugar	Criterios de selección	Método de selección
Oceanic Institute	Hawaii	Crecimiento y supervivencia, desafíos a enfermedades	Familiar/Intrafamiliar
Kona Bay Marine Resources	Hawaii	Crecimiento y supervivencia, desafíos a enfermedades.	
CP Prima Indonesia	Florida	Crecimiento y supervivencia, desafíos a enfermedades	Familiar/Intrafamiliar, basado en 8 líneas de 40 familias de HC y cruza
CENIACUA	Colombia	Crecimiento y supervivencia, desafíos a enfermedades	Familiar/intrafamiliar con IA para producir familias de medios hermanos
Genearch Acuicultura	Brasil		Familiar/Intrafamiliar
Onelab	Ecuador, Guatemala, México	Crecimiento y supervivencia	Selección masal seguida de recuperación de la identidad de la familia mediante 10 microsatélites.
Maricultura del Pacífico	México	Crecimiento y supervivencia	Familiar/Intrafamiliar

Comunicación personal. Montaldo (2009)

#### 1.4 Justificación

Las características reproductivas no han sido estudiadas con amplitud en el mejoramiento genético acuícola, y son pocos los artículos publicados que proporcionan estimaciones de sus parámetros genéticos para Peneidos (Macbeth et al., 2007). Para obtener progresos importantes en los programas de mejoramiento genético y evitar el posible deterioro reproductivo que estos programas pudieran ocasionar, es necesario estimar los parámetros genéticos de las características reproductivas, así como conocer la magnitud y dirección de las posibles asociaciones genéticas entre éstas y las características de crecimiento; esto permitiría estimar la respuesta correlacionada a la selección en las características reproductivas cuando se selecciona para crecimiento (Gjedrem, 2005). Por lo tanto, se puede estimar su contribución y beneficio económico para la producción de larvas mejoradas, evitando el deterioro biológico de la población a largo plazo. No se encontraron estudios en *P. vannamei* que relacionen las características de crecimiento con las características reproductivas de la hembra como el número de huevos, número de nauplios y porcentaje de eclosión. De hecho, el único estudio en Peneidos fue elaborado por de Macbeth et al. (2007) quienes estimaron dichas asociaciones en *Penaeus monodon*.

## **1.5 Hipótesis**

Existe variación genética aditiva en las características relacionadas con la reproducción de las hembras de *P. vannamei*.

Existen asociaciones genéticas aditivas entre las características reproductivas de las hembras y de éstas con el peso a los 130 días de edad en *P. vannamei*.

## **1.6 Objetivo**

Estimar parámetros genéticos para características reproductivas y para el peso a los 130 días de edad en el camarón blanco del Pacífico, *P. vannamei*.

## 2. Revisión de Literatura

### 2.1 Parámetros genéticos de características reproductivas en acuicultura

Respecto a la estimación de parámetros genéticos para características reproductivas estimadas en peces destacan la heredabilidad estimada para características como el tamaño, número y volumen de los huevos, con un rango que varía entre 0.19 y 0.76 (Gall, 1975; Gall y Gross, 1978; Gall y Huang, 1988; Su, 1997).

Se han estimado las correlaciones genéticas entre el peso corporal de la hembra y el número de huevos como altas y positivas, con valores de 0.69 para el salmón Coho (Gall y Neira 2004) y de 0.33 y 0.47 para la trucha Arcoíris (Gall, 1975; Gall y Neira 2004; Su et al. 1997).

En especies de camarón como *Sergia lucens* y *Macrobrachium macrobrachion* se ha encontrado que existe una correlación fenotípica alta y significativa entre el número de huevos y el peso corporal de la hembra con valores que varían desde 0.37 hasta 0.71 (Mohammad et al., 2009; Deekaei y Abowei, 2010).

### 2.2 Parámetros genéticos de características reproductivas y de crecimiento en Peneidos

La elección de reproductores de cultivo, la maduración de hembras, fecundidad de los desoves, fertilización de los huevos y producción de nauplios de algunos

Peneidos de importancia comercial, ha sido objeto de estudio de varios autores (Martínez, 2002; Arcos, 2004; Ibarra, 2007).

El número de desoves y el promedio de nauplios por desove, son indicadores reproductivos fundamentales que se tienen que tomar en cuenta para evaluar la eficiencia de los lotes de reproductores en cautiverio ya que están directamente relacionados con la calidad reproductiva de los camarones (Arcos, 2004).

En el caso de *P. vannamei* existe poca información acerca de los parámetros genéticos de las características reproductivas tales como número de huevos, número de nauplios, porcentaje de eclosión, peso de la hembra reproductora (Arcos et al., 2004, 2005; Ibarra et al., 2007) y acerca de sus asociaciones genéticas con el crecimiento a edad comercial. Arcos et al. (2004) estimaron en *P. vannamei* la heredabilidad para número de huevos como  $0.09 \pm 0.23$ , y al corregir por el diámetro del huevo, la estimación cambió a  $0.17 \pm 0.24$ ; también estimaron la heredabilidad para el peso de la hembra a la ablación ocular como  $0.47 \pm 0.25$  y la correlación genética entre el peso corporal de la hembra y el número de huevos como  $-0.13$ ; hay que destacar que ninguno de estos estimados fue estadísticamente significativamente diferente de cero.

Macbeth et al. (2007) obtuvieron parámetros genéticos en *Penaeus monodon*, estimando la heredabilidad para número de huevos ( $0.41 \pm 0.18$ ), número de nauplios ( $0.27 \pm 0.16$ ), porcentaje de eclosión ( $0.18 \pm 0.16$ ) y las correlaciones genéticas entre número de huevos y número de nauplios ( $-0.12 \pm 0.61$ ), número

de huevos y porcentaje de eclosión ( $-0.75 \pm 0.42$ ) y entre número de nauplios y porcentaje de eclosión ( $0.76 \pm 0.23$ ).

Respecto a los parámetros genéticos para características de crecimiento en *L. vannamei* destacan los estudios de Gitterle et al. (2005), Castillo-Juárez et al. (2007) quienes estimaron la heredabilidad del peso a los 130 días post-eclosión entre 0 y 0.35 y el de Campos (2009) quien la estima variando entre 0.11 y 0.24 para la misma población de este estudio.

### 3. Material y Métodos

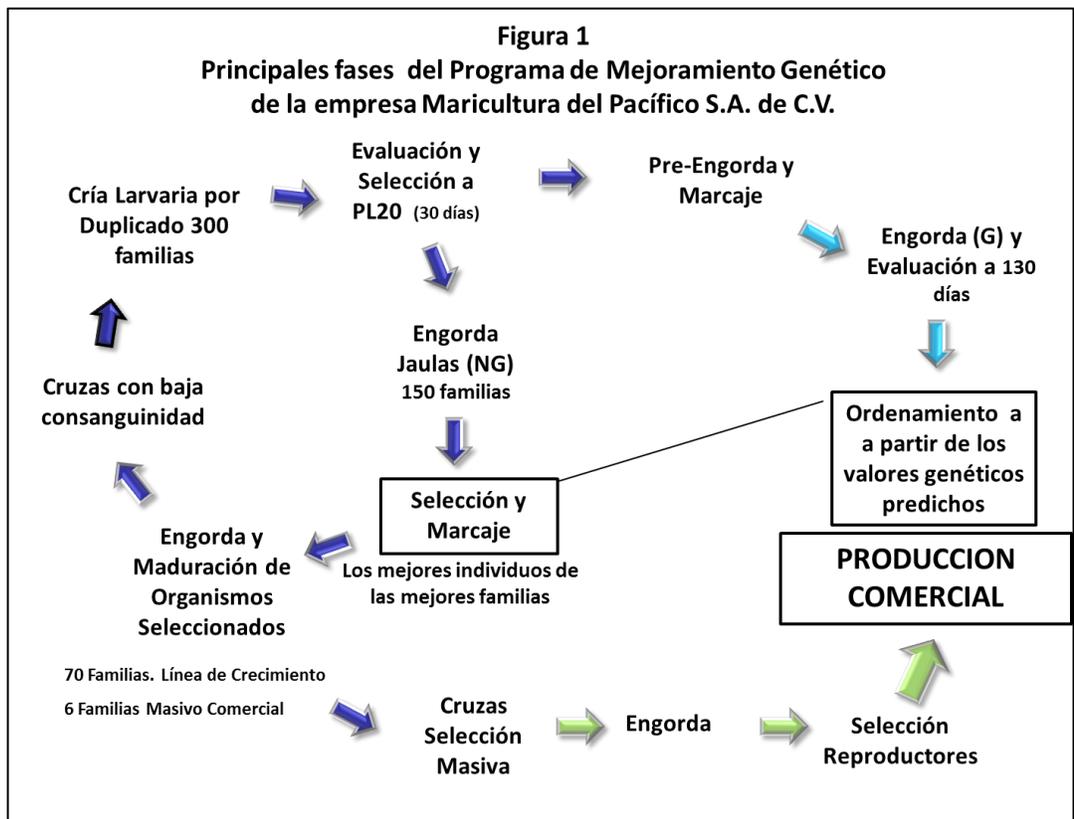
#### 3.1 Datos

##### 3.1.1 Origen

Los datos fueron obtenidos del laboratorio de producción de larva de camarón blanco del Pacífico, *P. vannamei*, de la empresa Maricultura del Pacífico SA de CV, ubicada en el municipio de Rosarito, Sinaloa, 64 Km al sur de Mazatlán.

La empresa cuenta con dos líneas genéticas: la primera destinada a un programa de selección en etapas para características de crecimiento y supervivencia, que en su primera etapa selecciona 150 familias de 300 generadas a partir del valor genético predicho para el peso a los 28 días de edad, y en la segunda etapa selecciona 75 familias a partir de un índice de selección que considera los valores genéticos predichos para el peso a los 130 días de edad y la supervivencia de los 65 a los 130 días, y la segunda línea está destinada a la conservación de la variabilidad genética. Se realizan apareamientos de baja consanguinidad donde ésta se ha restringido a valores máximos variando entre 3 y 6% en los últimos 5 años, con una estructura familiar de un macho por cada hembra y baja intensidad de selección entre familias (i.e., de aproximadamente el 50% superior) y alta intensidad de selección intrafamiliar (i.e., de entre 10 y 20% superior).

Las principales fases del programa de mejoramiento genético de la empresa Maricultura del Pacífico se observan en la Figura 1.



PL20= Postlarvas con 30 días de edad a partir de la eclosión

La información que se utilizó consistió en los registros provenientes de la línea de crecimiento y supervivencia en el periodo comprendido del 2007 al 2010. Se contó con 1,418 registros reproductivos de hembras provenientes de 221 familias, con información sobre el número de huevos, número de nauplios, porcentaje de eclosión y 1,413 registros para el peso de la hembra a la inseminación; además se utilizaron 55,507 registros productivos de individuos provenientes de 600 familias con la información de peso a los 130 días de edad.

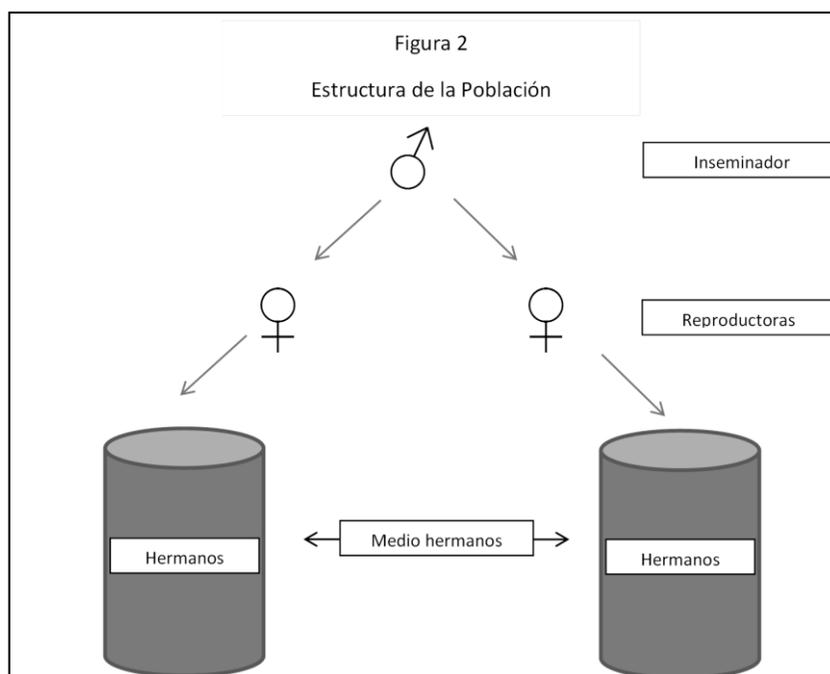
### *3.1.2 Edición de datos*

Para las características reproductivas (número de huevos, número de nauplios, porcentaje de eclosión y peso de la hembra), se consideraron 1,527 registros de hembras reproductoras de los ciclos de 2008 a 2010 con el criterio de haber ovipositado. Se descartaron 107 registros con el fin contar únicamente con datos del primer registro de la hembra en el período reproductivo y 2 datos extremos menores a 5,000 en el año 2010. La edición final de los datos se constituyó con 1,418 registros para el número de huevos, número de nauplios y el porcentaje de eclosión y 1,413 registros para el peso de la hembra.

Para el peso a los 130 días de edad se consideraron 57,957 registros correspondientes a los ciclos productivos de 2007 a 2010, en donde se descartaron 2,450 registros procedentes de individuos con deformidades, enanismo, sexo indefinido, marcas de familia incompletas, y registros con errores evidentes de lectura, lo que dejó 55,507 registros para el análisis.

### *3.1.3 Estructura poblacional*

La estructura poblacional de la línea de selección para crecimiento y supervivencia es por familias (grupos de hermanos y medio hermanos), provenientes de apareamientos de un macho con dos hembras, representada en la figura 2.



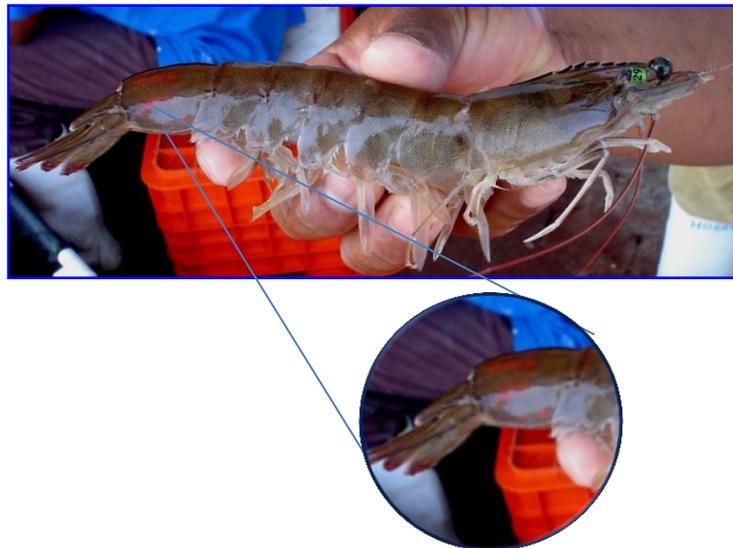
Estas familias se originaron de una población formada a partir de camarones silvestres del Pacífico mexicano y de camarones domesticados de Colombia, Ecuador, Estados Unidos, México y Venezuela (Castillo-Juárez et al., 2007). De 1998 a 2002 el criterio de selección fue la media fenotípica de cada familia de hermanos para el peso a los 130 días. Se realizó además selección intrafamiliar con base en el peso individual. El objetivo de selección fue el peso a los 130 días de edad. A partir de 2003, la selección se ha basado en los valores genéticos aditivos familiares predichos para variables de crecimiento obtenidos con el procedimiento BLUP<sup>2</sup>, para un modelo animal, así como por procedimientos de selección individual dentro de las familias para peso a los 130 días de edad. Con la finalidad de incrementar la intensidad de selección, desde 2005 se incluyó un

<sup>2</sup>BLUP por sus siglas en inglés Best Linear Unbiased Prediction (Mejor Predictor Lineal Insesgado)

criterio adicional de selección familiar temprana, basado en el peso corporal a las cuatro semanas de edad.

#### *3.1.4 Manejo e identificación de reproductores*

En cada ciclo (anual) los progenitores seleccionados dentro de familia, son marcados individualmente entre los 10 y 12 meses de edad, con anillos colocados en un pedúnculo ocular y su descendencia se marcó entre los 45 y 60 días de edad mediante la combinación de 6 diferentes colores (blanco, azul, morado, naranja, rojo y verde) por medio de elastómeros (Northwest Marine Technology) para la identificación de las familias, combinándolos en 3 áreas anatómicas (sexto segmento abdominal derecho e izquierdo, y sexto segmento abdominal dorsal); de tal forma que cada familia de hermanos tenga un código distinto como se observa a continuación.



### *3.1.5 Manejo y producción de familias.*

Los reproductores elegidos como progenitores fueron separados por sexo, en tanques de maduración de 12 x 3 m, con una columna de agua de 0.35 m, a una densidad de 8 camarones/m<sup>2</sup> y se mantuvieron a una temperatura entre 28 y 29°C con una salinidad de 34 ppt y recambio diario de agua de 400%, y la alimentación se basó en alimento comercial con 35 a 40% de proteína.

Dos o tres semanas después de la aclimatación de las hembras a los estanques de maduración, se realizó la ablación unilateral del pedúnculo ocular en las hembras para acelerar el proceso de maduración, el tiempo se determinó en virtud del estadio de muda del estanque (Drach y Tchernigovtzeff, 1967; Gendrop-Funes y Valenzuela-Espinoza, 1995).

Los apareamientos se realizaron mediante inseminación artificial, con una relación de un macho por cada dos hembras (cada hembra se insemina con uno de los dos segmentos del espermatóforo del macho) evitando apareamientos que produjeran familias con una consanguinidad promedio esperada igual o mayor a 12.5% para 2007 y mayor o igual a 6.25% para los años de 2008 a 2010.

En el presente estudio, la edad promedio de las hembras al momento de la inseminación fue de  $388 \pm 2.54$ ,  $367 \pm 2.12$  y  $352 \pm 2.20$  días para los años 2008, 2009 y 2010 respectivamente con peso promedio de  $61.4 \pm 4.92$ ,  $63.7 \pm 5.47$  y  $67.55 \pm 5.70$  g, respectivamente.

Una vez inseminadas las hembras, se colocó a cada una de ellas en tanques de 200 l por 6 horas para la oviposición, para posteriormente regresarlas a los estanques de maduración. Después de la oviposición los huevos fueron

transferidos a cubetas de 15 l donde fueron lavados con una solución de yodo a 96 ppm y ubicados en nuevas cubetas de 15 l, donde se mantuvieron en suspensión empleando aireación constante con el fin de favorecer la eclosión. Finalmente entre 12 y 15 horas después de la inseminación (Carvajal, 1999) se produjo la eclosión de los huevos.

### *3.1.6 Obtención de características reproductivas*

El número de nauplios y huevos no eclosionados se estimaron usando el promedio de los conteos de tres muestras independientes de 1 ml tomadas con pipetas directamente de la cubeta. La toma de las muestras se realizó en forma perpendicular a la superficie del agua y se emplearon piedras aireadoras para favorecer la suspensión y homogenización de la muestra. El número total de huevos se calculó al sumar el número de huevos no eclosionados más el número de nauplios. El porcentaje de eclosión se estimó como la proporción de nauplios sobre el número total de huevos. Además se registró el peso a la inseminación de las hembras incluidas en el proceso y el macho con quien fue apareada dicha hembra (macho inseminador).

### *3.1.7 Obtención del peso a los 130 días de edad*

#### 3.1.7.1 Manejo hasta los 130 días de edad

A los 28 días de edad se seleccionaron 150 familias (de un total de 300) con los valores genéticos familiares predichos promedio más altos para peso corporal a esta edad (Campos-Montes, 2009) y se trasladaron 2,000 animales de cada

familia a jaulas de 1.5 x 0.5 x 0.85 m, las cuales se colocaron en tanques de 24 x 3.5 m con una columna de agua de 0.35 m.

Las jaulas fueron colocadas en estanques en los que se mantuvo aireación constante, con un sistema de biofiltros que realiza un recambio de agua del estanque de 300% cada 24 horas, y con temperatura constante de 30 °C. Los animales recibieron alimento comercial con 35 a 40% de proteína ajustándose el tamaño de la partícula y el porcentaje de proteína, a la edad de los organismos.

Entre los 45 y 60 días de edad, los individuos de cada familia seleccionada a los 28 días de edad, fueron marcados con elastómeros. Una semana después de marcar a los individuos, éstos fueron trasladados a 3 estanques de engorda, dos de ellos ubicados en Los Pozos, Municipio de Rosario, Sinaloa, en donde se sembraron 50 animales de cada familia en dos estanques de tierra de 0.2 ha a densidades de 10 y 30 camarones/m<sup>2</sup>. Los estanques tuvieron una columna de agua de 1.4 m con temperatura que varió entre 30 y 34 °C y con salinidad en un rango de 30 a 35 ppt y recambio diario de agua de entre 5 y 20% dependiendo de la etapa de crecimiento. En estos estanques se proporcionó alimento comercial con 35 a 40% de proteína, y la cantidad diaria correspondió a 3% de la biomasa existente en los estanques. El tercer estanque se ubicó en Bahía de Kino, en Sonora, donde se sembraron 50 individuos por familia en un estanque de concreto de 4 m de ancho, 16 m de largo y 2 m de profundidad a una densidad de 70 y 85 camarones/m<sup>2</sup> para los años 2007 y 2008, respectivamente y de 100 camarones/m<sup>2</sup> para los años 2009 y 2010, con una temperatura promedio de 30 °C, salinidad de 35 ppt con aireación constante y recambio diario de agua menor a 5%. La

alimentación en este estanque consistió en alimento comercial con 35 a 40% de proteína y la cantidad diaria correspondió a 6% de la biomasa existente en el estanque.

#### 3.1.7.2 Peso corporal a los 130 días de edad.

Todos los individuos de cada uno de los estanques fueron cosechados entre las semanas 11 y 12 posteriores a la siembra. A los animales con marca de familia se les determinó el sexo y la presencia de defectos físicos (deformidades, enanismo, sexo indefinido). Posteriormente, para obtener el peso a la cosecha (a los 130 de edad) se les retiró el agua residual con una toalla de tela y se colocaron de forma individual dentro de un vaso en una báscula tarada a cero gramos.

### **3.2 Análisis estadísticos**

#### *3.2.1 Efectos fijos y aleatorios incluidos en los modelos*

##### 3.2.1.1 Efectos fijos

Los efectos fijos probados para ser incluidos en los modelos lineales para las características reproductivas fueron la edad de la hembra al momento de la inseminación y el año (ciclo productivo). Los rangos de edades fueron significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), por lo cual la variable edad se incluyó en el modelo como una covariable anidada en el año.

A continuación se presenta el modelo de efectos fijos elegido para incluirse en el modelo animal:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + b_{(x_{(i)jk} - \bar{x})} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde  $y_{ijk}$  corresponde a la característica de interés (peso de la hembra, número de huevos, número de nauplios y porcentaje de eclosión),  $\mu$  es la media general,  $\alpha_i$  corresponde al efecto de año (2008, 2009, 2010),  $b_{(x_{(i)jk} - \bar{x})}$  corresponde al efecto de la edad (covariable) de la hembra anidada en el año, y  $\varepsilon_{ijk}$  corresponde al residuo.

Los efectos fijos incluidos para la característica peso a los 130 días fueron determinados de acuerdo con el estudio de Campos-Montes (2009), y éstos fueron el sexo, la edad a la cosecha y la combinación del año-estaque de crecimiento.

Para determinar la inclusión de los efectos fijos para las características reproductivas en la estimación de los componentes de (co)varianza, se utilizó el programa AsReml el cual se basa en el algoritmo de la matriz de información promedio, AIREML (AI, del inglés Average Information), y en REML<sup>1</sup>, mediante la aproximación de las derivadas parciales de segundo orden del promedio de la matriz de información esperada y observada (Gilmour y Thompson, 1998; Hofer, 1998; Thompson et al., 2005).

---

<sup>1</sup> REML por sus siglas en inglés Restricted Maximum Likelihood (Máxima Verosimilitud Restringida)

### 3.2.1.2 Efectos aleatorios

Para determinar la inclusión de los efectos aleatorios en los distintos modelos mixtos para las características reproductivas se empleó el criterio de información de Akaike (CIA) (Akaike, 1981).

La expresión de CIA es:

$$\text{CIA} = -2 \log L + 2p$$

donde L es la función de verosimilitud del modelo y p es el número de parámetros estimados en el mismo. La función de verosimilitud es una medida del ajuste del modelo a los datos, mientras que 2p representa una penalización debida al número de parámetros (Burnham y Anderson, 1998; Sorensen y Gianola, 2002). El modelo con mayor ajuste será aquel con menor valor de CIA.

En acuicultura, una proporción de la varianza fenotípica importante es la correspondiente al efecto común de familia (f) debido a la estructura poblacional propia de estas especies; este efecto representa los efectos maternos (genéticos y ambientales), efectos genéticos no aditivos y de condiciones ambientales comunes a la familia durante el crecimiento previo a la siembra de los animales marcados con todas las familias en un mismo estanque (Gjerde et al., 2004). Aunque en ocasiones estos efectos pueden no ser estadísticamente significativos (Campos-Montes, 2009), no incluirlos en los modelos puede conducir a sobrestimar los efectos genéticos aditivos directos (Castillo-Juárez et al., 2007; Visscher et al., 2008; Campos-Montes, 2009). Dicho efecto fue probado para las características reproductivas (Cuadros 2 a 6) y se incluyó en el modelo para el

peso a los 130 días como en Campos-Montes (2009). No se tienen antecedentes de su estimación en características reproductivas de hembras.

En características como el número de nauplios y el porcentaje de eclosión se tiene evidencia de la contribución del macho inseminador sobre estas características (calidad espermática) (Pérez-Velázquez, 2001,2003; Ceballos-Vázquez et al., 2003; Hall et al., 2003). Macbeth et al. (2007) mencionan que no incluir información de dicho macho en los modelos empleados para analizar el número de nauplios y porcentaje de eclosión, puede ocasionar que la varianza genética atribuida al macho se confunda con la varianza genética de la hembra, resultando en una sobreestimación de la heredabilidad. Debido a esto, se consideró la inclusión de la información del macho para estimar la proporción de la varianza fenotípica correspondiente a los efectos del macho inseminador ( $s^2$ ), la cual no había sido evaluada en estudios previos. La magnitud del efecto de familia y macho inseminador ( $f$  y  $s$ ) fue medida para cada una de las características reproductivas.

Los efectos aleatorios incluidos en el modelo usado para el análisis del peso a los 130 días de edad fueron aquellos considerados de acuerdo con el estudio de Campos-Montes (2009) y Castillo-Juárez et al. (2007) quienes estimaron componentes de varianza y covarianza para la misma población. Estos fueron el efecto genético aditivo (animal), efecto común de familia y el residuo.

### 3.2.2 Estimación de componentes de varianza y covarianza

#### 3.2.2.1 Estimación de componentes de varianza para características reproductivas

La estimación de los componentes de varianza para el peso de la hembra, número de huevos, número de nauplios y porcentaje de eclosión se realizó mediante el empleo de modelos animales univariados.

Matricialmente, el modelo general univariado puede presentarse como:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}\mathbf{a} + \mathbf{W}\mathbf{f} + \mathbf{e}$$

Dónde:

**y** Es el vector de observaciones para el peso de la hembra, número de huevos, número de nauplios o porcentaje de eclosión

**$\boldsymbol{\beta}$**  Es el vector de efectos fijos (año, edad anidada en año);

**a** Es el vector de efectos aleatorios animales genéticos aditivos;

**f** Es el vector de efectos aleatorios del macho inseminador;

**e** Es el vector de efectos aleatorios residuales;

**X** Es la matriz de incidencia que relaciona los datos con los efectos fijos (año, edad anidada en año como covariable);

**Z** Es la matriz de incidencia que relaciona los datos con los animales

**W** Es la matriz de incidencia que relaciona los datos con los efectos aleatorios del macho inseminador.

### 3.2.2.2 Estimación de componentes de (co)varianza para las características reproductivas y el peso a los 130 días de edad

Se realizó un análisis multivariado que incluyó el peso a los 130 días de edad, peso de la hembra, número de huevos y el número de nauplios con el fin de estimar las correlaciones genéticas entre las características reproductivas, y de ellas, con el peso a los 130 días de edad. No se incluyó al porcentaje de eclosión en el análisis multivariado debido a que en los análisis previos se determinó que la variación genética aditiva de esta característica no fue diferente de cero.

### *3.2.3 Estimación de parámetros*

Tanto para los modelos univariados como para el multivariado, el cálculo de la varianza fenotípica ( $\sigma_p^2$ ) se realizó a partir de la suma de todos los componentes de varianza estimados para cada característica.

Se estimó la heredabilidad ( $h^2$ ) definida como la proporción de la varianza fenotípica ( $\sigma_p^2$ ) atribuible a la variación genética aditiva para una característica en una población (Lush, 1945). Las proporciones de la varianza fenotípica atribuible a los efectos comunes de familia ( $f^2$ ) y al macho inseminador ( $s^2$ ) se estimaron para cada modelo. Las correlaciones genéticas y fenotípicas se estimaron como la

covarianza respectiva dividida entre el producto de las desviaciones estándar correspondientes.

La significancia estadística de los parámetros se determinó a partir de un intervalo de confianza de aproximadamente el 95%, construido empleando más o menos dos veces el error estándar del valor estimado (Clark, 2004).

## 4. Resultados

### 4.1 Análisis preliminares

En el Cuadro 4.1.1 se presenta el criterio de información de Akaike (CIA) para cada uno de los modelos considerados para determinar la inclusión de los efectos aleatorios.

**Cuadro 4.1.1** Criterios de información de Akaike para cada modelo probado y el logaritmo de verosimilitud para las características reproductivas

Característica	f	S	LV	CIA
Peso de la hembra	+	-	-2988	<b>5980</b>
	-	-	-2992.8	5988
Número de huevos	+	+	-6793.8	13594
	+	-	-6794.7	13593
	-	+	-6793.9	13592
	-	-	-6794.8	<b>13592</b>
Número de nauplios	+	+	-6277	12560
	+	-	-6311.2	12626
	-	+	-6277.2	<b>12558</b>
	-	-	-6311.2	12624
Porcentaje de eclosión	+	+	-5123.4	10253
	+	-	-5151.7	10307
	-	+	-5123.4	<b>10251</b>
	-	-	-5151.7	10305

f=efecto común de familia; s=efecto del macho inseminador;  
+=efecto incluido, -=efecto no incluido; LV= logaritmo de verosimilitud;  
CIA= criterio de información de Akaike; en negritas se resalta el modelo elegido

### 4.2 Estadística descriptiva

La estadística descriptiva para el peso a los 130 días de edad para los años de 2007 a 2010, el peso de la hembra a la inseminación, número de huevos, número

de nauplios y porcentaje de eclosión para los años de 2008 a 2010 son presentados a continuación en el Cuadro 4.2.1.

**Cuadro 4.2.1** Estadística descriptiva de las características reproductivas para los años de 2008 a 2010 y para el peso a los 130 días de edad de 2007 a 2010

Característica	N	Media	Mínimo	Máximo	D.E.	CV (%)
Peso a los 130 días de edad (g)	55,507	13.6	3.2	31.2	3.0	22.1
Peso de la hembra (g)	1,413	64.1	47.6	84.2	5.9	9.2
Número de huevos (miles de huevos)	1,418	216	24	597.5	0.08	35
Número de nauplios (miles de nauplios)	1,418	47	0	300	0.05	114.4
Porcentaje de eclosión	1418	22.3	0	100	24	107.5

#### 4.3 Componentes de varianza y covarianza estimados.

Los componentes de varianza y los estimados de heredabilidad así como las proporciones de la varianza total debidas al efecto común de familia para el peso de la hembra y del efecto del macho inseminador para número de nauplios y porcentaje de eclosión, obtenidos con los modelos animales univariados para las características reproductivas se muestran en el Cuadro 4.3.1.

**Cuadro 4.3.1** Componentes de varianza, heredabilidad ( $h^2$ ), efectos comunes de familia ( $f^2$ ) y efectos del macho inseminador ( $s^2$ ) para el peso de la hembra (g), número de huevos, número de nauplios y porcentaje de eclosión en los años de 2008 a 2010 estimados a partir de los modelos animales univariados.

Característica	LV	$\sigma^2_p$	$\sigma^2_a$	$\sigma^2_e$	$\sigma^2_s$	$\sigma^2_f$	$h^2$	$f^2$	$s^2$
Peso de la hembra	-2988.00	29.69	11.9	15.56	-	2.23	$0.40 \pm 0.09$	$0.08 \pm 0.03$	-
Número de huevos	-6794.82	5519.27	638.98	4880.29	-	-	$0.12 \pm 0.04$	-	-
Número de nauplios	-6277.15	2745.01	59.74	1780.47	904.8	-	$0.02 \pm 0.02$	-	$0.33 \pm 0.04$
Porcentaje de eclosión	-5123.41	529.99	5.03	365.37	159.6	-	$0.01 \pm 0.02$	-	$0.30 \pm 0.04$

LV=logaritmo de verosimilitud,  $\sigma^2_p$ = varianza fenotípica,  $\sigma^2_a$ = varianza aditiva,  $\sigma^2_e$ = varianza residual,  $\sigma^2_s$  varianza del macho inseminador  $\sigma^2_f$ = varianza efecto común de familia;  $h^2$ = heredabilidad,  $f^2$ =efecto común de familia,  $s^2$ =efecto común del macho inseminador

La heredabilidad y correlaciones genéticas y fenotípicas estimadas con el modelo animal multivariado para todas las características se muestran en el Cuadro 4.3.2.

**Cuadro 4.3.2** Heredabilidades (diagonal), correlaciones genéticas (arriba de la diagonal) y correlaciones fenotípicas (debajo de la diagonal) para las características estudiadas en *P. vannamei* estimadas con un modelo animal multivariado

	Peso a los 130 días de edad	Peso de la hembra	Número de huevos	Número de nauplios
Peso a los 130 días de edad	<b>0.19± 0.03</b>	0.30 ± 0.13	-0.21 ± 0.19	-0.25± 0.38
Peso de la hembra	-	<b>0.44 ± 0.08</b>	0.49 ± 0.15	0.54± 0.39
Número de huevos	-	0.27 ± 0.03	<b>0.13 ± 0.04</b>	0.27 ± 0.41
Número de nauplios	-	0.07 ± 0.03	0.29 ± 0.03	<b>0.03± 0.04</b>

El Cuadro 4.3.3 presenta la proporción debida a los efectos comunes de familia ( $f^2$ ) y del macho inseminador ( $s^2$ ) sobre la varianza fenotípica para las respectivas características.

**Cuadro 4.3.3** Efecto del macho inseminador ( $s^2$ ) y efecto común de familia ( $f^2$ ) para las características estudiadas en *P. vannamei*, estimados a partir del modelo animal multivariado

Característica	$s^2$	$f^2$
Peso a los 130 días de edad	-	0.09 ± 0.01
Peso de la hembra	-	0.06 ± 0.03
Número de huevos	-	-
Número de nauplios	0.47 ± 0.07	-

$s^2$ =efecto común del macho inseminador;  $f^2$ =efecto común de familia

## 5. Discusión

### 5.1 Heredabilidades estimadas

La heredabilidad para las características reproductivas estimadas con los modelos univariados fueron similares a las estimadas por medio del modelo multivariado y variaron desde 0.03 para número de nauplios hasta 0.44 para el peso de la hembra.

El estimado de heredabilidad para el peso de la hembra ( $0.44 \pm 0.08$ ) concuerda con la estimada por Arcos et al. (2004) para *P. vannamei* ( $0.47 \pm 0.25$ ), también en edad reproductiva.

En los modelos utilizados para el peso de la hembra, se incluyó el efecto común de familia de hermanos, el cual ha sido estimado por Gitterle et al. (2005) como  $0.07 \pm 0.01$  para peso a las 33 semanas, por Castillo-Juárez et al. (2007) con un valor promedio de 0.07 para peso corporal a los 130 días, en análisis multivariados en diversos ambientes, valor que resulta similar al estimado en el presente estudio de  $0.06 \pm 0.03$  para el peso promedio a los 377 días de edad en el modelo multivariado. Debe resaltarse la importancia de incluir dicho efecto en la estimación de parámetros para el peso a edad reproductiva, al igual que para la estimación de parámetros para la misma característica a edades previas debido a que el no incluirlo puede conducir a la sobrestimación de los efectos genéticos aditivos directos (Castillo-Juárez et al., 2007; Campos-Montes et al., 2009).

La proporción de la varianza fenotípica debida a los efectos comunes de familia para el peso a distintas edades también ha sido estudiada en otras especies acuícolas como el bacalao del Atlántico con valores entre 0.03 y 0.12 estimados por Gjerde et al. (2004) y en salmón Coho con valores entre 0.02 y 0.06 estimados por Gallardo et al. (2010), valores similares a los estimados en camarón en este estudio.

Las heredabilidades estimadas para número de huevos mencionadas en la literatura en Peneidos oscilan entre 0.09 y 0.41, sin ser diferentes de cero en cada uno de los casos (Macbeth et al., 2007; Arcos, 2004). En el presente estudio se estimó como  $0.13 \pm 0.04$ , y revela la existencia de variación genética aditiva para este carácter, valor que concuerda con los valores obtenidos para otras especies acuícolas como la trucha arcoíris con un rango de 0.19 a 0.67, indicando también la existencia de variación genética aditiva. (Gall, 1975; Gall y Gross. 1978; Gall y Huang, 1988; Su, 1997).

Para número de nauplios y porcentaje de eclosión los estimados de heredabilidad obtenidos en este estudio no fueron diferentes de cero, al igual que las obtenidas por Macbeth et al. (2007) en *P. monodon*. Para estimar la heredabilidad de estas características en este estudio, se consideró la inclusión del efecto aleatorio del macho inseminador (s), el cual es de gran importancia ya que nos proporciona la contribución del macho para estas características y permite no suponer que estos rasgos están influenciados sólo por la hembra; por ejemplo Macbeth et al. (2007) sugieren que estas características pueden estar influenciadas por factores como la capacidad del macho para producir espermatozoides saludables. En el presente estudio, se estimó la proporción de la varianza fenotípica debida a este efecto como  $0.33 \pm 0.04$  para el número de nauplios y como  $0.30 \pm 0.04$  para el porcentaje de eclosión con los modelos univariados, y como  $0.47 \pm 0.07$  para el número de nauplios con el modelo multivariado, lo cual resulta importante, debido a que además de ser un componente importante de la varianza fenotípica, su exclusión produjo una sobreestimación en la heredabilidad en los análisis preliminares (datos no mostrados).

La heredabilidad estimada para el peso a los 130 días de edad con el modelo multivariado ( $0.19 \pm 0.03$ ) así como el efecto común de familia ( $0.09 \pm 0.01$ ) correspondiente, coinciden con los estimados por Campos-Montes (2009) con datos de la misma población.

## **5.2 Correlaciones genéticas y fenotípicas estimadas para las características reproductivas**

En este estudio se estimó una correlación fenotípica positiva y significativa entre el peso de la hembra y el número de huevos ( $0.27 \pm 0.03$ ), menor a las encontradas previamente en camarones que van de 0.37 hasta 0.71 (Mohammad et al., 2009; Deekae y Abowei, 2010), las cuales podrían estar sobrestimadas debido a que no consideraron la edad de las hembras en su estimación, siendo posible que se correlacionaran animales de edades y pesos diferentes.

De igual modo, se encontró una correlación genética positiva y significativa entre el peso de la hembra y número de huevos ( $0.49 \pm 0.15$ ), a diferencia de lo encontrado por Arcos (2004) quien la estimó como negativa ( $-0.13$ ), y no significativa.

Las correlaciones genéticas y fenotípicas entre el peso de la hembra y el número de nauplios resultaron positivas pero cercanas a cero, esto tal vez debido a la poca variabilidad genética aditiva encontrada para el número de nauplios. Estos resultados concuerdan con el estudio de Palacios y Racotta (2003) quienes indican que no encontraron evidencia para decir que la producción de nauplios está relacionada con el peso de la hembra en *P. vannamei*.

La correlación fenotípica entre el número de huevos y número de nauplios tuvo un valor positivo y significativo ( $0.29 \pm 0.03$ ), similar al estimado de Macbeth et al. (2007). La correlación genética entre estas características resultó positiva ( $0.27 \pm 0.41$ ), pero no fue

diferente de cero, no siendo posible concluir a partir de dichos resultados, esto en concordancia con los hallazgos de Macbeth et al. (2007).

### **5.3 Correlaciones genéticas entre características reproductivas y el peso a los 130 días de edad**

Ninguna correlación genética estimada entre las características reproductivas de las hembras y el peso a los 130 días de edad resultó significativa, pero es importante mencionar que la covarianza estimada para las correlaciones correspondientes al número de huevos y al número de nauplios con el peso a los 130 días de edad se estimó negativa y no diferente de cero. Macbeth et al. (2007) estimaron las correlaciones de características reproductivas con características de crecimiento en *P. monodon* como positivas y no diferentes de cero, el resultado de ambos trabajos conllevan a la necesidad de realizar más estudios en Peneidos para determinar el valor de la asociación entre características de crecimiento y características reproductivas como el número de huevos, el número de nauplios y el porcentaje de eclosión. Cabe señalar que la correlación positiva entre el peso a los 130 días de edad y el peso de la hembra podría indicar que el signo de las covarianzas para las correlaciones entre el peso a los 130 días de edad y la eficiencia reproductiva de las hembras sea positivo, sin embargo la estructura y cantidad de datos en este estudio no permitió la estimación precisa de estas asociaciones debido al número reducido de hembras por macho que produce una inadecuada estimación de componentes de varianza (Castillo-Juárez et al., 2007) y la incapacidad de obtener las dos mediciones en el mismo individuo.

## 6. Conclusiones

- 1) Existe variación genética aditiva en características relacionadas con la reproducción de las hembras de *P. vannamei*, en particular para el peso de la hembra a la inseminación, el número de huevos y el peso a los 130 días de edad.
- 2) Para el número de nauplios y el porcentaje de eclosión, la inclusión del efecto del macho inseminador en los modelos de análisis resultó significativa y su exclusión puede producir una sobreestimación de la heredabilidad.
- 3) Existen asociaciones genéticas entre características reproductivas de las hembras, destacando las asociaciones genéticas positivas del peso de la hembra a la inseminación artificial con el número de huevos y de éste con el número de nauplios.
- 4) No hay evidencia que sugiera un impacto adverso en el rendimiento reproductivo, producto de la selección para el incremento del peso a los 130 días en *P. vannamei*

## 7. Referencias

- Akaike, H., 1981. Likelihood of a model and information criteria. *Journal of Econometrics* 16, 3-14.
- Arcos, F.G., 2004. Análisis fisiológico y genético del desempeño reproductivo del camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. Tesis de para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste. México. 244p.
- Arcos, F.G., Racotta, I.S., Ibarra, A.M., 2004. Genetic parameter estimates for reproductive traits and egg composition in Pacific white shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. *Aquaculture* 236, 151-165.
- Arcos, F.G., Racotta, I.S., Palacios, E., Ibarra, A.M., 2005. Ovary development at the onset of gametogenesis is genetically determined and correlated with reproductive traits at maturity in shrimp *Litopenaeus (Penaeus) vannamei*. *Marine Biology* 148, 339–446.
- Arredondo-Figueroa J., 2002. El cultivo de camarón en México, actualidades y perspectivas. *Contactos* 43, 41-54.
- Benzie, J.A.H., 2009. Use and exchange of genetic resources of penaeid shrimps for food and aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 1, 232-250.
- Browdy, C.L., 1998. Recent developments in penaeid broodstock and seed production technologies: improving the outlook for superior captive stocks. *Aquaculture* 164, 3–21.
- Burnham, K. P., and D. R. Anderson. 1998. *Model Selection and Inference*. Springer. London, UK. 496 p.
- Campos-Montes G.R., 2009. Componentes de (co)varianza para características de crecimiento temprano y a los 130 días de edad en camarón blanco del Pacífico *Penaeus*

*(Litopenaeus) vannamei*. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 96 p.

Campos-Montes G. R., Montaldo H. H., Martínez-Ortega A., Castillo-Juarez H., 2009. Efectos de interacción genotipo por ambiente para peso corporal a los 130 días en el camarón blanco del Pacífico *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. *Veterinaria México* 40 (3): 255-267.

Carvajal, A.M. 1999. Valores hematológicos del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* bajo condiciones de laboratorio en relación con la costa de origen, estadio de muda , peso y sexo. Tesis de grado. Corporación Universitaria de Ciencias Aplicadas y ambientales UDCA: Santafé de Bogotá.

Castillo-Juárez, H., Quintana, C.J.C., Campos-Montes, G.R., Cabrera, V.C., Martínez, O.A., Montaldo, H.H., 2007. Heritability for body weight at harvest size in the Pacific white shrimp, (*Penaeus (Litopenaeus) vannamei*), from a multi-environment experiment using univariate and multivariate animal models. *Aquaculture* 273, 42-49.

Ceballos-Vázquez, B.P., Rosas, C., Racotta, I.S., 2003. Sperm quality in relation to age and weight of white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 228, 141–151.

CONAPESCA, 2007. Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura. Estadísticas de producción de camarón de pesca y acuicultura. *Industria Acuícola* 4, 36-37.

Clark, M. L., Los valores P y los intervalos de confianza: ¿en qué confiar?, 2004. *Rev Panam Salud Publica* 15, 293-296.

Deekae, S.N., Abowei, J.F.N. 2010. The Fecundity of *Macrobrachium macrobrachion* (Herklots, 1851) from Luubara Creek Ogoni Land, Niger Delta, Nigeria. *International Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2, 4: 148-154.

Drach, P., Tchernigovtzeff, C. 1967. Sur la méthode de détermination des stades d'intermue et son application générale aux crustacés. *Vie et Milieu Aqu.*, 18: 595-610.

FAO, 2007. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El estado mundial de la pesca y acuicultura 2006. Roma, Italia.

FAO. © 2006-2010. National Aquaculture Sector Overview. Visión general del sector acuícola nacional - México. National Aquaculture Sector Overview Fact Sheets. Text by Montero Rodríguez, M. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. Updated 1 February 2005. [Citado 7 June 2010].  
[http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso\\_mexico/es](http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_mexico/es).

FAO, 2009. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2009 Roma, Italia.

Gall, G.A.E., 1975. Genetics of Reproduction in Domesticated Rainbow Trout *Journal of Animal Science*. 40, 19-28.

Gall, G.A.E., Gross, S.J., 1978. A genetic analysis of the performance of three rainbow trout broodstocks. *Aquaculture* 15:113-127.

Gall, G.A.E., Huang N., 1988. Heritability and selection schemes for rainbow trout: Female reproductive performance. *Aquaculture* 73: 57-66.

Gall, G.A.E., Neira, R., 2004. Genetic analysis of female reproduction traits of farmed Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture* 234, 143–154.

Gallardo, J. A., Lhorente, J.P., Neira, R., 2010. The consequences of including non-additive effects on the genetic evaluation of harvest body weight in Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Genetics Selection Evolution* 42,19.

- Gendrop-Funes V., Valenzuela-Espinoza, 1995. Ablación unilateral de *Penaeus stylirostris* (STIMPSON) Ciencias Marinas 21,401-413.
- Gilmour, A.R., Thompson, R., 1998. Modeling variance parameters in ASREML for repeated measures data. In: 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production; 1998 January 11-16; Armidale, Australia, 453-454.
- Gitterle, T., Morten, R., Salte, R., Cock J., Johansen H., Lozano C., et al., 2005. Genetic (co)variation in harvest body weight and survival in *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* under standard commercial conditions. Aquaculture 243, 83-92.
- Gjedrem, T., Selection and breeding programs in Aquaculture, 2005. Akvaforsk Institute of Aquaculture Research A.S., Norway 361p.
- Gjerde, B., Terjesen, B.F., Barr, Y., Lein, I., Thorland, I., 2004. Genetic variation for juvenile growth and survival in Atlantic cod (*Gadus morhua*). Aquaculture 236, 167-177.
- Hall, M.R., Mastro, R., Young, N., Fraser, C.A., Strugnell, J., Kenway, M.J., 2003. High Quality Eggs and Nauplii for the Australian Prawn Industry. FRDC 1995/166. Fisheries Research and Development Corporation. 142 p.
- Hofer, A., 1998. Variance component estimation in animal breeding: a review. J. Anim.Breed. Genet. 115, 247-265.
- Ibarra, A.M., Racotta, I.S., Arcos, F.G., Palacios, E., 2007. Progress on the genetics of reproductive performance in penaeid shrimp. Aquaculture 268, 23-43.
- INEGI, 2005. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Censo económico 2004 INEGI. Resultados generales. México (DF): INEGI.
- Lush, J.L. 1945. Animal breeding plans. Iowa State College Press, Ames, Iowa, USA. 278 p.

- Macbeth, M., Matthew, K., Matthew, S., Benziec, J., Knibbd, W., Wilson, K., 2007. Heritability of reproductive traits and genetic correlations with growth in the black tiger prawn *Penaeus monodon* reared in tanks. *Aquaculture* 270, 51-56.
- Mohammad, S., Arshad, A., Bujang J.S., Siraj S.S., Goddard, S. 2009. Reproductive Biology of the Sergestid Shrimp *Acetes indicus* (Decapoda: Sergestidae) in Coastal Waters of Malacca, Peninsular Malaysia. *Zoological Studies* 48,6: 753-760.
- Martínez L. R. 2002. Camaronicultura, Avances y tendencias. Primera edición. AGT Editor. México.
- Mártir-Mendoza A., 2006. La acuicultura como estrategia de desarrollo de zonas costeras y rurales de México. *Ra Ximhai* 2, 769-793.
- Palacios, E., Racotta, I.S., 2003. Effect of number of spawns on the resulting spawn quality of 1-year old pond reared *Penaeus vannamei* (Boone) broodstock. *Aquacult. Res.* 34,427-435.
- Pérez-Velázquez, M.,Gonzalez-Felix,M.L., Lawrence,A.L., Bray,W.A., Gatlin III, D.M., 2001. Effect of temperature on sperm quality of captive *Litopenaeus vannamei* broodstock. *Journal of the World Aquaculture Society* 34 (1), 92–98.
- Pérez-Velázquez, M., Bray, W.A., Lawrence, A.L., Gatlin III, D.M., Gonzalez-Felix, M.L., 2003. Effect of temperature on sperm quality of captive *Litopenaeus vannamei* broodstock. *Aquaculture* 198, 209–218.
- Racotta, I.S., Palacios, E., Ibarra, A.M., 2003. Shrimp larval quality in relation to broodstock condition. *Aquaculture* 227, 107-130.
- Sorensen, D., and D. Gianola. 2002. Likelihood, Bayesian and MCMC Methods in Quantitative Genetics. Springer. New York, U.S.A. 742 p.

Su, G.-S., Liljedahl, L.-E., Gall, G.A.E., 1997. Genetic and environmental variation of female reproductive traits in rainbow trout i (*Oncorhynchus my kiss*) Aquaculture 154, 115-124.

Thompson, R., Brotherstone, S., White, I., 2005. Estimation of quantitative genetic parameters. Phil. Trans. R. Soc. B. 306, 1469–1477.

Visscher, P.M., Hill, W., Wray, N., 2008. Heritability in the genomics era - concepts and misconceptions. Nature Reviews 9, 255-266.