

03067
1
29

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**UNIDAD ACADEMICA DE LOS CICLOS PROFESIONAL Y DE
POSTGRADO**

COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA

**"EL POTENCIAL REPRODUCTOR, ALGUNAS CARACTERISTICAS DEL TRACTO REPRODUCTIVO
Y SU RELACION CON LA MUDA EN MACHOS ADULTOS DEL CAMARON BLANCO *Penaeus*
vannamei BOONE 1931 (DECAPODA: PENAIDEAE)."**

T E S I S

PARA OPTAR AL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR
(OCEANOGRAFIA BIOLOGICA Y PESQUERA)**

P R E S E N T A:

SERGIO RENDON RODRIGUEZ

Director de Tesis: Dr. Emilio Macías Regalado

MAZATLAN, SINALOA, OCTUBRE DE 1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

TESIS

COMPLETA

A Blanca Argelia, mi mujer;

A mis hijos, Camilo, Ernesto, Cy e Ian;

A mi Papa Gil y a mi Mama Olga;

A mis hermanos, Prieto, Güigüi, Bety, Carmenchu, Lupillo, Sabino
y Mauricio;

A los abuelos, Pacho, Quiqui, Miguel y mi Mama Lupe;

A todos mis maestros;

A mis compañeros de la Generación 78 de la hoy Facultad de
Ciencias del Mar de la UAS;

A mis amigos.

A Blanca Argelia, mi mujer;

A mis hijos, Camilo, Ernesto, Cy e Ian;

A mi Papa Gil y a mi Mama Olga;

A mis hermanos, Prieto, Güigüi, Bety, Carmenchu, Lupillo, Sabino
y Mauricio;

A los abuelos, Pacho, Quiqui, Miguel y mi Mama Lupe;

A todos mis maestros;

A mis compañeros de la Generación 78 de la hoy Facultad de
Ciencias del Mar de la UAS;

A mis amigos.

Agradecimientos.

- Al Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo y al Dr. Antonio Peña Díaz, Ex-director y Director del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.
- Al Dr. Emilio Macías Regalado y al Dr. Michel E. Hendrickx, Ex-jefe y Jefe de la Estación "Mazatlán" del ICML, por las facilidades brindadas.
- Al Dr. Emilio Macías Regalado, por su acertada dirección y consejos durante el desarrollo de la tesis.
- A los miembros del comité asesor, el Dr. José Antonio Calderón Pérez, por su apoyo durante la realización del presente trabajo y el Dr. Alberto F. Abreu Grobois, a ambos por las valiosas observaciones en la elaboración y revisión del manuscrito.
- A los demás miembros del comité revisor y del jurado de examen: Dr. Michel E. Hendrickx y Dr. Francisco J. Flores Verdugo, por sus constructivas observaciones en la revisión del manuscrito.
- A los M. en C. Rafael Solís Ibarra y Juan Manuel Audelo Naranjo por sus invaluable críticas al manuscrito.
- Al personal de la Estación "Mazatlán", en particular a los técnicos académicos Humberto Bojorquez Leyva, Raquel Briseño

Dueñas, Ma. de los Angeles Herrera Vega, Arturo Núñez Pasten y Ma. Clara Ramírez Jáuregui, por el apoyo brindado.

-Al Biol. Pesq. Graciano Valenzuela Leyva por la elaboración de los dibujos.

- Al personal técnico y directivo del parque camaronícola de la Fed. de Coop. Pesq. "Guerreros del Sur", especialmente a los Biol. Pesq. Enrique López Bojorquez y Juan Peiro López y Lic. Ramón Lizárraga Bernal, por proporcionar los organismos utilizados en los experimentos.

- Al Capitán Pascual Barajas Flores y a toda la tripulación del B/O "El Puma", por su entusiasta colaboración en la captura de los organismos del mar.

CONTENIDO

RELACION DE FIGURAS.....	iv
RELACION DE TABLAS.....	viii
RESUMEN.....	x
INTRODUCCION.....	1
Antecedentes.....	7
Justificación.....	12
Hipótesis.....	12
OBJETIVOS.....	13
MATERIAL Y METODOS	
Experimento I.....	14
Experimento II.....	14
Experimento III.....	15
Análisis del tracto reproductivo y la cantidad y la calidad de los gametos.....	16
Análisis de los datos.....	18
RESULTADOS	
1. EXPERIMENTO I. CAMARONES DE DIFERENTES HABITATS.....	19
1.1 Camarones de granja.....	19
1.2 Camarones del mar.....	21
1.3 Camarones de granja vs. camarones del mar.....	27
2. EXPERIMENTO II. CARACTERISTICAS DEL ESPERMATOFORO Y SU RELACION CON LA MUDA.....	29
2.1 Peso del espermátóforo.....	31
2.2 Número de espermatozoides.....	31
2.3 Calidad de los espermatozoides.....	34

2.4	Tiempo de regeneración del espermatóforo.....	34
2.5	Cambios en el espermatóforo "nuevo" respecto al "viejo".....	36
2.5.1	Peso del espermatóforo.....	36
2.5.2	Número de espermatozoides.....	38
2.5.3	Calidad de los espermatozoides.....	38
3.	EXPERIMENTO III. CARACTERISTICAS DEL TRACTO REPRODUCTIVO Y SU RELACION CON LA MUDA.....	44
3.1	Peso del tracto reproductivo.....	44
3.1.1	Testículos.....	45
3.1.2	Ampollas terminales y espermatóforos....	45
3.1.3	Vasos deferentes.....	46
	a) Parte proximal.....	52
	b) Parte media.....	52
	c) Parte distal.....	52
3.2	PESO DEL TRACTO REPRODUCTIVO Y SU RELACION CON LA MUDA.....	55
3.2.1	Testículos.....	55
3.2.2	Ampollas terminales y espermatóforos....	56
3.2.3	Vasos deferentes.....	57
	a) Parte proximal.....	63
	b) Parte media.....	63
	c) Parte distal.....	63
3.3	DESARROLLO DE LAS CELULAS ESPERMATOGENICAS.....	66
3.3.1	Testículos.....	66
3.4	NUMERO DE ESPERMATOZOIDEOS EN EL TRACTO	

REPRODUCTIVO.....	70
3.4.1 Espermatóforos.....	70
3.4.2 Vasos deferentes.....	70
a) Parte proximal.....	74
b) Parte media.....	74
- Parte media proximal.....	76
- Parte media distal.....	76
c) Parte distal.....	76
3.5 NUMERO DE ESPERMATOZOIDES EN EL TRACTO REPRODUCTIVO Y MUDA.....	79
3.5.1 Espermatóforos.....	80
3.5.2 Vasos deferentes.....	80
a) Parte proximal.....	84
b) Parte media.....	84
- Parte media proximal.....	84
- Parte media distal.....	86
c) Parte distal.....	86
3.6 ESPERMATOZOIDES NORMALES EN EL TRACTO REPRODUCTIVO.....	90
3.7 ESPERMATOZOIDES NORMALES EN EL TRACTO REPRODUCTIVO Y MUDA.....	90
3.7.1 Espermatóforos.....	90
3.7.2 Vasos deferentes.....	90
DISCUSION.....	99
CONCLUSIONES.....	118
LITERATURA CITADA.....	122

RELACION DE FIGURAS.

Fig. 1. Localización del tracto reproductivo masculino de los camarones del género <i>Penaeus</i>	3
Fig. 2. Sistema reproductivo de <i>Penaeus vannamei</i>	5
Fig. 3. Espermatozoides normales (A) y anormales (B) de <i>Penaeus vannamei</i>	6
Fig. 4. Corte transversal de la ampolla terminal de <i>Penaeus vannamei</i>	10
Fig. 5. Peso de los espermatóforos en relación al peso de los organismos colectados en granja (A) y en el mar(B).....	24
Fig. 6. Número de espermatozoides en relación al peso de los organismos colectados en granja (A) y en el mar (B).....	25
Fig. 7. Número de espermatozoides en relación al peso de los espermatóforos de los organismos colectados en granja (A) y en el mar (B).....	26
Fig. 8. Frecuencia del porcentaje de espermatozoides normales (A) y tipos de anomalía observados (B) en organismos de granja y de mar.....	28
Fig. 9. Peso (A) e incrementos del peso (B) de los espermatóforos obtenidos en diferentes tiempos después de la muda, en relación al día 0.....	33
Fig. 10. Número total y porcentaje promedio de espermatozoides en diferentes tiempos después de la muda.....	35
Fig. 11. Porcentaje de espermatozoides normales en diferentes tiempos después de la muda.....	35
Fig. 12. Tiempo de reposición de los espermatóforos, expulsados en diferentes etapas del ciclo de muda.....	37
Fig. 13. Peso, número total y porcentaje de espermatozoides normales en los espermatóforos expulsados antes y después de la muda.....	40
Fig. 14. Peso (A), número total (B) y porcentaje de espermatozoides normales (C) en los espermatóforos expulsados en diferentes etapas del ciclo de muda antes de la ecdisis y a los 0 días después.....	43

Fig. 15. Peso del tracto reproductivo en relación al peso de los organismos.....	48
Fig. 16. Peso del tracto reproductivo y su distribución en sus tres secciones principales: testículos, vasos deferentes y ampolla terminal.....	48
Fig. 17. Peso de los testículos y su relación con el peso de los organismos.....	49
Fig. 18. Peso de las ampollas terminales y su relación con el peso de los organismos.....	50
Fig. 19. Peso de las ampollas terminales y peso y porcentaje del peso de las ampollas terminales, de los espermatóforos.....	50
Fig. 20. Peso de los vasos deferentes en relación al peso de los organismos.....	51
Fig. 21. Peso de los vaso deferentes y su distribución en las partes proximal, media y distal.....	54
Fig. 22. Peso del TRC y porcentaje del peso de los organismos, en las diferentes etapas del ciclo de muda.....	59
Fig. 23. Distribución del peso del TRC en las tres etapas del ciclo de muda.....	59
Fig. 24. Peso de los testículos y porcentaje del peso del TRC, en las diferentes etapas del ciclo de muda.....	60
Fig. 25. Peso de las ampollas terminales y porcentaje del peso del TRC (A) y peso de los espermatóforos y porcentaje del peso de las ampollas terminales (B), en el ciclo de muda.....	61
Fig. 26. Peso de los vasos deferentes y porcentaje del peso del TRC, en el ciclo de muda.....	62
Fig. 27. Distribución del peso de los vasos deferentes en las partes proximal y distal, en el ciclo de muda.....	62
Fig. 28. Peso de las partes proximal (A), media (B) y distal (C) de los vasos deferentes, en el ciclo de muda.....	65
Fig. 29. Distribución de las diferentes etapas de desarrollo de los gametos en los testículos.....	69

- Fig. 30. Distribución de las diferentes etapas de desarrollo de los gametos en los testículos, en el ciclo de muda.....69
- Fig. 31. Número total de espermatozoides en el TRC en relación al peso de los organismos.....72
- Fig. 32. Número total de espermatozoides en el TRC en relación a su peso.....72
- Fig. 33. Número total de espermatozoides en el TRC y su distribución en los vasos deferentes y espermatóforo.....73
- Fig. 34. Número de espermatozoides en los vasos deferentes en relación al peso de los organismos.....75
- Fig. 35. Número de espermatozoides en los vasos deferentes en relación a su peso.....75
- Fig. 36. Número de espermatozoides en los vasos deferentes y su distribución en las partes proximal, media y distal.....78
- Fig. 37. Número de espermatozoides en la parte media de los vasos deferentes y su distribución en las partes media proximal y media distal.....78
- Fig. 38. Número de espermatozoides en el TRC (mills. y mills/g), en las diferentes etapas del ciclo de muda.....82
- Fig. 39. Distribución de los espermatozoides en el TRC (vasos deferentes y espermatóforo), en las diferentes etapas del ciclo de muda.....83
- Fig. 40. Número de espermatozoides en los espermatóforos y porcentaje del total en el TRC, en el ciclo de muda.....83
- Fig. 41. Número de espermatozoides en los vasos deferentes y porcentaje del total en TRC, en el ciclo de muda.....85
- Fig. 42. Distribución de los espermatozoides en las partes proximal, media y distal de vasos deferentes, en el ciclo de muda.....85
- Fig. 43. Número de espermatozoides y porcentaje del total en los vasos deferentes en las partes proximal (A), media (B) y distal (C), en el ciclo de muda.....88

- Fig. 44. Número de espermatozoides y porcentaje del total en la parte media de los vasos deferentes en las partes media proximal (A) y media distal (B), en el ciclo de muda.....89
- Fig. 45. Porcentaje de espermatozoides normales en el TRC y su distribución en los vasos deferentes y espermatóforo.....93
- Fig. 46. Porcentaje de espermatozoides normales en el TRC y su distribución en los vasos deferentes y espermatóforo, en las diferentes etapas del ciclo de muda.....93
- Fig. 47. Distribución de espermatozoides normales en las partes proximal, media, media proximal y media distal de los vasos deferentes.....98
- Fig. 48. Distribución de espermatozoides normales en las partes proximal, media, media proximal y media distal de los vasos deferentes, en el ciclo de muda.....98

RELACION DE TABLAS.

Tabla 1. Peso de los organismos y de los espermatóforos, número total y porcentaje de espermatozoides normales obtenidos de los organismos colectados en granja.....	20
Tabla 2. Peso de los organismos y de los espermatóforos, número total y porcentaje de espermatozoides normales obtenidos de los organismos colectados en el mar.....	22
Tabla 3. Cuadro comparativo de algunas de las características reproductivas de los organismos de granja y de mar.....	30
Tabla 4. Valores medios del peso de los espermatóforos, número total y porcentaje de espermatozoides normales y de las diferencias entre estos, obtenidos en diferentes tiempos del ciclo de muda respecto a los 0 ddm.....	32
Tabla 5. Valores medios del peso, número total y porcentaje de espermatozoides normales en los espermatóforos expulsados antes de la muda y a los 0 días después de ésta.....	39
Tabla 6. Valores medios del peso, número total y porcentaje de espermatozoides normales en los espermatóforos expulsados en diferentes etapas del ciclo de muda antes de la ecdisis y a los 0 días después de ésta....	42
Tabla 7. Peso de los organismos, peso y porcentaje del tracto reproductivo, testículos, vasos deferentes y ampollas terminales, incluyendo los espermatóforos.....	47
Tabla 8. Peso de los vasos deferentes y su distribución en peso y porcentaje en las partes proximal, media y distal.....	53
Tabla 9. Valores medios del peso de los organismos, peso y porcentaje del tracto reproductivo, testículos, vasos deferentes, ampollas terminales y espermatóforo, en diferentes etapas del ciclo de muda.....	58
Tabla 10. Valores medios del peso de los vasos deferentes y su distribución en las partes proximal, media y distal, en las diferentes etapas del ciclo de muda.....	64

Tabla 11. Distribución de frecuencias de las etapas de desarrollo de las células espermatogénicas en los testículos.....	67
Tabla 12. Valores medios de la distribución de frecuencias de las etapas de desarrollo de las células espermatogénicas en los testículos, en las diferentes etapas del ciclo de muda.....	68
Tabla 13. Peso de los organismos, número de espermatozoides y porcentaje del tracto reproductivo, vasos deferentes y espermatóforo.....	71
Tabla 14. Número de espermatozoides en los vasos deferentes y su distribución en número y porcentaje en las partes proximal, media y distal, incluyendo las partes proximal y distal de la parte media.....	77
Tabla 15. Valores medios del peso de los organismos, número total de espermatozoides en el tracto reproductivo y número de espermatozoides y porcentaje del total en los vasos deferentes y espermatóforo, en diferentes etapas del ciclo de muda.....	87
Tabla 16. Valores medios del número de espermatozoides en las partes proximal, media, m. proximal, m. distal y distal de los vasos deferentes, en diferentes etapas del ciclo de muda.....	87
Tabla 17. Porcentaje de espermatozoides normales en el tracto reproductivo y su distribución en los vasos deferentes y espermatóforo.	91
Tabla 18. Valores medios del porcentaje promedio de espermatozoides normales en el tracto reproductivo, vasos deferentes y espermatóforo, en diferentes etapas del ciclo de muda.....	92
Tabla 19. Porcentaje de espermatozoides normales en las partes proximal, media, m. proximal y m. distal de los vasos deferentes.....	96
Tabla 20. Valores medios del porcentaje de espermatozoides normales en las partes proximal, media, m. proximal y m. distal de los vasos deferentes, en las diferentes etapas del ciclo de muda.....	97

RESUMEN

Con el fin de estudiar algunos aspectos de la reproducción de machos adultos del camarón blanco *P. vannamei* y su relación con la muda, se compararon algunos parámetros reproductivos (peso del espermatóforo, número total y porcentaje de espermatozoides normales) en relación al hábitat de captura de los organismos (granja y mar); y se estimaron las variaciones de estos mismos parámetros y las de algunas características del tracto reproductivo (peso, número total y porcentaje de espermatozoides normales y el desarrollo de las células espermatogénicas) en el ciclo de muda. El peso de los espermatóforos y el número de espermatozoides fue mayor en los del mar; aunque el porcentaje de espermatozoides normales fue mayor en los de granja. En ambos, las diferencias no fueron significativas entre los espermatóforos izquierdo y derecho. En relación a la muda el peso de los espermatóforos se incrementó desde los 0 ddm hasta un máximo a los 6 ddm de donde decreció hasta un mínimo a los 12 ddm. En cambio, el número total y el porcentaje de espermatozoides normales decrecieron desde un máximo a los 0 ddm hasta un mínimo a los 12 ddm. El tiempo de regeneración de los espermatóforos dependió de la etapa de muda en que se expulsaron, de 12 a 14 días (postmuda); de 6 a 9 días (intermuda); y de 0 a 5 días (premuda). Se observó un incremento significativo en el número y el porcentaje de espermatozoides normales, en los espermatóforos nuevos y los previamente expulsados.

El peso del tracto reproductivo fue de 409.80 ± 19.71 mg, o un 1.15 ± 0.04 % del peso de los organismos. De este, el 41.7% correspondió a las ampollas terminales; el 29.2%, a los vasos deferentes; y el 29.1%, a los testículos. Los espermatóforos representaron un 38.7% del peso de las ampollas terminales. El número de espermatozoides fue de 99.97 ± 8.56 , el 63.9% correspondió a los vasos deferentes y el 36.1%, a los espermatóforos. Del peso de los vasos deferentes, el 90.3% correspondió a la parte media; el 5.6%, a la parte proximal, y el resto a la parte distal. De los espermatozoides, el 83.4 %, a la parte media; 16.5 % a la proximal, y 0.05 % a la parte distal. Durante el ciclo de muda hubo cambios significativos en el peso, el número de espermatozoides y su distribución en el tracto reproductivo. En los testículos, durante el ciclo de muda se observaron, simultáneamente, las diversas etapas de desarrollo de las células espermatogénicas.

INTRODUCCION.

En el contexto mundial, el cultivo de camarones peneidos ha evolucionado desde la obtención de postlarvas en el medio silvestre, la captura de hembras maduras para su posterior desove en laboratorio y el cultivo de larvas, hasta la maduración de hembras en condiciones de cautiverio. De hecho, la dificultad de cerrar el ciclo de vida de éstos, ha sido uno de los mayores obstáculos para el establecimiento de la camaronicultura como industria (Chamberlain y Gervais, 1984).

De acuerdo con Bray y Lawrence (1992), la reproducción en cautiverio (e.g. maduración-cópula-desove-producción de nauplios) se ha logrado en alrededor de 21 especies del género *Penaeus* Fabricius, 1798. El control de la reproducción en cautiverio es un aspecto crítico para el éxito de la industria camaronícola debido a que garantiza el suministro de postlarvas de una especie conocida, para su crecimiento. Entre las especies que se reproducen en cautiverio, ocho de estas tienen una importancia significativa en acuicultura, entre las cuales se incluye al camarón blanco *Penaeus vannamei* Boone 1931 (Rosenberry, 1989).

Aunque la mayor parte de las investigaciones referentes al desarrollo de tecnología para inducir la maduración y reproducción de camarones del género *Penaeus* se han enfocado principalmente sobre las hembras, existen evidencias de que los problemas reproductivos de los machos han sido, en ocasiones, responsables de algunos fracasos en la reproducción en cautiverio de diversas especies de peneidos (Leung-Trujillo y Lawrence, 1987). Tales

problemas relacionados con la viabilidad de los machos y transferencia de espermatóforo (cópula) no han sido completamente explicados (Beard y Wickins, 1980; Kelemec y Smith, 1980). Entre las causas de baja incidencia de cópulas exitosas, se sugieren: tamaño insuficiente de los tanques de maduración (Primavera, 1980, 1984); infección de la ampolla terminal con *Vibrio sp.* y espermatóforos cerrados (Brown et al., 1980); condición anormal de los vasos deferentes (Chamberlain y Gervais, 1984), y condiciones ambientales impropias (Laubier-Bonichon y Ponticelli, 1981). Además, en los camarones peneidos del subgénero *Litopenaeus*, o de tético abierto (e.g. el camarón blanco, *Penaeus (L) vannamei* y el camarón azul, *Penaeus (L) stylirostris* Stimpson, 1871), la tasa de fertilización natural en cautiverio es baja (Aquacop y Patrois, 1990).

De acuerdo con King (1948), el sistema reproductivo masculino de los camarones del género *Penaeus* consta de testículos, vasos deferentes, y petasma. Los testículos se localizan en el cefalotorax, entre el estómago y la región cardíaca, y por su parte posterior se unen a los vasos deferentes los que descienden y se abren al exterior a través del gonoporo situado en la base del quinto par de pereiópodos (Fig. 1). Los testículos de *P. vannamei* consisten en ocho pares de lóbulos (Pérez-Farfante, 1975), unidos entre sí por un túbulo colector de esperma que en el margen posterior une a los testículos con los vasos deferentes. Cada vaso deferente se subdivide en cuatro regiones distintas: (1) una porción proximal angosta; (2) una porción media, más gruesa, la

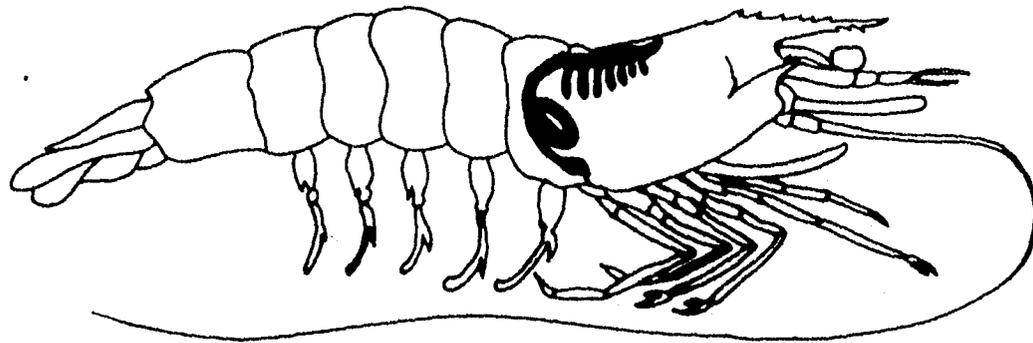


Fig. 1. Localización del tracto reproductivo masculino de los camarones del género *Penaeus* (modificado de Bell y Lightner, 1988).

cual se estrecha posteriormente para formar (3) una porción distal relativamente larga y angosta, terminando en (4) una región muscular notablemente dilatada, el ducto eyaculatorio o ampolla terminal, en donde se aloja el espermatóforo, un receptáculo en el cual se transporta el esperma del macho a la hembra (King, 1948) (Fig. 2). Al momento de la expulsión (cópula), los dos espermatóforos, uno de cada ampolla terminal, se fusionan longitudinalmente a lo que se le conoce como espermatóforo compuesto o simplemente espermatóforo.

El tamaño de los espermatóforos es de 5-7 mm de longitud, y su estructura es un tanto variable, especialmente entre los miembros del subgénero *Litopenaeus* y los demás subgéneros (Bray y Lawrence, 1991).

Los espermatozoides están contenidos dentro del espermatóforo en un medio ligeramente grisáceo o lechoso. Son no móviles y de forma esférica con una cola en forma de pico que se extiende de la porción esférica hacia fuera (King, 1948) (Fig. 3A). Trujillo (1990) encontró una correlación positiva entre el número de espermatozoides y el peso total de los machos *Penaeus setiferus* (L.), 1761. En cada espermatóforo compuesto de machos adultos 35 g, de esta especie, puede haber hasta 70 millones de espermatozoides.

El petasma es una estructura especializada que se localiza en el primer par de pleopodos que, al parecer, se utiliza en la transferencia del espermatóforo del macho a la hembra (King, 1948).

Por otra parte, en los crustáceos, muda y reproducción son los eventos metabólicos que involucran la mayor movilización cíclica de

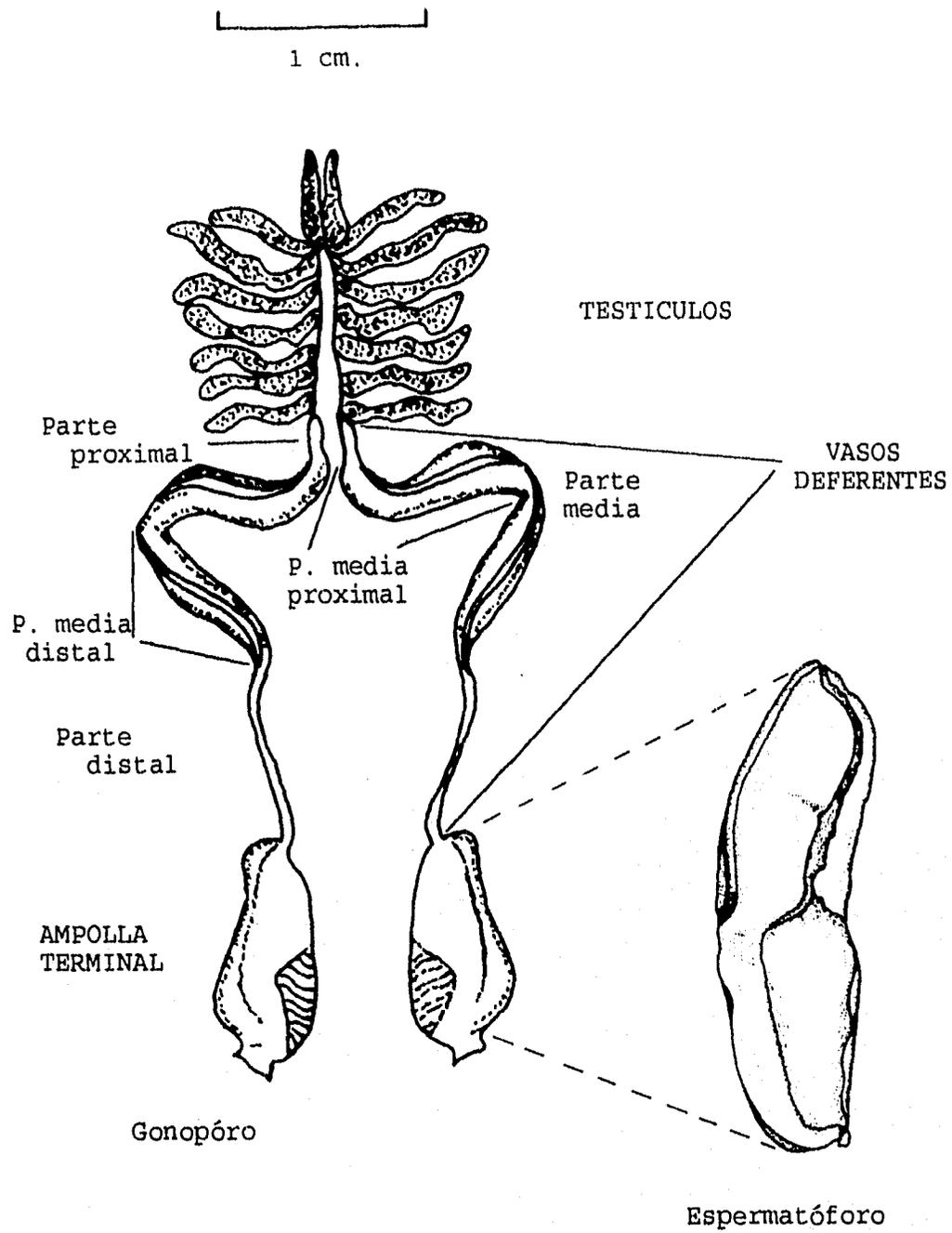


Fig. 2. Tracto reproductivo de *Penaeus vannamei* (proyección del espermatóforo tomada de Pérez Farfante, 1975).

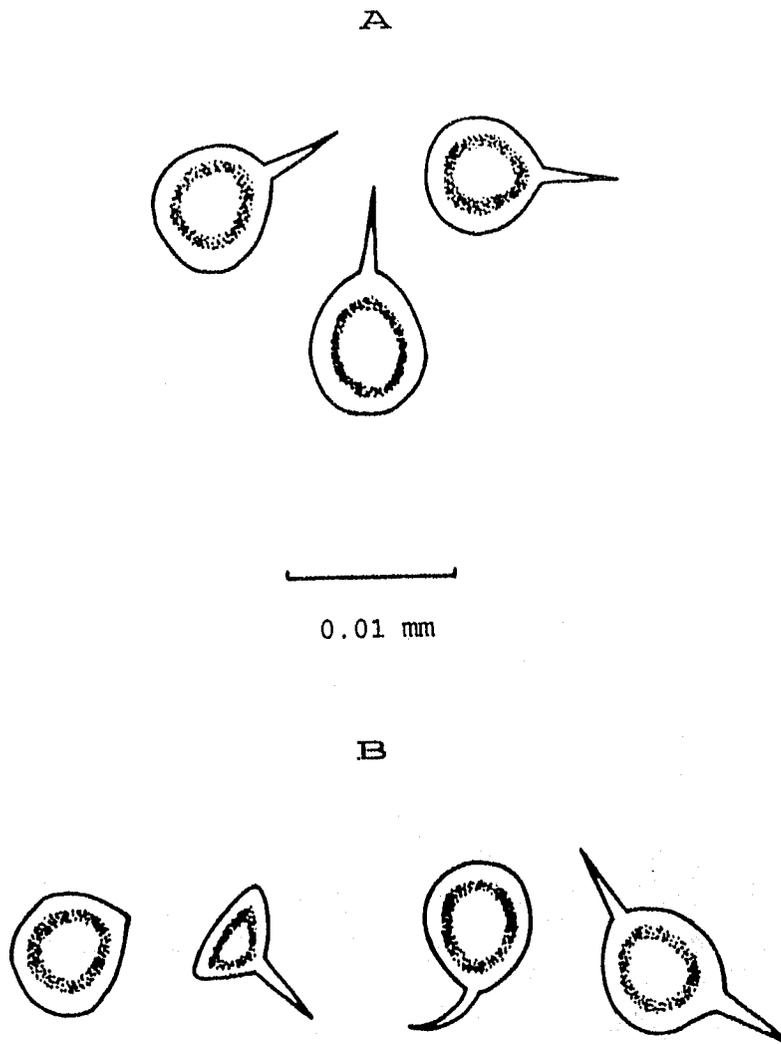


Fig. 3. Espermatozoides normales (A) y anormales (B) de *Penaeus vannamei*.

reservas orgánicas hacia la epidermis y la gónada y, aunque temporalmente separadas, son funciones notablemente integradas (Adiyodi y Adiyodi, 1970). Aunque existe un antagonismo entre el crecimiento somático y el desarrollo reproductivo (Highnam y Hill, 1977), hay evidencias de que la hormona de la muda es precursora de las etapas iniciales de la maduración de gónadas (Arvy et al., 1954; Démeusy, 1962).

La relación entre la muda y los ciclos reproductivos es particularmente obvia en el caso de hembras adultas de decápodos, en las cuales las actividades reproductivas (i. e. desarrollo de ovarios y desove) alcanzan un máximo durante la etapa de intermuda (Adiyodi y Adiyodi, 1970).

Antecedentes.

En lo que concierne a la reproducción en machos de camarones del género *Penaeus*, han sido estudiados aspectos tan diversos como la estructura y función del tracto reproductivo, los procesos de la espermatogénesis, la formación y deterioración del espermátforo y la cantidad y calidad de los espermatozoides. Sin embargo, la información acerca de la relación del ciclo de muda con tales aspectos, es escasa.

King (1948), Pérez-Farfante (1975) y Motoh (1979), basándose en observaciones macroscópicas y microscópicas de las gónadas y de los órganos accesorios en individuos de ambos sexos, describieron los órganos reproductivos de *Penaeus setiferus* (L), 1761, y de las especies americanas de camarón blanco del subgénero *Litopenaeus*; y

Penaeus monodon Fabricius, 1798, respectivamente; Champion (1987) y Ro et al. (1988) describieron la anatomía funcional del sistema reproductivo de machos de *Penaeus indicus* Milne-Edwards, 1837 y *P. setiferus*.

De manera general, el proceso de la producción de esperma en camarones peneidos consiste en espermatogénesis y formación del espermátóforo. De acuerdo con Lo et al. (1973) la espermatogénesis es un proceso sincrónico que inicia en la periferia de los túbulos de los testículos en donde se agrupan las espermatogonias, las que después de una serie de divisiones mitóticas y meióticas dan origen a los espermátocitos, espermátidas y finalmente a los espermatozoides. Sin embargo, King (1948), Talbot et al. (1989) y Chow et al. (1991b) coinciden en que la espermatogénesis es un proceso continuo, aunque Talbot et al. (1989) sugieren que las condiciones de cautiverio podría interferir en el sincronismo propuesto por Lo et al. (1973).

El desarrollo de los espermatozoides de completa en la parte proximal de los vasos deferentes (Chow et al., 1991b). La formación del espermátóforo ocurre en la parte media de los vasos deferentes la cual consiste de dos ductos, el espermatófórico y el accesorio, independientes y paralelos entre si. En la parte media proximal se forman la capa primaria del espermátóforo, secretadas por las células del ducto espermatófórico, y dos capas accesorias, secretadas en el ducto accesorio. En la parte media distal, donde convergen el ducto espermatófórico y el accesorio, se forma una capa secundaria del espermátóforo y se depositan otras matrices

(Malek y Bawab, 1974a, 1974b; Ro et al., 1990 y Chow et al., 1991a). La ausencia de material espermatofórico en la parte distal de los vasos deferentes parece indicar que el paso de este material de la parte media a la ampolla terminal es discontinuo (Chow et al., 1991a).

Finalmente, en la ampolla terminal ocurren la organización de los componentes y la maduración y depositación de nuevas matrices (i.e. alas y material adhesivo) del espermatóforo (Chow et al., 1991a) (Fig. 4). El tamaño mínimo de machos de *P. vannamei* en los que se han observado espermatóforos desarrollados es de 12.5 g (Ogle, 1992).

Los espermatóforos ya maduros en la ampolla terminal están sujetos a un proceso de deterioración (Alfaro y Lozano, 1993), el cual es predecible en organismos en cautiverio (Leung-Trujillo y Lawrence, 1987) pero no necesariamente asociado a infecciones bacterianas (Talbot et al., 1989). Dicha deterioración puede reflejarse en la calidad reproductiva por el incremento de espermatozoides anormales (i.e. ausencia de pico, forma irregular y pico torcido o doble) (Talbot et al., 1989) (Fig. 3B). Tales espermatozoides pueden no ser aptos para la fertilización de los óvulos (Motoh, 1981), ya que de acuerdo con Clark et al. (1981), el pico de los espermatozoides de *Sicyonia ingentis* es requerido para la orientación de los mismos y la penetración del óvulo.

De acuerdo con Pratoomchat et al. (1993) y Alfaro y Lozano (1993), la expulsión manual y/o la cópula renuevan la calidad de los espermatóforos y retardan su deterioración.

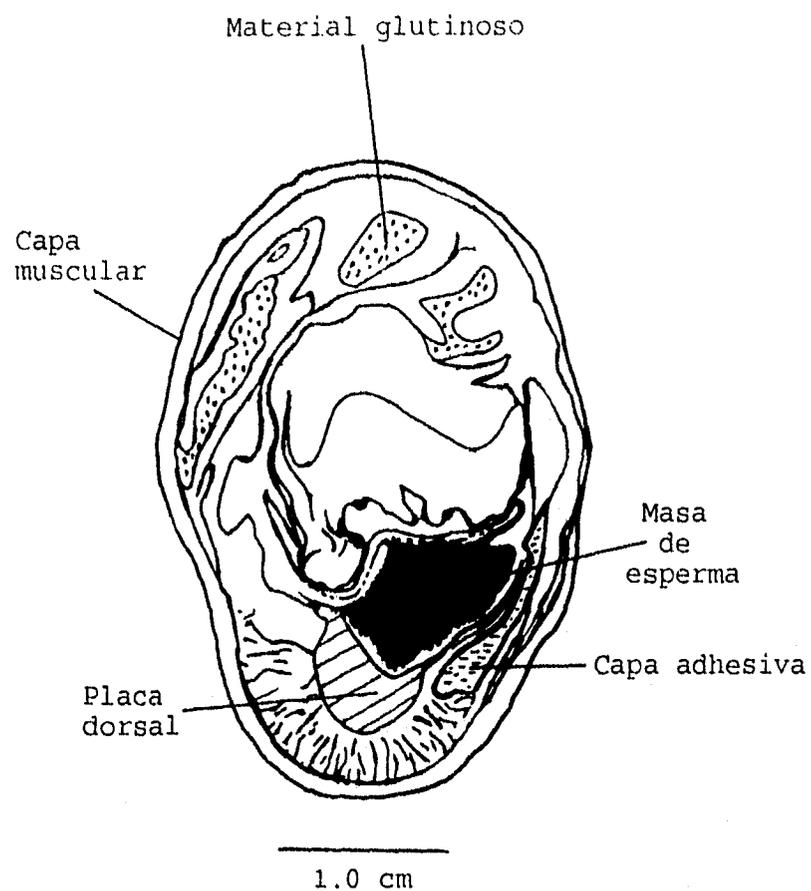


Fig. 4. Corte transversal de la ampolla terminal de *Penaeus vannamei* (modificado de Chow et al., 1991).

El tiempo requerido para la reposición del espermátforo en la ampolla terminal, es de 7 a 13 días (Lin y Ting, 1986; Leung-Trujillo y Lawrence, 1987; Salvador et al., 1988; Alfaro, 1993 y Pratoomchat et al., 1993).

Los estudios realizados sobre la relación entre muda y reproducción en peneidos son escasos. Browdy y Samocha (1985) y Rendón-Rodríguez (1994) encontraron una relación estrecha de la muda con el desarrollo de ovarios y desove en hembras ablacionadas de *Penaeus semisulcatus* de Haan, 1844 y *P. stylirostris*, respectivamente. Heitzmann et al. (1993) observaron una dependencia en la regeneración del espermátforo relacionada con el ciclo de muda en machos de *P. vannamei*.

Justificación.

Dado el crecimiento de la camaronicultura es importante desarrollar investigaciones tendientes a incrementar el conocimiento sobre aspectos relacionados con la reproducción de las especies de peneidos.

Entre los aspectos que han sido poco estudiados destacan: 1) la evaluación comparativa de: a) machos de diferentes hábitats, y b) tallas para ser utilizados como reproductores en las actividades de maduración ligadas a la producción de postlarvas; 2) la influencia del proceso de muda sobre a) la calidad de los espermatóforos; b) la disponibilidad de espermatozoides; y c) el proceso de producción de esperma en el tracto reproductivo masculino.

Hipótesis.

1. La cantidad y calidad de los espermatozoides de machos adultos de *P. vannamei* presenta variaciones asociadas con:
 - a) el hábitat de captura (granja y mar); y
 - b) el tamaño de los organismos.
2. Durante el ciclo de muda ocurren cambios en:
 - a) los espermatóforos depositados en la ampolla terminal;
 - b) la cantidad y calidad de los espermatozoides; y
 - c) algunas características relacionadas con el proceso de producción de esperma en el tracto reproductivo.

OBJETIVOS.

- 1) Evaluar algunos parámetros reproductivos, tales como el peso de los espermatóforos, número total y porcentaje de espermatozoides normales, de machos adultos de *P. vannamei*, de diferentes hábitats (granja y mar);
- 2) Estimar las variaciones de éstos parámetros con relación a la muda;
- 3) Determinar el tiempo que transcurre entre la expulsión y la regeneración de los espermatóforos y estimar las variaciones en peso, número total y porcentaje de espermatozoides normales, de tales espermatóforos;
- 4) Valorar algunas características, tales como peso, desarrollo de las células espermatogénicas, el número total y porcentaje de espermatozoides normales) del tracto reproductivo de machos adultos de *P. vannamei*;
- 5) Estimar las variaciones de éstas características durante el ciclo de muda; y
- 6) Determinar el período del ciclo de muda, en que los machos de *P. vannamei* son más aptos para la reproducción (particularmente en términos de los parámetros estimados en el inciso 2).

MATERIAL Y METODOS:

Para cumplir con los objetivos planteados, se realizaron tres experimentos utilizando organismos adultos de *P. vannamei*, recolectados en estanques de cultivo y en el mar.

Los primeros se obtuvieron durante la cosecha de uno de los estanques del parque camaronícola de la Federación de Cooperativas "Guerreros del Sur". Para la captura de los organismos del mar se realizaron arrastres cortos (15 min) con una red tipo comercial de 75 pies a una profundidad de 20 m. frente a las desembocaduras de los ríos Presidio y Baluarte durante el desarrollo de la campaña oceanográfica BIOCAPESS VII, a bordo de B/O "El Puma".

Experimento I.

De un total de 86 machos adultos (petasma unido) de camarón blanco (46 de estanques y 40 del mar), con un peso total de entre 15 a 45 g. De cada uno de los ejemplares se obtuvo: a) la longitud cefalotorácica y/o la longitud total (mm); b) el peso (g); c) el estadio de muda de acuerdo a lo descrito por Robertson et al. (1987); y d) la evaluación de cada uno de los espermatóforos, consistente en la obtención del peso de los espermatóforos (mg) y la cantidad y el porcentaje de espermatozoides normales, contenidos en éstos.

Experimento II.

Después de haber extraído y evaluado los dos espermatóforos de 39 organismos, de los recolectados en el mar, se repartieron en

ocho tinas circulares de 0.50 m de diámetro, en una sala de temperatura controlada (28°C); a una salinidad similar a la del mar (alrededor de 34 ppm) y un fotoperíodo natural, aunque con luz artificial, controlado manualmente. Para hacer un seguimiento de cada organismo, estos se marcaron con diferentes cortes en los urópodos según lo descrito por Makinouchi y Primavera (1987).

Posteriormente a la ecdisis de cada organismo, uno de los dos espermátóforos, indistintamente el derecho o el izquierdo, fue extraído y evaluado pocas horas después de la muda (0 ddm). El segundo espermátóforo fue extraído durante el mismo ciclo de muda, a los 2, 3, 6, 9 o 12 días después de la muda (ddm). Al igual que en el experimento anterior, de cada espermátóforo se obtuvo el peso y la cantidad y calidad de los espermatozoides.

En todos los casos la expulsión de los espermátóforos fue manual, aplicando una ligera presión en la base del quinto par de pereiópodos del lado del que se deseara expulsar.

Experimento III.

Un tercer grupo de 22 organismos, recolectados en el mar, con un peso total de 30 a 45 g, inicialmente, fueron tratados de manera similar a los del experimento II. Posteriormente, se extrajo el tracto reproductivo completo en tres diferentes etapas del ciclo de muda: postmuda, intermuda y premuda. De éste se obtuvieron el peso (mg), el número total y el porcentaje de espermatozoides normales

y el de cada una de sus tres secciones principales: testículos, vasos deferentes y ampollas terminales.

Los testículos fueron analizados para determinar la proporción de los estados de desarrollo de los gametos. En los vasos deferentes además se obtuvo el peso de las partes proximal, media y distal y la cantidad y calidad de los espermatozoides contenidos en éstas, incluyendo las partes proximal y distal de la parte media. En las ampollas terminales el peso de éstas conteniendo los espermatóforos, el del espermatóforo y la cantidad y calidad de los espermatozoides.

Durante el desarrollo de los experimentos la dieta se distribuyó en dos raciones diarias a las 09:00 y 17:00 hr, la primera consistió de una mezcla de 50 % de calamar (*Loliguncula* sp. y *Loliolopsis* sp.) y 50 % de camarón pequeño (*Penaeus* sp. y *Trachypenaeus* sp.) fresco congelado; y la segunda de calamar solamente, en una proporción del 10 y 15%, respectivamente; de la biomasa de cada tina. En ambas, después de retirar los restos de alimento y heces. Además se aplicó un recambio diario del 150% del volumen de agua.

Análisis del tracto reproductivo, la cantidad y calidad de los de los espermatozoides y determinación del grado de desarrollo de los gametos.

El peso de los espermatóforos y el del tracto reproductivo se obtuvo por medio de una balanza analítica con una precisión de \pm

0.005 mg.

Los espermatóforos y las diferentes secciones de los vasos deferentes se homogenizaron con un macerador de tejidos de vidrio con paredes rugosas en 3 ml de agua de mar filtrada y esterilizada con UV o en agua de mar artificial de acuerdo a lo descrito por Leung-Trujillo y Lawrence (1987). La suspensión resultante se mezcló varias veces para asegurar su homogeneidad antes de tomar cada muestra. El número de espermatozoides se calculó a partir del promedio del conteo de tres muestras de 0.0001 ml con un hemocitómetro American Optical, utilizando un microscopio compuesto y el objetivo de 40x.

El número total de espermatozoides en el tracto reproductivo se obtuvo a partir de la suma de los espermatozoides contenidos en los vasos deferentes y ampollas terminales.

La calidad de los espermatozoides se estimó mediante la observación directa de los mismos en el hemocitómetro registrando el número de espermatozoides normales (cuerpo esférico y pico recto y alargado) de acuerdo a Talbot et al. (1989) (Fig. 3A) y el número de espermatozoides anormales (malformaciones y pico torcido, ausente, o doble) (Fig. 3B).

Para la determinación del grado de desarrollo de los gametos en los testículos se consideró la proporción de espermatogonias, espermocitos y espermátidas y espermatozoides de apariencia normal.

Análisis de los datos.

Los datos obtenidos en el experimento I de peso de los espermátóforos derecho e izquierdo y el número de espermatozoides y porcentaje de espermatozoides normales, fueron analizados estadísticamente con una prueba de t para muestras independientes ($\alpha = 0.05$). En el Experimento II para analizar los datos de peso del espermátóforo, el número de espermatozoides, y la calidad de los mismos en el día 0 después de la muda en los cinco grupos se aplicó un ANDEVA (F) ($\alpha = 0.05$). En tanto que los datos de los mismos obtenidos en diferentes momentos del ciclo de muda se analizaron con la prueba de t para muestras pareadas. Para el análisis de los datos de peso, número total y porcentaje de espermatozoides normales obtenidos en el Experimento III, se utilizaron la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, ANDEVA (F) y la prueba de comparación múltiple de rangos de Newman-Keuls ($\alpha = 0.05$) (Zar, 1974).

RESULTADOS.

1. EXPERIMENTO I. CAMARONES DE DIFERENTES HABITATS.

1.1 Camarones de Granja.

Los datos de tamaño de los camarones de granja, peso de los espermatóforos derecho e izquierdo, número total y porcentaje de espermatozoides normales contenidos en estos, de los camarones de granja se muestran en la Tabla 1.

El peso de los camarones varió de 15.44 a 28.47 g, $\bar{x} = 21.42 \pm 0.56$ g (\bar{x} = media \pm error estandar). El peso de los espermatóforos varió de 1.7 a 19.5 mg ($\bar{x} = 8.94 \pm 0.51$ mg), lo que representa, en promedio, un 0.042 % del peso de los organismos. Al comparar los pesos de los espermatóforos derecho e izquierdo, la diferencia resultó no significativa ($t = 0.097 < t_{0.05 (2) 90} = 1.987$).

Generalmente, el peso de los espermatóforos (PEsp) se incrementó con el peso total de los organismos (Pt) (Fig. 5A). Al relacionar ambos se encontró una correlación positiva dada por la ecuación de regresión:

$$PEsp \text{ (mg)} = -17.34 + 1.23 (Pt); r^2 = 0.89.$$

El número de espermatozoides contenidos en cada espermatóforo fue de 0.85×10^6 a 11.54×10^6 ($\bar{x} = 3.90 \pm 0.27 \times 10^6$). No hubo diferencia significativa entre el número de espermatozoides de los espermatóforos derecho e izquierdo ($t = 0.019 < t_{0.05 (2) 90} = 1.987$).

El número de espermatozoides (NEsps) se incrementó con el peso de los organismos (Fig. 6A). En este caso, hubo una correlación

Tabla 1. Peso de los organismos y de los espermátóforos, número total y porcentaje de espermatozoides normales obtenidos de los organismos recolectados en granja.

No.	PESO ORGANISMOS (g)	PESO DE LOS ESPERMATOFOROS (mg)		NUMERO DE ESPERMATOZOIDES ($\times 10^4$)		ESPERMATOZOIDES NORMALES (%)	
		Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.
1	17.22	1.8	2.0	0.85	0.88	80.5	82.3
2	15.71	1.9	1.7	0.87	0.86	86.7	81.8
3	15.44	2.1	2.2	0.97	1.04	82.4	86.5
4	17.51	3.3	3.5	1.65	1.83	87.5	85.3
5	18.45	3.6	3.8	1.80	1.88	89.6	88.8
6	17.58	3.9	3.9	1.44	1.39	88.4	88.7
7	18.31	4.3	4.1	1.72	1.65	81.3	85.1
8	19.06	4.4	4.4	1.22	1.26	81.8	85.1
9	19.68	4.4	4.0	2.63	2.89	79.8	87.4
10	16.21	4.7	4.5	1.97	1.79	83.2	81.4
11	19.82	5.1	4.9	2.01	1.92	87.5	85.6
12	16.65	5.2	5.7	1.82	1.76	87.1	84.2
13	16.73	5.4	5.6	1.94	2.01	86.5	87.3
14	19.17	5.7	5.8	1.96	2.10	80.2	84.4
15	17.10	5.7	5.7	1.98	2.06	88.4	85.1
16	17.90	5.8	5.7	2.10	2.08	85.4	86.2
17	18.35	6.0	5.8	2.18	2.22	88.9	85.7
18	18.55	7.1	6.9	3.08	3.03	85.7	87.2
19	18.72	7.2	6.8	2.18	2.04	95.2	94.2
20	17.89	7.5	7.4	4.05	3.96	86.7	90.3
21	20.06	3.0	2.8	2.40	2.35	90.5	86.4
22	20.08	5.9	5.7	2.55	2.49	91.7	86.8
23	20.84	7.2	7.8	3.31	3.42	88.3	91.6
24	21.19	7.7	7.4	3.22	3.19	86.2	85.4
25	22.71	8.7	8.8	3.65	3.83	90.4	92.3
26	21.48	9.2	9.2	3.91	3.74	81.3	84.8
27	22.10	9.3	9.2	3.87	3.76	88.7	91.3
28	23.47	9.7	9.7	3.64	3.92	85.2	87.1
29	23.35	10.1	10.2	3.95	4.01	90.3	87.5
30	21.73	10.4	10.8	4.11	4.30	87.1	90.2
31	22.69	10.5	10.5	4.12	3.98	87.1	83.4
32	23.51	11.3	11.5	4.31	4.48	87.9	84.6
33	24.32	12.0	12.6	4.52	4.70	91.2	93.4
34	23.74	12.0	11.8	4.60	4.56	89.5	91.8
35	24.13	13.1	13.4	4.98	5.01	88.7	86.2
36	24.87	13.4	13.5	4.78	4.83	86.5	83.2
37	27.12	12.9	13.0	4.96	5.05	80.6	83.4
38	25.14	13.9	13.7	6.03	6.11	81.8	83.8
39	27.06	14.3	14.1	6.87	6.62	80.8	84.3
40	25.68	14.5	14.7	6.37	6.43	89.2	86.8
41	26.43	15.8	16.7	5.66	5.61	94.2	92.9
42	26.79	16.2	17.9	8.25	8.18	88.6	93.3
43	26.84	17.4	16.8	8.16	8.28	90.5	86.7
44	27.41	18.7	17.8	10.12	10.01	88.9	84.7
45	28.03	18.9	18.8	11.02	10.93	83.4	87.3
46	28.47	19.5	18.6	11.54	11.29	88.7	88.2
Media	21.42	8.93	8.94	3.90	3.91	86.74	86.96
E.e.	0.56	0.73	0.73	0.38	0.38	0.56	0.48
C.v.	17.79	55.32	55.40	66.76	65.91	4.35	3.75
Mín.	15.44	1.80	1.70	0.85	0.86	79.80	81.40
Máx.	28.47	19.50	18.80	11.54	11.29	95.20	94.20

positiva representada por la ecuación de regresión:

$$\text{NEsps (x } 10^6) = 1.13 * 10^{-4} * (\text{Pt})^{1.361} \quad (r^2 = 0.85).$$

El número de espermatozoides se incrementó con el peso de los espermatóforos (Fig. 7A). Los datos se ajustaron a la ecuación:

$$\text{NEsps (x } 10^6) = 0.439 * (\text{PEsp})^{0.984} \quad (r^2 = 0.90).$$

Finalmente, la proporción de espermatozoides normales fue bastante estable y fluctuó entre 79.8 y 95.2 % ($\bar{x} = 86.5 \pm 0.37$ %). No se encontró una diferencia significativa en el porcentaje de espermatozoides normales entre los espermatóforos derecho e izquierdo ($t = 0.297 < t_{0.05 (2) 90} = 1.987$).

En los camarones de granja, el 75% de los espermatóforos presentaron 80 a 90% de espermatozoides normales. En los demás, el porcentaje de espermatozoides normales observado fue mayor al 90 % (15.2%) o entre 70 y 80% (9.8%) (Fig. 8A). De los cuatro tipos de espermatozoides anormales, los más frecuentes fueron aquellos sin pico (SP; 49.3%) y los de forma irregular (FI; 35.8%). Los más escasos fueron los de pico torcido (PT; 10.2%) y doble pico (DP; 4.7%) (Fig. 8B).

1.2 Camarones del Mar.

La Tabla 2 contiene los datos que se refieren al peso total, peso de los espermatóforos derecho e izquierdo, número total y

Tabla 2. Peso de los organismos y de los espermatóforos, número total y porcentaje de espermatozoides normales obtenidos de los organismos recolectados en el mar.

No.	PESO ORGANISMOS (g)	PESO DE LOS ESPERMATOFOROS (mg)		NUMERO DE ESPERMATOZOIDES ($\times 10^6$)		ESPERMATOZOIDES NORMALES (%)	
		Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.
1	28.15	19.8	12.7	0.86	1.01	33.3	45.8
2	28.26	10.8	9.7	0.94	0.76	27.3	33.3
3	29.54	16.5	16.3	0.87	0.93	28.7	31.2
4	29.87	14.3	13.9	1.43	1.58	47.6	49.5
5	30.17	11.9	12.4	2.36	2.29	39.4	36.5
6	30.73	13.5	13.1	0.75	0.71	31.6	35.6
7	30.84	19.4	19.9	0.67	0.65	30.8	33.7
8	31.03	13.4	13.2	0.05	0.06	14.0	18.0
9	32.47	19.9	23.6	9.21	9.24	87.1	89.4
10	33.15	24.8	24.3	12.05	12.31	83.1	83.5
11	33.38	20.1	22.2	1.91	2.37	33.3	46.3
12	33.38	19.8	20.2	0.19	0.15	33.3	25.0
13	33.82	23.7	23.6	2.61	2.47	57.4	54.3
14	33.94	18.6	18.1	5.63	5.58	70.5	66.2
15	34.03	16.1	14.6	7.81	7.47	87.1	86.3
16	34.43	27.4	29.2	13.76	13.89	82.9	81.8
17	34.63	36.7	36.5	1.86	2.15	47.5	40.9
18	34.77	25.5	22.0	5.48	5.43	91.5	90.6
19	35.03	31.1	30.7	3.95	4.02	65.3	70.3
20	35.47	28.7	28.2	8.13	8.69	74.1	78.9
21	36.05	19.9	19.4	0.28	0.32	18.2	18.8
22	36.30	47.1	52.0	1.78	1.71	78.3	72.0
23	36.38	50.3	46.3	10.83	9.78	70.4	61.9
24	37.01	41.3	40.8	12.34	12.77	81.9	85.1
25	37.73	30.5	26.1	3.24	2.78	68.4	65.9
26	37.80	21.9	21.2	12.21	12.05	76.8	75.7
27	37.82	28.4	27.3	2.17	2.25	77.1	78.8
28	38.22	39.5	40.1	0.98	0.96	33.2	36.4
29	38.53	49.9	41.4	3.38	3.29	61.6	63.8
30	38.95	25.8	23.8	3.13	3.09	88.0	86.7
31	39.95	28.5	28.7	23.27	23.46	79.6	80.0
32	40.19	56.3	55.6	4.12	4.52	56.7	60.7
33	40.40	45.9	44.4	17.41	17.55	87.4	88.5
34	41.24	43.8	44.6	2.81	3.01	49.3	55.3
35	41.39	47.7	43.2	20.67	21.87	81.4	83.2
36	41.95	51.9	52.4	6.37	6.43	68.4	61.8
37	43.46	43.7	49.8	5.21	5.27	81.3	82.6
38	43.86	63.0	80.3	2.44	2.40	83.0	78.9
39	44.04	36.9	38.6	5.39	5.45	83.7	85.8
40	45.56	45.9	43.8	28.97	29.31	79.8	80.5
Media	36.10	30.76	30.61	6.19	6.25	61.76	62.49
E.e.	0.72	2.21	2.42	1.08	1.10	3.67	3.51
C.v.	12.68	45.54	50.11	110.25	110.88	37.56	35.53
Min.	28.15	10.80	9.70	0.05	0.06	14.00	90.60
Máx.	45.56	63.00	80.30	28.97	29.31	91.50	0.55

porcentaje de espermatozoides normales contenidos en estos, de los camarones capturados en el mar.

El peso de los organismos fue de 28.15 a 45.56 g (\bar{x} = 36.10 \pm 0.72 g). El peso de los espermatóforos varió de 9.7 a 80.3 mg (\bar{x} = 30.68 \pm 2.32 mg), lo que representó, en promedio, un 0.085 % del peso de los organismos. El peso de los espermatóforos (PEsp) generalmente se incrementó con el peso total de los organismos (Pt) (Fig. 5B). Al relacionar ambos se obtuvo la ecuación:

$$\text{PEsp (mg)} = 2.57 (\text{Pt}) - 60.04 \quad (r^2 = 0.64).$$

El número de espermatozoides en cada espermatóforo fue de 0.05 x 10⁶ a 29.31 x 10⁶ (\bar{x} = 6.22 \pm 1.09 x 10⁶; C.v. = 156.74). El porcentaje de espermatozoides normales fluctuó entre 14.0 y 91.5 % (\bar{x} = 62.10 \pm 3.56 %; C.v. = 51.27).

El número de espermatozoides en relación al peso total de los organismos fue sumamente variable. Por ejemplo, organismos de entre 38 y 40 g presentaron desde 0.96 x 10⁶ hasta 23.46 x 10⁶ espermatozoides. Por lo tanto no hubo correlación entre estos dos parámetros (Fig. 6B).

Lógicamente, tampoco hubo correlación entre el peso de los espermatóforos y el número de espermatozoides. En espermatóforos de 28.5 y de 39.5 mg, se encontró un total de 23.46 x 10⁶ y 0.96 x 10⁶ espermatozoides, respectivamente (Fig. 7B).

Al comparar los datos de peso, número total y porcentaje de espermatozoides normales de los espermatóforos derecho e izquierdo,

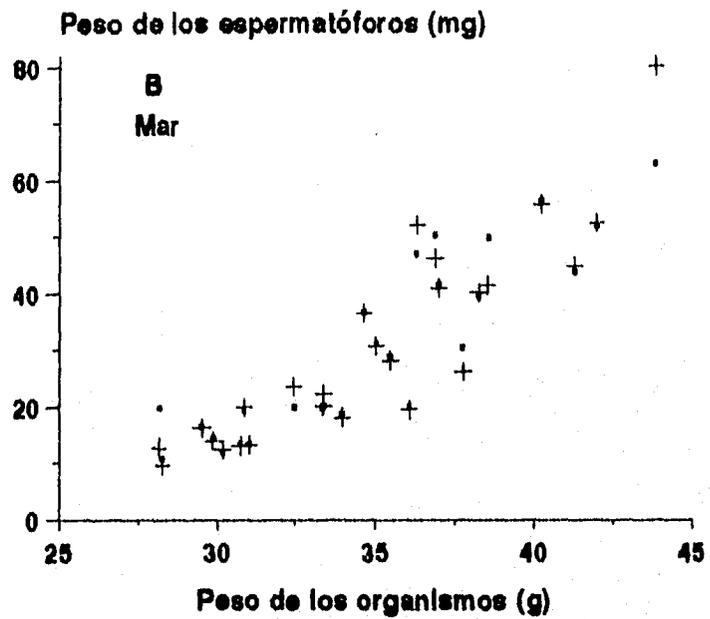
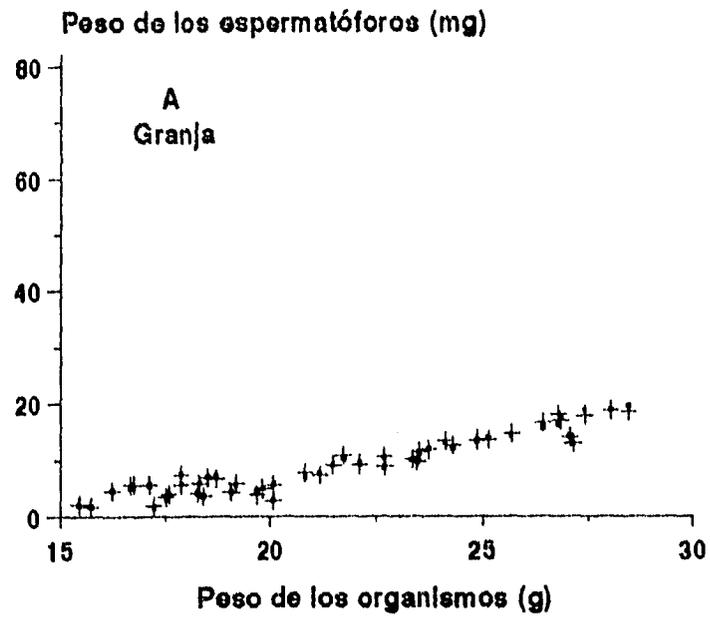


Fig. 5. Relación entre el peso de los espermatozoides y el peso de los organismos de granja y de mar (· espermatozoides izquierdo; + e. derecho).

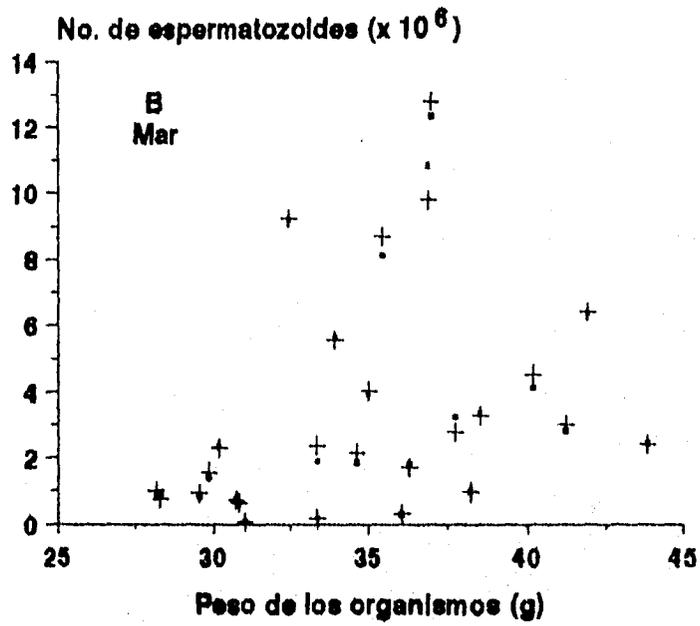
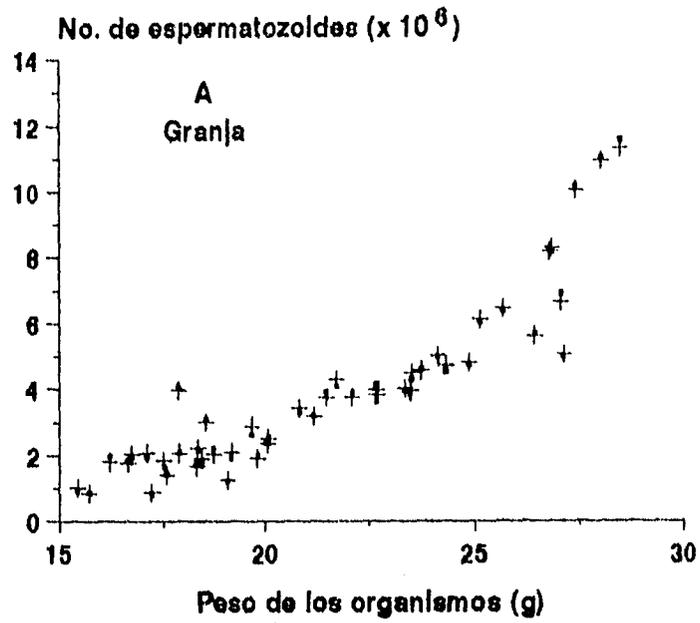


Fig. 6. Relación entre el número de espermatozoides y el peso de los organismos de granja y de mar (· espermátóforo izquierdo; + e. derecho)..

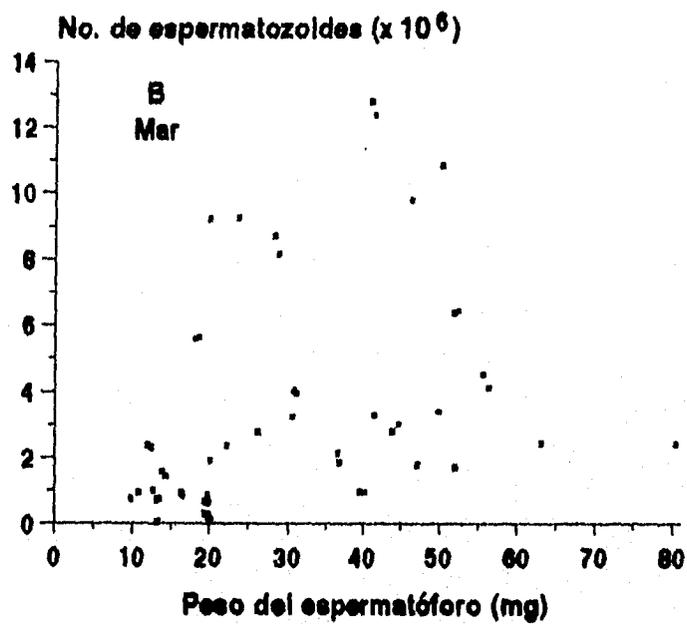
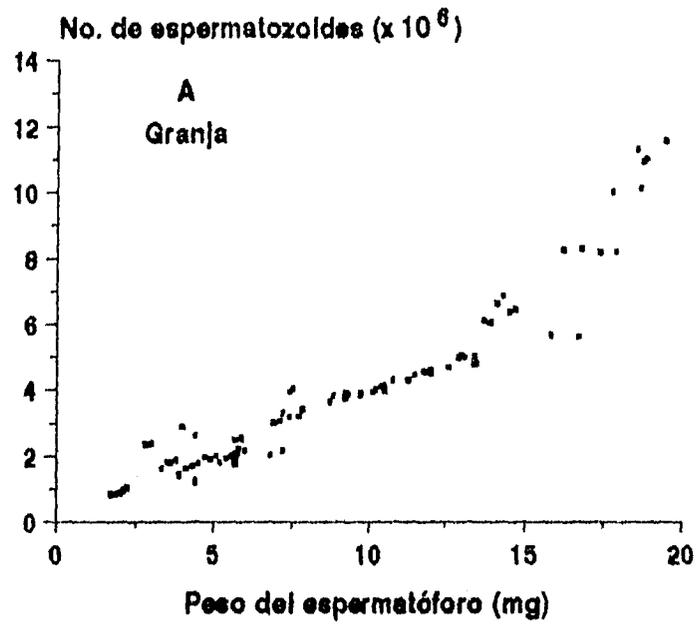


Fig. 7. Relación entre el número de espermatozoides y el peso de los espermátforos de los organismos de granja y de mar.

la diferencia resultó no significativa ($t = 0.046, 0.039, 0.14 \lll t_{0.05(2)78} = 1.991$).

El porcentaje de espermatozoides normales fue variable. En el 23% de los espermatóforos fue de 80 a 90% y solo en un 2.5% fue mayor al 90%. En los demás, se observó entre 10 a 20% (5%) y 70 a 80% (19%) (Fig. 8A). Entre los tipos de anomalías observados los de mayor frecuencia fueron los espermatozoides SP (76.61%), seguidos por los de FI (17.69%). Los más escasos fueron los de PT (4.29) y DP (1.41%) (Fig. 8B).

1.3. Camarones de Granja vs. Camarones de Mar.

Tanto el peso total de los organismos como el peso de los espermatóforos de los camarones recolectados en el mar fue notablemente mayor que los de granja. El peso de los espermatóforos en los camarones del mar representó, en promedio, un 0.085 % del peso total de los organismos, mientras que en los camarones de granja solo un 0.042 %.

El número de espermatozoides también fue mayor, aunque más variable en los del mar ($\bar{x} = 6.22 \times 10^6$; C.v. = 156.74 %) que en los granja ($\bar{x} = 3.90 \times 10^6$; C.v. = 100.84 %). Sin embargo, el promedio del número total de espermatozoides por unidad de peso de los organismos fue ligeramente mayor en los camarones de granja ($0.364 \times 10^6/g$) que en los de mar ($0.345 \times 10^6/g$).

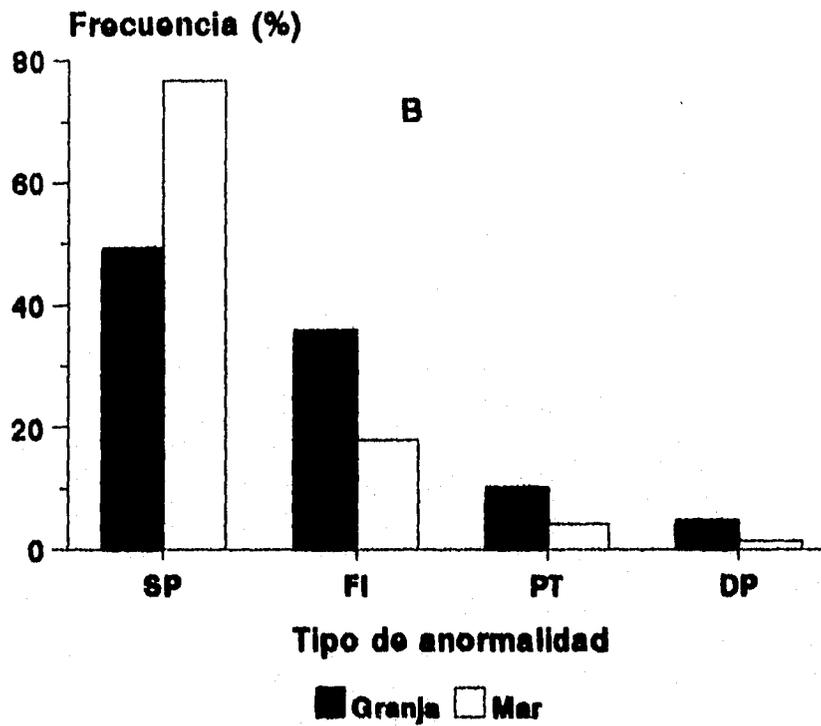
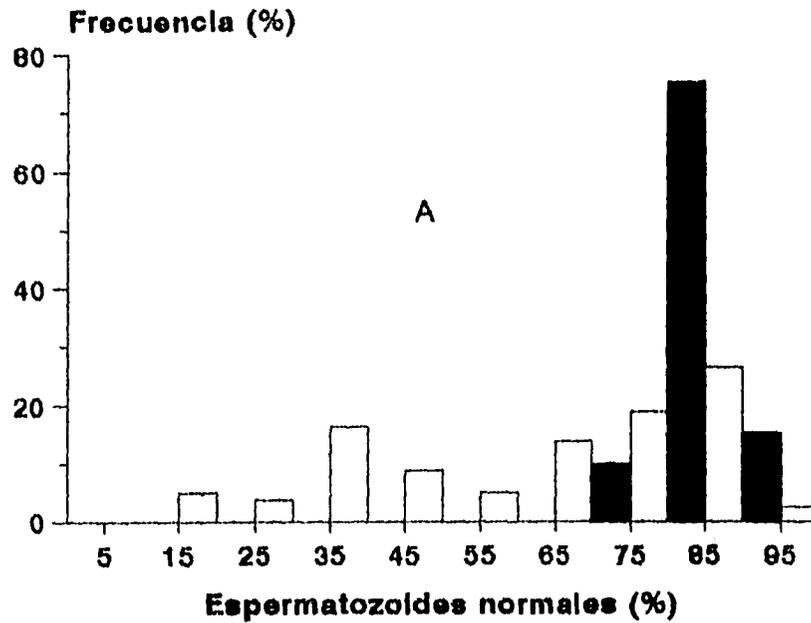


Fig. 8. Frecuencia del porcentaje de espermatozoides normales (A) y de los tipos de anomalías observados en organismos de granja y de mar; sin pico (SP), forma irregular (FI), pico torcido (PT) y doble pico (DP).

El porcentaje de espermatozoides normales resultó mucho mayor y menos variable en los camarones de granja ($\bar{x} = 86.5 \pm 0.37 \%$; C.v. = 6.32) que en los camarones colectados en el mar ($\bar{x} = 62.1 \pm 2.52 \%$; C.v. = 51.27) (Tabla 3).

2. EXPERIMENTO II. CARACTERISTICAS DEL ESPERMATÓFORO Y SU RELACION CON LA MUDA.

Durante los 45 días en los que se desarrolló este experimento la temperatura se mantuvo entre 26.6 y 28.6°C ($\bar{x} = 27.6 \pm 0.5^\circ\text{C}$).

Los parámetros considerados fueron: el peso de los espermátóforos; la cantidad y la calidad de los espermatozoides a los 0, 2, 3, 6, 9 y 12 días después de la muda (ddm); el tiempo de reposición en la ampolla terminal de los espermátóforos expulsados; y los cambios de los mismos, en cuanto a peso, número total y porcentaje de espermatozoides normales, antes y después de la muda.

Al aplicar el ANDEVA entre los cinco grupos "mudales", o grupos de organismos en los que el segundo espermátóforo se expulsó en el mismo número de días después de la ecdisis y por lo tanto en la misma etapa del ciclo de muda (0-2; 0-3; 0-6; 0-9 y 0-12 ddm) no se encontraron diferencias significativas entre los valores iniciales del peso de los espermátóforos ($F = 2.08 < F_{0.05(11), 4, 38} = 2.61$), el número de espermatozoides ($F = 1.68 < F_{0.05(11), 4, 38} = 2.61$) y el porcentaje de espermatozoides normales ($F = 1.20 < F_{0.05(11), 4, 38} = 2.61$) a los 0 ddm.

Tabla 3. Cuadro comparativo de algunas de las características reproductivas de los organismos de granja y de mar.

	GRANJA	MAR
Peso de los organismos		
(g)		
Media	21.42	36.10
E.e.	0.57	0.72
C.v	18.05	12.61
Min.	15.44	28.15
Max.	28.47	45.56
n	46	40
Peso de los espermátóforos		
(mg)		
Media	8.94	30.68
E.e.	0.73	2.32
C.v	78.32	67.64
Min.	1.70	9.70
Max.	19.50	80.30
n	92	80
Peso esp./Peso org.		
	0.042	0.085
No. de espermatozoides		
(x 10 ⁶)		
Media	3.90	6.22
E.e.	0.41	1.09
C.v	100.84	156.74
Min.	0.85	0.05
Max.	11.54	29.31
n	92	80
No. de esp./Peso org.		
(x 10 ⁶)	0.364	0.345
Espermatozoides normales		
(%)		
Media	86.50	62.10
E.e.	0.57	3.56
C.v	6.32	51.27
Min.	79.80	14.00
Max.	95.20	91.50
n	92	80

2.1. Peso del espermatóforo.

El peso de los espermatóforos a lo largo del ciclo de muda fue variable. Los valores mínimos y máximos fueron: 3.80 y 40.10 mg en el inicio; 11.60 y 53.80 mg a los 6 ddm; y 3.80 y 29.90 mg a los 12 ddm. Generalmente, se observó un incremento desde el día 0 (\bar{x} = 11.75 mg) hasta alcanzar un máximo a los 6 ddm (\bar{x} = 28.55 mg). A partir los 6 ddm se observó un decremento hacia el final del ciclo de muda, como lo indican los promedios de las diferencias (d) en el peso del espermatóforo, las cuales fueron positivas a los 2 ddm (d = 3.80), 3 ddm (d = 5.19) y 6 ddm (d = 5.45); y negativas a los 9 ddm (d = -0.97) y 12 ddm (d = -2.16) respecto a los pesos obtenidos a los 0 ddm (Tabla 4, Fig. 9A y 9B).

Estadísticamente, las diferencias resultaron significativas en casi todos los casos: de 0 a 2 ddm ($t = 3.14 > t_{0.05(2)7} = 2.37$); de 0 a 3 ddm ($t = 8.77 > t_{0.05(2)8} = 2.31$); de 0 a 6 ddm ($t = 3.23 > t_{0.05(2)7} = 2.37$); y de 0 a 12 ddm ($t = 2.64 > t_{0.05(2)6} = 2.45$). Entre los 0 y 9 ddm ($t = 2.14 < t_{0.05(2)6} = 2.45$).

2.2. Número de espermatozoides.

Bajo las condiciones experimentales, el número de espermatozoides fue considerablemente mayor en la etapa de postmuda inicial (0 ddm) (i.e. después de algunas horas de haber ocurrido la ecdisis), presentando una declinación hacia el final del ciclo. En promedio, dicha declinación fue de un 20 % a los 2 ddm hasta poco

Tabla 4. Valores medios del peso, número total y porcentaje de espermatozoides normales de los espermátóforos obtenidos a los 0, 2, 3, 6, 9 y 12 dcm, y de las diferencias entre estos respecto a los 0 dcm (* diferencia significativa $t_{0.05(2),6-8}$).

	D I A S D E S P U E S D E L A M U D A									
	0	2	0	3	0	6	0	9	0	12
Peso de los espermátóforos										
	(µg)									
Media	11.75	15.55	22.94	28.13	23.10	28.55	22.67	21.70	16.60	14.44
E.e.	3.48	4.57	4.31	4.70	3.73	4.55	2.59	2.57	4.42	3.62
C.v	83.77	83.12	56.36	50.12	45.67	45.08	30.23	31.33	70.45	66.33
Mín.	5.20	7.90	3.80	6.10	8.90	11.60	4.90	3.20	4.20	3.80
Máx.	36.80	48.90	40.10	46.80	39.80	53.80	26.20	24.80	37.60	29.90
Dif.		3.80*		5.19*		5.45*		-0.97		-2.16*
No. de espermatozoides										
	(x 10 ⁶)									
Media	5.67	5.47	12.61	11.49	9.07	7.62	6.73	4.90	10.14	5.03
E.e.	1.68	1.60	2.47	2.25	1.95	1.80	1.17	1.01	2.40	1.51
C.v	83.81	82.73	58.76	58.75	60.81	66.81	46.00	54.53	62.62	79.43
Mín.	1.71	1.45	2.98	2.30	4.26	2.54	3.65	1.98	2.35	0.76
Máx.	17.85	16.97	25.92	24.76	18.73	16.43	11.99	9.05	17.76	10.24
Dif.		0.20		1.12		1.45*		1.83*		5.11*
Espermatozoides normales										
	(%)									
Media	79.05	78.40	76.16	74.72	78.18	76.68	74.46	52.89	73.96	47.76
E.e.	2.28	2.57	1.33	1.59	2.62	2.82	0.96	1.30	0.90	2.87
C.v	8.16	9.27	5.24	6.38	9.48	10.40	3.41	6.50	3.22	15.90
Mín.	71.60	69.40	71.40	67.90	65.70	63.50	70.90	48.40	71.10	39.70
Máx.	91.50	92.10	86.30	84.60	90.50	90.40	79.30	59.60	79.80	58.80
Dif.		0.65		1.43		1.5		21.57*		23.34*
n	8	8	9	9	8	8	7	7	7	7

Dif: Espermátóforos 2 - 1

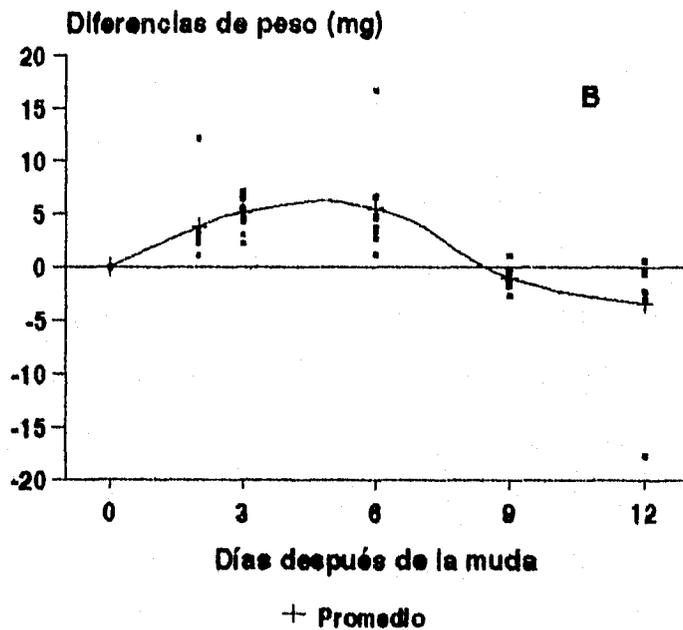
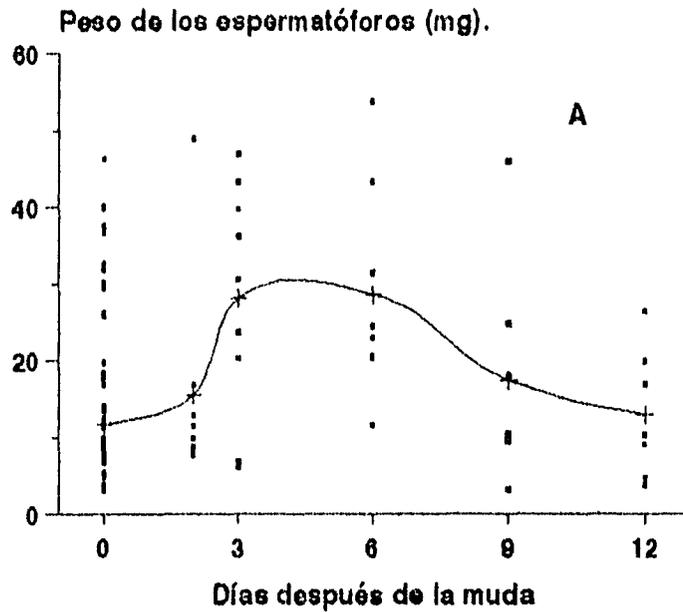


Fig. 9. Peso de los espermatozoides obtenidos a los 0 días después de la muda (espermatozoides 1) y a los 2, 3, 6, 9 y 12 días después de ésta (espermatozoides 2) (A); y diferencias del peso de los espermatozoides 2 - 1 (B).

mas del 70% a los 12 ddm, respecto a los 0 ddm.

Los valores mínimos y máximos fueron de 1.71×10^6 y 25.92×10^6 espermatozoides, a los 0 ddm; y de 0.76×10^6 y 10.24×10^6 espermatozoides, a los 12 ddm (Tabla 4, Fig. 10).

Las diferencias en el número de espermatozoides no fueron estadísticamente significativas entre los 0-2 ddm ($t = 1.65 < t_{0.05(2)7} = 2.37$) y 0-3 ddm ($t = 2.20 < t_{0.05(2)8} = 2.31$). Tales diferencias fueron significativas entre los 0-6 ddm ($t = 6.86 > t_{0.05(2)7} = 2.37$), 0-9 ddm ($t = 5.56 > t_{0.05(2)6} = 2.45$) y 0-12 ddm ($t = 3.39 > t_{0.05(2)6} = 2.45$).

2.3. Calidad de los espermatozoides.

El porcentaje de espermatozoides normales fue mayor en las etapas iniciales del ciclo de muda, a lo largo del cual fue decreciendo desde un máximo de 91.5 % a los 0 ddm, hasta un mínimo de 39.70 % a los 12 ddm (Fig. 11). Sin embargo, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los 0-2 ddm ($t = 1.42 < t_{0.05(2)7} = 2.37$), 0-3 ddm ($t = 2.21 < t_{0.05(2)8} = 2.31$) y 0-6 ddm ($t = 2.11 < t_{0.05(2)7} = 2.37$). Las diferencias solo fueron significativas entre los 0-9 ddm ($t = 4.45 > t_{0.05(2)6} = 2.45$) y 0-12 ddm ($t = 2.60 > t_{0.05(2)6} = 2.45$) (Tabla 4).

2.4. Tiempo de regeneración del espermatóforo.

Después de la expulsión manual de los espermatóforos, el tiempo requerido para que nuevos espermatóforos se alojaran en la ampolla terminal dependió de la etapa, o días antes de la muda, en

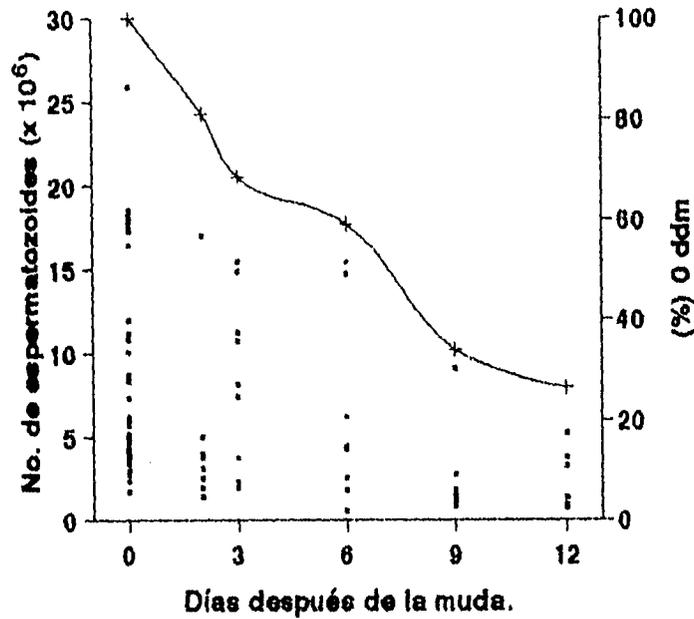


Fig. 10. Número de espermatozoides (·) y porcentaje promedio (+) a los 0, 2, 3, 6, 9 y 12 días después de la muda, respecto al número de espermatozoides a los 0 ddm.

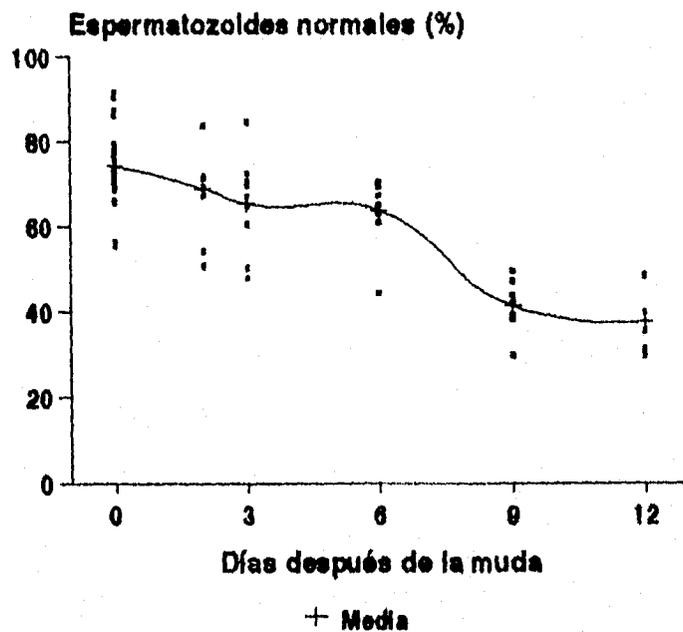


Fig. 11. Porcentaje de espermatozoides normales a los 0, 2, 3, 6, 9 y 12 días después de la muda.

la que se realizara la expulsión, ya que los nuevos espermatozoides siempre aparecieron en la ampolla terminal inmediatamente después de la ecdisis. Cuando la expulsión de los espermatozoides se realizó en la etapa de postmuda inicial (A, 0-1 ddm) el tiempo requerido fue de 12 a 14 días; en la etapa de postmuda final (B, 2-4 ddm), 10 a 12 días; en la etapa de intermuda (C, 5-8 días ddm), 6 a 9 días; en la etapa de premuda inicial (D_i, 9-12 ddm), de 3 a 5 días y en la etapa de premuda final (D_f, 13-15 ddm), de 0 a 2 días (Fig. 12).

2.5. Cambios en el espermatozoides "nuevo" respecto al "viejo".

Los cambios observados en los espermatozoides se refieren a las modificaciones en el peso de los mismos, en la cantidad y calidad de los espermatozoides contenidos en los espermatozoides expulsados antes y después de la muda y en diferentes etapas o días antes de la muda en relación a los 0 días después de la ecdisis próxima inmediata.

2.5.1. Peso del espermatozoides.

Generalmente, se observó un decremento en el peso de los espermatozoides expulsados antes de la muda en relación con los expulsados después de la muda. El peso de los espermatozoides expulsados antes de la muda fue de 7.0 a 60.0 mg (\bar{x} = 25.15 ± 2.88 mg) y en los obtenidos a los 0 días después de la muda varió de 5.0 a 47.0 mg (\bar{x} = 23.15 ± 2.33 mg). El promedio de las diferencias del peso del espermatozoides obtenido antes de la muda menos el peso del

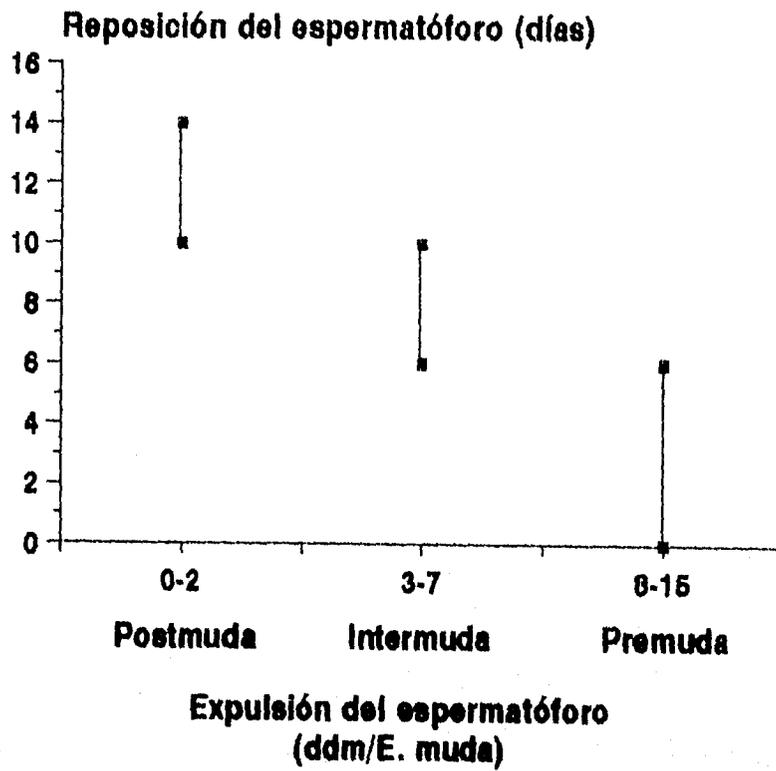


Fig. 12. Tiempo de reposición de los espermatozoidos en la ampolla terminal, en relación al tiempo transcurrido después de la muda (ddm) y/o etapa del ciclo de muda (E. muda), en que se realizó la expulsión.

mismo después de la muda fue de -2.00 mg; sin embargo, tales diferencias resultaron no significativas ($t = 1.86 < t_{0.05(2)19} = 2.093$) (Tabla 5; Fig. 13).

2.5.2. Número de espermatozoides.

El número de espermatozoides contenidos en los espermátóforos obtenidos antes de la muda fue de 0.06×10^6 a 9.78×10^6 ($\bar{x} = 1.83 \pm 0.51 \times 10^6$) y de 2.28×10^6 a 18.37×10^6 ($\bar{x} = 7.83 \pm 0.29 \times 10^6$) en los expulsados después de ésta. El promedio de las diferencias en el número de espermatozoides contenidos en los espermátóforos nuevos y viejos fue de 6.0×10^6 . En este caso, la diferencia fue ($t = 9.17 > t_{0.05(2)19} = 2.093$) (Tabla 5; Fig. 13).

2.5.3. Calidad de los espermatozoides.

La proporción de espermatozoides normales contenidos en los espermátóforos obtenidos antes de la muda fue 39.7 a 78.9 % ($\bar{x} = 60.17 \pm 2.49$ %). En los expulsados después de la muda fue de 71.3 a 90.5 ($\bar{x} = 81.3 \pm 1.42$ %). El promedio de las diferencias entre el porcentaje de espermatozoides normales entre ambos espermátóforos fue de 21.11 %, dicha diferencia resultó estadísticamente significativa ($t = 7.52 > t_{0.05(2)19} = 2.093$) (Tabla 5; Fig. 13).

Por otra parte, cuando se consideró la etapa de muda de los organismos al expulsar los espermátóforos antes de la ecdisis, los promedios de las diferencias entre los pesos arriba mencionados respecto al día 0 después de la ecdisis fueron de -1.86 a -7.50 mg.

Tabla 5. Valores medios del peso, número total y porcentaje de espermatozoides normales de los espermatóforos expulsados antes de la muda y a los 0 días después de ésta (* diferencia significativa $t_{0.05(2)19}$).

	ANTES DE LA MUDA	DESPUES DE LA MUDA
Peso de los espermatóforos		
	(mg)	
Media	25.15	23.15
E.e.	2.88	1.79
C.v.	51.21	34.58
Mín.	7.00	5.00
Máx.	60.00	47.00
Dif.		-2.00
No. de espermatozoides		
	(x 10 ⁶)	
Media	1.83	7.83
E.e.	0.51	0.99
C.v.	124.63	56.54
Mín.	0.06	2.28
Máx.	9.78	18.37
Dif.		6.00*
Espermatozoides normales		
	(%)	
Media	60.17	81.28
E.e.	2.49	1.42
C.v.	18.51	7.81
Mín.	39.70	71.30
Máx.	78.30	90.50
Dif.		21.11*
n	20	20

Dif: Espermatóforo 2-1

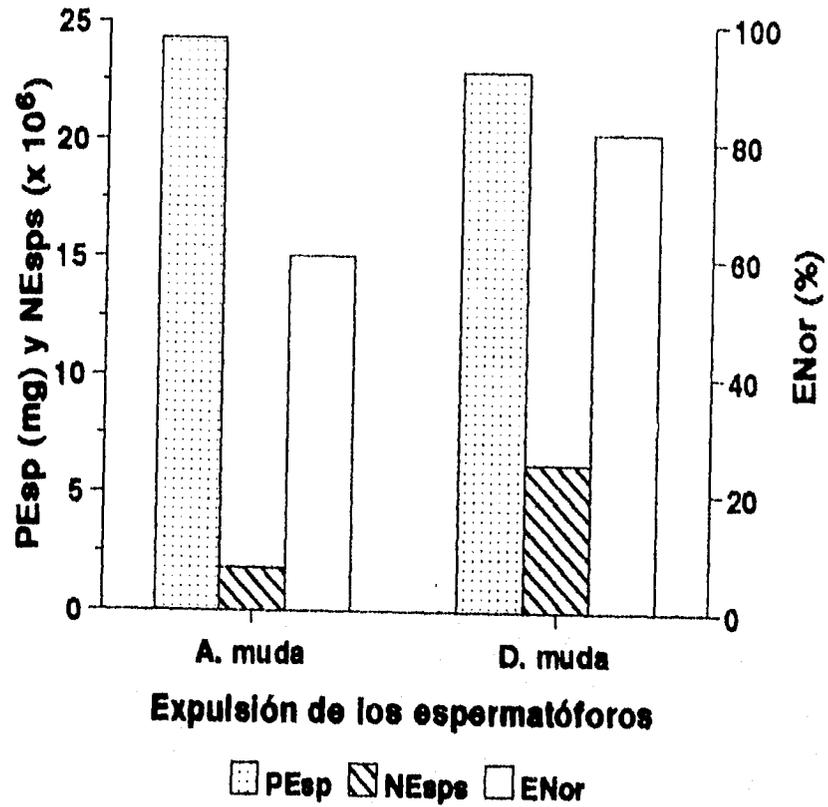


Fig. 13. Peso (PEsp), número total (NEsps) y porcentaje de espermatozoides normales (ENor) en los espermatozoides extraídos antes y después de la muda.

Tales diferencias fueron no significativas cuando la expulsión se realizó durante la etapa de postmuda ($t = 2.41 < t_{0.05(2)6} = 2.447$). En cambio, las diferencias fueron significativas cuando la expulsión se realizó durante las etapas de intermuda ($t = 5.25 > t_{0.05(2)5} = 2.571$) y premuda ($t = 4.50 > t_{0.05(2)6} = 2.447$) (Tabla 6; Fig. 14A).

En cuanto al número de espermatozoides, los promedios de las diferencias entre los espermátóforos expulsados en las diferentes etapas del ciclo de muda antes de la ecdisis y los expulsados en el día 0 después de esta fluctuaron de 4.99×10^6 a 7.36×10^6 . En todos los casos, tales diferencias fueron estadísticamente significativas: en postmuda ($t = 5.61 > t_{0.05(2)6} = 2.447$); intermuda ($t = 6.94 > t_{0.05(2)5} = 2.571$); y premuda ($t = 4.73 > t_{0.05(2)6} = 2.447$) (Tabla 6; Fig. 14B).

Respecto al porcentaje de espermatozoides normales, los promedios de las diferencias entre los espermátóforos expulsados en diferentes etapas antes de la muda y los expulsados a los 0 días después de esta, fueron de 9.27 a 18.84 %. En todos los casos tales diferencias fueron significativas: en postmuda ($t = 5.62 > t_{0.05(2)6} = 2.447$); intermuda ($t = 9.34 > t_{0.05(2)5} = 2.571$); y premuda ($t = 11.34 > t_{0.05(2)6} = 2.447$) (Tabla 6; Fig. 14C).

Tabla 6. Valores medios del peso, número total y porcentaje de espermatozoides normales en los espermátóforos expulsados en diferentes etapas del ciclo de muda antes de la ecdisis y a los 0 días después de ésta (* diferencia significativa $t_{0.05(2)5-6}$).

	EXPULSION DEL ESPERMATOFORO					
	POSTMUDA	0 días	INTERMUDA	0 días	PREMUDA	0 días
Peso de los espermátóforos (mg)						
Media	28.43	26.57	31.50	24.00	16.43	19.00
E.e.	3.47	3.83	7.42	5.89	1.94	2.25
C.v.	32.29	38.14	57.70	60.11	31.24	31.33
Mín.	12.00	10.00	7.00	5.00	8.00	10.00
Máx.	37.00	37.00	60.00	47.00	22.00	25.00
Dif.		-1.86		-7.50*		-2.57*
No. de espermatozoides (x 10 ⁶)						
Media	2.98	10.33	2.41	8.00	0.19	5.18
E.e.	1.16	1.98	0.63	1.43	0.04	1.09
C.v.	102.99	50.71	64.03	43.78	55.70	55.67
Mín.	1.01	4.50	1.27	5.77	0.06	2.28
Máx.	9.78	18.37	5.28	15.02	0.32	9.24
Dif.		7.37*		5.60*		4.99*
Espermatozoides normales (%)						
Media	67.66	76.93	64.30	83.14	49.13	84.03
E.e.	2.59	2.26	1.20	1.42	4.06	2.62
C.v.	10.13	7.77	4.57	4.18	21.86	8.25
Mín.	59.50	71.30	60.20	7.64	39.70	73.80
Máx.	78.90	87.20	67.80	86.40	66.70	90.50
Dif.		9.27*		18.84*		11.34*
n	7	7	6	6	7	7

Dif: Espermátóforo 2-1

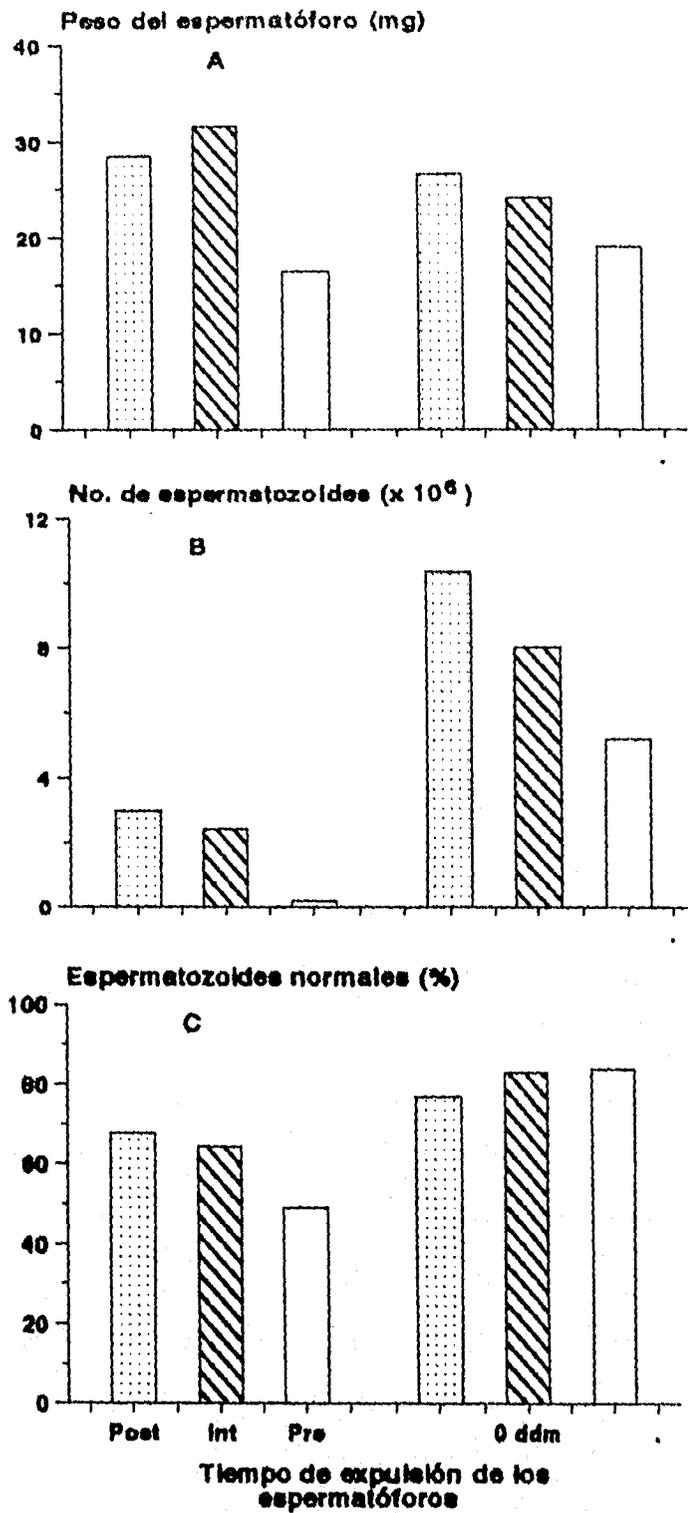


Fig. 14. Peso (A), número total (B) y porcentaje de espermatozoides normales (C) en los espermátforos extraídos durante la etapa de postmuda (Post), intermuda (Int) y premuda (Pre) anterior a la muda y a los 0 días después de ésta (0 ddm).

3. EXPERIMENTO III. CARACTERISTICAS DEL TRACTO REPRODUCTIVO Y SU RELACION CON LA MUDA.

En este experimento se analizó el peso, el desarrollo de las células espermatozógenas, el número total y el porcentaje de espermatozoides normales en el tracto reproductivo masculino completo y en cada una de las tres secciones más representativas del tracto reproductivo (testículos, vasos deferentes y ampolla terminal) en diferentes etapas del ciclo de muda.

El peso de los organismos empleados en este experimento fue de 30.67 a 43.45 g ($\bar{x} = 35.42 \pm 0.57$ g) (Tabla 7). El promedio del peso de los organismos utilizados en las diferentes etapas del ciclo de muda fue de 34.06 ± 0.62 g en postmuda, de 34.46 ± 0.69 g en intermuda y de 38.00 ± 0.97 g en premuda. Al comparar los pesos de los tres grupos, se encontró una diferencia significativa ($F = 8.054 > F_{0.05(11), 21} = 3.522$) entre el peso de los organismos del grupo de premuda respecto al de los otros dos grupos ($q_{0.05, 19, p}$).

3.1 Peso del tracto reproductivo.

El peso total del tracto reproductivo completo (TRC) varió de 287.45 a 633.80 mg ($\bar{x} = 409.80 \pm 19.71$ mg), lo cual representó de 0.91 a 1.46 % ($\bar{x} = 1.15 \pm 0.04$ %) del peso total de los organismos. (Tabla 7). El peso del TRC se incrementó con el peso de los organismos; sin embargo, al relacionar los datos en un gráfico es posible apreciar un cambio ligeramente abrupto en la tendencia alrededor de los 35.0 g (Fig. 15). Entre estos existe una relación

positiva la cual está dada por la ecuación:

$$PTRC \text{ (mg)} = 32.18 \text{ (Pt)} - 730.04; r^2 = 0.87$$

En promedio, la distribución del peso del TRC en sus tres secciones principales fue la siguiente: el $29.1 \pm 0.82 \%$ correspondió a los testículos; $41.7 \pm 0.67 \%$ a las ampollas terminales; y el $29.2 \pm 1.01 \%$ a los vasos deferentes (Fig. 16).

3.1.1 Testículos.

Considerando el total de organismos, el peso de los testículos varió de 73.70 a 209.13 mg ($\bar{x} = 118.92 \pm 6.75$ mg); lo que representó entre 23.1 y 34.4 % ($\bar{x} = 29.1 \pm 0.82 \%$) del peso total del TRC (Tabla 7; Fig. 16).

Como en el TRC, el peso de los testículos aumentó con el peso de los individuos. También en el gráfico de éstos se aprecia, aunque menos evidente, ese ligero cambio en la tendencia a partir de los 35.0 g (Fig. 17). La relación peso de los testículos (Te) v. peso de los organismos (Pt) está dada por la ecuación:

$$PTes \text{ (mg)} = 10.362 \text{ (Pt)} - 248.03; r^2 = 0.75$$

3.1.2 Ampollas terminales y espermatóforos.

El peso de las ampollas terminales varió de 120.04 a 231.22 mg ($\bar{x} = 169.51 \pm 7.05$ mg) lo que representó de 36.3 a 47.7 % ($\bar{x} = 41.7 \pm 0.67 \%$) del peso del TRC (Tabla 7; Fig. 16).

Como en los casos anteriores, el peso de las ampollas terminales (Ats) se incrementó de acuerdo el peso de los organismos (Pt) observándose también el cambio en la tendencia referido en los casos anteriores (Fig. 18). La relación entre ambos está dada por la ecuación:

$$PA_{ts} = 10.226 (Pt) - 192.71; r^2 = 0.69.$$

Los espermátóforos contenidos en éstas pesaron entre 18.32 y 44.74 mg ($\bar{x} = 32.24 \pm 3.32$ mg), que a su vez significó de 23.2 a 56.1 % ($\bar{x} = 38.7 \pm 2.04$ %) del peso de la ampolla terminal (Tabla 7; Fig. 19).

3.1.3 Vasos deferentes.

Considerando el total de los organismos empleados en este experimento, el peso de los vasos deferentes varió de 64.26 a 193.45 mg ($\bar{x} = 121.37 \pm 8.12$ mg); lo que representó entre 21.6 y 40.0 % ($\bar{x} = 29.2 \pm 1.01$ %) del peso total del TRC (Tabla 7; Fig. 16). En éstos, el peso generalmente se incrementó con el peso de los individuos. También se observó un ligero cambio en la tendencia a partir de los 35 g (Fig. 20). El peso de los vasos deferentes (Vds) en relación al peso de los organismos (Pt), está dado por la ecuación:

$$PV_{ds} (mg) = 11.906 (Pt) - 300.62; r^2 = 0.69.$$

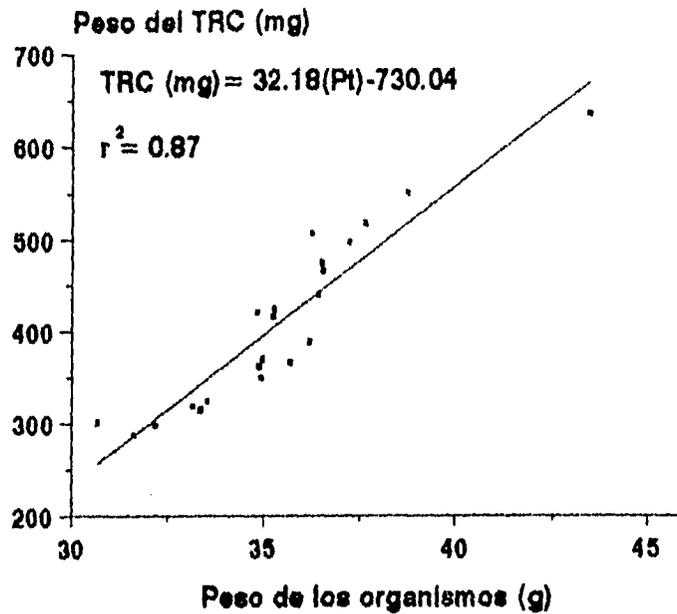


Fig. 15. Relación entre el peso del tracto reproductivo (TRC) y el peso de los organismos (Pt).

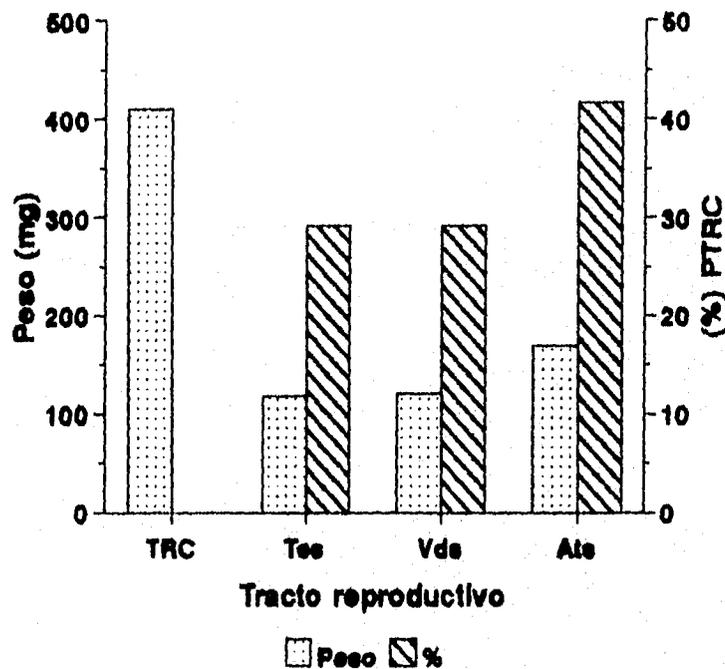


Fig. 16. Peso del tracto reproductivo completo (PTRC) y su distribución (peso y %) en sus tres secciones principales: testículos (Tes), vasos deferentes (Vds) y ampollas terminales (Ats).

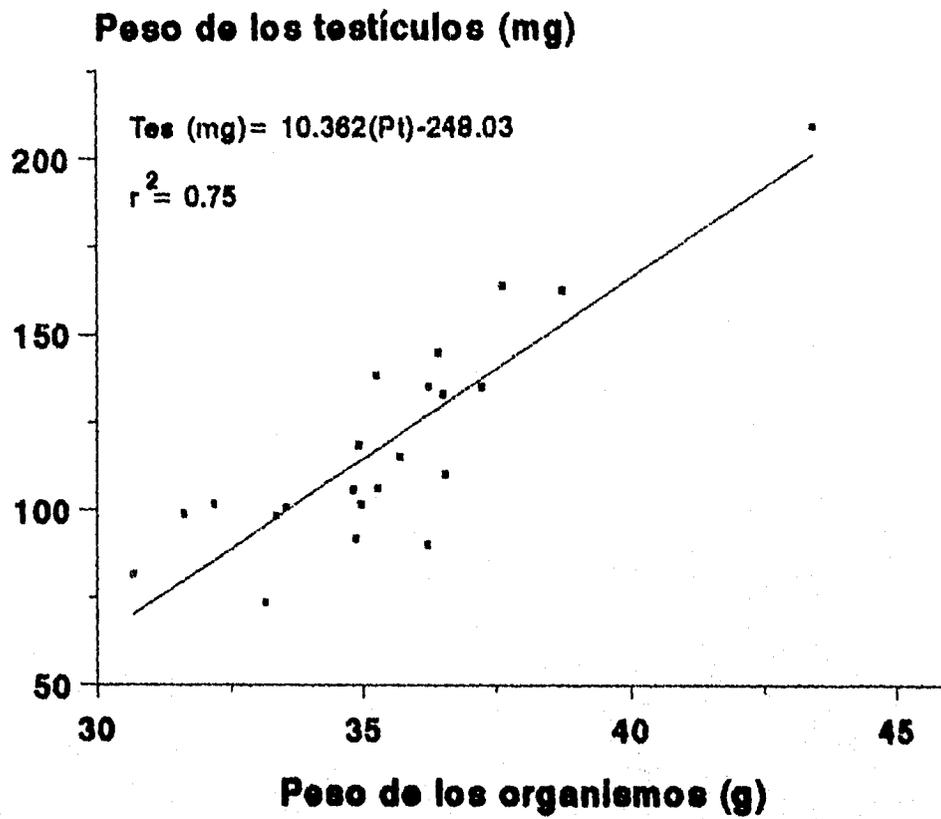


Fig. 17. Relación entre el peso de los testículos (Tes) y el peso de los organismos (Pt).

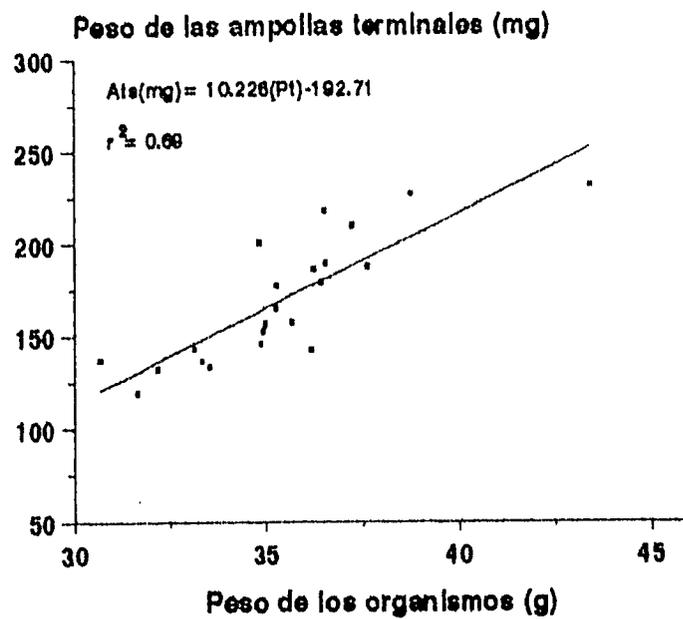


Fig. 18. Relación entre el peso de las ampollas terminales (Ate) y el peso de los organismos (Pt).

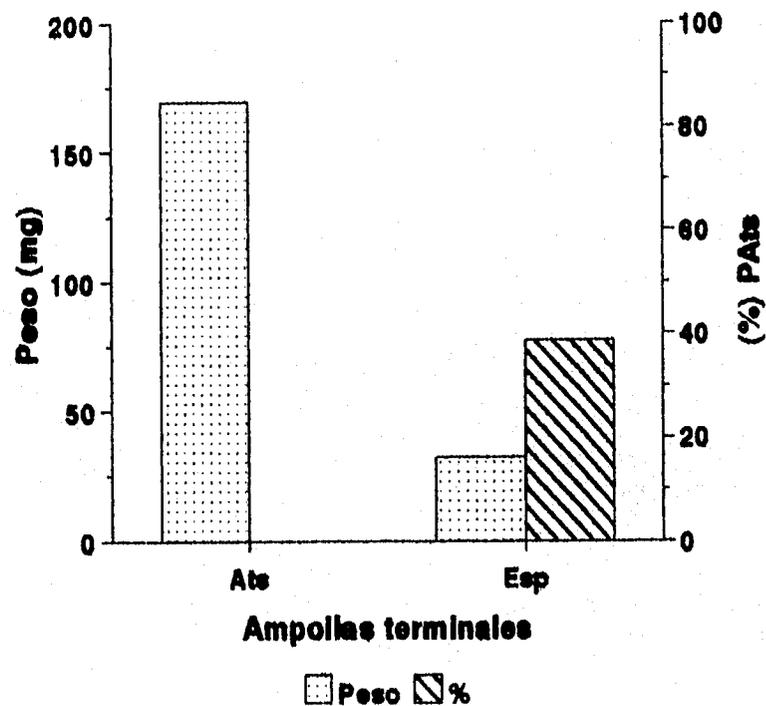


Fig. 19. Peso de las ampollas terminales (Ate), peso de los espermatóforos (Esp) y porcentaje del peso de las ampollas terminales (PAts).

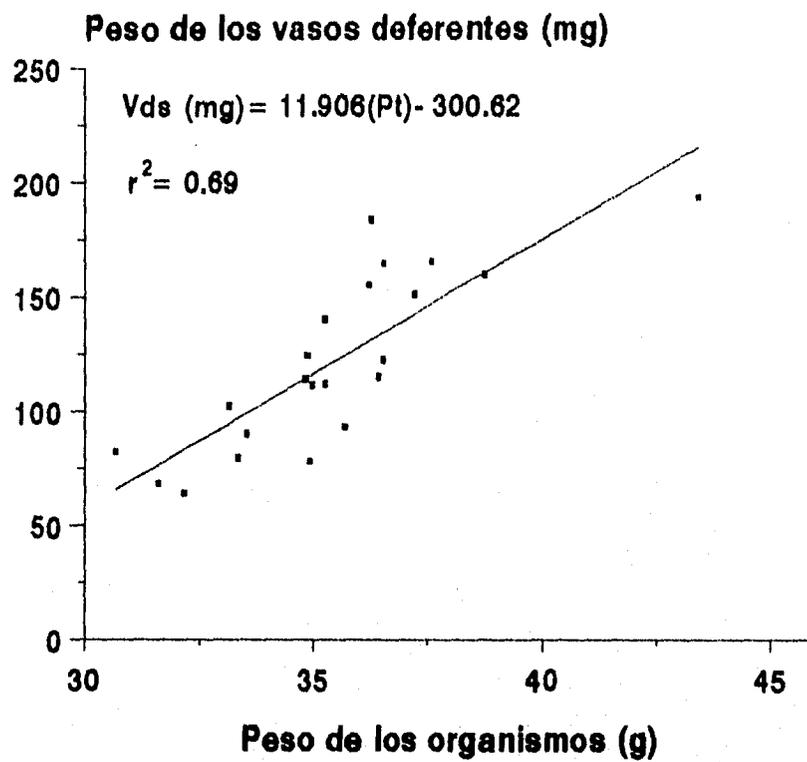


Fig. 20. Relación entre el peso de los vasos deferentes (Vds) y el peso de los organismos (Pt).

En promedio, la distribución del peso de los vasos deferentes en sus tres secciones principales fue la siguiente: el 5.6 ± 0.46 % correspondió a la parte proximal; 90.6 ± 0.85 % a la parte media, y el 3.8 ± 0.27 % restante, a la parte distal (Tabla 8; Fig. 21).

a) Parte proximal.

El peso de la parte proximal de los vasos deferentes fue de 3.57 a 7.94 mg ($\bar{x} = 6.12 \pm 0.27$ mg), lo cual representó de 2.36 a 9.21 % del peso de los vasos deferentes (Tabla 8; Fig. 21).

b) Parte media.

El peso de la parte media de los vasos deferentes fue de 56.66 a 181.85 mg ($\bar{x} = 110.45 \pm 7.99$ mg), lo que representó de 78.2 a 94.8 % ($\bar{x} = 90.25 \pm 0.85$ %) del peso de los vasos deferentes (Tabla 8; Fig. 21).

c) Parte distal.

El peso de la parte distal fue de 1.68 a 7.70 mg ($\bar{x} = 4.42 \pm 0.33$ mg), equivalente a 1.4 y 7.1 % ($\bar{x} = 3.5 \pm 0.27$ %) del peso total de los vasos deferentes (Tabla 8; Fig. 21).

Tabla 8. Peso de los vasos deferentes (Vds) y su distribución en peso y porcentaje en las partes proximal (Pp), media (Pm) y distal (Pd).

ddm	Vds (mg)	Pp (mg)	Pp/Vds (%)	Pm (mg)	Pm/Vds (%)	Pd (mg)	Pd/Vds (%)
0	79.34	6.16	7.76	70.32	88.63	2.86	3.60
0	78.03	6.42	8.23	68.36	87.61	3.25	4.17
0	64.26	5.92	9.21	56.66	88.17	1.68	2.61
0	93.09	7.38	7.93	81.26	78.19	4.45	4.78
1	82.16	6.42	7.81	72.80	88.61	2.94	3.58
1	124.17	4.92	3.96	117.56	94.68	1.73	1.39
1	111.89	6.04	5.40	102.18	91.32	3.68	3.29
2	114.97	4.99	4.34	105.71	91.95	4.27	3.71
2	102.31	4.85	4.74	95.20	93.05	2.28	2.23
3	68.63	6.29	9.17	57.45	83.71	4.89	7.13
4	140.07	7.01	5.00	126.75	90.49	6.31	4.50
5	111.36	7.65	6.87	98.61	88.55	5.10	4.58
5	89.99	7.57	8.41	76.93	85.49	5.49	6.10
6	165.09	7.94	4.81	149.45	90.53	7.70	4.66
7	113.99	3.59	3.15	105.87	92.88	4.53	3.97
9	122.51	5.01	4.09	113.02	92.25	4.48	3.66
9	151.15	3.57	2.36	143.22	94.75	4.38	2.90
10	159.66	4.98	3.12	150.36	94.18	4.32	2.71
12	155.33	7.60	4.89	141.48	91.08	6.25	4.02
13	183.66	6.51	3.54	171.07	93.14	6.08	3.31
14	165.12	7.49	4.54	152.27	92.22	5.38	3.26
15	193.45	6.39	3.30	181.85	94.00	5.21	2.69
Media	121.37	6.12	5.57	110.84	90.25	4.42	3.77
E.e.	8.12	0.27	0.46	7.92	0.65	0.33	0.27
C.v.	31.36	20.92	39.00	33.50	3.38	34.81	33.37
Min.	64.26	3.57	2.36	56.66	83.71	1.68	1.39
Máx.	193.45	7.94	9.21	181.85	94.75	7.70	7.13
n	22	22	22	22	22	22	22

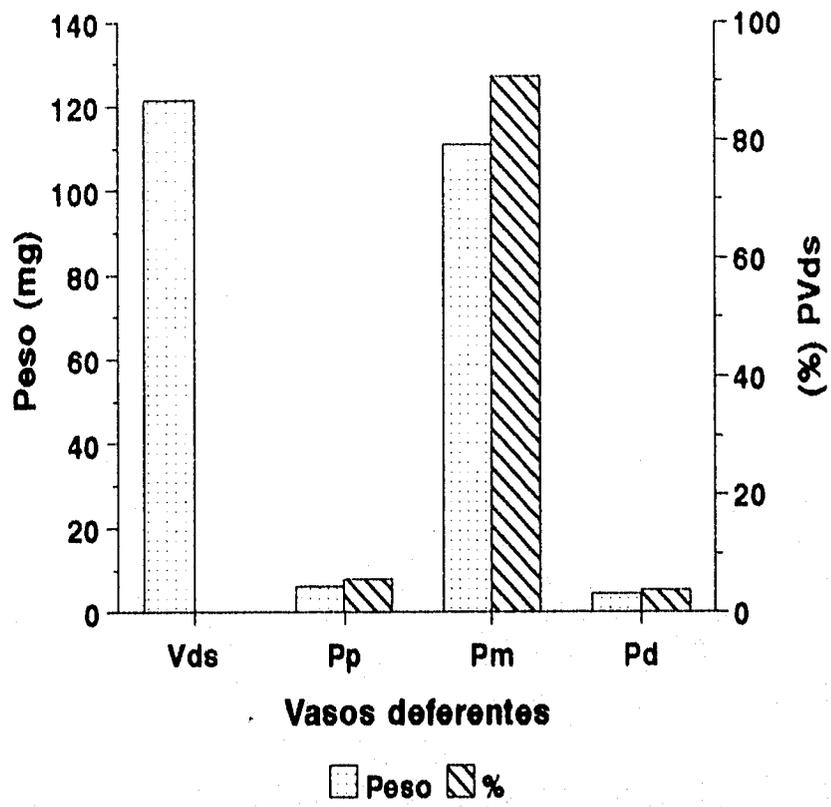


Fig. 21. Peso de los vaso deferentes (Vds) y su distribución en las partes proximal (Pp), media (Pm) y distal (Pd).

3.2 PESO DEL TRACTO REPRODUCTIVO Y SU RELACION CON EL CICLO DE MUDA

En relación al ciclo de muda, se registró un incremento en el peso promedio del TRC desde la postmuda (351.57 ± 16.60 mg) hacia la premuda (503.83 ± 28.16 mg). Esta misma tendencia se observó cuando el TRC se expresó como porcentaje del peso de los organismos, de 1.03 ± 0.03 % en postmuda, a 1.33 ± 0.05 % en premuda. En ambos casos hubo una diferencia estadística significativa ($F = 13.06$ y $12.89 > F_{0.05(1),2,19} = 3.52$) entre los datos obtenidos a lo largo del ciclo de muda; tales diferencias fueron significativas ($q_{0.05,19,p}$) entre la premuda y las otras dos (Tabla 9; Fig. 22).

Como consecuencia de lo anterior, la distribución del peso del TRC, en cada una de sus secciones, a lo largo del ciclo de muda también fue variable. En los testículos la variación fue de 27.8 ± 1.68 % (intermuda) a 30.3 ± 1.36 % (postmuda); en las ampollas terminales de 39.4 ± 1.44 % (premuda) a $42.9 \pm$ % (postmuda); y en los vasos deferentes de 26.8 ± 1.38 % (postmuda) a 32.0 ± 1.78 % (premuda) (Fig. 23).

3.2.1 Testículos

El peso promedio de los testículos, disminuyó de 107.10 ± 8.09 mg, en postmuda, hasta un mínimo de 103.85 ± 1.73 mg, en la intermuda, y se incrementó a partir de esta última hasta un máximo de 147.03 ± 13.88 mg, en premuda. En tanto que el promedio del porcentaje del peso total del TRC presentó un decremento desde un máximo de 30.3 ± 1.36 %, en la postmuda, hasta un mínimo de $27.8 \pm$

1.68 %, en la intermuda (Fig. 24). En el peso de los testículos en las diferentes etapas hubo una diferencia significativa ($F= 6.078 > F_{0.05(1)2,19} = 3.522$) entre el peso de los testículos obtenidos en la postmuda y los de intermuda y premuda ($q_{0.05,19,p}$); y no significativas en el porcentaje del peso del TRC ($F= 0.843 < F_{0.05(1)2,19} = 3.522$ (Tabla 9).

3.2.2 Ampollas terminales y espermatozoides.

En las ampollas terminales, el peso promedio en postmuda fue de 150.00 ± 5.06 mg, el cual se fue incrementando hasta alcanzar un máximo de 200.24 ± 11.67 mg, en premuda. En cambio, el promedio del porcentaje del peso total del TRC se mantuvo relativamente constante desde la postmuda (42.9 ± 0.70 %) hasta la premuda (39.4 ± 1.44 %) (Fig. 25A). Los valores del peso obtenidos en las distintas etapas fueron estadísticamente diferentes ($F= 7.742 > F_{0.05(1)2,19} = 3.522$). Las diferencias fueron significativas ($q_{0.05,19,p}$) entre los pesos de las ampollas terminales en premuda respecto a los de postmuda e intermuda. Mientras que en el porcentaje del peso del TRC no hubo diferencia estadística ($F= 3.305 < F_{0.05(1)2,19} = 3.522$) (Tabla 9).

En el caso de los espermatozoides, los promedios del peso y el porcentaje del peso de las ampollas terminales presentaron valores más bajos en las etapas de postmuda (57.80 ± 4.56 mg y 38.3 ± 2.07 %) y premuda (61.01 ± 6.08 mg y 30.12 ± 1.78 %); los más altos se observaron en la etapa de intermuda (78.53 ± 3.47 mg y 49.3 ± 3.06 %) (Fig. 25B). En ambos, los valores fueron estadísticamente

diferentes ($F= 4.652, 15.672 \gg F_{0.05(1)2,19} = 3.522$). En los primeros, la diferencia fue significativa ($q_{0.05,19,p}$) entre la etapa de intermuda y las etapas de postmuda y premuda; mientras que en los últimos, todos fueron diferentes entre si (Tabla 9).

3.2.3 Vasos deferentes.

En los vasos deferentes, tanto los promedio del peso como los del porcentaje del peso del TRC se incrementaron a partir de un mínimo de 94.47 ± 6.70 mg y 26.8 ± 1.38 % en la etapa de postmuda hasta un máximo de 161.55 ± 8.72 mg y 32.0 ± 1.78 % en premuda (Fig. 26). En los valores del peso de los vasos deferentes hubo diferencia significativa ($F= 13.987 > F_{0.05(1)2,19} = 3.522$), y no significativa en los valores de peso de los vasos deferentes expresado como porcentaje del peso del TRC ($F= 2.867 < F_{0.05(1)2,19} = 3.522$). En los primeros, las diferencias fueron significativas ($q_{0.05,19,p}$) entre los valores obtenidos en premuda y las etapas de postmuda e intermuda (Tabla 9).

Respecto a la distribución del peso en cada sección de los vasos deferentes, la parte proximal representó de 3.7 ± 0.33 % (premuda) a 6.6 ± 0.66 % (postmuda); la parte media de 88.61 ± 1.40 % (intermuda) a 93.1 ± 0.49 % (premuda) y la parte distal de 3.2 ± 0.19 % (premuda) a 5.2 ± 0.49 % (intermuda) (Fig. 27).

Para un estudio más detallado de los vasos deferentes, más abajo se analizan, por separado, cada una de las tres secciones: parte proximal, parte media y parte distal.

Tabla 9. Valores medios del peso de los organismos, peso y porcentaje del tracto reproductivo (TRC), testículos, vasos deferentes, ampollas terminales y espermátóforos, en diferentes etapas del ciclo de muda (* diferencia significativa $Q_{0.05, 19, 2}$).

		ETAPAS DEL CICLO DE MUDA			
		POSTMUDA	INTERMUDA	PREMUDA	
Peso de los organismos	(g)				
	Media	34.06	34.46	38.00 *	
	E.e.	0.62	0.69	0.97	
	C.v.	5.46	4.92	6.75	
	Mín.	30.67	31.61	36.20	
	Máx.	36.43	36.55	43.45	
TRC	Peso (mg)	Media	351.57	381.62	508.83 *
		E.e.	16.60	27.36	28.16
		C.v.	14.17	17.56	14.64
		Mín.	298.16	287.45	388.11
		Máx.	438.90	464.63	633.80
(%)	Media	1.03	1.10	1.33 *	
	E.e.	0.03	0.06	0.05	
	C.v.	9.63	13.27	9.55	
Testículos	Peso (mg)	Media	107.10	103.85	147.03 *
		E.e.	8.09	1.73	13.88
		C.v.	22.65	4.08	24.98
		Mín.	73.70	98.78	90.13
		Máx.	144.80	110.12	209.13
(%)	Media	30.29	27.81	28.53	
	E.e.	1.36	1.68	1.24	
	C.v.	13.43	14.83	11.48	
V. deferentes	Peso (mg)	Media	94.47	114.86	161.55 *
		E.e.	6.70	14.06	8.72
		C.v.	21.28	29.98	14.28
		Mín.	64.26	68.63	122.51
		Máx.	124.17	165.09	193.45
(%)	Media	26.82	29.58	32.04	
	E.e.	1.38	1.73	1.78	
	C.v.	15.40	14.33	14.73	
A. terminales	Peso (mg)	Media	150.00	162.91	200.24 *
		E.e.	5.06	13.00	11.67
		C.v.	10.12	19.55	15.42
		Mín.	132.39	120.04	142.65
		Máx.	179.13	200.64	231.22
(%)	Media	42.89	42.61	39.43	
	E.e.	0.70	1.05	1.44	
	C.v.	4.92	6.03	9.64	
Espermátóforos	Peso (mg)	Media	57.80	78.53 *	61.01
		E.e.	4.56	3.47	6.08
		C.v.	23.66	10.83	26.38
		Mín.	45.83	66.92	36.64
		Máx.	80.44	89.48	79.17
PEsp/PAts	(%)	Media	38.28	49.30 *	30.12
		E.e.	2.07	3.06	1.78
		C.v.	16.19	15.22	15.67
n		9	6	7	

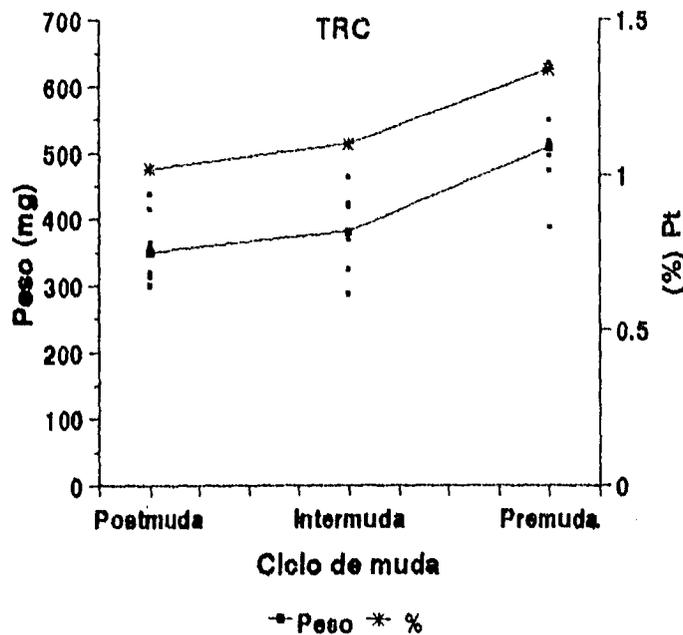


Fig. 22. Peso del tracto reproductivo (TRC) y porcentaje promedio del peso de los organismos (Pt), en las diferentes etapas del ciclo de muda.

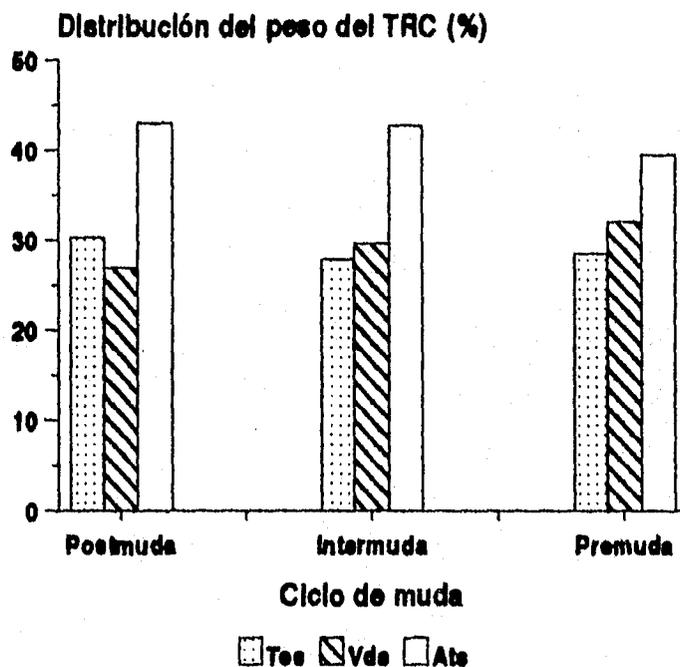


Fig. 23. Distribución del peso del tracto reproductivo (TRC) en las secciones principales: testículos (Tes), vasos deferentes (Vds) y ampollas terminales (Ats), en el ciclo de muda.

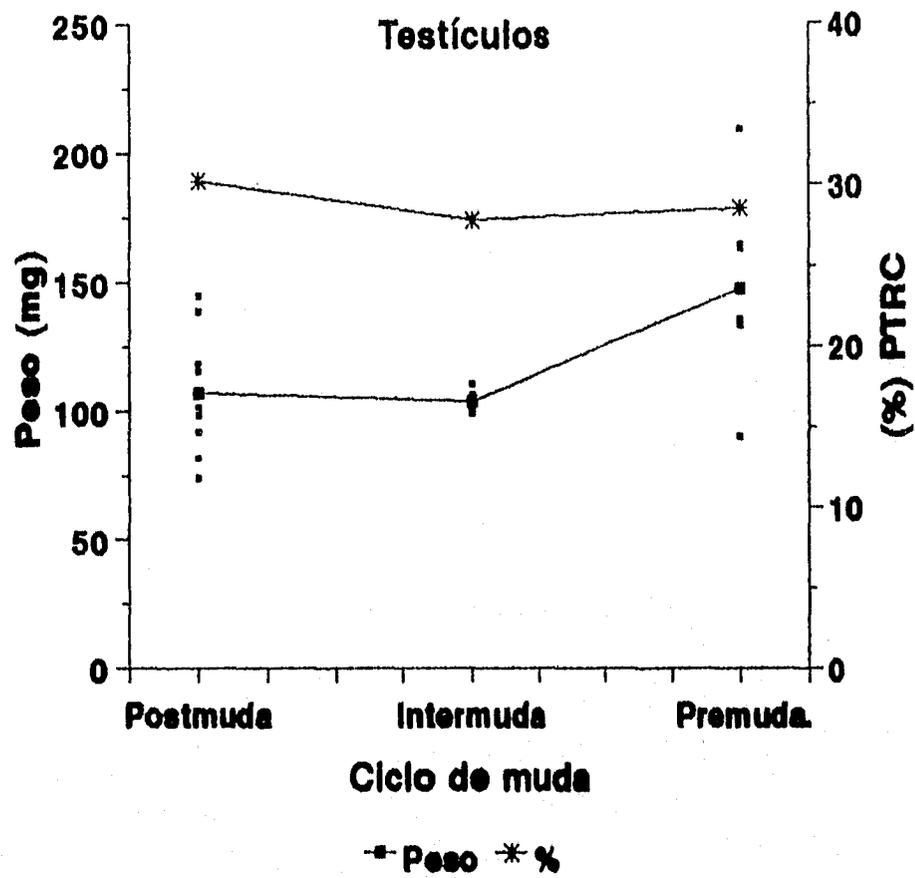


Fig. 24. Peso de los testículos y porcentaje promedio del peso del tracto reproductivo (PTRC), en las diferentes etapas del ciclo de muda.

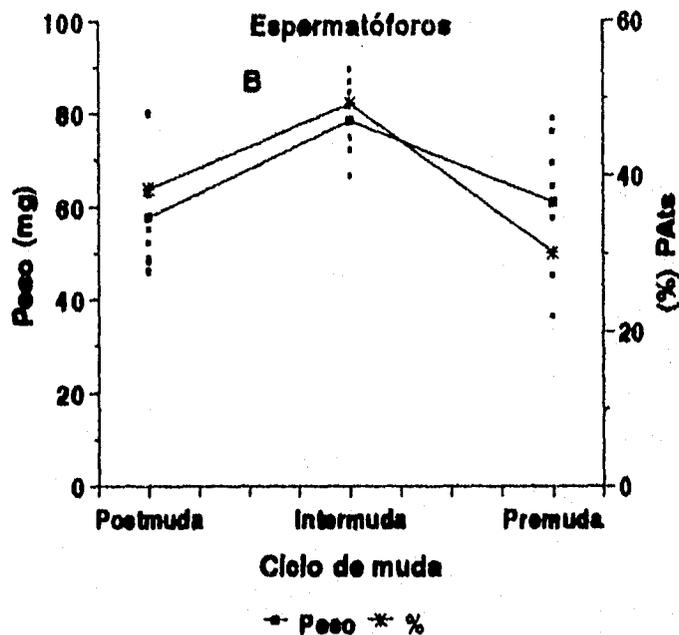
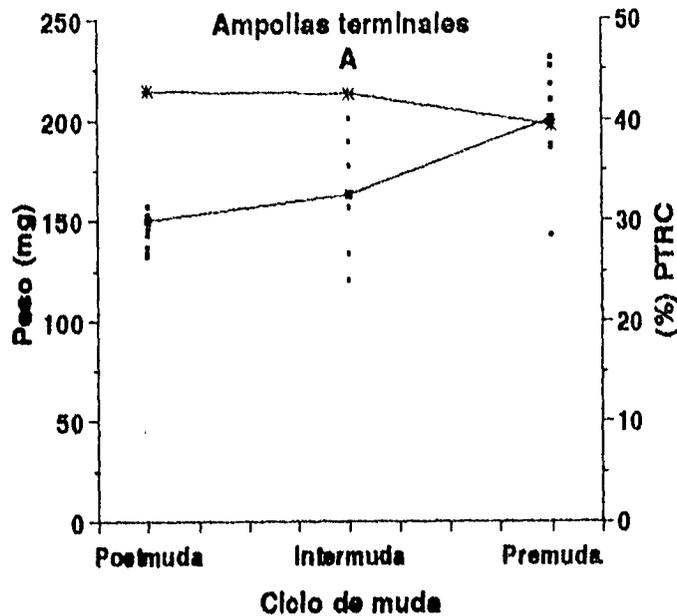


Fig. 25. (A) Peso de las ampollas terminales y porcentaje del peso del tracto reproductivo (PTRC); y (B) peso de los espermatozoides y porcentaje del peso de las ampollas terminales (PATs), en el ciclo de muda.

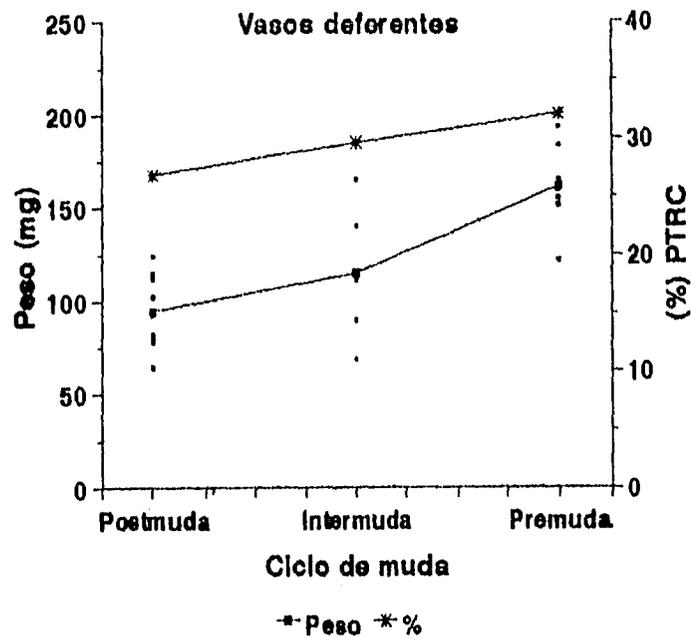


Fig. 26. Peso de los vasos deferentes y porcentaje promedio del peso del tracto reproductivo (PTRC), en el ciclo de muda.

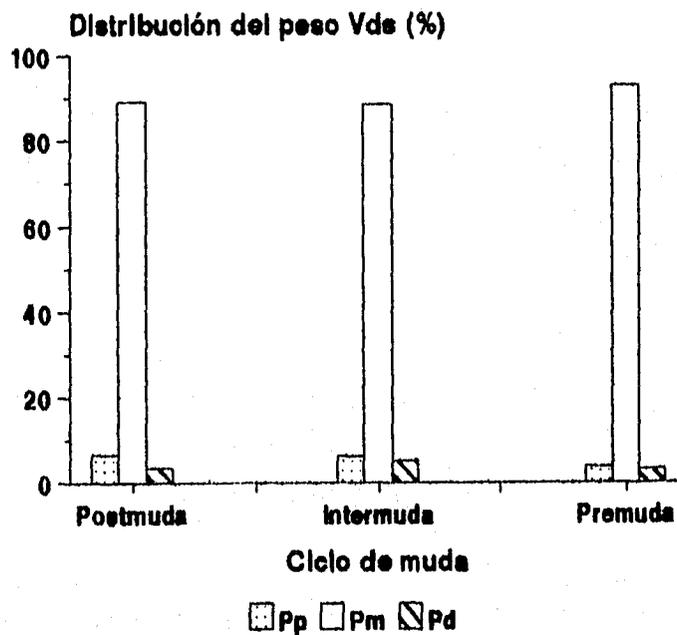


Fig. 27. Distribución del peso de los vasos deferentes (Vds) en sus partes proximal (Pp), media (Pm) y distal (Pd), en el ciclo de muda.

a) Parte proximal.

El peso de la parte proximal fue poco variable con un valor promedio mínimo 5.90 ± 0.28 mg, en postmuda y un máximo de 6.68 ± 0.66 mg, en la intermuda. En estos las diferencias resultaron no significativas ($F = 0.750 < F_{0.05(1)2,19} = 3.522$). Mientras que los valores del peso expresado como porcentaje del peso total de los vasos deferentes, presentaron un mínimo de 3.69 ± 0.33 %, en premuda; y un máximo de 6.60 ± 0.66 % en la postmuda (Tabla 10; Fig. 28A).

b) Parte media.

En la parte media, el peso promedio se incrementó desde un mínimo de 84.62 ± 6.95 mg, en postmuda, hasta un máximo de 150.47 ± 8.38 mg, en premuda. En estos hubo una diferencia significativa ($F = 13.822 > F_{0.05(1)2,19} = 3.522$). En cambio, el porcentaje del peso de los vasos deferentes fue poco variable, el más bajo (88.6 ± 1.40 %) se registró durante la intermuda, y el más alto (93.1 ± 0.49 %) en premuda (Tabla 10; Fig. 28B).

c) Parte distal.

En la parte distal, el peso varió de 3.02 ± 0.34 mg, en postmuda, a 5.67 ± 0.48 mg, en intermuda. Tales valores resultaron estadísticamente diferentes ($F = 15.636 > F_{0.05(1)2,19} = 3.522$). Mientras que en porcentaje del peso total de los vasos deferentes, la variación fue de 3.22 ± 0.19 %, en premuda, a 5.16 ± 0.49 %, en intermuda (Tabla 10; Fig. 28C).

Tabla 10. Valores medios del peso de los vasos deferentes, peso y porcentaje del peso de los vasos deferentes de las partes proximal, media y distal, en las diferentes etapas del ciclo de muda.

		ETAPAS DEL CICLO DE MUDA		
		POSTMUDA	INTERMUDA	PREMUDA
V. deferentes				
Peso (mg)	Media	94.47	114.86	161.55
	E.e.	6.70	14.06	8.72
	C.v.	21.28	29.98	14.28
	Mín.	64.26	68.63	122.51
	Máx.	124.17	165.09	193.45
P. proximal				
Peso (mg)	Media	5.90	6.68	5.94
	E.e.	0.28	0.66	0.56
	C.v.	14.32	24.28	24.88
	Mín.	4.85	3.59	3.57
	Máx.	7.38	7.94	7.60
(%)	Media	6.60	6.24	3.69
	E.e.	0.66	0.95	0.33
	C.v.	29.85	37.13	23.67
P. media				
Peso (mg)	Media	84.62	102.51	150.47
	E.e.	6.95	13.54	8.38
	C.v.	24.65	32.36	14.73
	Mín.	56.66	57.45	113.02
	Máx.	117.56	149.45	181.85
(%)	Media	89.13	88.61	93.09
	E.e.	1.59	1.40	0.49
	C.v.	5.35	3.88	1.41
P. distal				
Peso (mg)	Media	3.02	5.67	5.16
	E.e.	0.34	0.48	0.30
	C.v.	33.44	20.56	15.56
	Mín.	1.68	4.53	4.32
	Máx.	4.45	7.70	6.25
(%)	Media	3.26	5.16	3.22
	E.e.	0.34	0.49	0.19
	C.v.	31.63	23.21	15.48
n		9	6	7

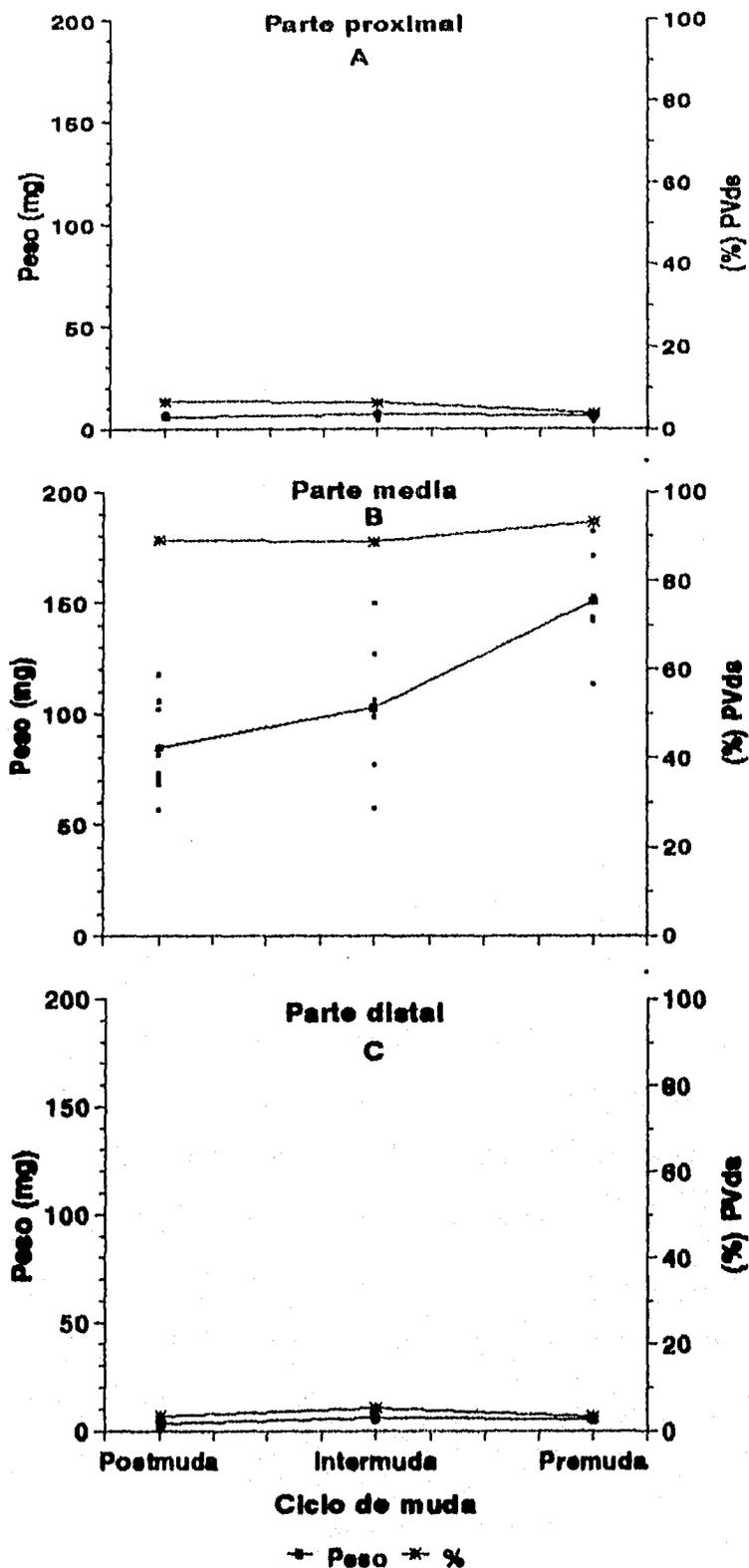


Fig. 28. Peso y porcentaje promedio del peso de los vasos deferentes (PVds) de la parte proximal (A), media (B) y distal (C), en el ciclo de muda.

3.3 DESARROLLO DE LAS CELULAS ESPERMATOGENICAS

3.3.1 Testículos.

Considerando el total de los organismos, en los testículos se observaron todas las etapas de desarrollo de los gametos. Del total de gametos observados (2,322), las espermatogonias representaron un 9.2 %, los espermatocitos el 35.5 %, las espermatidas 47.2 % y los espermatozoides de apariencia normal, aunque con pico ligeramente más corto, fueron los más escasos, 8.1 % (Tabla 11; Fig. 29).

Con relación a la muda, en las tres etapas se registraron las cuatro fases de desarrollo de los gametos aquí consideradas, con algunas variaciones en la proporción en los diferentes estadios del ciclo de muda. De acuerdo a los porcentajes promedio de cada etapa de muda las espermatidas fueron las más abundantes. El más alto se registró en la etapa de postmuda ($\bar{x} = 56.0 \pm 6.86$ %) y el menor en la premuda ($\bar{x} = 36.5 \pm 8.59$ %). En orden de abundancia le siguieron los espermatocitos, los cuales presentaron un máximo en la etapa de premuda ($\bar{x} = 44.5 \pm 4.0$ %) y mínimo en la etapa de postmuda ($\bar{x} = 24.8 \pm 3.06$ %). En cambio, la proporción de espermatogonias casi siempre fue baja, la máxima se observó durante la premuda ($\bar{x} = 16.1 \pm 4.37$ %) y la mínima en la intermuda ($\bar{x} = 3.9 \pm 0.61$ %). Los espermatozoides de apariencia normal fueron los más escasos, la mayor se registró en postmuda ($\bar{x} = 11.9 \pm 6.13$ %) y la menor en la etapa de premuda ($\bar{x} = 2.90 \pm 0.86$ %) (Tabla 12; Fig. 30).

Tabla 11. Distribución de frecuencias de las etapas de desarrollo de las células espermato-génicas en los testículos.

ddm	CEL. OBSERVADAS (n)	ESPERMATOGONIAS (%)	ESPERMATOCITOS (%)	ESPERMATIDAS (%)	ESP.NORMALES (%)
0	135	8.89	32.59	48.15	10.37
0	42	0.00	21.43	21.43	57.14
0	72	11.11	29.17	38.89	20.83
0	93	4.30	34.41	49.46	11.83
1	95	17.89	30.53	51.58	0.00
1	132	0.76	4.55	92.42	2.27
1	111	9.91	20.72	65.77	3.60
2	172	8.14	28.49	62.79	0.58
2	91	5.49	20.88	73.63	0.00
3	143	5.59	44.06	44.76	5.59
4	108	4.63	42.59	44.44	8.33
5	161	3.73	42.86	44.10	9.32
5	104	1.92	40.38	42.31	15.38
6	128	2.34	43.75	44.53	9.38
7	117	5.13	34.19	58.97	1.71
9	131	6.11	35.11	56.49	2.29
9	97	3.09	31.96	62.89	2.06
10	123	5.69	34.96	58.54	0.81
12	55	32.73	56.36	5.45	5.45
13	55	18.18	49.09	29.09	3.64
14	66	19.70	57.58	16.67	6.06
15	91	27.47	46.15	26.37	0.00
Total= 2322					
	Media	9.22	35.54	47.21	8.03
	E.e.	1.86	2.64	4.21	2.61
	C.v.	94.46	34.83	41.80	152.56
	Mín.	0.00	4.55	5.45	0.00
	Máx.	32.73	57.58	92.42	57.14
	n	22	22	22	22

Tabla 12. Valores medios de la distribución de frecuencias de las etapas de desarrollo de las células espermatozoides en los testículos, durante el ciclo de muda.

		ETAPAS DEL CICLO DE MUDA		
		POSTMUDA	INTERMUDA	PREMUDA
Espermatogonias				
(%)	Media	7.39	3.89	16.14
	E.e.	1.85	0.61	4.37
	C.v.	74.91	38.59	71.57
	Mín.	0.00	1.92	3.09
	Máx.	17.89	5.59	32.73
Espermatocitos				
(%)	Media	24.75	41.30	44.46
	E.e.	3.06	1.52	4.00
	C.v.	37.03	9.00	23.80
	Mín.	4.55	34.19	31.96
	Máx.	34.41	44.06	57.58
Espermátidas				
(%)	Media	56.01	46.52	36.50
	E.e.	6.86	2.52	8.59
	C.v.	36.74	13.27	62.27
	Mín.	21.43	42.31	5.45
	Máx.	92.42	58.97	62.89
Espermatozoides normales				
(%)	Media	11.85	8.29	2.90
	E.e.	6.13	1.85	0.86
	C.v.	155.19	54.66	78.46
	Mín.	0.00	1.71	0.00
	Máx.	57.14	15.38	6.06
No. de células		943	761	618
n		9	6	7

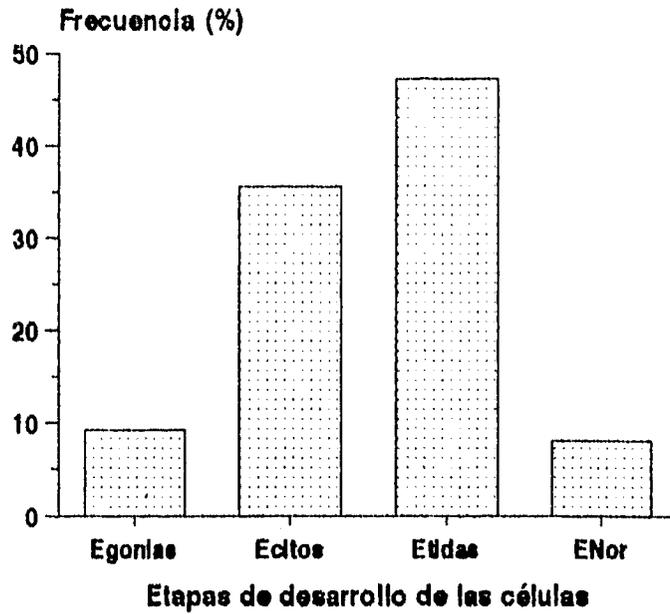


Fig. 29. Distribución de frecuencias de las diferentes etapas de desarrollo de los gametos en los testículos (Egonias= espermatogonias; Ectos= espermatocitos; Etidas= espermatidas; ENor= espermatozoides normales).

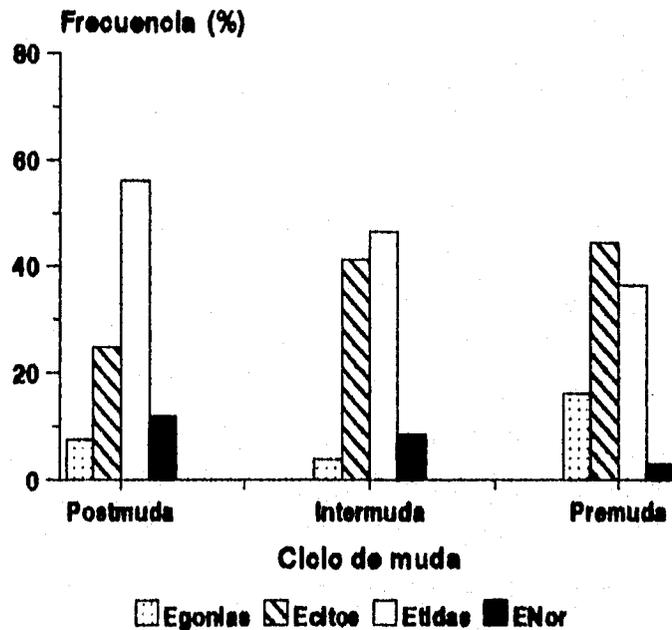


Fig. 30. Distribución de frecuencias de las diferentes etapas de desarrollo de los gametos en los testículos, en el ciclo de muda.

3.4 NUMERO DE ESPERMATOZOIDEOS EN EL TRACTO REPRODUCTIVO.

El número total de espermatozoides en el TRC varió de 45.60×10^6 y 191.12×10^6 ($\bar{x} = 99.97 \pm 8.56 \times 10^6$), equivalente a 1.36×10^6 y 5.32×10^6 espermatozoides/g de peso de los organismos ($\bar{x} = 2.84 \pm 0.25 \times 10^6$) (Tabla 13). Al relacionar el número de espermatozoides en el TRC con el peso de los organismos y el peso del TRC, no se encontró correlación (Fig. 31, 32).

En promedio, la distribución del número total de espermatozoides en el TRC fue la siguiente: el $36.1 \pm 3.97 \%$ correspondió a los espermatóforos y el $63.9 \pm 3.97 \%$ restante, a los vasos deferentes (Fig. 33).

3.4.1 Espermatóforos.

En las ampollas terminales solo se encontraron espermatozoides en los espermatóforos, el número varió de 5.64×10^6 a 103.44×10^6 ($\bar{x} = 38.48 \pm 6.18 \times 10^6$), lo que representó de 8.3 a 73.2 % ($\bar{x} = 35.8 \pm 3.84 \%$) del total de espermatozoides del TRC (Tabla 13; Fig. 33).

3.4.2 Vasos deferentes.

El número de espermatozoides en los vasos deferentes fue de 24.80×10^6 a 124.05×10^6 ($\bar{x} = 61.49 \pm 5.64 \times 10^6$), lo que representó de 22.1 a 91.7 % ($\bar{x} = 64.1 \pm 3.91$) del total de espermatozoides en el TRC (Tabla 13; Fig. 33).

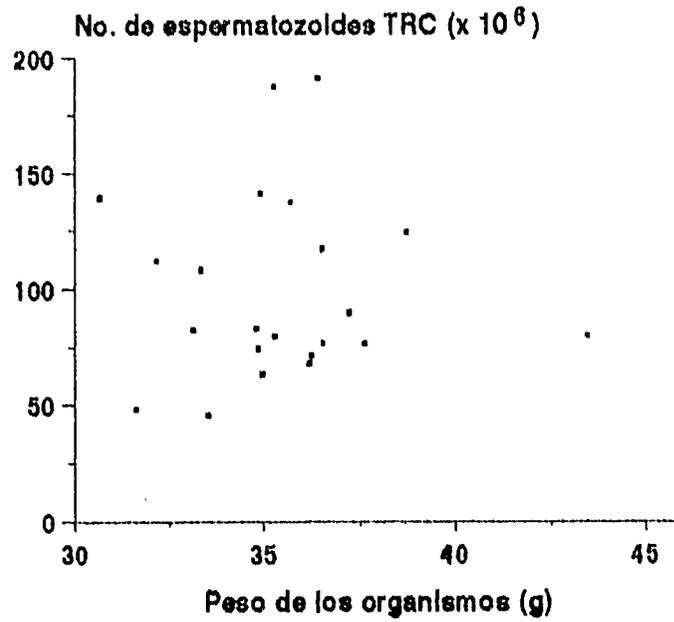


Fig. 31. Relación entre el número total de espermatozoides en el tracto reproductivo (TRC) y el peso de los organismos.

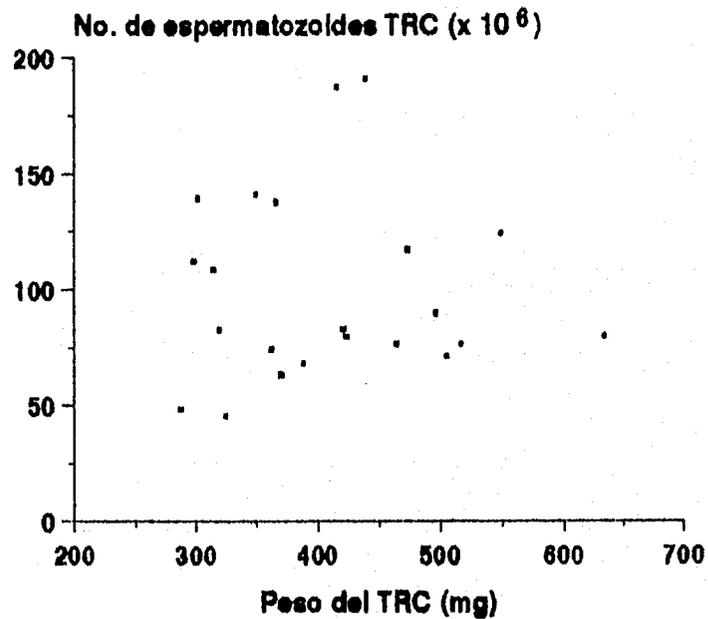


Fig. 32. Relación entre el número total de espermatozoides y el peso del tracto reproductivo (TRC).

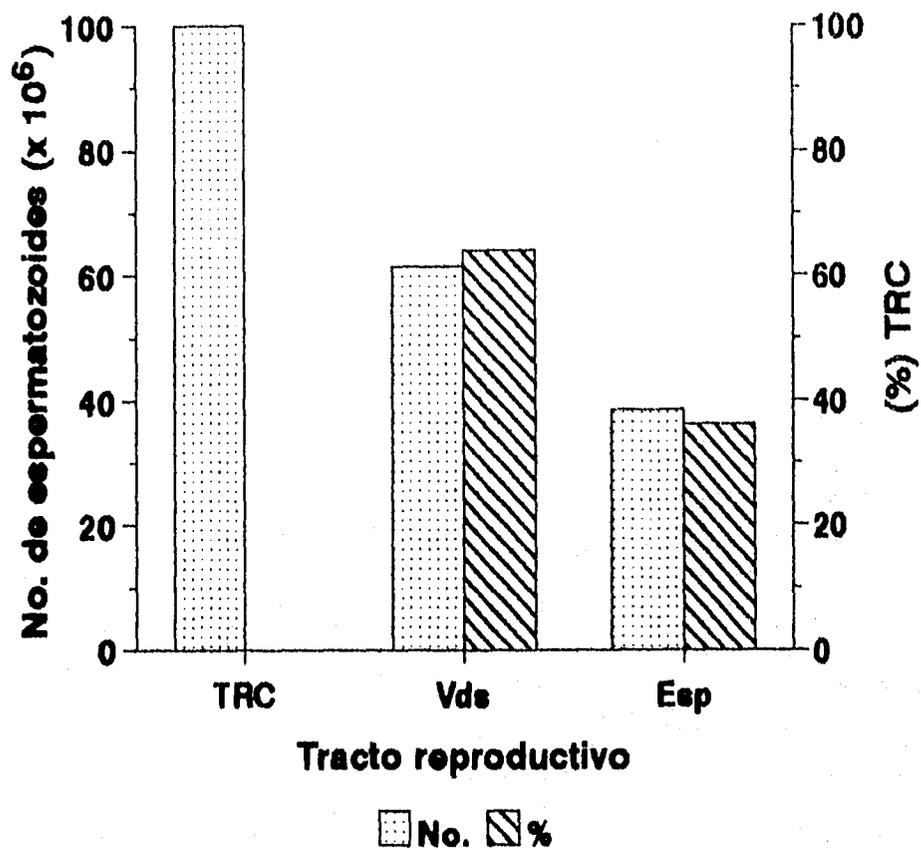


Fig. 33. Número total de espermatozoides en el tracto reproductivo (TRC) y su distribución en los vasos deferentes (Vds) y espermátforo (Esp).

Al relacionar el peso de los organismos y de los vasos deferentes con el número de espermatozoides en estos últimos, ninguno de los dos casos mostró una correlación aceptable (Fig. 34, 35).

En promedio, la distribución del número total de espermatozoides en los vasos deferentes en sus tres secciones fue la siguiente: el $16.5 \pm 1.69 \%$ se localizó en la parte proximal; $83.4 \pm 1.70 \%$ en la parte media, y $0.1 \pm 0.02 \%$ en la parte distal (Tabla 14; Fig. 36).

a) Parte proximal.

El número de espermatozoides fue considerablemente alto, de 3.51×10^6 a 17.26×10^6 ($\bar{x} = 9.20 \pm 0.81 \times 10^6$), representando de 6.37 a 40.1 % ($\bar{x} = 16.5 \pm 1.69 \%$) del total de espermatozoides en los vasos deferentes y un promedio de 1.50 de células/mg (Tabla 14; Fig. 36).

b) Parte media.

El número de espermatozoides en la parte media de los vasos deferentes fue de 15.95×10^6 a 114.46×10^6 ($\bar{x} = 52.26 \pm 5.45 \times 10^6$), lo que representó de 59.6 a 93.6 % ($\bar{x} = 83.4 \pm 1.70 \%$) del número total de espermatozoides en los vasos deferentes (Fig. 36).

Para lograr un análisis más detallado de la parte media de los vasos deferentes, se estudiaron por separado las partes media

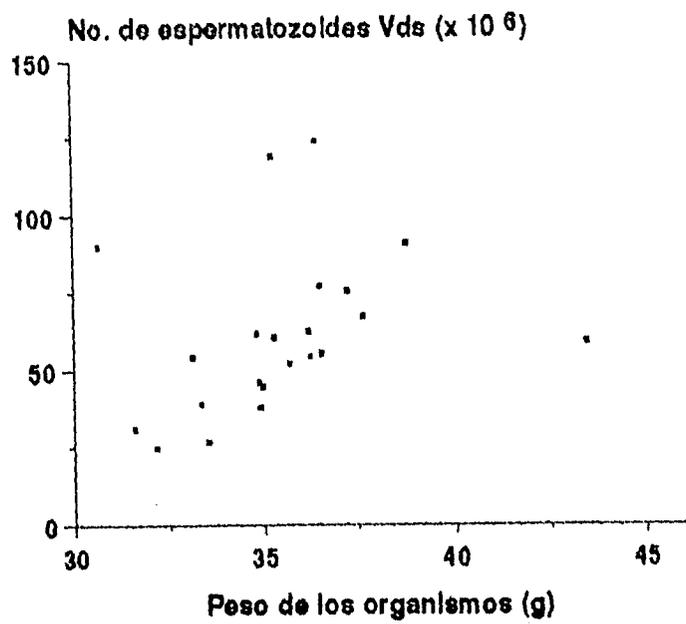


Fig. 34. Relación entre el número de espermatozoides en los vasos deferentes (Vds) y el peso de los organismos.

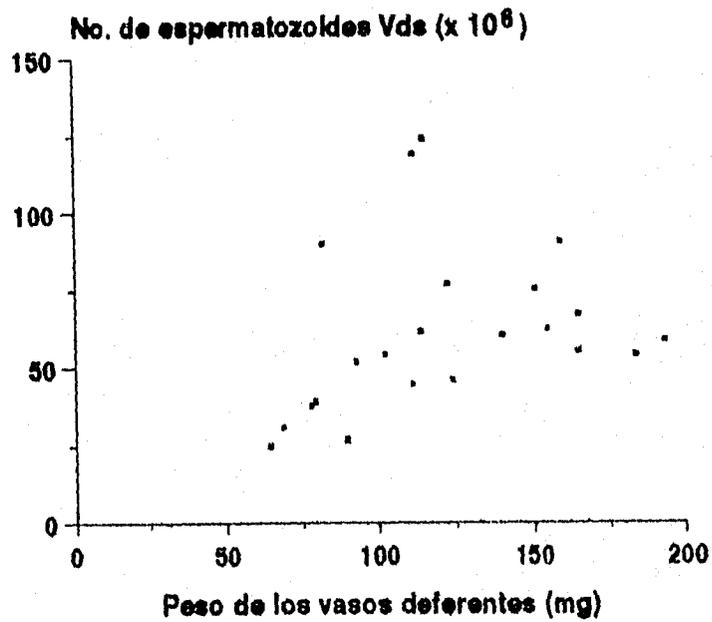


Fig. 35. Relación entre el número de espermatozoides y el peso de los vasos deferentes (Vds).

proximal y media distal.

- Parte media proximal.

En todos los casos, en esta sección de la parte media de los vasos deferentes se encontró el mayor número de espermatozoides que fue de 8.86×10^6 a 82.97×10^6 ($\bar{x} = 38.6 \times 10^6 \pm 4.09 \times 10^6$), lo que representó de 55.5 a 84.2 % ($\bar{x} = 73.4 \pm 1.42$ %) del total de espermatozoides en la parte media (Tabla 14; Fig. 37).

- Parte media distal.

En esta sección de la parte media de los vasos deferentes el número de espermatozoides fue de 4.07×10^6 a 32.72×10^6 ($\bar{x} = 13.63 \times 10^6 \pm 1.47 \times 10^6$), lo que representó de 15.9 a 44.5 % ($\bar{x} = 26.6 \pm 1.42$ %) del total de espermatozoides en esta parte (Tabla 14; Fig. 37).

c) Parte distal.

En esta sección el número de espermatozoides fue extremadamente bajo de 0.00 a 0.13×10^6 ($\bar{x} = 0.02 \pm 0.01 \times 10^6$), lo que representó un porcentaje de 0.0 a 0.4 % ($\bar{x} = 0.05 \pm 0.02$ %) del total de espermatozoides de los vasos deferentes (Tabla 14; Fig. 37).

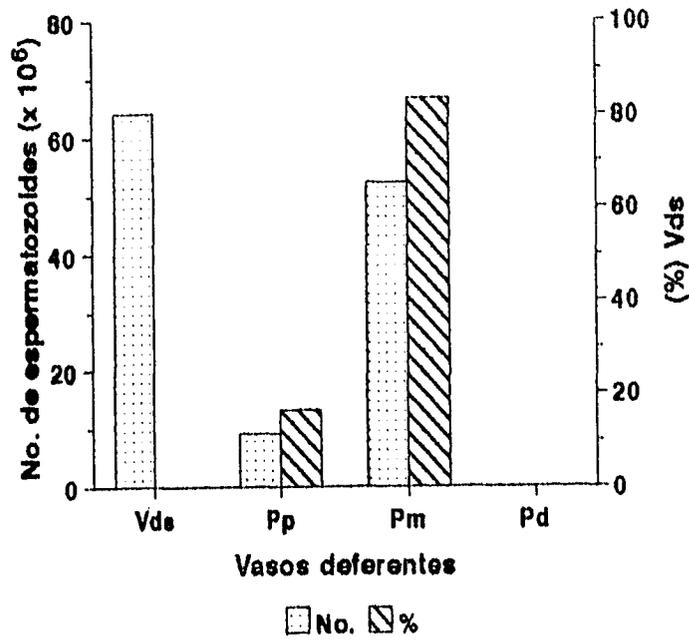


Fig. 36. Número de espermatozoides en los vasos deferentes (Vds) y su distribución en la parte proximal (Pp), media (Pm) y distal (Pd).

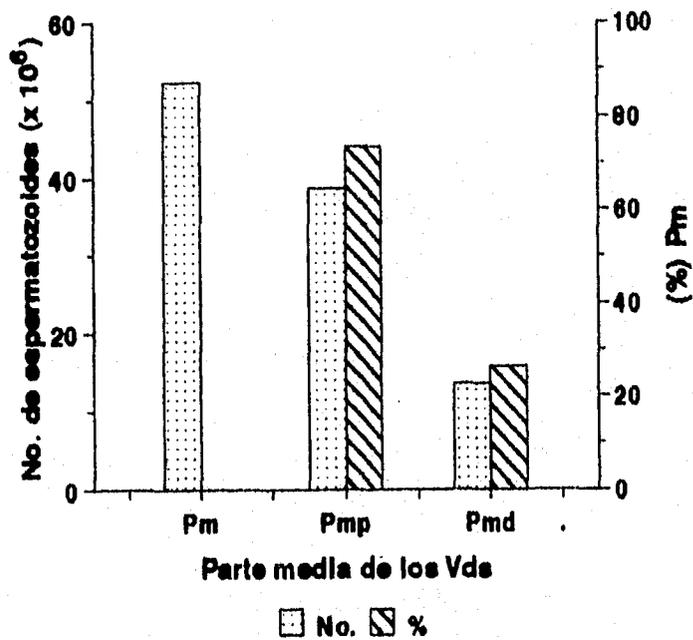


Fig. 37. Número de espermatozoides en la parte media (Pm) de los vasos deferentes (Vds) y su distribución en sus partes media proximal (Pmp) y media distal (Pmd).

3.5 NUMERO DE ESPERMATOZOIDES EN EL TRACTO REPRODUCTIVO Y MUDA.

Durante el ciclo de muda, los valores promedio del número total y del número de espermatozoides/g de peso de los organismos, presentaron un patrón oscilante: un decremento desde un máximo de $130.55 \pm 13.65 \times 10^6$ y $3.82 \pm 0.37 \times 10^6/g$, en la etapa de postmuda hasta un mínimo de $66.08 \pm 6.66 \times 10^6$ y $1.91 \pm 0.17 \times 10^6$, en intermuda a partir de la cual aumentó hasta $89.69 \pm 8.51 \times 10^6$ y $2.37 \pm 0.23 \times 10^6$, en la etapa de premuda. En los dos casos hubo diferencia estadística ($F= 8.569$ y $11.346 \gg F_{0.05(11)2,19} = 3.522$) entre los datos obtenidos en las tres etapas del ciclo de muda; tales diferencias fueron significativas ($q_{0.05,19,p}$), en ambos casos, entre la etapa de postmuda y las de intermuda y premuda (Tabla 15; Fig. 38).

El número de espermatozoides/mg de peso del TRC, presentó un patrón similar a los anteriores con un valor máximo de $0.37 \pm 0.03 \times 10^6/mg$ observado en la etapa de postmuda y mínimos de $0.17 \pm 0.01 \times 10^6/mg$ y $0.18 \pm 0.02 \times 10^6/mg$ en las etapas de intermuda y premuda, respectivamente. Entre los datos obtenidos en las diferentes etapas del ciclo de muda las diferencias fueron significativas ($F= 25.217 > F_{0.05(11)2,19} = 3.522$), entre la etapa de postmuda y las de intermuda y premuda ($q_{0.05,19,p}$) (Tabla 15).

La distribución del número promedio de espermatozoides en el TRC a lo largo del ciclo de muda también fue variable. En los espermatóforos fue de $18.2 \pm 2.42 \%$ (premuda) a $50.8 \pm 6.01 \%$

(postmuda) y en los vasos deferentes de $49.2 \pm 6.01 \%$ (postmuda) a $81.8 \pm 2.42 \%$ (premuda) (Fig. 39).

3.5.1 Espermátóforos.

En los espermátóforos, los valores máximos de los promedios del número y porcentaje del total de espermatozoides del TRC se registraron en la etapa de postmuda ($65.35 \pm 8.87 \times 10^6$ y $50.9 \pm 6.01 \%$), a partir de la cual ambos fueron decreciendo hasta un mínimo en premuda ($15.77 \pm 2.36 \times 10^6$ y $18.2 \pm 2.42 \%$) (Fig. 40). Respecto a los valores encontrados en las tres etapas del ciclo de muda, en ambos casos, hubo diferencia estadística ($F = 16.783$; y $13.337 \gg F_{0.05(1)2,19} = 3.522$) particularmente entre la etapa de postmuda y las de intermuda y premuda ($q_{0.05,19,p}$) (Tabla 15).

3.5.2 Vasos deferentes.

En los vasos deferentes, los valores promedio del número de espermatozoides en los vasos deferentes presentaron un mínimo de $46.63 \pm 6.16 \times 10^6$, en la etapa de intermuda y un máximo de $69.45 \pm 4.74 \times 10^6$, en premuda; el promedio del porcentaje del total de espermatozoides en el TRC se fue incrementando desde un mínimo de $49.2 \pm 6.01 \%$ en postmuda, hasta un máximo de $81.8 \pm 2.42 \%$ en premuda (Fig. 41). En los primeros los valores obtenidos en las tres etapas del ciclo de muda, no fueron diferentes ($F = 1.403 < F_{0.05(1)2,19} = 3.522$), mientras que en los últimos, las diferencia fueron significativas ($F = 12.724 > F_{0.05(1)2,19} = 3.522$), entre la etapa de postmuda y las de intermuda y premuda ($q_{0.05,19,p}$) (Tabla 15).

Tabla 15. Valores medios del peso de los organismos, número total de espermatozoides (NEsps/g y NEsps/mg) en el tracto reproductivo (TRC), vasos deferentes y espermatóforos, en diferentes etapas del ciclo de muda (* diferencia significativa $Q_{0.05,19,p}$).

		ETAPAS DEL CICLO DE MUDA		
		POSTMUDA	INTERMUDA	PREMUDA
Peso de los organismos				
	(g)			
	Media	34.06	34.46	38.00 *
	E.e.	0.62	0.69	0.97
	C.v.	5.46	4.92	6.75
	Mín.	30.67	31.61	36.20
	Máx.	36.43	36.55	43.45
TRC				
	NEsps $\times 10^6$			
	Media	130.55 *	66.08	89.69
	E.e.	13.65	6.66	8.51
	C.v.	31.37	24.69	25.11
	Mín.	74.36	45.60	68.14
	Máx.	191.12	82.93	124.47
	(NEsps/g) $\times 10^6$			
	Media	3.82 *	1.91	2.37
	E.e.	0.37	0.17	0.23
	C.v.	29.09	21.54	25.68
	Mín.	2.13	1.36	1.84
	Máx.	5.32	2.38	3.21
	(NEsps/mg) $\times 10^6$			
	Media	0.37 *	0.17	0.18
	E. e.	0.03	0.01	0.02
	C.v.	23.64	11.53	25.35
	Mín.	0.21	0.14	0.13
	Máx.	0.46	0.20	0.25
V. deferentes				
	NEsps $\times 10^6$			
	Media	65.19	46.63	69.45
	E.e.	12.21	6.16	4.74
	C.v.	56.20	32.37	18.05
	Mín.	24.80	26.76	54.27
	Máx.	124.05	61.65	90.80
	(%)			
	Media	49.15	65.26	81.77 *
	E.e.	6.01	2.20	2.42
	C.v.	36.68	8.26	7.83
Espermatóforos				
	NEsps $\times 10^6$			
	Media	65.35 *	24.67	15.77
	E.e.	8.87	3.99	2.36
	C.v.	40.70	39.62	39.59
	Mín.	28.42	17.35	5.64
	Máx.	103.44	40.25	21.36
	(%)			
	Media	50.85 *	34.74	18.23
	E.e.	6.01	2.70	2.42
	C.v.	35.46	19.04	35.12
	n	9	6	7

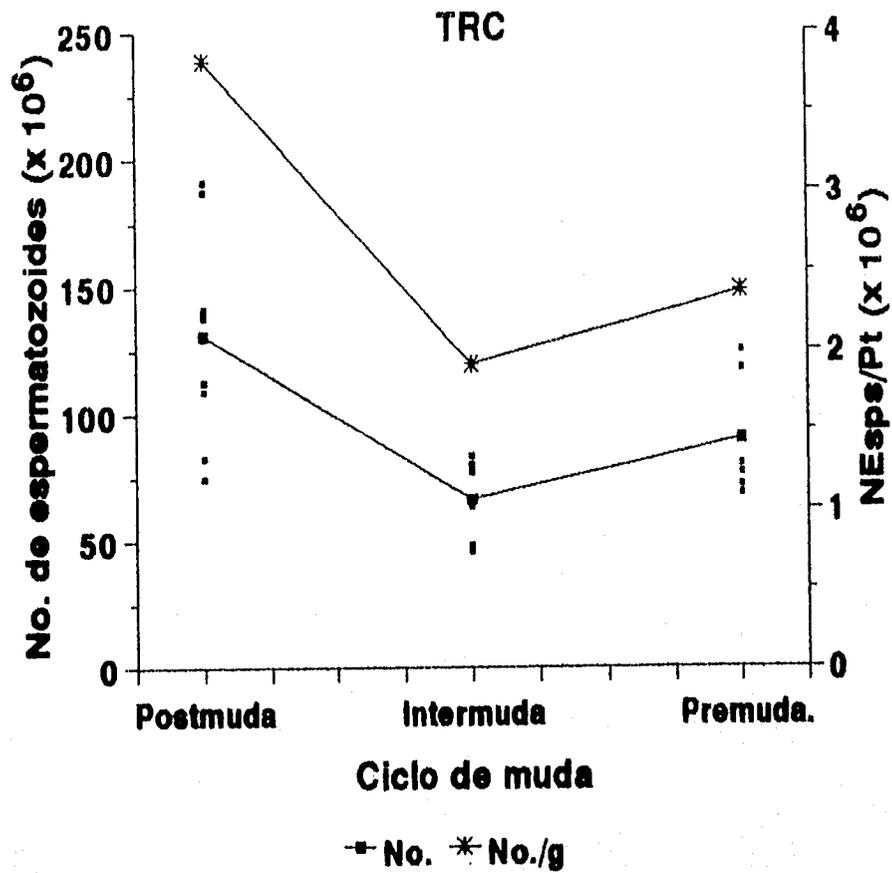


Fig. 38. Número total de espermatozoides en el tracto reproductivo y por unidad de peso de los organismos (NEsps/Pt), en las diferentes etapas del ciclo de muda.

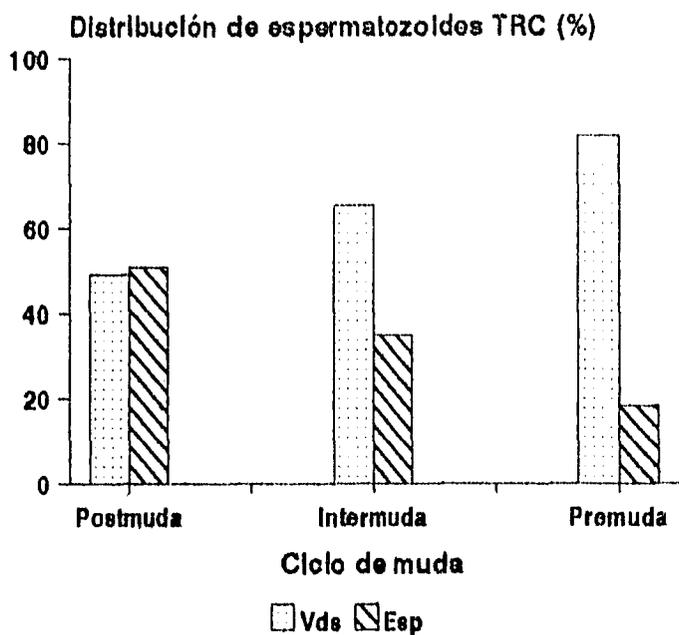


Fig. 39. Distribución de los espermatozoides del tracto reproductivo (TRC) en los vasos deferentes (Vds) y espermatóforos (Esp), en las diferentes etapas del ciclo de muda.

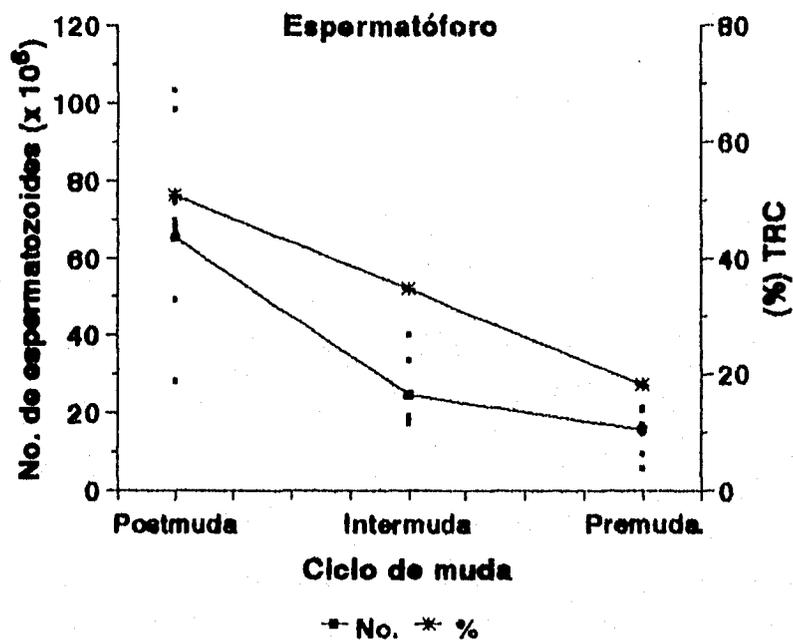


Fig. 40. Número de espermatozoides en los espermatóforos y porcentaje del total en el tracto reproductivo (TRC), en el ciclo de muda.

La distribución del número de espermatozoides en cada una de las secciones de los vasos deferentes fue la siguiente: la parte proximal representó de $11.4 \pm 1.07 \%$ (postmuda) a $24.2 \pm 4.01 \%$ (intermuda); la parte media de $75.7 \pm 4.03 \%$ (intermuda) a $88.6 \pm 1.07 \%$ (postmuda) y la parte distal de 0.01% (postmuda) a 0.10% (intermuda) (Fig. 42).

a) Parte proximal

A lo largo de ciclo de muda, el número de espermatozoides se fue incrementando desde un mínimo de $6.56 \pm 0.68 \times 10^6$ en la postmuda, hasta un máximo de $11.41 \pm 1.56 \times 10^6$ en la premuda. En éstos las diferencias resultaron significativas ($F = 5.313 > F_{0.05(1),2,19} = 3.522$). El porcentaje también presentó un mínimo en la etapa de postmuda ($11.4 \pm 1.07 \%$) y un máximo, en cambio, en la etapa de intermuda ($24.2 \pm 4.01 \%$) (Tabla 16; Fig. 43A).

b) Parte media.

Durante el ciclo de muda, el conteo de espermatozoides promedio presentó los valores mínimos en número y porcentaje del total de los vasos deferentes en la etapa de intermuda ($36.00 \pm 5.84 \times 10^6$ y $75.7 \pm 4.03 \%$) y los máximos en la etapa de postmuda ($58.62 \pm 11.61 \times 10^6$ y $88.6 \pm 1.07 \%$). En ellos no hubo diferencia significativa ($F = 1.796 < F_{0.05(1),2,19} = 3.522$) (Tabla 16; Fig. 43B).

- Parte media proximal

En relación al ciclo de muda, el promedio más bajo de número

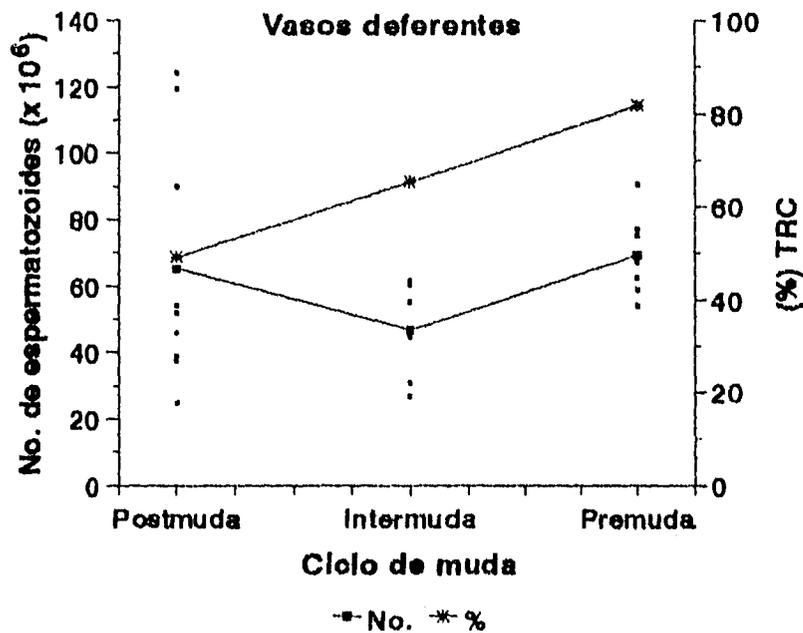


Fig. 41. Número de espermatozoides en los vasos deferentes y porcentaje del total en el tracto reproductivo (TRC), en el ciclo de muda.

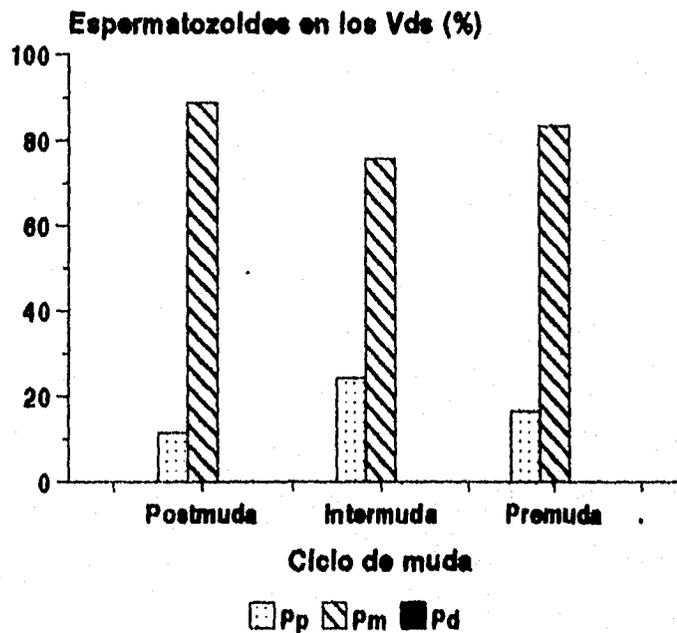


Fig. 42. Distribución de los espermatozoides en las partes proximal (Pp), media (Pm) y distal (Pd) de los vasos deferentes (Vds), en el ciclo de muda.

de espermatozoides se observó en la etapa de intermuda ($27.46 \pm 5.09 \times 10^6$) y el más alto en la etapa de premuda ($43.01 \pm 3.51 \times 10^6$). En estos las diferencias no fueron significativas ($F= 1.458 < F_{0.05(1)2,19} = 3.522$). Mientras que en el porcentaje del total de espermatozoides en los vasos deferentes, el menor se registró en la etapa de postmuda ($72.4 \pm 2.35 \%$) y en el resto del ciclo se mantuvo relativamente constante, alrededor del 74.0% (Tabla 16; Fig. 44A).

- Parte media distal

En el ciclo de muda, en promedio, el menor número se observó en la etapa de intermuda ($8.53 \pm 1.15 \times 10^6$) y el mayor en la etapa de postmuda ($15.94 \pm 3.09 \times 10^6$). Entre ellos no hubo diferencia significativa ($F= 2.659 < F_{0.05(1)2,19} = 3.522$). En este caso, el porcentaje también registró un máximo en la etapa de postmuda ($27.6 \pm 2.35 \%$), y durante el resto del ciclo se mantuvo relativamente constante alrededor del 26.0% (Tabla 16; Fig. 44B).

c) Parte distal.

Los valores promedio del número y porcentaje del total de espermatozoides variaron de $0.004 \pm 0.02 \times 10^6$ y $0.013 \pm 0.007 \%$, en la etapa de postmuda, a $0.03 \pm 0.02 \times 10^6$ y $0.12 \pm 0.07 \%$, en la etapa de intermuda. Sin embargo, las diferencias no fueron significativas ($F= 1.485 < F_{0.05(1)2,19} = 3.522$) (Tabla 16; Fig. 43C).

Tabla 16. Valores medios del número de espermatozoides en los vasos deferentes y las partes proximal, media, media proximal, media distal y distal de los vasos deferentes, durante el ciclo de muda.

		ETAPAS DEL CICLO DE MUDA		
		POSTMUDA	INTERMUDA	PREMUDA
V. deferentes				
NEsps x10 ⁶	Media	65.19	46.63	69.45
	E.e.	12.21	6.16	4.74
	C.v.	56.20	32.37	18.05
	Mín.	24.80	26.76	54.27
	Máx.	124.05	61.65	90.80
P. proximal				
NEsps x10 ⁶	Media	6.56	10.59	11.41
	E.e.	0.68	1.39	1.56
	C.v.	31.18	32.21	36.11
	Mín.	3.51	5.17	4.80
	Máx.	9.59	14.68	17.26
(%)	Media	11.39	24.22	16.55
	E.e.	1.07	4.01	2.00
	C.v.	28.13	40.56	31.91
P. media				
NEsps x10 ⁶	Media	58.62	36.00	58.03
	E.e.	11.61	5.84	4.46
	C.v.	59.40	39.71	20.32
	Mín.	21.29	15.95	46.16
	Máx.	114.46	53.21	77.19
(%)	Media	88.60	75.65	83.42
	E.e.	1.07	4.03	2.00
	C.v.	3.61	13.05	6.36
P. media proximal				
NEsps x10 ⁶	Media	42.68	27.46	43.01
	E.e.	8.67	5.09	3.51
	C.v.	60.97	45.38	21.61
	Mín.	17.22	8.86	34.94
	Máx.	82.97	41.36	57.67
(%)	Media	72.40	74.03	74.01
	E.e.	2.35	4.01	0.93
	C.v.	9.73	13.25	3.33
P. media distal				
NEsps x10 ⁶	Media	15.94	8.53	15.02
	E.e.	3.09	1.15	1.11
	C.v.	58.07	33.06	19.55
	Mín.	4.07	5.86	11.08
	Máx.	32.72	13.99	19.52
(%)	Media	27.60	25.97	25.99
	E.e.	2.35	4.01	0.93
	C.v.	25.53	37.78	9.46
P. distal				
NEsps x10 ⁶	Media	0.004	0.035	0.020
	E.e.	0.002	0.022	0.013
	C.v.	150.991	153.582	170.808
	Mín.	0.000	0.000	0.000
	Máx.	0.015	0.128	0.070
(%)	Media	0.012	0.115	0.030
	E.e.	0.007	0.073	0.020
	C.v.	157.225	155.217	170.839
n		9	6	7

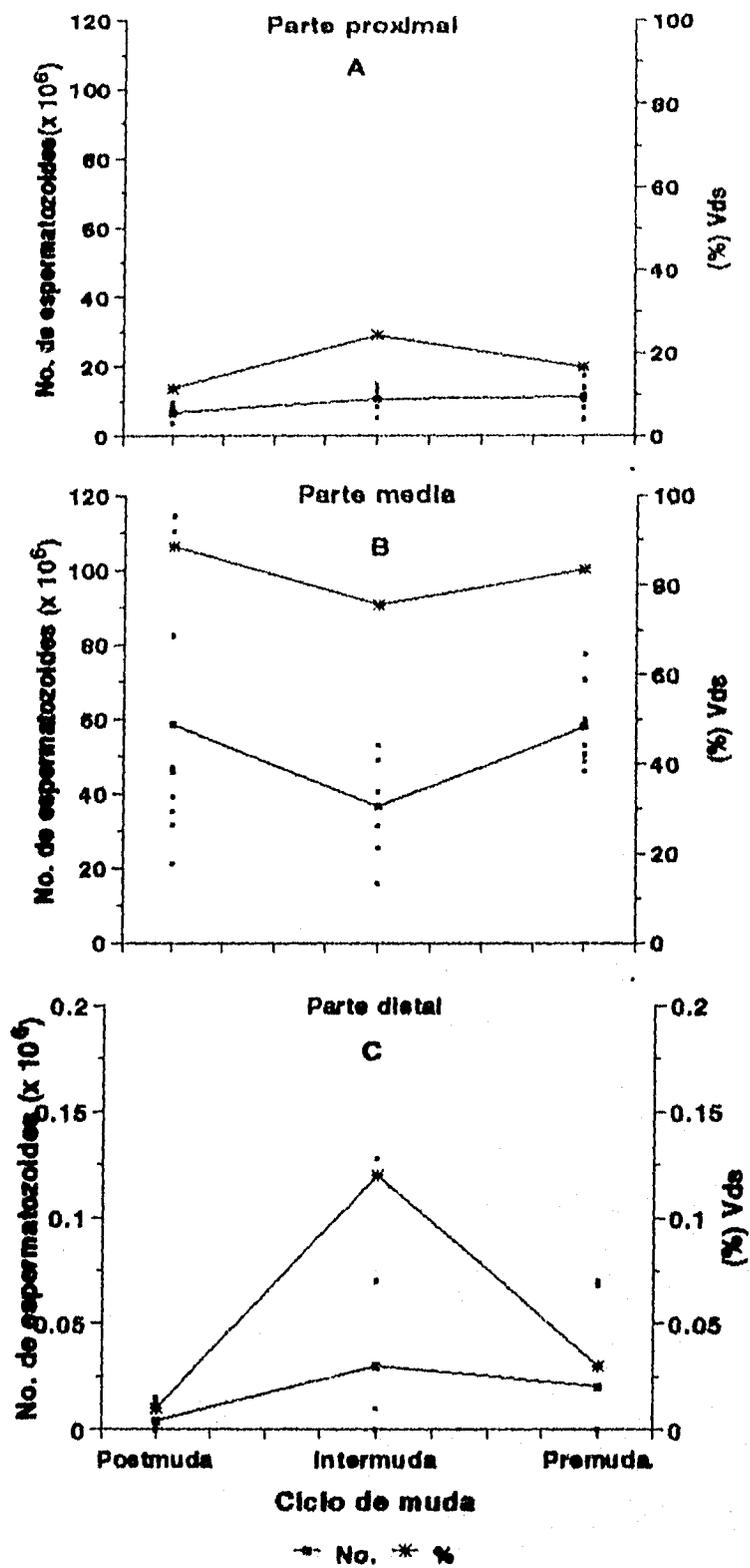
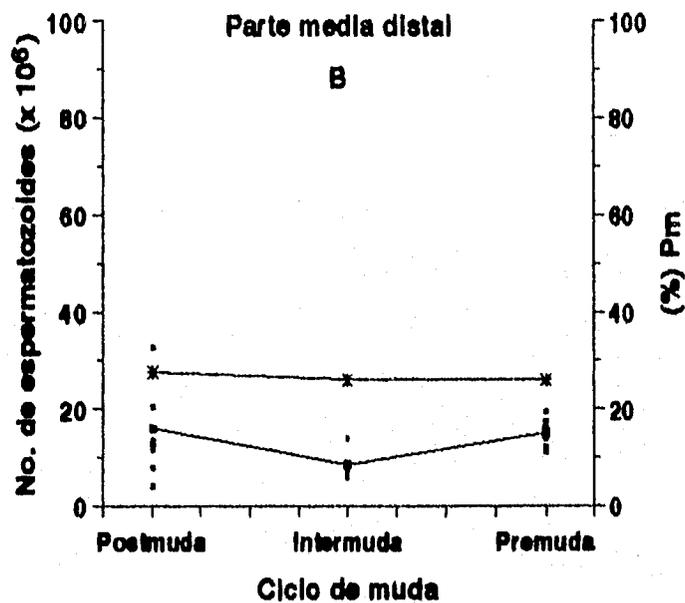
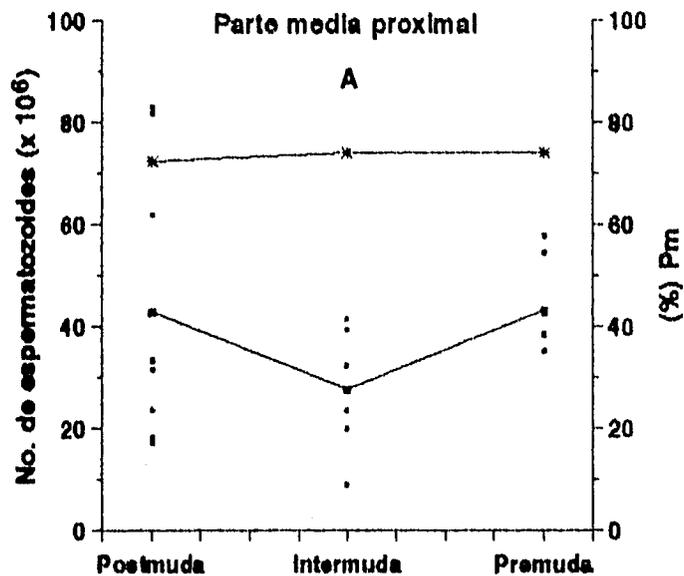


Fig. 43. Número de espermatozoides y porcentaje del total en los vasos deferentes (Vds) en sus partes proximal (A), media (B) y distal (C), en el ciclo de muda.



* No. * %

Fig. 44. Número de espermatozoides y porcentaje del total de la parte media (Pm) de los vasos deferentes en sus partes media proximal (A) y media distal (B), en el ciclo de muda.

3.6 ESPERMATOZOIDEOS NORMALES EN EL TRACTO REPRODUCTIVO

El porcentaje de espermatozoides normales en el TRC varió de 64.7 a 88.6 % (\bar{x} = 78.6 \pm 1.32 %). En los espermatóforos de 60.0 a 92.9 % (\bar{x} = 82.7 \pm 2.0 %); y en los vasos deferentes de 55.1 a 86.2 % (\bar{x} = 74.4 \pm 1.33 %) (Tabla 17; Fig. 45).

3.7 ESPERMATOZOIDEOS NORMALES EN EL TRACTO REPRODUCTIVO Y MUDA

A lo largo del ciclo de muda, el promedio presentó un máximo de 83.2 \pm 1.52 % en la etapa de postmuda, a partir de la cual disminuyó hasta un mínimo de 71.4 \pm 1.57 % en la etapa de premuda (Tabla 18; Fig. 46).

3.7.1 Espermatóforos.

En los espermatóforos se presentó un patrón similar al del experimento anterior, esto es, un valor máximo de 90.0 \pm 0.55 % en la etapa de postmuda, a partir de la cual decreció gradualmente hacia el final del ciclo de muda, hasta un mínimo de 71.4 \pm 2.63 % en la etapa de premuda (Tabla 18; Fig. 46).

3.7.2 Vasos deferentes.

En relación al ciclo de muda, en promedio, el porcentaje de espermatozoides normales en los vasos deferentes presentó un valor máximo de 76.3 \pm 2.97 % en la etapa de postmuda y un mínimo de 71.5 \pm 0.69 %, en la etapa de premuda. (Tabla 18; Fig. 46).

Tabla 17. Porcentaje de espermatozoides normales en el tracto reproductivo (TRC), vasos deferentes (Vds) y espermátóforos (Esp).

ddm	TRC (%)	Vds (%)	Esp (%)
0	82.8	76.0	89.6
0	85.1	79.5	90.8
0	85.1	79.0	91.2
0	82.9	76.6	89.2
1	86.5	86.2	86.9
1	88.6	84.4	92.9
1	83.4	76.4	90.5
2	72.5	55.1	89.9
2	81.7	74.1	89.3
3	81.1	75.1	87.1
4	78.2	74.0	82.4
5	79.8	71.2	88.3
5	83.1	75.5	90.8
6	79.5	74.6	84.4
7	78.2	80.3	76.1
9	75.8	73.1	78.6
9	71.4	70.8	72.0
10	72.0	69.6	74.5
12	64.7	69.3	60.0
13	67.4	71.0	63.8
14	73.1	72.6	73.6
15	75.8	74.2	77.4
Media	78.57	74.44	82.70
E.e.	1.35	1.31	2.00
C.v.	8.07	8.26	11.35
Mín.	64.65	55.05	60.00
Máx.	88.63	86.15	92.90
n	22	22	22

Tabla 18. Valores medios del porcentaje de espermatozoides normales en el tracto reproductivo (TRC), vasos deferentes y espermatóforo, durante el ciclo de muda.

		ETAPAS DEL CICLO DE MUDA		
		POSTMUDA	INTERMUDA	PREMUDA
TRC (%)	Media	83.18	79.97	71.44
	E.e.	1.52	0.77	1.57
	C.v.	5.47	2.36	5.82
	Mín.	72.48	78.18	64.65
	Máx.	88.63	83.13	75.83
V. deferentes (%)	Media	76.32	75.08	71.47
	E.e.	2.97	1.20	0.69
	C.v.	11.68	3.92	2.56
	Mín.	55.05	71.20	69.30
	Máx.	86.15	80.25	74.15
Espermatóforos (%)	Media	90.03	84.85	71.41
	E.e.	0.55	2.12	2.63
	C.v.	1.83	6.13	9.74
	Mín.	86.90	76.10	60.00
	Máx.	92.90	90.80	78.60
n		9	6	7

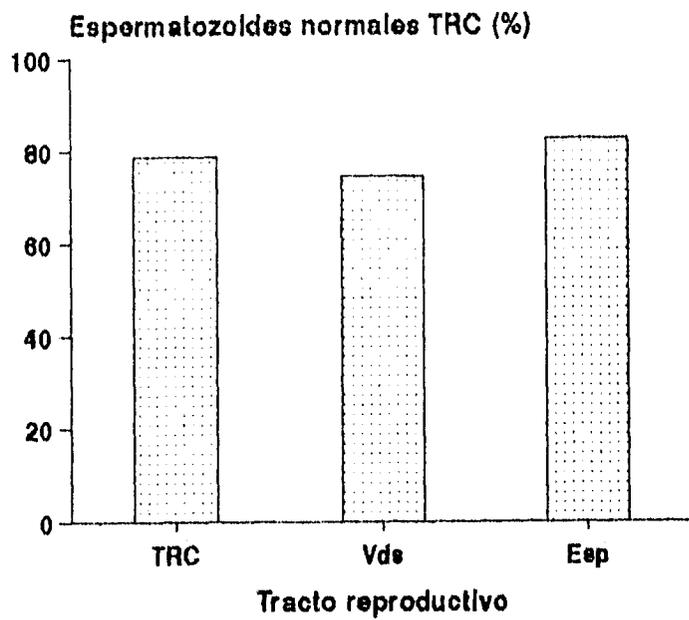


Fig. 45. Porcentaje de espermatozoides normales en el tracto reproductivo (TRC), en los vasos deferentes (Vds) y espermatozoforos (Esp).

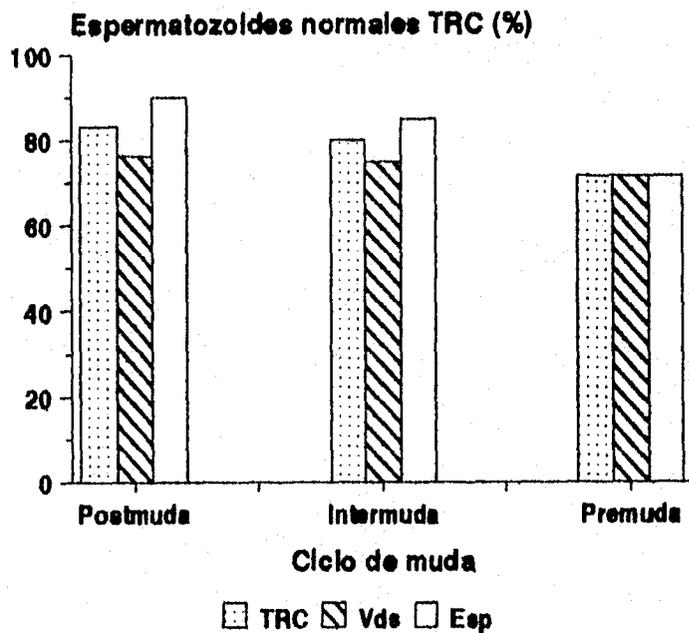


Fig. 46. Porcentaje de espermatozoides normales en el tracto reproductivo (TRC), en los vasos deferentes (Vds) y espermatozoforos (Esp), en las diferentes etapas del ciclo de muda.

Respecto a la calidad de los espermatozoides en las diversas secciones de los vasos deferentes, en la parte proximal el porcentaje de espermatozoides de apariencia normal aunque con el pico ligeramente más corto, similares a los encontrados en los testículos, fue de 17.1 a 94.0 % (\bar{x} = 69.2 \pm 3.14 %). El resto, en este caso, fueron espermátidas.

En la parte media, el porcentaje de espermatozoides normales, presentó valores que fueron de 64.7 a 93.0 % (\bar{x} = 79.6 \pm 2.04 %). En la parte media proximal los porcentajes fueron de 56.0 a 95.6 % y en la en la parte media distal, de 69.3 a 91.0 % (\bar{x} = 80.2 \pm 1.29 %) (Tabla 19; Fig. 47).

En la parte distal, los escasos espermatozoides que se encontraron todos fueron normales.

En relación al ciclo de muda, el promedio de la proporción de estos espermatozoides "normales", en la parte media proximal, presentó un máximo de 76.9 \pm 3.54 % en la etapa de intermuda, y un mínimo de 63.7 \pm 6.36 % en la etapa de postmuda (Tabla 20; Fig. 48).

En la parte media, el promedio del porcentaje de espermatozoides normales presentó un máximo de 89.0 \pm 0.95 %, en la etapa de postmuda, mientras que el mínimo fue de 73.3 \pm 1.47 %, registrado en la etapa de intermuda. En la parte media proximal se

observó un máximo de $93.4 \pm 0.50 \%$ en la etapa de postmuda, y un mínimo de $67.5 \pm 1.50 \%$ en la etapa de intermuda. En la parte media distal también se presentó un máximo en la etapa de postmuda de $84.4 \pm 1.48 \%$, y un mínimo en la etapa de intermuda, de $74.3 \pm 1.47 \%$ (Tabla 20; Fig. 48).

Tabla 19. Porcentaje de espermatozoides normales en las partes proximal (Pp), media (Pm), media proximal (Pmp) y media distal (Pmd) de los vasos deferentes.

ddm	Pp (%)	Pm (%)	Pmp (%)	Pmd (%)
0	67.9	84.1	91.4	79.4
0	69.7	89.2	93.8	81.8
0	70.1	87.8	94.0	83.5
0	67.5	85.6	91.2	77.7
1	81.4	90.9	93.4	88.3
1	80.3	88.4	93.6	83.2
1	61.2	91.5	92.4	87.6
2	17.1	93.0	95.0	91.0
2	58.0	90.1	95.6	87.4
3	76.5	73.6	70.5	76.7
4	73.1	74.9	67.4	76.2
5	69.7	72.7	62.7	70.7
5	74.1	76.8	69.2	74.4
6	74.0	75.1	71.7	78.5
7	94.0	66.5	63.6	69.3
9	77.4	68.7	57.8	71.8
9	76.8	64.7	61.8	75.2
10	72.2	66.9	56.0	77.7
12	59.6	79.0	76.8	81.2
13	63.7	78.2	77.5	80.4
14	60.7	84.4	80.5	86.6
15	64.8	83.5	81.2	85.8
Media	68.63	80.25	78.96	80.20
E.e.	3.03	1.91	2.95	1.29
C.v.	20.74	11.18	17.54	7.54
Mín.	17.10	64.70	56.00	69.30
Máx.	94.00	93.00	95.60	91.00
n	22	22	22	22

Tabla 20. Valores medios del porcentaje de espermatozoides normales en las partes proximal, media, media proximal y media distal de los vasos deferentes, en las diferentes etapas del ciclo de muda.

		ETAPAS DEL CICLO DE MUDA		
		POSTMUDA	INTERMUDA	PREMUDA
P. proximal (%)	Media	63.69	76.90	67.89
	E.e.	6.36	3.54	2.83
	C.v.	29.94	11.26	11.02
	Mín.	17.10	69.70	59.60
	Máx.	81.40	94.00	77.40
P. media (%)	Media	88.96	73.27	75.06
	E.e.	0.95	1.47	3.08
	C.v.	3.19	4.91	10.85
	Mín.	84.10	66.50	64.70
	Máx.	93.00	76.80	84.40
P. media proximal (%)	Media	93.38	67.52	70.23
	E.e.	0.50	1.50	4.23
	C.v.	1.60	5.45	15.92
	Mín.	91.20	62.70	56.00
	Máx.	95.60	71.70	81.20
P. media distal (%)	Media	84.43	74.30	79.81
	E.e.	1.48	1.47	2.04
	C.v.	5.25	4.85	6.75
	Mín.	77.70	69.30	71.80
	Máx.	91.00	78.50	86.60
n		9	6	7

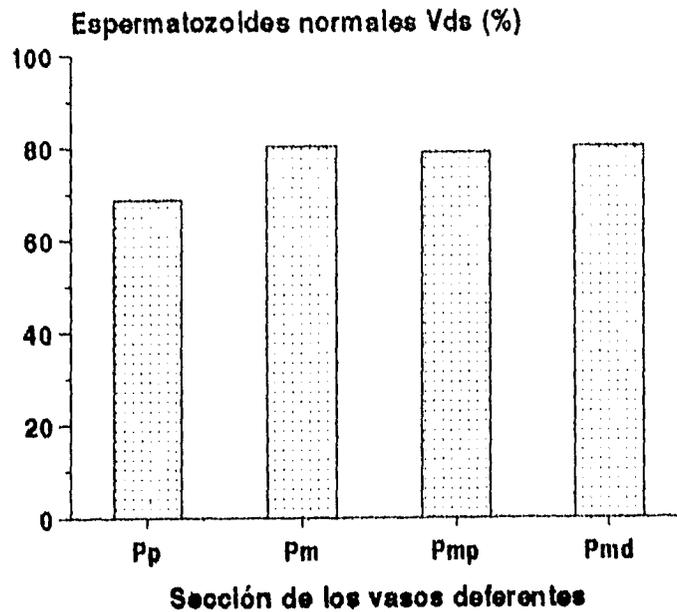


Fig. 47. Distribución de espermatozoides normales en las partes proximal (Pp), media (Pm), media proximal (Pmp) y media distal (Pmd) de los vasos deferentes (Vds).

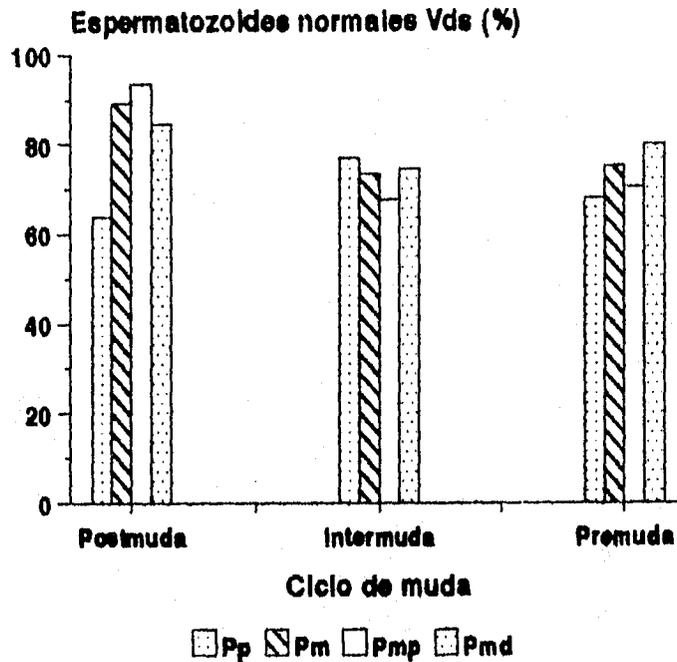


Fig. 48. Distribución de espermatozoides normales en las partes proximal (Pp), media (Pm), media proximal (Pmp) y media distal (Pmd) de los vasos deferentes (Vds), en el ciclo de muda.

DISCUSION

En estanques de cultivo, es común la presencia de camarones adultos (petasma unido) menores a los 20 g de peso. Aunque para la maduración de machos de *Penaeus* no se requieren condiciones ambientales ni nutricionales especiales, no es muy claro aún, si tal maduración esta relacionada con la talla o con la edad. Se ha observado que machos de *P. vannamei* de 6.5 meses de edad y de 12.51 g, ya presentan espermátóforos bien desarrollados (Ogle, 1992). En cambio en el ambiente marino, camarones de más de 20 g son aún sexualmente inmaduros. El peso mínimo en el que se han observado organismos de esta especie sexualmente maduros es de 21.13 g (Calderón Pérez, com. pers.).

En camarones de granja de entre 15 y 30 g de peso, los valores de peso del espermátóforo (1.7 a 19.5 mg), de número de espermatozoides (0.85×10^6 a 11.54×10^6) y de porcentaje de espermatozoides normales (79.8 a 95.2 %), son proporcionalmente comparables a los encontrados por Leung-Trujillo y Lawrence (1985) en camarones también de granja, pero mayores a los 30 g. No así con los obtenidos por Alfaro y Lozano (1993) los cuales son muy bajos tanto en número como en el porcentaje de espermatozoides normales en camarones de granja de 22 a 25 g.

Por otra parte, los valores considerablemente altos de los índices de correlación entre el peso de los organismos y el peso de los espermátóforos ($r^2 = 0.89$), entre el peso de los espermátóforos y el número de espermatozoides ($r^2 = 0.85$) y del porcentaje de

espermatozoides normales (79.8 a 95.2 %) parecen indicar que estos organismos estaban en una etapa de primera madurez y por lo tanto los espermatóforos habrían sido depositados recientemente en las ampollas terminales. Al respecto Alfaro y Lozano (1993) observaron una deterioración de los espermatóforos de *P. vannamei* en un período de dos a tres meses, en estanques de cultivo. También sugieren que tal deterioración es un proceso normal en la reproducción de camarones peneidos.

En camarones recolectados en el mar, de mayor tamaño (28 a 46 g), aunque se incrementó el peso de los espermatóforos (9.7 a 80.3 mg) el número de espermatozoides contenidos en estos fue altamente variable (0.05×10^6 a 29.31×10^6) al igual que el porcentaje de espermatozoides normales (14 a 91.5 %). Lo anterior parece ser debido a la ya mencionada deterioración de los espermatóforos que se refleja en la alta variabilidad de número total y porcentaje de espermatozoides normales.

La aceptable correlación que existe entre el peso de los organismos y el peso de los espermatóforos ($r^2 = 0.64$) y la no correlación observada entre el peso de los organismos y del espermatóforo con el número de espermatozoides y el porcentaje de espermatozoides normales indican que el efecto de dicha deterioración es más evidente en la cantidad y calidad de los espermatozoides. Esto significa que espermatóforos de buen tamaño y apariencia no siempre garantizan un buen número y porcentaje de

espermatozoides normales.

De acuerdo con Leung-Trujillo y Lawrence (1987) la deterioración de los espermatóforos de *P. setiferus* en cautiverio es un evento predecible y según Talbot et al. (1989) la infección bacteriana no es la causa primaria de este problema, Alfaro (1990), Gomes y Primavera (1993) señalan que el desempeño reproductivo de muchas especies de crustáceos es afectado por la calidad del agua y las condiciones de estrés. Sin embargo los resultados de la evaluación de los espermatóforos de los organismos recolectados en el mar indican que la deterioración de estos es un proceso natural. Al respecto Alfaro y Lozano (1993) sugieren que dicha deterioración es un manera natural de eliminar los espermatóforos viejos.

Leung-Trujillo y Lawrence (1985) encontraron que ejemplares jóvenes de *P. vannamei* poseen espermatóforos tempraneros más pequeños; en este estudio, en los individuos recolectados en estanques de cultivo, el peso de los espermatóforos representó, en promedio, un 0.042 % de peso total de los organismos, exactamente la mitad de lo observado en los organismos colectados en el mar (0.085 %).

En cuanto a la calidad de los espermatozoides, Motoh (1981), Leung-Trujillo y Lawrence (1985) y Alfaro (1993) coinciden en que en camarones peneidos los más altos porcentajes de espermatozoides anormales ocurren en organismos jóvenes; sin embargo, en este

estudio los mayores porcentajes de espermatozoides anormales (86.0 %) fueron observados en los organismos recolectados en el mar, de mayor tamaño y presumiblemente de mayor edad que los colectados en estanques de cultivo (20.2 %), de aproximadamente cinco a seis meses de edad. Lo cual se atribuye a dicho proceso de deterioración.

Entre los espermatozoides anormales, el mayor porcentaje observado fue el de aquellos sin pico, tanto en los organismos de estanques (49.3 %) como del mar (76.6 %); este último es semejante al 77 % observado por Leung-Trujillo y Lawrence (1985). Al parecer este tipo de anomalía es también la más frecuente en el caso de *P. monodon* en la que Pratoomchat et al. (1993) encontraron más del 95 % de espermatozoides sin pico del total de espermatozoides anormales.

A su vez, los espermatozoides anormales o deformes pueden no tener la misma capacidad para la fertilización de los óvulos que los espermatozoides normales o no deformes (Motoh, 1981). El pico de los espermatozoides del decápodo *Sicyonia ingentis* parece ser requerido para la orientación del espermatozoide y la subsecuente penetración del óvulo (Clark et al., 1981).

Durante el desarrollo del experimento II, en el que se estudió la relación de la muda con las características de los espermatóforos, los valores registrados de temperatura (\bar{x} = 27.6°C), y el alimento utilizado coinciden con la lista de condiciones

recomendadas para la maduración en cautiverio de *P. vannamei* presentada por Ogle (1991), mientras que la salinidad (34 ppm) y el fotoperíodo (12:12) están comprendidos en el intervalo de las condiciones requeridas para la maduración y reproducción de diversas especies de peneidos, incluyendo a *P. vannamei* (Primavera, 1985; Dall et al., 1990; Bray y Lawrence, 1992; y Browdy, 1992).

Las diferencias en peso entre los espermatozoides expulsados inmediatamente después de la ecdisis y los expulsados en diferentes tiempos del ciclo de muda, se fueron incrementando hasta alcanzar un máximo a los 6 días. De acuerdo con Chow et al. (1991a) la ampolla terminal es un sitio en el cual no solo ocurre la organización de los componentes del espermatozoides, sino que también la maduración y depositación de nuevas matrices del mismo. Como lo anterior de alguna manera implica ganancia en peso, es posible que tales procesos, como la formación de las alas y la capa adhesiva, entre otros, se completen hasta los 6 días después de la muda o en la etapa de intermuda (C), que es cuando el espermatozoides alcanzó su peso máximo, y que conserve este estado durante toda esta etapa. El decremento posterior del peso de los espermatozoides, registrado a partir de los 9 días después de la muda o en la etapa de premuda inicial hacia el final de ciclo, probablemente esté asociado con la movilización cíclica de reservas orgánicas hacia la epidermis durante esta etapa hasta poco antes de la ecdisis (Adiyodi y Adiyodi, 1970).

Chow et al. (1991a) sugirieron que el paso de material espermatofórico de la parte media de los vasos deferentes a la ampolla terminal es aparentemente discontinuo. Esto es apoyado por los resultados obtenidos en este experimento, ya que en machos previamente eyaculados, la depositación de espermátóforos nuevos solo se observó inmediatamente después de la ecdisis, observación que coincide con la de Heitzmann et al. (1993). Ellos mismos encontraron que tanto el número como la calidad de los espermatozoides permanece constante a lo largo del ciclo de muda. Sin embargo, en este estudio, se registró un descenso desde un promedio de 10.14×10^6 a los 0 días después de la muda hasta 5.03×10^6 hacia el final del ciclo, esta disminución en el número de espermatozoides puede ser debida al proceso normal de deterioración del espermátóforo, propuesto por Alfaro y Lozano (1993). En este aspecto, Leung-Trujillo y Lawrence (1987) observaron una declinación significativa en la cantidad (de 54.4×10^6 a 16.7×10^6) y en la calidad de los espermatozoides normales (de 96.0 % a 31.7 %) de machos de *P. setiferus* en un período de tres semanas, a una temperatura de 27 a 29° C.

En lo que concierne al porcentaje de espermatozoides normales, también se registró un decremento significativo, desde un promedio de 73.96 %, a los 0 días después de la muda, hasta un 47.76 %, a los 12 ddm. Es posible que dicho decremento este asociado al estrés provocado por las condiciones más evidentes de confinamiento

(tanques muy reducidos), la calidad del agua y/o la temperatura. Bray et al. (1985) encontró que a bajas temperaturas se retarda la declinación en la calidad de los espermatozoides en *P. setiferus*. A su vez, Leung-Trujillo y Lawrence (1985) no observaron ninguna evidencia de deterioración de los espermatóforos de *P. vannamei* después de 104 días, a una temperatura de 17.8°C.

En lo referente al tiempo de regeneración del espermatóforo en la ampolla terminal en machos del género *Penaeus*, una vez que este ha sido expulsado ya sea manual o naturalmente, existe información diversa. En *P. monodon*, el tiempo requerido fue de 7 a 11 días (Lin y Ting, 1986) o de una a dos semanas (Pratoomchat et al., 1993); en alrededor de 13 días en *P. stylirostris* (Alfaro, 1993); mientras que en *P. vannamei* parece tomar de 8-12 días (Leung-Trujillo y Lawrence, 1987; Salvador et al., 1988). Las observaciones realizadas en este estudio indican que el tiempo de regeneración de los espermatóforos está íntimamente asociado con la etapa de muda en la que se efectúe la expulsión, ya que la depositación de nuevos espermatóforos en la ampolla terminal ocurrió siempre inmediatamente después de la ecdisis. Debido a lo anterior, cuanto más temprano era el estadio de muda al momento de expulsar los espermatóforos, más tiempo tardaban estos en ser regenerados. En este estudio el tiempo requerido fue de 0 a 5 días cuando la expulsión se realizó en premuda; de 6 a 9 días cuando se efectuó en intermuda; y 10 a 14 días cuando ocurrió en postmuda. Bizot-Espiard (1980), observó que los organismos de *P. japonicus* poseen dos

espermatoóforos, uno maduro en la ampolla terminal y otro en formación en los vasos deferentes. De acuerdo con Heitzmann et al. (1993), los nuevos espermatoóforos aparecen en la ampolla terminal durante la noche en la que ocurre la ecdisis.

Entre los espermatoóforos nuevos y los previamente expulsados, generalmente se observaron cambios significativos en algunos parámetros tales como el peso, la cantidad y la calidad de los espermatozoides. Al comparar el peso de los espermatoóforos antes y después de la muda, la diferencia no fue significativa. Sin embargo, cuando se consideró la etapa de muda al momento de la expulsión, las diferencias fueron significativas entre los pesos de los espermatoóforos expulsados en las etapas de intermuda y premuda; en tanto que las diferencias resultaron no significativas en peso entre los expulsados en la etapa de postmuda respecto a los 0 días después de la ecdisis. Lo anterior, de alguna manera, confirma lo anteriormente expuesto con relación al proceso de maduración posterior a la depositación del espermatoóforo en la ampolla terminal.

De acuerdo con Pratoomchat et al. (1993), electroeyaculaciones repetidas pueden mejorar la calidad de los espermatoóforos en *P. monodon*, al igual que la cópula, la cual los renueva y retarda el proceso de deterioración (Alfaro y Lozano, 1993). Los resultados obtenidos en este estudio apoyan lo anterior, debido a que tanto el número total como el porcentaje de espermatozoides normales siempre fueron menores en los espermatoóforos expulsados antes de la ecdisis

(1.83×10^6 ; 60.2 %) que en los expulsados a los 0 días después de esta (6.28×10^6 ; 81.3 %); aún cuando se consideró la etapa de muda al momento de la expulsión. Además, en todos los casos las diferencias fueron estadísticamente significativas. Al respecto, Alfaro (1993) propuso que la eyaculación y regeneración continúa tiene un efecto positivo en el funcionamiento de los vasos deferentes.

El peso de los organismos del experimento 3 ($\bar{x} = 35.42$ g), corresponde con los recomendados por diversos autores (Aquacop, 1979; Leung-Trujillo y Lawrence, 1985; Wyban et al., 1987) para su utilización como reproductores en instalaciones de maduración de *Penaeus vannamei* a escala comercial.

Aunque los resultados obtenidos del estudio del tracto reproductivo se discutieran por separado de manera más detallada en cada una de sus secciones, cabe hacer algunas consideraciones generales sobre éste.

El peso del TRC fue de 287.45 a 633.80 mg ($\bar{x} = 409.80 \pm 19.71$ mg) lo que equivale a 0.91 - 1.46 % ($\bar{x} = 1.15 \pm 0.04$ %) del peso total de los organismos. Ambos se incrementaron conforme aumentó el peso total de los individuos, como lo indica la relación positiva existente y el aceptable índice de correlación ($r^2 = 0.87$). Sin embargo, el cambio ligeramente abrupto en la tendencia de peso del TRC respecto al peso de los organismos, que se observa alrededor de los 35.0 g, podría sugerir que el tracto reproductivo alcanza su

completo desarrollo hasta este tamaño, aún cuando los individuos de menor peso sean sexualmente maduros y capaces de producir espermatozoides normales.

Aunque los valores promedio del peso del tracto reproductivo presentaron un mínimo durante la etapa de postmuda (351.57 mg) y un máximo en premuda (508.83 mg), las variaciones en el porcentaje comprendidas entre 0.91 y 1.46 % del peso total de los organismos posiblemente están asociadas con la etapa de muda de los individuos al momento de la disección del tracto reproductivo, ya que en el peso del TRC, expresado como porcentaje del peso total de los organismos, se observó el mismo patrón, es decir, un valor promedio mínimo de 1.03 % en la etapa de postmuda; a partir de la cual se incrementó hasta un máximo de 1.33 % en la etapa premuda. Esta disminución del peso del tracto reproductivo, expresado como porcentaje del peso de los organismos, puede ser debida al marcado aumento de tamaño que resulta de la rápida absorción de agua que según Turner (1966), ocurre durante la ecdisis. Esta absorción reserva suficiente espacio para el crecimiento que se presenta a lo largo del ciclo de muda.

Como en los dos experimentos anteriores en los que se estimó el número de espermatozoides contenidos en los espermátóforos de organismos de 30.0 g o mayores, el número total de espermatozoides en el tracto reproductivo presentó una alta variabilidad de entre 45.60×10^6 y 191.12×10^6 ($\bar{x} = 99.97 \pm 8.56 \times 10^6$), y al igual que

en los anteriores, tampoco se encontró correlación entre el número de espermatozoides y el peso del TRC y el de los organismos. Tales variaciones podrían estar asociadas con la acumulación de espermatozoides, producidos en los testículos, en los vasos deferentes y con la declinación ya mencionada de espermatozoides en los espermatóforos contenidos en las ampollas terminales, a lo largo del ciclo de muda.

El peso de los testículos fue de 73.70 a 209.13 mg (\bar{x} = 118.92 \pm 6.75 mg), lo que representó de entre 23.1 y 34.4 % (\bar{x} = 29.1 \pm 0.82 %) del peso total del TRC. Al igual que el TRC, el peso de los testículos se incrementó con el peso total de los individuos, con un aceptable índice de correlación (r^2 = 0.75). También en este caso, aunque un poco menos evidente, se observó un cambio en la tendencia de peso de los testículos respecto al peso de los organismos, alrededor de los 35.0 g, atribuido a lo anteriormente expuesto. Al respecto, King (1948) observó que conforme los organismos maduran la apariencia de los testículos presenta pocos cambios, más no el tamaño. Hug (1981) encontró que los individuos más pequeños del género *Penaeus* tienden a poseer menos lóbulos en los testículos que los individuos más grandes.

Las ligeras variaciones no significativas observadas en los valores del peso promedio de los testículos en las diferentes etapas del ciclo de muda (103.85 a 147.03 mg), posiblemente están asociadas con la actividad de los mismos y al paso continuo de material espermatofórico desde éstos hacia los vasos deferentes.

Mientras que el decremento del peso de los testículos, expresado en porcentaje del peso del TRC, a partir de la etapa inicial hacia la etapa final del ciclo de muda, podría reflejar una actividad más intensa en las primeras y/o cambios en el peso de los vasos deferentes, en donde hay acumulación de material espermatofórico, y/o cambios en el peso de los espermátóforos, provocados por el proceso de deterioración ya mencionado o a la movilización de reservas en las etapas finales del ciclo de muda.

Por otra parte, la presencia de los diversos estados de desarrollo de las células espermatogénicas en los testículos en cada una de las tres etapas del ciclo de muda parece indicar que la espermatogénesis es un proceso continuo. Esta observación coincide con lo propuesto por King (1948); Talbot et al. (1989) y Chow et al. (1991b), quienes encontraron las diferentes etapas simultáneamente; y por Heitzmann et al. (1993), quienes las observaron a través del ciclo de muda. Aunque según Talbot et al. (1989), esto no debe extenderse a machos silvestres debido a que las condiciones de cautiverio podrían interferir con el sincronismo en la espermatogénesis sugerido por Lu et al. (1973).

Sin embargo, es posible que a través del ciclo de muda existan variaciones en la actividad de los testículos. En este caso la mayor y menor proporción de espermátidas observadas durante las etapas de postmuda y premuda, respectivamente, podrían indicar una actividad más intensa al inicio del ciclo de muda y un decremento hacia el final del mismo.

Generalmente, es posible encontrar en los testículos células espermatogénicas desde la etapa de espermatogonia hasta espermatida tardía, más no espermatozoides normales. Estos últimos, que aparecen como una etapa más observada en los testículos, más bien parecen haberse encontrado en la parte proximal anterior de los vasos deferentes propuesta por Chow et al. (1991b), la cual es una especie de túbulo colector que conecta a los lóbulos de los testículos con los vasos deferentes, que en este estudio era disectada y macerada junto con los testículos.

El peso promedio de los vasos deferentes fue de 121.37 mg, lo que representó un 29.2 % del peso del TRC, al igual que en los testículos, el peso de estos se incrementó de acuerdo con el peso total de los individuos, con un aceptable, aunque ligeramente más bajo, índice de correlación ($r^2 = 0.69$). También en este caso, aunque un poco menos evidente, se observó un cambio en la tendencia de peso de los vasos deferentes en los organismos de alrededor de los 35.0 g de peso total, atribuido a lo que arriba se menciona.

Las diferencias significativas en el peso de los vasos deferentes a través del ciclo de muda, es decir, un incremento en el peso promedio desde un mínimo en la etapa de postmuda hasta un máximo en la premuda, podrían ser atribuidas a las diferencias en el tamaño de los organismos utilizados en cada etapa, ya que los empleados en esta última fueron significativamente más grandes que los de las dos anteriores. Además de que, como lo indican las

diferencias no significativas, a lo largo del ciclo de muda mantienen relativamente la misma proporción del peso del TRC.

En cuanto al número de espermatozoides contenidos en los vasos deferentes, se registró un promedio de 61.49×10^6 , equivalente a un 64.1 % del total de estos en el TRC.

Las diferencias no significativas en el número de espermatozoides estimados en las diferentes etapas del ciclo de muda, parecen confirmar lo observado con relación peso. Por su parte, el incremento en la proporción de espermatozoides en el TRC desde un mínimo de 49.15 %, en postmuda, hasta un máximo de 81.77 %, en premuda, parece estar asociado con la declinación del número de espermatozoides en el espermatóforo, aspecto que se discutirá más adelante.

Con relación al porcentaje de espermatozoides normales en los vasos deferentes, generalmente se estimó un promedio relativamente alto (74.4 %); y variaciones relativamente bajas a través del ciclo de muda, ambas al parecer influenciadas por la presencia de espermatozoides inmaduros en la parte proximal.

Para un mejor análisis de los vasos deferentes, los resultados obtenidos de cada una de sus tres secciones (proximal, media y distal) se discutirán por separado.

De acuerdo con Chow et al. (1991b) la parte proximal conecta al túbulo colector de los testículos con los vasos deferentes, en

donde es posible encontrar espermátidas finales, por lo que la espermatogénesis parece ser completada en esta sección de los vasos deferentes. Los resultados de este estudio confirman lo anterior, ya que el porcentaje de espermatozoides normales fue altamente variable (17.1 a 94.0%) y los considerados como anormales (sin pico), generalmente fueron células espermátogénicas en la etapa de espermátida; aunque en los de apariencia normal el pico era ligeramente más corto.

Las variaciones no significativas en el peso de la parte proximal de los vasos deferentes indican que a través del ciclo de muda el peso de esta sección se mantiene relativamente constante. En tanto que la disminución en el porcentaje del peso total de los vasos deferentes, desde un máximo en postmuda hasta un mínimo en premuda, es debida a un incremento en peso de la parte media de los mismos.

Por otra parte, aunque el número de espermatozoides se incrementó desde la postmuda hasta la premuda, el incremento en el porcentaje del total de espermatozoides en los vasos deferentes desde la postmuda hasta la intermuda, podría indicar un incremento en la actividad espermátogénica y como consecuencia en el paso de material espermátofórico desde los testículos hacia la parte proximal de los vasos deferentes hasta la etapa de intermuda y posteriormente una declinación de dicha actividad hacia la premuda. Lo anterior es más evidente en el caso de las hembras. En P.

stylirostris, en la premuda, además de la interrupción de la actividad ovárica, es posible observar una reabsorción de los ovarios (Rendón, 1994). Lo cual indica que las gónadas están involucradas en la movilización de reservas orgánicas hacia la epidermis durante el proceso de la muda (Adiyodi y Adiyodi, 1970).

La parte media resultó la sección de mayor tamaño, representando entre 78.2 a 94.8% del peso total de los vasos deferentes. El incremento en peso desde un mínimo en la etapa de postmuda hasta un máximo en la premuda indican que esta sección se presenta una acumulación de espermatozoides. Además, de acuerdo con Chow et al. (1991a), en esta ocurren la formación de las capas primaria y secundaria del espermatóforo y la depositación de otras capas accesorias, lo cual podría significar un incremento adicional de peso.

Aunque, comparativamente con las otras secciones de los vasos deferentes, en la parte media se registró el mayor número de espermatozoides, el número de estos por unidad de peso fue significativamente menor que en la parte proximal.

La variación del número y porcentaje del total de espermatozoides en los vasos deferentes a través del ciclo de muda, en donde los valores obtenidos en la parte media son proporcionales a la inversa con los obtenidos en la parte proximal, sugieren la ocurrencia de pulsos en el paso de material espermatofórico desde esta última hacia la primera. En tanto que el incremento en peso pudiese ser debido a la formación de las capas del espermatóforo

mencionadas arriba.

La parte media proximal de este estudio corresponde con la porción ascendente citada por Malek y Bawab (1974a) y Chow et al. (1991a) y con el segmento 2A referido en Ro et al. (1990). De acuerdo con estos, aquí ocurre la formación de la capa primaria del espermatóforo. En vista de que en esta porción estuvo contenida casi las tres cuartas partes de los espermatozoides en los vasos deferentes (73.4%), es posible que en esta se encuentren tanto espermatozoides como espermatóforos en formación.

Por su parte, la parte media distal de este estudio corresponde con la porción descendente citada por Malek y Bawab (1974a) y Chow et al. (1991a) y con el segmento 2B referido en Ro et al. (1990). En esta se completa la formación de la capa primaria del espermatóforo Chow et al. (1991a). De acuerdo con Ro et al. (1990), en esta porción convergen los ductos espermático y accesorio y ocurre la formación de la capa secundaria y la adición de las capas accesorias.

Al parecer aquí se almacenan el o los espermatóforos listos para ser depositados en la ampolla terminal para completar su desarrollo. Es posible que al término de este proceso se interrumpa la espermatogénesis y posiblemente la cópula o la expulsión manual de los espermatóforos actúe como un disparador de la misma. El número de espermatozoides siempre menor que en la parte media proximal parece confirmar lo anterior.

La parte distal de los vasos deferentes conecta la parte posterior de la parte media distal con la ampolla terminal. La ausencia o número de espermatozoides extremadamente bajo encontrado en esta sección sugiere que ésta, a diferencia de otros decápodos como los del género *Cherax* en los que en ella se forma la capa secundaria del espermatóforo (Talbot y Beach, 1989), solo participa en el transporte de espermatóforos hasta la ampolla terminal, el cual es un proceso rápido que según Ro et al. (1990), en observaciones *in vitro*, tiene una duración de 55 min.

Por lo anterior es posible afirmar que el paso de material espermatofórico de los vasos deferentes hasta la ampolla terminal es un proceso discontinuo.

El porcentaje de espermatozoides normales en las dos últimas secciones de los vasos deferentes y por el patrón que se observó a través del ciclo de muda similar al de los espermatóforos, valores más altos en la postmuda y generalmente más bajos en la premuda, es posible que en estos ocurra algún tipo de deterioración por causas poco claras.

Los tipos de anomalías en los espermatozoides encontrados a partir de la parte media de los vasos deferentes hasta los espermatóforos, a su vez, también fueron comunes, lo que puede ser considerado como algo normal.

La ampolla terminal es el sitio en el cual no solo ocurre la

organización de los componentes del espermatóforo, sino que también la maduración (King, 1948) y depositación de nuevas matrices del mismo (Chow et al., 1991a).

El peso de esta sección, conteniendo los espermatóforos, representó en promedio un 41.7 % del peso de TRC. También en esta sección fue evidente el cambio en la tendencia con relación al peso de los organismos, similar a lo observado en el TRC y los dos secciones mayores, atribuido a las causas arriba mencionadas.

A través del ciclo de muda el peso de la ampolla terminal presentó variaciones ligeras no significativas a pesar de los cambios observados en los espermatóforos aún cuando estos representaron un 38.7% del peso total de aquella.

En cambio, el patrón de la variación del peso del espermatóforo en la tres etapas del ciclo de muda, valores significativamente más bajos en las etapas de postmuda y premuda que en la intermuda, confirman los resultados obtenidos en el Experimento II de este estudio. Al igual que la variaciones en porcentaje del peso de las ampollas terminales.

Los cambios considerables en el número total y en el porcentaje de espermatozoides normales durante el ciclo de muda, valores máximos en postmuda que decrecieron hasta un mínimo en premuda, también confirman las observaciones del experimento II.

CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados obtenidos durante el desarrollo del presente trabajo, se concluye lo siguiente:

1. El potencial reproductor de los machos de *Penaeus vannamei* recolectados en granja, generalmente de menos de 30 g. indicada por el número de espermatozoides, es baja. Sin embargo, por los altos porcentajes de espermatozoides normales, estos podrían ser utilizados como fuente de gametos masculinos en la práctica de la fecundación artificial.

2. Los machos recolectados en el mar, generalmente de más de 30 g. presentan un mayor potencial reproductivo, aunque más variable. Tales variaciones se asocian con períodos relativamente largos de permanencia de los espermatóforos en las ampollas terminales que se refleja en valores bajos en el número total y porcentaje de espermatozoides normales. Al ingresar reproductores nuevos en los laboratorios de maduración, para mejorar el rendimiento de éstos se recomienda evaluar los espermatóforos, sobre todo si su captura se realiza en épocas de no reproducción en el mar.

3. El incremento en el peso de los espermatóforos desde un mínimo en postmuda hasta un máximo en intermuda sugiere que el desarrollo de estos se completa hasta esta etapa. La posterior

disminución hacia las etapas finales del ciclo de muda, es debida a la movilización de reservas hacia la epidermis en la premuda.

4. Tanto el número total como el porcentaje de espermatozoides normales son más altos en las etapas iniciales del ciclo de muda.

5. La deterioración de los espermátóforos es un proceso normal aún en condiciones naturales, aunque en cautiverio tal proceso tiende a acelerarse.

6. La cópula y/o la expulsión manual de los espermátóforos tiende a mejorar la calidad de estos, expresada en número total y porcentaje de espermatozoides normales.

7. Se considera normal la presencia de hasta un 30 % de espermatozoides anormales; porcentajes mayores indican cierto avance en el proceso de deterioración del espermátóforo. Los espermatozoides sin pico son el tipo de anomalía más común.

8. El paso de material espermatófórico desde los vasos deferentes o la depositación de espermátóforos nuevos en las ampollas terminales ocurre solamente poco después de la muda, siempre y cuando éstas se encuentren vacías antes de la misma.

9. El tiempo de reposición de los espermátóforos en las ampollas terminales depende del tiempo después de la ecdisis o

etapa de muda en la que se realice la expulsión.

10. El tracto reproductivo de machos adultos de *Penaeus vannamei* representa entre 0.9 a 1.5 % ($\bar{x} = 1.2 \pm 0.04$) del peso total de los organismos.

11. El peso del tracto reproductivo, así como el de cada una de sus tres secciones principales: testículos, vasos deferentes y ampollas terminales, generalmente se incrementa con el peso de los organismos.

12. El tracto reproductivo alcanza su completo desarrollo en organismos de alrededor de 35 g de peso total.

13. Las ampollas terminales es la sección más grande del tracto reproductivo, la cual representa entre el 36 al 48 % ($\bar{x} = 41.7$ %), el resto corresponde a los testículos (29.1 %) y vasos deferentes (29.2 %).

14. Del número de espermatozoides contenidos en todo el tracto reproductivo ($\bar{x} = 99.97 \pm 8.6$ mills), la mayor proporción se localiza en los vasos deferentes (64 %) y el 36 % restante, en los espermatóforos.

15. La presencia simultanea de diversas etapas de desarrollo de las células espermátogénicas en los testículos, en las tres

etapas del ciclo de muda, sugiere que la espermatogénesis es un proceso continuo.

16. En los vasos deferentes, la sección de mayor volumen es la parte media la cual representó un 90.6 % del peso de estos, del resto 5.6 % y 3.8 % correspondió a la partes proximal y distal, respectivamente.

17. Del total de espermatozoides contenidos en los vasos deferentes (24.8 a 124.05 mills), el 83.4 % se localizó en la parte media, y el 16.5 % en la parte proximal. En la parte distal generalmente estuvieron ausentes o extremadamente escasos.

18. La presencia de espermátidas en la parte proximal de los vasos deferentes sugiere que la maduración de los espermatozoides se completa en esta sección del tracto reproductivo.

19. La ausencia casi completa de espermatozoides en la parte distal de los vasos deferentes, sugiere que el paso de material espermatofórico de los vasos deferentes hacia la ampolla terminal es un proceso discontinuo.

20. La duración del ciclo de muda varió de 13 a 16 días y hasta al menos tres días después de la muda y durante 5 a 7 días, el espermatóforo presentaba características adecuadas para la cópula.

LITERATURA CITADA

- ADITYODI, K.G. & R.G. ADITYODI, 1970. Endocrine control of reproduction in decapod crustacea. *Biol. Rev.*, 45. 121-165.
- ALFARO, J., 1993. Reproductive quality evaluation of male *Penaeus stylirostris* from grow-out pond. *J. World Aquacult. Soc.* 24 (1): 6-11.
- ALFARO, J. & X. LOZANO, 1993. Development and deterioration of spermatophores in pond-reared *Penaeus vannamei*. *J. World Aquacult. Soc.* 24 (4): 522-529.
- AQUACOP & J. PATROIS, 1990. Techniques of broodstock rearing, maturation, spawning and hatching in penaeid shrimp. In: C. Chávez Justo (Ed.), *The Aquaculture of Shrimp, Prawn and Crayfish in the World: Basics and Technologies*. Midori Shobo Co., Ltd, Tokyo, Japan, pp. 22-30.
- ARVY, L., G. ECHALIER et M. GABE, 1954. Modifications de la gonade de *Carcinides maenas* L. après ablation bilatérale de l'organe Y. *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci.*, Paris 239: 1853-5.
- BEARD, T.W., & J.F. WICKINS, 1980. Breeding of *Penaeus monodon* Fabricius in laboratory recirculation tanks. *Aquaculture* 20:79-89.

BELL, T.A. & D.V. LIGHTNER, 1988. A handbook of normal penaeid shrimp histology. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, La. 114 pp.

BIZOT-ESPIARD, A., 1980. Croissance et reproduction de la crevette *Penaeus japonicus* (Bate) en élevage: effets de l'épédonculation de l'appareil génital mâle. Thèse 3ème cycle, Université de Bretagne occidentale, Brest, 183 pp.

BRAY, W. A. & A. L. LAWRENCE, 1991. Reproduction of *Penaeus* species in captivity. In: Fast, A. W. & L. J. Lester (Eds.), *Culture of marine shrimp: Principles and practices*. Elsevier Sci. Publish., pp. 93-170.

BROWDY, C.L. & T.M. SAMOCHA, 1985. The effect of eyestalk ablation on spawning, molting and mating of *Penaeus semisulcatus* de Haan. *Aquaculture*, 49: 19-29.

BROWN, A., JR., J. MCVEY, B.S. MIDDLEDITCH, A.L. LAWRENCE, B.M. SCOTT, & T.D. WILLIAMS, 1980. Preliminary results on the maturation and spawning of *Penaeus stylirostris* under controlled laboratory conditions. *Proc. World Maricult. Soc.*, 11:488-499.

BURUKOVSKI, R.N., 1983. *Key to shrimps and lobsters*. A.A. Balkema, Rotterdam, 174 p.

- CLARK, W.H., JR., M.G. KLEVE, & A.I. YUDIN, 1981. An acrosome reaction in natantia sperm. *J. Exp. Zool.*, 218:279-291.
- CHAMBERLAIN G.W. & N.F. GERVAIS, 1984. Comparison of unilateral eyestalk ablation with enviromental control for ovarian maturation of *Penaeus stylirostris*. *J. World Maricult. Soc.*, 15:29-30.
- CHAMPION, H. F. B., 1987. The functional anatomy of the male reproductive system in *Penaeus indicus*. *S. Afr. J. Zool.* 22 (4): 297-307.
- CHOW, S., M.M. DOUGHERTY, W.J. DOUGHERTY & P.A. SANDIFER, 1991a. Spermatophore formation in the white shrimps *Penaeus setiferus* and *P. vannamei*. *J. Crust. Biol.*, 11 (2): 201-216.
- CHOW, S., W.J. DOUGHERTY & P.A. SANDIFER, 1991b. Unusual testicular lobe system in the white shrimps, *Penaeus setiferus* (Linnaeus 1761) and *P. vannamei* Boone 1931, (Decapoda, Penaeidae); a new character for Dendrobranchiata? *Crustaceana*, 60:304-318.
- DÉMEUSY, N., 1962. Role de la glande de mue dans l'évolution ovarienne du crabe *Carcinus maenas* Linné. *Cah. Biol. mar.* 3: 37-56.

- GOMES, L.A.O & J. HONCULADA-PRIMAVERA, 1993. Reproductive quality of male *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 112:157-164.
- HEITZMANN, J. C., A. DITER & AQUACOP, 1993. Spermatophore formation in the white shrimp, *Penaeus vannamei* Boone 1931: dependence on the intermolt cycle. *Aquaculture*, 116:91-98.
- HIGHNAM, K.C. & L. HILL, 1977. *The comparative endocrinology of the invertebrates*. 2da. Ed. Edward Arnold Ltd.
- HUQ, A., 1981. Reproductive system of a species of *Penaeus* (Decapoda). *Bangladesh J. Zool.*, 8: 81-88.
- KELEMEC, J.A. & I.R. SMITH, 1980. Induced ovarian development and spawning of *Penaeus plebejus* in a recirculating laboratory tank after unilateral eyestalk enucleation. *Aquaculture*, 21:55-62.
- KING, J.E., 1948. A study of the reproductive organs of the common marine shrimp, *Penaeus setiferus* (Linnaeus). *Woods Hole Biol. Bull.*, 94 (3):244-262.
- LAUBIER-BONICHON, A., & A. PONTICELLI, 1981. Artificial laying of spermatophores on females of the shrimp *Penaeus japonicus* Bate. Abstract, World Conference on Aquaculture, Venice, Italy, 21-25 September.

- LEUNG-TRUJILLO, J.R. & A.L. LAWRENCE, 1985. The effect of eyestalk ablation on spermatophore and sperm quality in *Penaeus vannamei*. *J. World Maricult. Soc.*, 16: 258:266.
- LEUNG-TRUJILLO, J.R. & A.L. LAWRENCE, 1987. Observations on the decline in sperm quality of *Penaeus setiferus* under laboratory conditions. *Aquaculture*, 65: 363-370.
- LIN, M. & Y.Y. TING, 1986. Spermatophore transplantation and artificial fertilization in grass shrimp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 52(4):585-589.
- LU, C.C., W.H. CLARK & L.E. FRANKLIN, 1973. Spermatogenesis of the decapod *Penaeus setiferus*. *J. Cell Biol.*, 59: 202a.
- MAKINOUCI, S. & J.H. PRIMAVERA, 1987. Maturation and spawning of *Penaeus indicus* using different ablation methods. *Aquaculture*, 62: 73-81.
- MALEK, S.R.A. & F.M. BAWAB, 1974a. The formation of the spermatophore in *Penaeus kerathurus* (Forskal, 1775) (Decapoda, Penaeidae). I. Initial formation of the sperm mass. *Crustaceana*, 26: 273-285.
- MALEK, S.R.A. & F.M. BAWAB, 1974b. The formation of the spermatophore in *Penaeus kerathurus* (Forskal, 1775) (Decapoda,

Penaeidae). II. The deposition of the main layers of the body and the wing. *Crustaceana*, 27: 73-83.

MOTOH, H., 1979. Preliminary study on the internal genital organ of the giant tiger prawn, *Penaeus monodon*. *Quatt. Res. Rep.*, 3(1):15-18.

MOTOH, H., 1981. Studies on the fisheries biology of the giant tiger prawn, *Penaeus monodon*, in the Philippines. Tech. Paper No. 7, Aquacult. Dep. Southeast Asian Fish. Development Center, Tigbauan, Iloilo, Philippines, 128 pp.

OGLE, J.T., 1992. A review of the current (1992) state of our knowledge concerning reproduction in open thelycum Penaeid shrimp with emphasis on *Penaeus vannamei*. *Invertebrate Reproduction and Development*, 22(1-3):267-274.

PEREZ FARFANTE, I., 1975. Spermatophores and thelyca of the American white shrimps, genus *Penaeus*, subgenus *Litopenaeus*. *Fish. Bull.*, 73 (3): 463-486.

PRATOOMCHAT, B., S. PIYATIRATITIVORAKUL, P. MENASVETA & A.W. FAST, 1993. Sperm quality of pond-reared and wild-caught *Penaeus monodon* in Thailand. *J. World Maricult. Soc.*, 24(2):530-540.

- PRIMAVERA, J.H., 1980. Studies on broodstock of sugpo *Penaeus monodon* Fabricius and other penaeids at the SEAFDEC Aquaculture Department. Contribution no. 58 SEAFDEC Aquaculture Dept. Paper presented at International Symposium Coastal Aquaculture 12-18 January 1980, Cochin, India, 24 pp.
- PRIMAVERA, J.H., 1984. A review of maturation and reproduction in closed thelycum penaeids. *Proceedings of the First Internacional Conference on the Culture of Penaeid Prawns Shrimps*, Iloilo City, Philippines, 1984. 1983 SEAFDEC Aquaculture Department.
- RENDON-RODRIGUEZ, S., 1994. Relación entre muda y reproducción en hembras ablacionadas de *Penaeus stylirostris* (Decapoda: Penaeidae) en condiciones de laboratorio. *Rev. Biol. Trop.*, 42(1/2): 343-345.
- RO, S., P. TALBOT, J. LEUNG-TRUJILLO, & A. LAWRENCE, 1988. Structure and function of the male reproductive tract in *Penaeus setiferus*. *J. World Aquacult. Soc.*, 19: 59A.
- RO, S., P. TALBOT, J. LEUNG-TRUJILLO, & A. LAWRENCE, 1990. Structure and function of the vas deferents in the shrimp *Penaeus setiferus*: segments 1-3. *J. Crust. Biol.*, 10: 455-468.

- ROBERTSON, L., W. BRAY, J. LEUNG-TRUJILLO Y A. LAWRENCE, 1987.
Practical molt staging of *Penaeus setiferus* and *Penaeus stylirostris*. *J. World Aquacult. Soc.*, 18 3: 180-185.
- ROSENBERRY, R., 1989. World shrimp farming 1989. *Aquaculture Digest*, CA., 28 pp.
- SALVADOR, A.J.A., J.B. JORAMILLO, M.Z. ROMERO, H. LUCIEN-BRUN & D.O.C. LEE, 1988. A comparative analysis of sperm quality between wild caught males and unilateral eyestalk ablated regenerated males in a commercial *Penaeus vannamei* maturation facility. *The World Aquaculture Society 19th Annual Conference and Exposition (1988)* 89:ASEAN/SF/Tech.9 (1988):Abstract No. 154.
- TALBOT, P. & D. BEACH, 1989. Role of the vas deference in the formation of the spermatophore of the crayfish (*Cherax*). *J. Crust. Biol.*, 9(1): 9-24.
- TALBOT, P., D. HOWARD, J. LEUNG-TRUJILLO, T. W. LEE, W-Y LI, H. RO, A. L. LAWRENCE, 1989. Characterization of male reproductive tract degenerative syndrome in captive penaeid shrimp (*Penaeus setiferus*). *Aquaculture*, 78:365-377.
- TRUJILLO, J. R., 1990. Male reproduction in penaeid shrimp: sperm quality and spermatophore in wild and captive populations.

M.S. thesis, Dept. of Wildlife and Fisheries Sciences, Texas
A & M Univ., College Station, TX, USA, 91 pp.

TURNER, C.D., 1967. *Endocrinología general*. 4a. ed. Editorial
Interamericana, S.A., México, 527 p.

WYBAN, J.A., C.S. LEE, J.N. SWEENEY & W.K. RICHARDS, JR., 1987.
Observations on development of a maturation system for *Penaeus*
vannamei. *J. World Aquacult. Soc.*, 18(3): 198-200.

ZAR, J.H., 1980. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall, Inc. New
Jersey, U.S.A., 620 p.