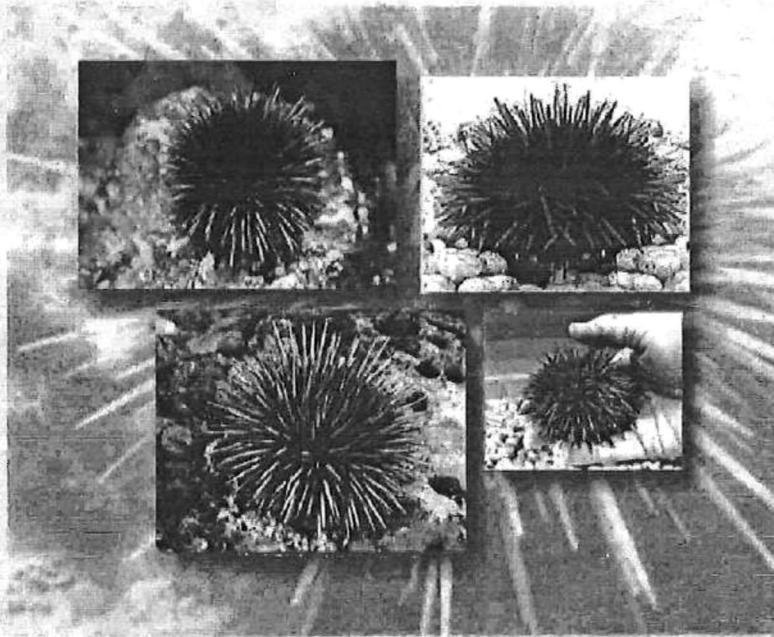


# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

## FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



### Uso alternativo de dietas formuladas en la alimentación de juveniles de erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus*



**T E S I S**  
que presenta

*Elia Teresa Kim Abreu*

Ensenada, B.C., Noviembre de 2001

**USO ALTERNATIVO DE DIETAS FORMULADAS EN LA ALIMENTACIÓN  
DE JUVENILES DE ERIZO MORADO *Strongylocentrotus purpuratus*.**

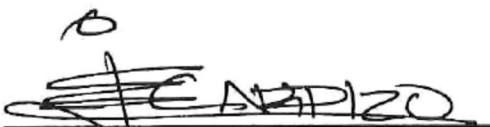
**T E S I S**


Que presenta:


**ELIA TERESA KIM ABREU**

Aprobada por:

  
\_\_\_\_\_  
Presidente del Jurado  
M.C. Alfredo Ernesto Salas Garza

  
\_\_\_\_\_  
Sinodal Propietario  
Dr. Eugenio de Jesús Carpizo Ituarte

  
\_\_\_\_\_  
Sinodal Propietario  
Dr. Lus Mercedes López Acuña

  
\_\_\_\_\_  
Sinodal Propietario  
M.C. Griselda Parés Sierra

*A Él,*

por todas sus bendiciones.  
Por la verdad, la fuerza  
y el poder de vivir.

*A mis padres y hermanas,*

por asegurarse de estar siempre cerca,  
aún estando lejos.

Por creer en mí y en mis ideales.

Por toda su apoyo y AMOR,  
en los momentos fáciles y difíciles  
de mi camino y de mi realización personal.

A ellos, "mi familia",

por compartir y fortalecer día con día,  
ese hermoso vínculo que nos une  
y que le da peso y un infinito valor  
a mi existencia.

*A "los niños de mi ojo",*

Michelle y Diego,  
por la alegría y esperanza  
que le comparten a mi alma  
a través de la luz de sus ojos  
y el armonioso compás  
de sus pequeños latidos.

# AGRADECIMIENTOS

## *A mi director de tesis,*

M.C. Alfredo Ernesto Salas Garza, por todo su apoyo, confianza y comprensión en la realización de este proyecto.

## *A mis sinodales,*

Dr. Eugenio de Jesús Carpizo Ituarte, Dr. Lus Mercedes López Acuña, y M.C. Griselda Parés Sierra, por sus acertados comentarios los cuales enriquecieron esta investigación y mi formación profesional.

## *A la M.C. María Victoria Orozco y el equipo de Bacteriología,*

por su accesibilidad y sus sugerencias en la realización de los análisis bacteriológicos.

## *A el M.C. Antonio Trujillo,*

por toda su amabilidad, su disponibilidad y su tiempo en las asesorías.

## *A la M.C. Graciela Guerra Rivas,*

por tenderme sinceramente la mano en la última etapa de este proceso.

# I N D I C E

	<i>Página</i>
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
1.1 Generalidades .....	5
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	9
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	15
<b>4. METODOLOGÍA</b> .....	16
4.1 Diseño experimental .....	16
4.2 Sistema experimental .....	19
4.3 Aseo de las unidades experimentales .....	21
4.4 Cuantificación de bacterias .....	21
4.5 Obtención de datos .....	25
4.6 Análisis Estadístico .....	25
<b>5. RESULTADOS</b> .....	27
5.1 Primer Experimento .....	27
5.1.1 Crecimiento en Longitud .....	27
5.1.2 Crecimiento en Peso .....	35
5.1.3 Relación Peso y Longitud .....	43
5.1.4 Tasa de Mortalidad Diaria y Supervivencia .....	45
5.1.5 Análisis Bacteriológico del Alimento .....	48
5.2 Segundo Experimento .....	51
5.2.1 Crecimiento en Longitud .....	51
5.2.2 Crecimiento en Peso .....	52
5.2.3 Tasa de Mortalidad Diaria y Supervivencia .....	56
<b>6. DISCUSIONES</b> .....	57
6.1 Crecimiento en Talla y Peso .....	57
- Dietas formuladas .....	57
- Dieta mixta .....	63
- Diatomeas Bentónicas .....	65
- <i>Macrocyctis pyrifera</i> .....	66
6.2 Tasas de crecimiento .....	69
6.3 Relación del crecimiento con el tiempo .....	73
6.4 Relación del crecimiento en longitud y peso .....	75
6.5 Temperatura y tasa de mortalidad .....	76
6.6 Efecto de las bacterias generadas por el alimento .....	78

<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	81
7.1 Recomendaciones .....	82
<b>8. LITERATURA CITADA</b> .....	84
<b>9. ANEXOS</b> .....	92

# LISTA DE TABLAS

<b>Tabla I</b>	Contenido nutricional y clave de identificación de las dietas formuladas. ....	18
<b>Tabla II</b>	Contenido nutricional y clave de identificación de las dietas naturales. ....	18
<b>Tabla III</b>	Tasa de crecimiento ( $\mu\text{m día}^{-1}$ ) de juveniles de erizo <i>S. purpuratus</i> para cada dieta en cada periodo de medición. [N= <i>M. pyrifer</i> a (sin manejo), M= <i>M. pyrifer</i> a, D=diatomeas bentónicas, H=harina de pescado, P=alimento para pollo, S=alimento para perro]. ....	32
<b>Tabla IV</b>	<i>Intensidad de asociación</i> entre el crecimiento en $\text{Log}_{10}$ longitud (mm) de juveniles de erizo <i>S. purpuratus</i> y el tiempo (días) de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson (r) para cada tratamiento. Pendiente (b) de la misma relación. [S=alimento para perro, M= <i>M. pyrifer</i> a, P=alimento para pollo, N= <i>M. pyrifer</i> a (sin manejo), H=harina de pescado]. ....	35
<b>Tabla V</b>	Tasa de crecimiento ( $\text{mg día}^{-1}$ ) de juveniles de <i>S. purpuratus</i> para cada dieta en cada periodo de medición. [N= <i>M. pyrifer</i> a (sin manejo), M= <i>M. pyrifer</i> a, D=diatomeas bentónicas, H=harina de pescado, P=alimento para pollo, S=alimento para perro]. ....	40
<b>Tabla VI</b>	<i>Intensidad de asociación</i> entre el crecimiento en $\text{Log}_{10}$ peso (mg) de juveniles de erizo <i>S. purpuratus</i> y el tiempo (días) de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson (r) para cada tratamiento. Pendiente (b) de la misma relación. [S=alimento para perro, M= <i>M. pyrifer</i> a, P=alimento para pollo, N= <i>M. pyrifer</i> a (sin manejo), H=harina de pescado]. ....	43
<b>Tabla VII</b>	<i>Intensidad de asociación</i> de la relación de crecimiento en longitud (mm) y el Ln peso (mg) de juveniles de <i>S. purpuratus</i> según el coeficiente de correlación de Pearson (r) para cada tratamiento. Pendiente (b) de la misma relación. [S=alimento para perro, P=alimento para pollo, H=harina de pescado, N= <i>M. pyrifer</i> a (sin manejo), M= <i>M. pyrifer</i> a]. ....	45
<b>Tabla VIII</b>	Tasa de mortalidad diaria, porcentaje de sobrevivencia y tasa instantánea de mortalidad (T.I.M) para juveniles de erizo <i>S. purpuratus</i> alimentados con cinco dietas diferentes durante el	

	periodo comprendido del 23 de abril al 28 de septiembre (169 días). [S=alimento para perro, P=alimento para pollo, M= <i>M. pyrifer</i> , N= <i>M. pyrifer</i> (sin manejo), H=harina de pescado, D=diatomeas bentónicas]. ....	46
<b>Tabla IX</b>	<i>Intensidad de asociación</i> entre la tasa de mortalidad de juveniles de erizo <i>S. purpuratus</i> y el tiempo (días) de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson (r) para cada tratamiento. Pendiente (b) de la regresión lineal calculada para las dietas P, M y S. [P=alimento para pollo, M= <i>M. pyrifer</i> , S=alimento para perro, D=diatomeas bentónicas, N= <i>M. pyrifer</i> (sin manejo), H=harina de pescado]. ....	48
<b>Tabla X</b>	Unidades formadoras de colonias por ml (UFC ml <sup>-1</sup> ) para cada muestra en dos medios de cultivo: Zobell y TCBS. Porcentaje de UFC ml <sup>-1</sup> en TCBS respecto a las UFC ml <sup>-1</sup> en Zobell (% de bacterias posiblemente patógenas en relación al total de bacterias heterótrofas). (Tex=tanque exterior, Tint=tanque interior, M= <i>M. pyrifer</i> , D=diatomeas bentónicas, S=alimento para perro, H=harina de pescado, P=alimento para pollo). ....	49
<b>Tabla XI</b>	<i>Intensidad de asociación</i> entre el crecimiento en longitud (mm) de juveniles de <i>S. purpuratus</i> y el tiempo (de 1-66 días) de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson (r) para las dietas SM (dieta mixta) y S (alimento para perro). ....	51
<b>Tabla XII</b>	<i>Intensidad de asociación</i> entre el crecimiento en peso (mg) de juveniles de <i>S. purpuratus</i> y el tiempo (de 1-66 días) de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson (r) para las dietas SM (dieta mixta) y S (alimento para perro). ....	52
<b>Tabla XIII</b>	Tasa de mortalidad diaria y porcentaje de sobrevivencia para juveniles de erizo <i>S. purpuratus</i> alimentados con las dietas SM (dieta mixta) y S (alimento para perro) durante el periodo comprendido del 15 de octubre al 20 de diciembre, 1999 (66 días). ....	56
<b>Tabla XIV</b>	Crecimiento total (CT) en longitud (mm) observadas en dos especies de erizo (Fernández y Pergent, 1998 y el presente estudio). ....	64

# LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Representación esquemática del modelo experimental utilizado. Se muestran las cinco dietas propuestas y sus réplicas. En cada réplica se colocaron 35 organismos. .... 20
- Figura 2** Descripción del tipo de aseo que se otorgó a las cubetas con los distintos tratamientos. [S=alimento para perro, P=alimento para pollo, H=harina de pescado, D=diatomeas bentónicas, M=*M. pyrifer*, N=*M. pyrifer* (sin manejo)]. .... 22
- Figura 3** Diseño experimental utilizado en el análisis bacteriológico de las dietas. A) Ilustra el tanque exterior (reservorio) del cual se tomaron muestras y del cual se suministraba agua de mar hacia el interior del laboratorio donde se realizó el experimento y del cual se tomaron muestras. B) Ilustra las cinco cubetas en donde se colocaron los diferentes alimentos (2. Diatomeas bentónicas, 3. *M. pyrifer*, 4. Harina de pescado, 5. Alimento para pollo, 6. Alimento balanceado para perro) y de las cuales también se tomaron muestras. La cubeta no. 1 solo contuvo agua de mar. .... 24
- Figura 4** Crecimiento promedio en longitud (mm) de juveniles de *S. purpuratus* alimentados con cinco dietas diferentes durante el periodo comprendido del 23 de abril al 28 de septiembre de 1999 (169 días). Las barras verticales muestran el error estándar. .... 28
- Figura 5** Tasa diaria de crecimiento en longitud ( $\mu\text{m día}^{-1}$ ) de juveniles de *S. purpuratus* alimentados con cinco dietas diferentes durante el periodo comprendido del 23 de abril al 28 de septiembre de 1999 (169 días). [N=*M. pyrifer* (sin manejo), M=*M. pyrifer*, D=diatomeas bentónicas, H=harina de pescado, P=alimento para pollo, S=alimento para perro]. .... 31
- Figura 6** (A) Regresión lineal calculada para la relación tiempo (días) y crecimiento en  $\text{Log}_{10}$  longitud (mm) para cada tratamiento [N=*M. pyrifer* (sin manejo), M=*M. pyrifer*, D=diatomeas bentónicas, H=harina de pescado, P=alimento para pollo, S=alimento para perro). Se muestra la pendiente (b) y el coeficiente de correlación de Pearson (r). .... 34
- Figura 7** Crecimiento promedio en peso (mg) de juveniles de *S. purpuratus* alimentados con cinco dietas diferentes durante el periodo

	comprendido del 23 de abril al 28 de septiembre de 1999 (169 días). Las barras verticales muestran el error estándar. ....	37
<b>Figura 8</b>	Tasa diaria de crecimiento en peso (mg día <sup>-1</sup> ) para juveniles de <i>S. purpuratus</i> alimentados con cinco dietas diferentes durante el periodo comprendido del 23 de abril al 28 de septiembre de 1999 (169 días). [N= <i>M. pyrifera</i> (sin manejo), M= <i>M. pyrifera</i> , D=diatomeas bentónicas, H=harina de pescado, P=alimento para pollo, S=alimento para perro]. ....	39
<b>Figura 9</b>	Regresión lineal calculada para la relación tiempo (días) y crecimiento en Log <sub>10</sub> peso (mg) para cada tratamiento [N= <i>M. pyrifera</i> (sin manejo), M= <i>M. pyrifera</i> , D=diatomeas bentónicas, H=harina de pescado, P=alimento para pollo, S=alimento para perro). Se muestra la pendiente (b) y el coeficiente de correlación de Pearson (r). ....	42
<b>Figura 10</b>	Regresión lineal calculada para la relación talla (mm) y Ln peso (mg). Se muestra la pendiente (b) y el coeficiente de correlación de Pearson para cada dieta. [N= <i>M. pyrifera</i> (sin manejo), M= <i>M. pyrifera</i> , D=diatomeas bentónicas, H=harina de pescado, P=alimento para pollo, S=alimento para perro). ....	44
<b>Figura 11</b>	Relación en porcentaje (%) de juveniles muertos a lo largo de todo el experimento (36, 74, 111, 141 y 169 días) así como el porcentaje de sobrevivientes al final del experimento. Estos porcentajes están calculados en función del número inicial de organismos (105 por tratamiento). ....	47
<b>Figura 12</b>	(A) Muestra las UFC ml <sup>-1</sup> presentes en cada tratamiento. (B) Muestra las UFC ml <sup>-1</sup> totales generadas como consecuencia de las diferentes dietas. En ambas gráficas se observa la relación de bacterias posiblemente patógenas (en verde) con las bacterias heterótrofas (en amarillo). (Tex=tanque exterior, Tint = tanque interior, M= <i>M. pyrifera</i> , D= diatomeas bentónicas, S=alimento para perro, H=harina de pescado, P=alimento para pollo). ....	50
<b>Figura 13</b>	A) Crecimiento promedio en longitud (mm) de juveniles de <i>S. purpuratus</i> alimentados con dos dietas diferentes SM (dieta mixta) y S (alimento para pollo) durante el periodo comprendido del 15 de octubre al 20 de diciembre de 1999 (66 días). B). Crecimiento en peso (mg) para el mismo periodo. En ambas gráficas las barras verticales muestran el error estándar. En ambas gráficas las barras	

verticales muestran el error estándar. ....	53
<b>Figura 14</b> A). Tasa diaria de crecimiento en longitud ( $\mu\text{m día}^{-1}$ ) de juveniles de <i>S. purpuratus</i> alimentados con dos dietas diferentes SM (dieta mixta) y S (alimento para perro) durante el periodo comprendido del 15 de octubre al 20 de diciembre de 1999 (66 días). B) Tasa diaria de crecimiento en peso total ( $\text{mg día}^{-1}$ ) para el mismo periodo. ....	54
<b>Figura 15</b> A) Regresión lineal calculada para la relación tiempo (días) y crecimiento en talla (mm). (B) Regresión lineal calculada para la relación tiempo (días) y crecimiento en peso (mg). En ambas gráficas se muestra la ecuación y el coeficiente de correlación de Pearson ("r", en rojo) para cada dieta. ....	55
<b>Figura 16</b> A). Porcentaje (%) de crecimiento en longitud mensual en relación con la tasa de crecimiento total (100%) (36-169 días). B) Porcentaje (%) de crecimiento en peso mensual en relación con la tasa de crecimiento total (100%). ....	70

# LISTA DE TABLAS ANEXO 1

<b>TABLA A</b>	Contrastes múltiples de la prueba <i>a posteriori</i> de Tukey (no paramétrico) para el crecimiento en longitud y peso de juveniles de <i>S. purpuratus</i> alimentados con cinco dietas diferentes durante el primer experimento. ....	93
<b>TABLA B</b>	Contrastes múltiples de la prueba <i>a posteriori</i> de Tukey para coeficientes de correlación de la relación de crecimiento en $\text{Log}_{10}$ longitud (mm) de juveniles de <i>S. purpuratus</i> y el tiempo (169 días). ....	94
<b>TABLA C.</b>	(A) Prueba de comparaciones entre pendientes. Se relaciona el crecimiento en $\text{Log}_{10}$ longitud (mm) de juveniles de <i>S. purpuratus</i> en función del tiempo (169 días). (B) Contrastes múltiples de la prueba <i>a posteriori</i> de Tukey para la misma relación. ....	94
<b>TABLA D</b>	Contrastes múltiples de Tukey para coeficientes de correlación de crecimiento en $\text{Log}_{10}$ peso (mg) de juveniles de <i>S. purpuratus</i> y tiempo (169 días). ....	95
<b>TABLA E</b>	(A) Prueba de comparaciones entre pendientes. Se relaciona el crecimiento en $\text{Log}_{10}$ peso (mg) de juveniles de <i>S. purpuratus</i> en función del tiempo (169 días). (B) Contrastes múltiples de la prueba <i>a posteriori</i> de Tukey para la misma relación. ....	95
<b>TABLA F</b>	Contrastes múltiples de Tukey para coeficientes de correlación de crecimiento en longitud (mm) y $\text{Ln}$ peso (mg) de juveniles de <i>S. purpuratus</i> . ....	96
<b>TABLA G</b>	(A) Prueba de comparaciones entre pendientes. Se relaciona el crecimiento en $\text{Ln}$ peso (mg) en función de la talla (mm) de juveniles de <i>S. purpuratus</i> . (B) Contrastes múltiples de la prueba <i>a posteriori</i> de Tukey para la misma relación. ....	96
<b>TABLA H</b>	Contrastes múltiples de la prueba <i>a posteriori</i> de Tukey (no paramétrico) para el crecimiento en longitud y en peso de juveniles de <i>S. purpuratus</i> alimentados con dos dietas diferentes SM (dieta mixta) y S (alimento para perro) durante el segundo experimento. ....	97

## LISTA DE FIGURAS ANEXO 2

- Figura A** Figura A. Crecimiento en longitud (mm) de juveniles de *S. purpuratus* alimentados con cinco dietas diferentes desde la primera medición (a) hasta los 169 días (f). Se muestra la mediana como una línea horizontal y los percentiles del 10%-90% como cajas verticales con sus respectivas barras de error. Los puntos indican los valores mínimo y máximo observados para cada dieta. [N=M. pyriferá (sin manejo), M=M. pyriferá, D=diatomeas bentónicas, H=harina de pescado, P=alimento para pollo, S=alimento para perro]. ..... 99
- Figura B** Crecimiento en peso (mg) de juveniles de *S. purpuratus* alimentados con cinco dietas diferentes desde los 36 días (a) a los 169 días (e). Se muestra la mediana como una línea horizontal y los percentiles del 10%-90% como cajas verticales con sus respectivas barras de error. Los puntos indican los valores mínimo y máximo observados para cada dieta. [N=M. pyriferá (sin manejo), M=M. pyriferá, D=diatomeas bentónicas, H=harina de pescado, P=alimento para pollo, S=alimento para perro]. ..... 100
- Figura C** a) Crecimiento en talla (mm) de juveniles de *S. purpuratus* alimentados con las dietas SM (dieta mixta) y S (alimento para perro) del 15 de octubre al 20 de diciembre, 1999 (66 días). b) Crecimiento en peso (mg) para el mismo periodo. Se aprecia la mediana como una línea horizontal y los percentiles del 10-90% como cajas verticales con sus respectivas barras de error. Los puntos indican los datos que salen de los percentiles décimo y décimo noveno. .... 101

# R E S U M E N

Se evaluó el efecto de cinco tratamientos alimenticios sobre el crecimiento somático (longitud y peso húmedo) de juveniles de erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson, 1857) durante 169 días. Como alimento natural se utilizaron diatomeas bentónicas (D) y *Macrocystis pyrifera* (M). Como dietas artificiales se utilizaron tres alimentos de elaboración comercial: harina de pescado (H), alimento para pollo (P) y alimento para perro (S). Las dietas tuvieron una composición diferente. El contenido de proteínas, lípidos y humedad fue para M de 9%, 1% y 3%, para la dieta H 68%, 9% y 7%, para P 19%, 2% y 12%, y para S 28%, 15% y 12%. Cada tratamiento se realizó por triplicado en cubetas de tres litros con 35 juveniles cada una. Los organismos promediaron una talla inicial de 1.7 mm ( $\pm 0.5$ ) y un peso de 3.2 mg ( $\pm 2.0$ ). El alimento se proporcionó cada 48 horas y los organismos se midieron y pesaron cada treinta días aproximadamente.

Los erizos alimentados con la dieta S fueron los que presentaron el crecimiento mas alto durante los 169 días, alcanzando una talla promedio de 6.4 mm y un peso promedio de 160 mg. Con la dieta M los organismos alcanzaron 4.7 mm y 89 mg de talla y peso promedio. El desarrollo con la dieta P presentó un buen desempeño sólo hasta los 141 días. La dieta menos eficiente fue la H con la cual los organismos obtuvieron una talla de 2.9 mm y un peso de 24 mg. Con la dieta D se obtuvo el menor crecimiento (2.4 mm y 7.6 mg) y se observó la mortalidad total a los 111 días. Las comparaciones de los crecimientos (talla y peso) observados con las distintas dietas, se realizaron con la prueba de Kruskall-Wallis (no paramétrica) a un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ .

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que los constituyentes de la dieta S pueden ser utilizados para la posterior elaboración de una dieta que sirva como sustituto o complemento de las diatomeas bentónicas y *M. pyrifera*, en la alimentación del erizo morado durante las primeras fases de desarrollo al menos por un periodo de ocho meses.

# 1. INTRODUCCIÓN

De las numerosas especies de erizo, por lo menos 16 de ellas están dentro de las estadísticas de las pesquerías mundiales. Estas especies son cosechadas para alimento humano con una producción total de cerca de 117,000 toneladas. Las especies mayormente explotadas son aquéllas que se encuentran en los tres productores más importantes a nivel mundial: Chile (*Loeochinus albus*), Japón (*Strongylocentrotus intermedius* y *S. nudus*) y Estados Unidos (*S. franciscanus* y *S. droebachiensis*) (Keesing y Hall, 1998).

Los desembarques mundiales de erizo han sido dominados por Japón. El alto consumo de gónada de erizo en Japón se encuentra sustentado por una cosecha doméstica anual de cerca de 20,000 toneladas de erizo fresco (Floreto *et al.*, 1996). Sin embargo, dada la enorme demanda de este organismo en ese país, éste se ha convertido en el mayor importador a nivel mundial; erizos completos no sexados o sus gónadas procesadas en forma de sushi llamada “uni”, son exportadas a este mercado por lo menos de 13 países en cinco continentes (Lesser y Walker, 1998). Las gónadas de erizo también son valuadas en otros países asiáticos y del mediterráneo (Turquía, Grecia, Francia y Bélgica) así como en países del hemisferio sur como las islas Barbados y Chile (Lawrence *et al.*, 1997).

Dado su gran valor comercial y la incesante demanda, la pesquería del erizo se

ha expandido tanto en los últimos años que se ha hecho evidente la sobre explotación de las poblaciones naturales en diversos países alrededor del mundo (Conand y Sloan, 1989; Le Gall, 1990; Saito, 1992). La sobre explotación de las poblaciones trae consigo diversos problemas de índole biológica, los cuales a su vez afectan en gran medida las cosechas naturales. En primera instancia, mientras las poblaciones naturales menguan, la demanda permanece o aumenta ocasionando que sean cosechadas las poblaciones de organismos más pequeños y pobremente alimentados, lo cual resulta en gónadas de baja calidad. En segundo término, existen poblaciones grandes en aguas más profundas (bajo los 18 m.), sin embargo, las poblaciones de erizo en estas profundidades son de menor tamaño y dada la escasez de alimento en estas profundidades, sus gónadas son pequeñas (Lawrence, 1975; Vadas, 1977; Larson *et al.*, 1980).

Es evidente que la situación actual de sobre explotación del erizo en todo el mundo, es el resultado directo tanto de pesquerías basadas en la utilización limitada del conocimiento de la biología básica de las especies cosechadas así como del incumplimiento de las normas regulatorias establecidas. Esto también sucedió en Baja California, México, único estado de este país que lo ha explotado comercialmente.

México, desde hace 30 años ha destinado casi el 100% de sus exportaciones al mercado japonés (SEMARNAP, 1998). Esta pesquería ha representado una de las principales fuentes de ingreso de más de 2,000 familias de pescadores en la región. En los últimos años, debido a la cosecha irracional del erizo rojo *S. franciscanus* y a las



consecuentes medidas regulatorias impuestas sobre dicha pesquería, se inició la explotación del erizo morado *S. purpuratus* con el fin de lograr satisfacer la creciente demanda del recurso en el mercado japonés. Sin embargo tanto las familias como el recurso mismo, se han visto desfavorecidos por la explotación irracional, representada por una reducción del 61% en la captura por unidad de esfuerzo (SEMARNAP, 1998).

Es evidente que existe un mercado lucrativo para la gónada del erizo morado, sin embargo no se debe continuar explotando las poblaciones naturales con el mismo esfuerzo no sustentable. Por lo tanto, ante la situación actual de sobre explotación del recurso, existen oportunidades para la acuicultura de este valioso recurso. El desarrollo de esta actividad puede representar una aproximación efectiva para la paulatina recuperación de las poblaciones naturales, así como para incrementar la exportación de las gónadas extraídas de ésta producción. Asimismo, la acuicultura representará la generación de empleos lo cual favorecerá la economía de las familias de pescadores en la región. Por lo tanto, es necesario desarrollar investigación en larvicultura, sistemas de cultivo y desarrollo de alimentos (Lawrence *et al.*, 1997; McBride *et al.*, 1998; Parsons, 1997), con lo cual pueda enfrentarse la continua demanda y puedan crearse nuevas oportunidades comerciales.

En Japón y Chile se ha logrado con éxito la producción de especies como *S. intermedius* (Agassiz) y *Anthocardaris crassispina* (Agassiz) (Saito *et al.*, 1985), y *Loexochinus albus* (Molina) (Bustos *et al.*, 1991 y González *et al.*, 1987),

respectivamente. En México y Estados Unidos aún no se ha logrado una producción masiva por lo cual es importante desarrollar proyectos y técnicas de cultivo en laboratorio.

### 1.1. GENERALIDADES

El erizo morado *S. purpuratus* (Stimpson, 1857), tiene el cuerpo cubierto de espinas típicamente de un color morado brillante, ocasionalmente verde pálido o verdoso matizado con morado (especialmente en juveniles). La testa varía de circular a pentagonal y comúnmente mide 50 mm de diámetro alcanzando hasta los 100 mm. Es común en zonas intermareales bajas: en playas rocosas donde la acción del oleaje es moderada a fuerte, también se le encuentra en zonas submareales hasta de 160 metros. Su distribución abarca desde la Isla Vancouver (Columbia Británica) hasta Isla de Cedros en Baja California (Morris *et al.*, 1980).

En el medio natural los erizos se alimentan de algas (verdes, rojas y pardas) así como del “pasto marino” *Phyllospadix* sp. En áreas locales la dieta puede estar restringida a el alga más abundante (Lasker y Giese, 1954). En la costa de Baja California el alga característica de la región es *Macrocystis pyrifera*, alga parda dominante conocida generalmente como “sargazo gigante”, la cual habita en aguas de corrientes fuertes y en algunos casos en zonas de rompiente. Debido a su disponibilidad y abundancia, constituye una importante fuente de alimento de los erizos rojo *S. franciscanus* y morado *S. purpuratus*. Ambos erizos son miembros importantes de las

comunidades de los bosques de algas del sur de California, las cuales aportan la mayoría de la estructura, biomasa y productividad primaria para la comunidad diversa y económicamente importante de esta región (North, 1971).

El desarrollo larval del erizo morado en la región Norte de California tiene una duración de 42 días aproximadamente. En latitudes inferiores se encontró que puede reducirse a 30 días en condiciones de cultivo (Salas y Parés, 2000). Durante este periodo, la alimentación en condiciones naturales se basa en las microalgas características de la región como *Rhodomonas* sp. (Hinegardner, 1969), *Isochrysis galbana*, *Dunaliella tertiolecta* y *Chaetoceros gracilis* (Colby, 1979). Al final del desarrollo larvario, las larvas se asientan y metamorfosean (Pearce y Sheibling, 1994). La metamorfosis es una cadena de eventos irreversibles que producen cambios fisiológicos y morfológicos en la larva, que hace que pasen de una vida pelágica nadadora a una bentónica (Pearce y Sheibling, 1994; Yazaki, 1995). Desde el inicio y hasta el final de la metamorfosis, el cual tiene una duración de ocho a doce días (Salas y Parés, 2000), la larva interrumpe su alimentación hasta que su mandíbula es funcional e inicia su primera alimentación en la vida bentónica (González *et al.*, 1987). En las primeras etapas postmetamórficas los juveniles se alimentan de microalgas como diatomeas bentónicas, y en etapas posteriores hasta su edad adulta de la macroalga *M. pyrifera* (Morris *et al.*, 1980.).

En cultivos de erizo en el laboratorio, se utilizan las dietas naturales como

alimento para los juveniles. El cultivo de diatomeas en laboratorio requiere alrededor de siete días para desarrollarse en estanques limpios y sin organismos. El éxito en los cultivos de estas microalgas está sujeto a la disponibilidad de sepas de microalgas para la inoculación de los mismos, así como a la posibilidad de que dichos cultivos “se pierdan”, es decir, que se mueran las microalgas en alguna etapa del desarrollo del cultivo como consecuencia de algún factor externo. Por lo tanto, la utilización de las diatomeas bentónicas como la principal fuente de alimento puede ser riesgoso ya que la excesiva demanda de alimento puede ocasionar la falta de microalgas y la escasez de las mismas podría poner en peligro la sobrevivencia de los juveniles.

La utilización de macroalgas resulta costosa ya que requiere de un gran trabajo de colecta, mantenimiento y almacenamiento ya sean frescas, secas o congeladas (Hahn, 1989). La disponibilidad de alimento natural, como es la *M. pyrifera*, en ocasiones es muy baja o incluso nula. La falta o escasez de alimento, o bien cambios en la calidad del mismo, afectan directamente el desarrollo de los juveniles y esto puede traducirse en una pérdida parcial o total del cultivo. Factores como la dependencia en la disponibilidad de alimento natural en el campo así como la variabilidad de los componentes nutritivos en el mismo, sin considerar el posible impacto ambiental de cosecha sobre el alimento natural, pueden ser minimizados con la utilización de dietas formuladas (Fernández y Pergent, 1998; Lawrence *et al.*, 1997).

En la etapa de desarrollo temprano en la cual los juveniles de erizo son aun muy

pequeños ocurre un alto índice de mortalidad debido a la gran vulnerabilidad a diversos factores, entre ellos la falta de alimento y la depredación. Por lo tanto en esta etapa crítica, es necesario atender las necesidades de los juveniles bajo las condiciones controladas que ofrece un laboratorio y poner mayor atención en la alimentación.

Puesto que los costos de producción de los cultivos son de gran importancia, es necesario que el tiempo de desarrollo de los organismos sea el menor posible. Para ello es indispensable proporcionar una alimentación que garantice un buen desarrollo y la sobrevivencia de los juveniles. En los equinodermos, el crecimiento somático (testa) y el gonádico son independientes. En organismos pequeños, la producción es básicamente somática mientras que en los organismos grandes la producción es gonadal y usualmente esta restringida a la temporada de maduración (Lawrence, 1975; Lawrence y Lane, 1982). Así pues, la alimentación en la etapa de crecimiento somático debe de ser atendida con la finalidad de que se alcance en menor tiempo la etapa del desarrollo gonadal. Es necesario entonces conocer el valor de dietas formuladas que además de tener un costo bajo, sea fácil su adquisición, para sustituir parcialmente la dieta de macroalgas o bien para su utilización como complemento alimenticio.

## 2. ANTECEDENTES

Diversos estudios han destacado la importancia de los tipos de nutrientes encontrados en el alimento como determinantes del crecimiento (Fuji, 1967; Vadas, 1968 y 1977; Leighton, 1968). La mayoría de las dietas formuladas, a diferencia de las dietas monoalgales, conducen a un mayor crecimiento tanto somático como gonadal (Fernández *et al.*, 1995; Uki y Watanabe, 1992), lo cual sugiere que las dietas algales carecen de ciertos elementos necesarios para un rápido desarrollo. Por tanto, es importante encontrar nuevas dietas que tengan un valor nutricional más elevado que pueda sustituir el alga.

A la fecha, la mayoría de los estudios con dietas formuladas han examinado el efecto de las mismas en producción gonadal (Jong-Westman *et al.*, 1995; Lawrence *et al.*, 1997; McBride *et al.*, 1997 y 1998; Goebel y Barker, 1998) y nutrición (Klinger *et al.*, 1998). Los estudios relacionados con el efecto de dietas formuladas sobre el crecimiento son menos numerosos. La mayoría de ellos examinan la producción como función de diferentes alimentos (Lawrence *et al.*, 1992; William y Harris, 1998; Fernández y Pergent, 1998). Diversas especies de erizos han sido alimentados con una variedad de especies algales (Frantzis y Gremare, 1992; Cook *et al.*, 1998) y dietas artificiales basadas en algas y vegetales en un intento de evaluar la "calidad" de estas dietas (Fernández y Caltagirone 1994; Cook *et al.*, 1998). En la mayoría de estos casos, los resultados generados revelan un crecimiento mayor con dietas formuladas que con

las contrapartes naturales.

La observación de que los erizos en su ambiente natural se alimentan de forma omnívora (Lawrence, 1975) ha conducido a la sugerencia de que los alimentos no algales pueden constituir una parte significativa de la dieta de ciertas especies (Nestler y Harris, 1994).

Por muchos años, los erizos cultivados en acuarios han sido alimentados con una gran variedad de alimentos. Oshima *et al.* (1975) observaron que *S. pulcherrimus* no es del todo herbívora puesto que ocasionalmente ingiere carne de animal como res, calamar, pescado y moluscos. Este mismo comportamiento fue reportado por Lasker y Giese (1954) para *S. purpuratus*. Observaron que pueden consumir diversos alimentos, por ejemplo huevo cocido, papas hervidas y vegetales frescos, sin embargo encontraron que preferían la carne y las frutas sobre los vegetales.

Se ha observado que el crecimiento tanto somático como gonadal de los erizos es mayor cuando se les alimenta con dietas de origen animal o bien dietas mixtas con una base tanto vegetal como animal. Fernández y Pergent (1998) encontraron que el erizo *Paracentrotus lividus* tiene un crecimiento somático mayor con una dieta mixta (conteniendo harina animal y vegetal) o con una dieta únicamente de origen animal, que el crecimiento observado con un una dieta vegetal o bien con el alimento natural de esta especie (*Cymodocea nodosa*).

En otro estudio realizado también con *P. lividus* (40-45 mm de testa) se probaron tres dietas artificiales distintas: una dieta vegetal a base de cereal y maíz, una vegetal-animal a base de harina vegetal y harina de pescado en iguales cantidades y una dieta animal a base de harina de pescado. Se estudió el crecimiento gonádico bajo condiciones de laboratorio y se comparó con el crecimiento obtenido por organismos extraídos del medio natural. Se encontró que la dieta mixta funcionó mejor que el resto de las dietas para un periodo de un mes. Para un periodo de seis meses se obtuvieron muy pocas diferencias en las tasas de crecimiento gonadal de todas las dietas. Sin embargo para ambos períodos el crecimiento fue tres veces mayor en condiciones artificiales que lo registrado en el medio natural, incluso donde los erizos comían *C. nodosa*, alga preferida de esta especie. Dados los resultados respecto al rápido crecimiento gonadal, dichos autores consideran la posibilidad de adoptar una dieta de cultivo la cual involucre en primera instancia, un alimento animal que fomente un rápido crecimiento somático, seguido de una etapa bajo alimento mixto para estimular el crecimiento de la gónada en un período corto (Fernández *et al.*, 1995).

Es evidente que un requisito necesario para la acuicultura es la selección de un alimento apropiado. Puesto que las proteínas son el factor que más afecta la producción, el tipo y el contenido en las dietas es de gran importancia (Fleming *et al.*, 1996). Está claro que el contenido de proteínas y lípidos es mayor en las dietas de origen animal o las dietas mixtas (animal-vegetal), de ahí que se obtengan mejores resultados que con los alimentos naturales (Fernández *et al.*, 1995).

Se han realizado estudios encaminados a la investigación sobre dietas factibles en el cultivo de diversos organismos marinos con atención en su contenido de proteínas, lípidos y carbohidratos. Actualmente, la fuente de proteína más comúnmente usada en dietas de abulón son las harinas de pescado, harina de soya (sin grasa) y caseína. La harina de pescado sin ser combinada es la única fuente de proteína que puede soportar un mejor desempeño en el crecimiento según Fleming *et al.* (1996).

En un estudio realizado con el abulón azul (*Haliotis fulgens*) se probaron dos alimentos balanceados producidos comercialmente de bajo costo y se encontró que debido a su alto contenido proteínico, son un excelente sustituto y/o complemento de las diatomeas bentónicas. En 154 días, con una talla inicial de 5mm los juveniles de abulón alimentados con diatomeas alcanzaron una talla promedio al final del experimento de 1.64 mm y los de dietas artificiales 2.12 mm y 2.13mm. Evidentemente las dietas manufacturadas tuvieron un mejor desempeño (Enríquez, 1997).

En un estudio en el cual se evaluó el efecto de dos dietas (una dieta a base de pellets de salmón elaborados comercialmente y una dieta macroalgal) sobre el crecimiento somático del erizo *Psammechinus miliaris* (15.3 a 15.8 mm) se encontró que los organismos alimentados con la dieta formulada presentaron las mayores tasas de crecimiento (Cook *et al.*, 1998). También se observó un incremento significativo del índice gonadal en los organismos alimentados con la misma dieta. El crecimiento fue acelerado, de 3.7% a 27.5% en un periodo de cuatro semanas. Estos autores

mencionan que el aumento del crecimiento gonadal pudo deberse al contenido nutricional de los pellets de salmón, los cuales son muy ricos en proteínas y lípidos derivados de una fuente animal.

Se ha observado que las dietas formuladas no sólo fomentan el crecimiento gonadal en organismos adultos sino también el crecimiento de individuos pequeños, (el cual es muy importante porque esta asociado con el tiempo necesario para adquirir la madurez sexual), sino que pueden inducir a la colocación de nutrientes hacia la producción gonádica en organismos pequeños que se encuentran en un tamaño en el cual la producción es únicamente somática.

En pruebas con *P. lividus*, se encontró que organismos pequeños producían gónadas grandes con dietas preparadas ya fuera con harina de pescado o bien de soya (Lawrence *et al.*, 1992). La producción gonadal en estos individuos sucedió durante una temporada en que la producción gonádica en el medio natural no ocurre (Fenaux, 1968 y Régis, 1979 en Lawrence *et al.*, 1992). En investigaciones realizadas con el erizo *Loeochinus albus*, utilizando dietas naturales: *M. pyrifera* y *Ulva* sp, y dos dietas preparadas por extrusión, se encontró que durante la temporada de desove, las gónadas aumentaron en tamaño para los individuos mantenidos con alimento preparado por extrusión y disminuyeron en individuos alimentados con algas (Lawrence *et al.*, 1997). Como se observa, ambos trabajos sugieren que el alimento es una limitante en el campo y que la producción gonadal fuera de temporada, en definitiva, puede ser inducida por

medio de dietas enriquecidas.

Como ya se mencionó, se ha demostrado que el erizo morado es omnívoro bajo condiciones de laboratorio, sin embargo, los organismos que se encuentran en el campo invariablemente se encuentran alimentándose básicamente del alga disponible en el medio. El alga contiene relativamente pocas cantidades de nutrientes. Las enzimas digestivas más comunes de encontrar en el intestino son aquellas las cuales pueden manejar los nutrientes presentes en el alga. El protoplasma de las células algales contienen proteína y las algas pardas almacenan laminarán (carbohidrato de reserva). Los erizos tienen por tanto enzimas que pueden desdoblar proteínas (proteinasas), almidón (amilasas) y las variadas sustancias peculiares del alga. Además se ha probado la presencia de un gran número de bacterias, muchas de las cuales son capaces de digerir alga (Lasker y Giese, 1954). Lo que aun no se ha estudiado es la generación de bacterias en el sistema de cultivo como consecuencia de dietas formuladas y su efecto sobre la flora bacteriana natural de los erizos, así como el crecimiento y la sobrevivencia.

Es entonces crucial el entender la relación entre los recursos alimenticios y el crecimiento así como la reproducción, para desarrollar cosechas y prácticas acuiculturales efectivas (Minor y Scheibling, 1997)

En este estudio se espera que los juveniles de erizo alimentados con dietas

artificiales de origen comercial, con niveles altos de proteína y lípidos, obtengan mayor crecimiento (evaluado en peso y longitud), que aquellos alimentados con dietas naturales.

### **3. OBJETIVOS**

Evaluar el efecto de dietas formuladas sobre el crecimiento de juveniles de erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus*.

- Comparar el efecto causado por las dietas formuladas de origen comercial en relación con la alimentación natural sobre el desarrollo y sobrevivencia de los juveniles.
- Evaluar el efecto de los constituyentes de las dietas formuladas cuyo uso pueda sustituir o complementar la alimentación de erizo morado en la etapa juvenil.
- Cuantificar el número de bacterias generadas como consecuencia de la presencia de las dietas formuladas en el agua de mar y determinar si existe una posible relación con la sobrevivencia y/o el crecimiento.

## 4. METODOLOGÍA

La presente investigación forma parte del proyecto “Desarrollo Biotecnológico en la Producción de Juveniles de Erizo Rojo *S. franciscanus* y Morado *S. purpuratus*” y se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Moluscos del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California.

De un lote de juveniles de *S. purpuratus* provenientes de un mismo desove realizado en noviembre de 1998, se seleccionaron 100 organismos al azar los cuales fueron medidos para conocer la talla promedio de esta población. Con base a la media obtenida (1.7 mm), se determinó un intervalo de  $\pm 0.5$  mm y de acuerdo a este rango se seleccionaron 630 juveniles del mismo lote para ser utilizados en el experimento.

### 4.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental utilizado fue el de un factor fijo con el mismo número de réplicas. El modelo se representa como sigue:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Efecto causado por el tipo de dieta

$\mu$  = Media general de la población

$\alpha_i$  = Desviación fija de la media del grupo  $i$  respecto de la media general  $\mu$

$e_{ij}$  = Desviación aleatoria del  $j$ -ésimo individuo del grupo  $i$  sobre lo  
esperado que es  $\mu + i$

$i$  = Grupo o experimento

$j$  = Individuo del grupo  $i$

El experimento comprendió cinco dietas diferentes y una dieta control. Cada dieta fue evaluada por triplicado, por lo cual se utilizaron en total 18 cubetas de plástico de tres litros, en cada una de las cuales se colocaron 35 organismos, sumando un total de 630 juveniles.

De las cinco dietas, tres de ellas fueron formuladas (productos balanceados de origen comercial) y dos de origen natural. La dieta control fue de origen natural (*M. pyrifera*). Este tratamiento se utilizó para evaluar si la manipulación de los organismos durante los periodos de limpieza correspondientes, afectó el crecimiento y/o la sobrevivencia (Figura 1).

#### **A. Dietas Formuladas:**

Las dietas formuladas fueron suministradas en forma seca y molida (granular, partículas de  $1\text{mm}^2$  aproximadamente). Sus contenidos proximales se muestran a continuación:

Tabla I. Contenido nutricional y clave de identificación de las dietas formuladas.

Clave de Identificación	Dieta	% Proteína	% Grasas	% Humedad
S*	Alimento balanceado para perro	28	15	12
P*	Alimento balanceado para pollo	19	2	12
H*	Harina de pescado	68	9	7

\* Datos proporcionados por el fabricante.

## B. Dietas Naturales:

En cuanto a las dietas naturales, éstas fueron suministradas de forma fresca.

Tabla II. Contenido nutricional y clave de identificación de las dietas naturales.

Clave de Identificación	Dieta	% Proteína	% Grasas	% Humedad
M*	<i>M. pyrifera</i>	9.2	1.1	13.3
N*	Dieta control, <i>M. pyrifera</i>	9.2	1.1	13.3
D**	Diatomeas bentónicas*	---	---	---

\* Mateus-Valdés, H. 1972.

\*\* (*Nitzschia* spp y *Cocconeis* spp. predominantemente)

La macroalga fue obtenida del medio natural. Las microalgas fueron cultivadas en el laboratorio. El alimento fue suministrado cada siete días para cada réplica, para lo cual fue necesario incubar previamente (7 días antes de cada suministro de alimento) una serie de tres cubetas con diatomeas bentónicas las cuales formaban una película en las paredes de las cubetas.

Ya que los mejores crecimientos se obtuvieron con la dieta S, (los cuales se describen mas adelante), se decidió llevar a cabo un segundo experimento con dos tratamientos: uno consistió en proporcionar la dieta S, el otro tratamiento consistió en una ración del alimento S mas una ración de *M. pyrifera*, a esta dieta mixta se le

una ración del alimento S más una ración de *M. pyrifera*, a esta dieta mixta se le denominó SM. Para este experimento se utilizaron los juveniles alimentados con la dieta S que sobrevivieron al primer experimento (48 organismos). Éstos fueron divididos en dos grupos de 24 juveniles cada uno y colocados en dos cubetas. Para el suministro de la dieta SM se dividió el fondo de la cubeta en dos partes iguales, en una mitad se colocó la fronda de la macroalga (aproximadamente 4 gr) y en la otra mitad 1 gr de alimento artificial. Tanto el suministro de alimento para la dieta S como el aseo de ambas unidades experimentales fueron iguales al primer experimento. Para la obtención de datos, mensualmente se midieron y pesaron todos los organismos. La medición de tallas se llevó a cabo con un vernier de 0.01 mm de precisión y el peso total con una balanza electrónica de 0.01 gr. de precisión. Este segundo experimento tuvo una duración de 66 días.

#### 4.2. SISTEMA EXPERIMENTAL

Todas las unidades de muestreo fueron cubiertas con una red circular para evitar el escape de los organismos. Se estableció un sistema de flujo de aire y flujo de agua constante para suministrar a cada unidad de forma independiente (Figura 1).

Se llevó un registro de temperatura de las unidades de muestreo cada 48 horas. Para el mismo período de tiempo se llevaba a cabo la verificación de los sistemas de flujo de aire y agua ( $3.3 \text{ ml seg}^{-1}$  aproximadamente). Asimismo se llevó un registro del número de organismos muertos.

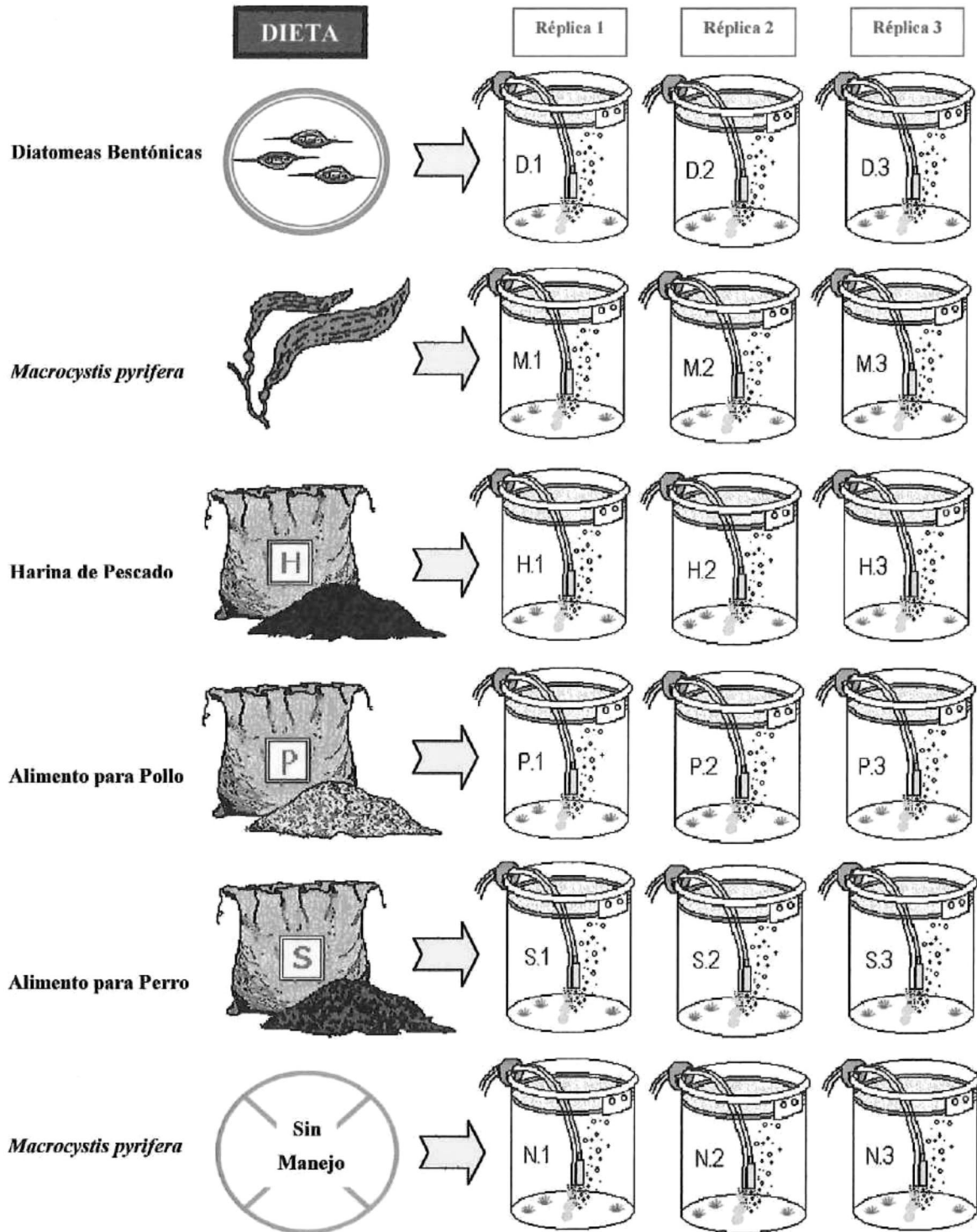


Figura 1. Representación esquemática del modelo experimental utilizado. Se muestran las cinco dietas evaluadas y sus réplicas. En cada réplica se colocaron 35 organismos.

### 4.3. ASEO DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

Para el aseo y cambio de alimento de las unidades de muestreo, el cual se realizó cada 48 horas aproximadamente, se utilizó una brocha con la cual se limpiaron las paredes y el fondo de cada unidad. Se utilizó un tamiz de 1.5 mm de luz de malla para evitar la pérdida de organismos que se desprendieran por la manipulación .

En la Figura 2, se describe detalladamente el tipo de aseo que se otorgó a las cubetas con los distintos tratamientos.

### 4.4. CUANTIFICACIÓN DE BACTERIAS.

Para evaluar el efecto de las dietas en la proliferación de bacterias en el cultivo, se realizaron conteos de número de colonias bacterianas en placas con medios de cultivo. Se utilizó el medio de Zobell para cuantificar bacterias heterótrofas y el medio TCBS para bacterias posiblemente patógenas. Ambos medios se describen en el manual de Bacteriología DIFCO (DIFCO Manual, 1985).

Todos los tratamientos, tanto los naturales (D y M) como los formulados (S, P y H), fueron sometidos a esta evaluación. Para ello se utilizaron cinco cubetas idénticas a las utilizadas en los cultivos de juveniles (3 lts). En cada cubeta se colocaron los tratamientos de la misma forma y en la misma cantidad que se utilizó en el experimento con los juveniles. Todas las cubetas tuvieron suministro de agua y aire constantes. Es importante mencionar que estas pruebas bacteriológicas se realizaron sin organismos.

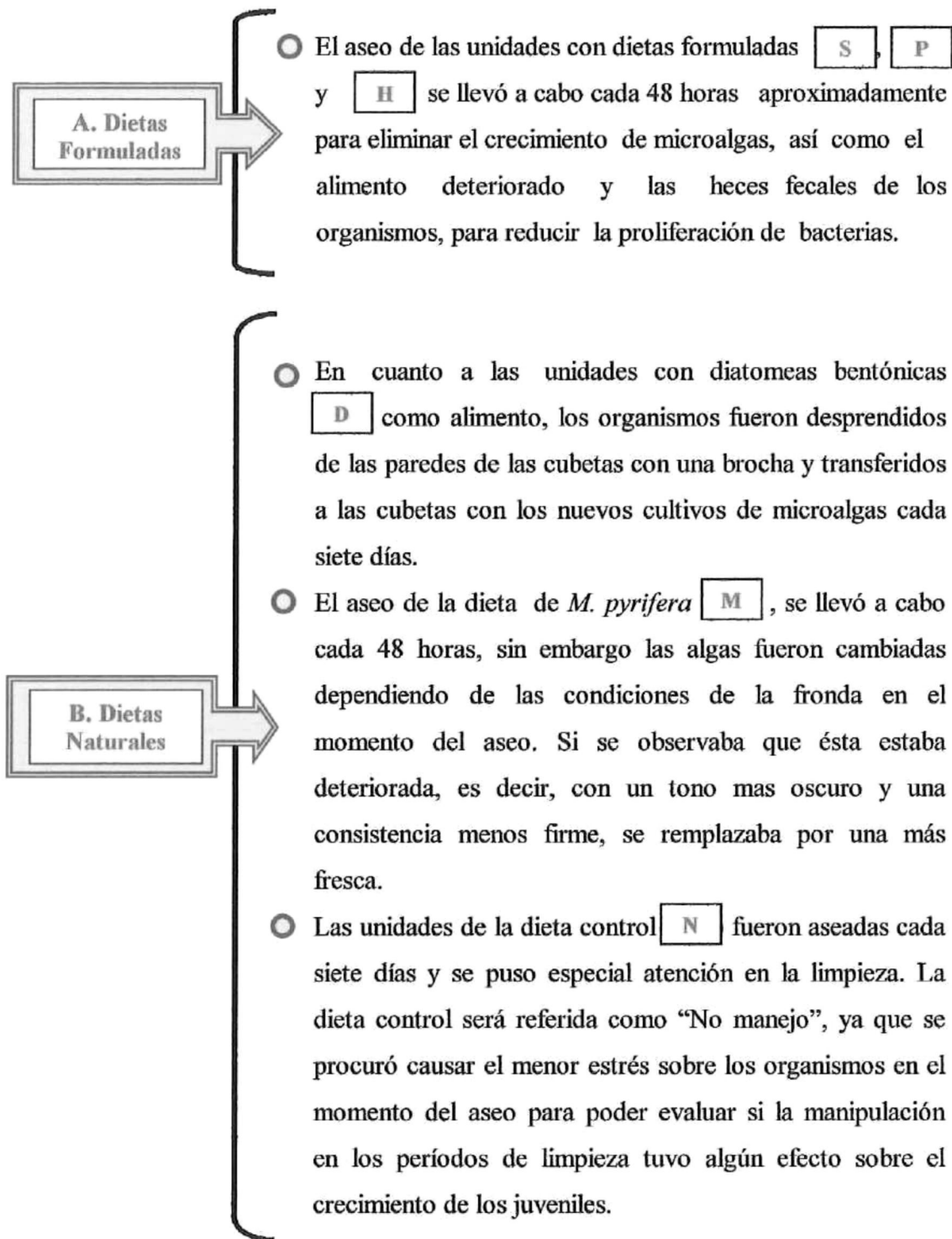


Figura 2. Descripción del tipo de aseo que se otorgó a las cubetas con los distintos tratamientos [S=alimento para perro, P=alimento para pollo, H=harina de pescado, D=diatomeas bentónicas, M=*M. pyrifera*, N=*M. pyrifera* (sin manejo)].

Se tomaron cuatro muestras del agua de cada cubeta para cada tratamiento. Los muestreos se realizaron a las 0 hrs (inicio, cuando se agregó el alimento), a las 12, 24 y 48 hrs., tiempo máximo de duración del alimento antes del aseo. Posterior a cada muestreo se realizó la inoculación de las placas.

También se tomaron muestras de agua de un tanque exterior que aporta agua de mar al interior del laboratorio donde se realizó el experimento para con ello cuantificar las UFC ml<sup>-1</sup> (Unidades Formadoras de Colonias por ml.) presentes en el agua. Asimismo se utilizó una cubeta del mismo volumen que el resto de los tratamientos conteniendo solo agua de mar para poder cuantificar con mas exactitud las UFC ml<sup>-1</sup> generadas como consecuencia directa de los diferentes tratamientos (Figura 3). Conociendo las UFC's tanto en el tanque de suministro como en la cubeta, fue posible calcular la adición de bacterias por las tuberías.

La cuantificación de colonias se realizó durante un período de 120 horas con períodos de conteo de 24 horas y se determinó el número total de UFC ml<sup>-1</sup> generadas en 48 horas., tiempo en el cual las dietas artificiales se mantuvieron en el agua. Se obtuvo una relación en porcentaje del número de bacterias posiblemente patógenas en relación con el total de bacterias heterótrofas.

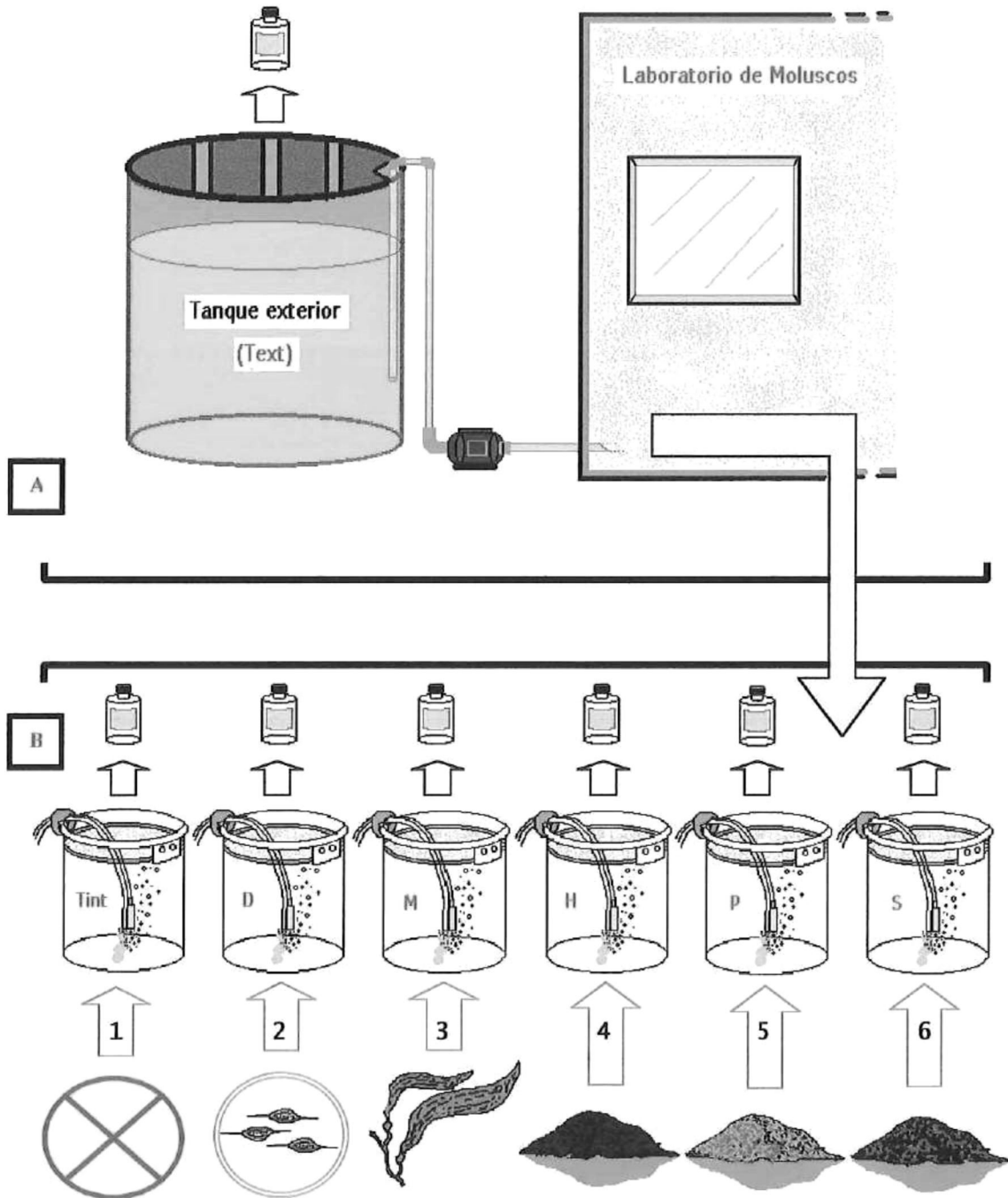


Figura 3. Diseño experimental utilizado en el análisis bacteriológico de las dietas. A) Ilustra el tanque exterior (reservorio) del cual se suministraba agua de mar hacia el interior del laboratorio donde se realizó el experimento y del cual se tomaron muestras. B) Ilustra las cinco cubetas en donde se colocaron los diferentes alimentos (2. Diatomeas bentónicas, 3. *M. pyrifera*, 4. Harina de pescado, 5. Alimento para pollo, 6. Alimento balanceado para perro) y de las cuales también se tomaron muestras. La cubeta no. 1 solo contuvo agua de mar.

#### 4.5. OBTENCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS

Las evaluaciones de crecimiento se realizaron cada 30 días aproximadamente, para lo cual fueron seleccionados al azar 10 organismos de cada réplica, es decir, 30 organismos por cada dieta. Las mediciones de talla se realizaron utilizando un microscopio estereoscópico con una reglilla de 0.01 cm de precisión. Para las evaluaciones de peso se utilizó una balanza analítica de precisión (0.0001 gr). Antes de pesar a los organismos, estos fueron puestos sobre papel secante para eliminar los excedentes de agua. Se estimó la sobrevivencia por el conteo del número de organismos vivos en las cubetas después de cada aseo.

#### 4.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se aplicó la prueba Qq de normalidad así como la prueba de Levene de homogeneidad de varianzas a un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  a los datos de longitud y peso. Puesto que solo el 57% de los datos presentaron una distribución normal (Gaussiana) y las varianzas no fueron homogéneas, se aplicó el análisis de comparación de medias No Paramétrico. Con la prueba de Kruskal-Wallis (Kruskal-Wallis, 1952) correspondiente a dicho análisis, se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos ( $\alpha = 0.05$ ). Para determinar con exactitud cuáles dietas fueron significativamente diferentes se aplicó la prueba *a posteriori* de Tukey para tamaños desiguales de observaciones ( $\alpha = 0.05$ ) (Zar, 1984).

La relación entre la longitud y el peso total fue evaluada utilizando la prueba de

comparación entre más de dos pendientes. Se encontraron diferencias entre los tratamientos por lo cual se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey entre pendientes ( $\alpha = 0.05$ ). Se utilizaron las mismas pruebas para evaluar la relación entre el crecimiento (talla y peso) y el tiempo (Zar, 1984).

Se determinó la tasa de mortalidad diaria e instantánea así como el porcentaje de sobrevivencia total (Odum, 1972). Para evaluar la asociación entre la tasa de mortalidad y la temperatura, así como la tasa de mortalidad y el tiempo se calcularon los coeficientes de correlación y se aplicó la prueba para comparar dichos coeficientes ( $\alpha = 0.05$ ).

## 5. RESULTADOS

### 5.1. PRIMER EXPERIMENTO

#### 5.1.1. *Crecimiento en Longitud*

El crecimiento en longitud de los juveniles de erizo fue diferente ( $\alpha = 0.05$ ) dependiendo de la dieta a la cual fueron sometidos.

De una longitud inicial promedio de 1.7 mm ( $\pm 0.5$ ) en el ancho de testa de los juveniles, el mayor crecimiento observado al final del experimento (169 días) fue de 6.4 mm ( $\pm 0.4$ ) en los organismos alimentados con la dieta S. Los juveniles con la dieta M también presentaron un buen desempeño; los organismos alcanzaron un promedio de 4.7 mm ( $\pm 0.5$ ) para el mismo período. Los organismos alimentados con la dieta P midieron 4.1 mm ( $\pm 0.2$ ) y los alimentados con la dieta N, 3.2 mm ( $\pm 0.2$ ). El crecimiento observado en los juveniles alimentados con las dietas H y D fue menor, 2.9 mm ( $\pm 0.2$ ) y 2.4 mm ( $\pm 0.2$ ) respectivamente. Los organismos con la dieta D sobrevivieron únicamente hasta los 111 días (Figura 4).

Desde el inicio del experimento y hasta los 36 días (2ª medición), el crecimiento fue continuo para todas las dietas, sin embargo los juveniles alimentados con las dietas formuladas S, P y H presentaron un crecimiento mayor que las dietas naturales M y D ( $P < 0.001$ ). La dieta N (“no manejo”) fue diferente a la dieta formulada P

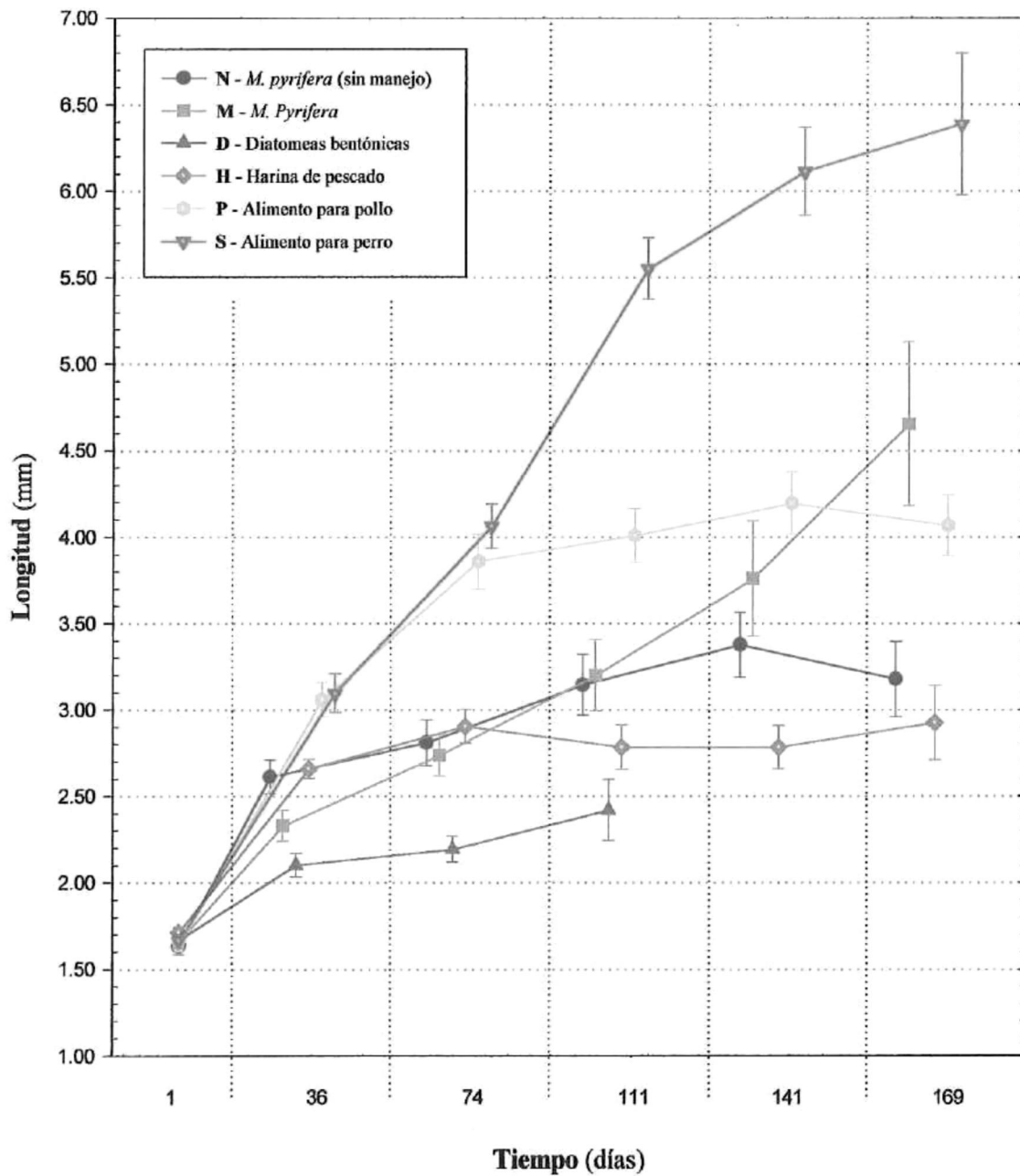


Figura 4. Crecimiento promedio en longitud (mm) de juveniles de *S. purpuratus* alimentados con cinco dietas diferentes durante el periodo comprendido del 23 de abril al 28 de septiembre de 1999 (169 días). Las barras verticales muestran el error estándar.

( $0.02 < P < 0.05$ ), sin embargo el resto de las dietas formuladas (S y H) fueron iguales a N [N-S ( $0.1 > P > 0.05$ ) y N-H ( $P > 0.5$ )]. No se observaron diferencias en el crecimiento en longitud entre las dietas formuladas [P-H ( $0.2 > P > 0.1$ ), H-S ( $0.5 > P > 0.2$ ) y P-S ( $P > 0.5$ ) ni entre las dietas naturales M-N y M-D ( $P > 0.5$ ) pero si entre N-D ( $0.005 < P < 0.1$ ) (Anexo: Figura A-b, Tabla A).

A partir de los 74 días (3ª medición), el crecimiento en longitud de los organismos con la dieta formulada S, fue significativamente diferente a las dietas naturales, e incluso fue diferente a la dieta H ( $P < 0.001$ ). El crecimiento con la dieta P fue igualmente alto a diferencia de las dietas naturales M y D [P-M,D ( $P < 0.001$ ), P-N ( $0.002 < P < 0.005$ )] y la dieta H ( $0.005 < P < 0.01$ ), la cual también presentó diferencias significativas con la dieta D ( $0.002 < P < 0.005$ ). De la misma manera para este periodo no se observaron diferencias en el crecimiento entre los juveniles sometidos a las dietas N, M y H [H-M,N ( $P > 0.5$ ), M-N ( $0.2 > P > 0.1$ ) ni los alimentados con las dietas M,N y D ( $0.1 > P > 0.05$ ) (Anexo: Figura A-c).

El crecimiento de los juveniles alimentados con la dieta S continuó siendo diferente al del resto de las dietas desde los 111 días (4ª med.) [S-N,M,D,H ( $P < 0.001$ ) y S-P ( $0.005 < P < 0.01$ ) y hasta los 141 días (5ª med.) [S-N,M,D,H,P ( $P < 0.001$ )]. En la cuarta medición la dieta P presentó diferencias menos evidentes que en la medición anterior (3ª) con las dietas M, D ( $0.02 < P < 0.05$ ) y H ( $0.01 < P < 0.02$ ), sin embargo no se observaron diferencias entre P y N ( $0.1 > P > 0.5$ ). Tampoco se observaron diferencias

significativas en el crecimiento de los juveniles con las dietas N, M, H y D ( $P>0.5$ ). Esto mismo se observó para el siguiente período (5ª medición), sin embargo, si presentaron diferencias entre las dietas H y P ( $0.02<p<0.05$ ) (Anexo: Figuras A-d y A-e).

En el último período del experimento (169 días) el crecimiento de los juveniles con la dieta S fue diferente al de las dietas N, H ( $P<0.001$ ) y P ( $0.001<P<0.002$ ). A pesar de que la dieta S siempre presentó un mejor desempeño que el resto de las dietas, no se encontraron diferencias estadísticas significativas con la dieta M ( $0.1>P>0.05$ ). De la misma manera, no se encontraron diferencias significativas con M y el resto de las dietas [M-N,H ( $0.5>P>0.2$ ) y M-P ( $P>0.5$ )] (Anexo: Figura A-f).

La mayor tasa de crecimiento en longitud ( $\mu\text{m día}^{-1}$ ) se presentó en los juveniles de erizo alimentados con la dieta S desde los 36 días ( $41 \mu\text{m día}^{-1}$ ) y hasta los 141 días ( $40.3 \mu\text{m día}^{-1}$ ) (Figura 5). Le precedió la dieta P con una tasa de crecimiento superior a el resto de las dietas (N, M, D, y H) en las dos primeras mediciones ( $40.5 \mu\text{m día}^{-1}$  a los 36 días y  $21 \mu\text{m día}^{-1}$  a los 74 días). La tasa de crecimiento de los juveniles alimentados con *M. pyrifera* fue igual a la de los organismos alimentados con la dieta S para los 141 días ( $18.7 \mu\text{m día}^{-1}$ ) e incluso fue mayor en el último período ( $31.9 \mu\text{m día}^{-1}$  para M y  $9.8 \mu\text{m día}^{-1}$  para S) (Tabla III).

La tasa de crecimiento a los 36 días en los juveniles alimentados con las dietas S

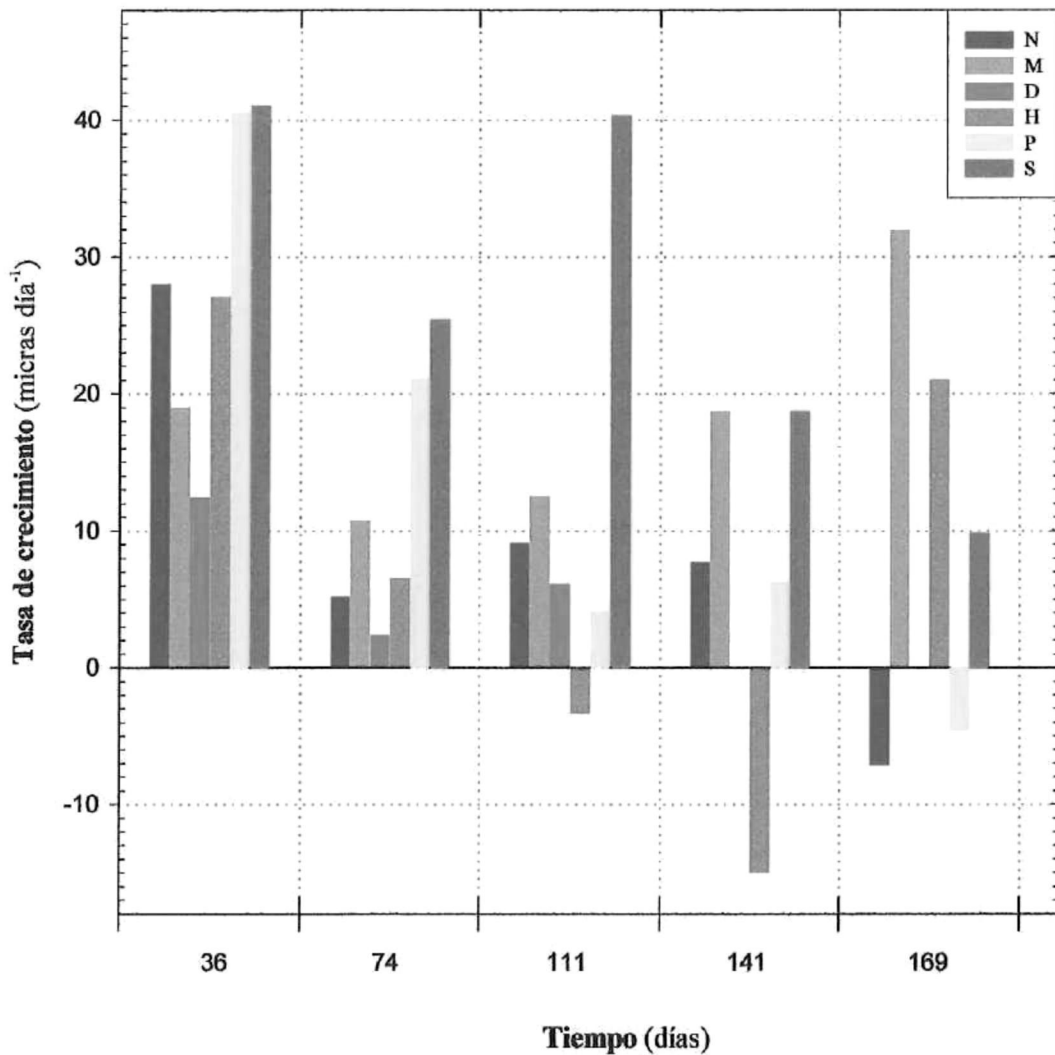


Figura 5. Tasa diaria de crecimiento en longitud (micras día<sup>-1</sup>) de juveniles de *S. purpuratus* alimentados con cinco dietas diferentes durante el periodo comprendido del 23 de abril al 28 de septiembre de 1999 (169 días). [N=*M. pyrifera* (sin manejo), M=*M. pyrifera*, D=diatomeas bentónicas, H=harina de pescado, P=alimento para pollo, S=alimento para perro].

y P fue de  $41.0 \mu\text{m día}^{-1}$  para la primera y  $40.5 \mu\text{m día}^{-1}$  para la segunda; equivalente aproximadamente a 3.3 veces más que la tasa de crecimiento observada con la dieta de diatomeas bentónicas (D) ( $12.4 \mu\text{m día}^{-1}$ ) y 2.1 veces mas que la tasa registrada para *M. pyrifer* (M) ( $19.1 \mu\text{m día}^{-1}$ ).

Tabla III. Tasa de crecimiento ( $\mu\text{m día}^{-1}$ ) de juveniles de erizo *S. purpuratus* para cada dieta en cada periodo de medición. ( N=*M. pyrifer* (sin manejo), M=*M. pyrifer*, D=diatomeas bentónicas, H=harina de pescado, P=alimento para pollo y S=alimento para perro ).

Dieta	Tiempo (días)				
	36	74	111	141	169
N	28.0	5.2	9.1	7.7	-7.1
M	19.1	11.0	12.6	18.7	32.0
D	12.4	2.4	6.1	-	-
H	27.1	6.5	-3.3	-15.0	21.0
P	40.5	21.1	4.1	6.2	-4.6
S	41.0	25.4	40.3	18.7	9.8

En la cuarta medición (111 días) la tasa de crecimiento en longitud con la dieta S fue de  $40.3 \mu\text{m día}^{-1}$ , es decir, 6.6 veces mayor que la tasa de crecimiento en D ( $6.1 \mu\text{m día}^{-1}$ ) y 3.2 veces mayor que la tasa registrada en M ( $12.6 \mu\text{m día}^{-1}$ ). Sin embargo, para el quinto período (141 días) la tasa de crecimiento fue igual ( $18.7 \mu\text{m día}^{-1}$ ) para las dietas S y M e incluso mayor para esta última en el sexto periodo (169 días).

En el último periodo (169 días), la tasa de crecimiento con la dieta M fue de  $32.0 \mu\text{m día}^{-1}$ , es decir, 3.3 veces mayor que la tasa registrada en S ( $9.8 \mu\text{m día}^{-1}$ ). La menor

tasa de crecimiento se observó con la dieta D, desde los 36 hasta los 111 días, periodo hasta el cual sobrevivieron los juveniles alimentados con esta dieta. A partir de los 74 días la tasa de crecimiento con la dieta H fue mas baja que el resto de las dietas.

Para estudiar la asociación entre la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y la tasa de crecimiento en talla ( $\mu\text{m día}^{-1}$ ) se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para cada dieta, sin embargo no se encontró asociación alguna entre estos parámetros. No se realizaron comparaciones entre los coeficientes de correlación puesto que los valores fueron muy bajos para todos los tratamientos ( $r < 0.34$ ).

Se analizó la relación tiempo (días) y crecimiento en talla (mm) para lo cual se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson (fue necesario transformar los datos de talla a logaritmo base diez  $-\text{Log}_{10}$  -) (Fig 6). La correlación encontrada con el tratamiento S ( $r = 0.87$ ) fue superior a los tratamientos N, H y P ( $P < 0.001$ ) así como M ( $0.001 < P < 0.005$ ). No se observaron diferencias significativas entre los coeficientes ( $r < 0.74$ ) de estas dietas (N-H-P-M,  $P > 0.5$ ) (Tabla IV). No se realizaron comparaciones con el coeficiente de la dieta D. (Anexo: Tabla B).

En los análisis de comparación entre pendientes *a posteriori* para la relación tiempo (días) y crecimiento en  $\text{Log}_{10}$  longitud (mm), se encontró que el valor de la pendiente (b), de los juveniles alimentados con la dieta S ( $b = 0.0033$ ), fue superior a las pendientes de las dietas N, H, M y P ( $P < 0.001$ ). La pendiente de la dieta M ( $b =$

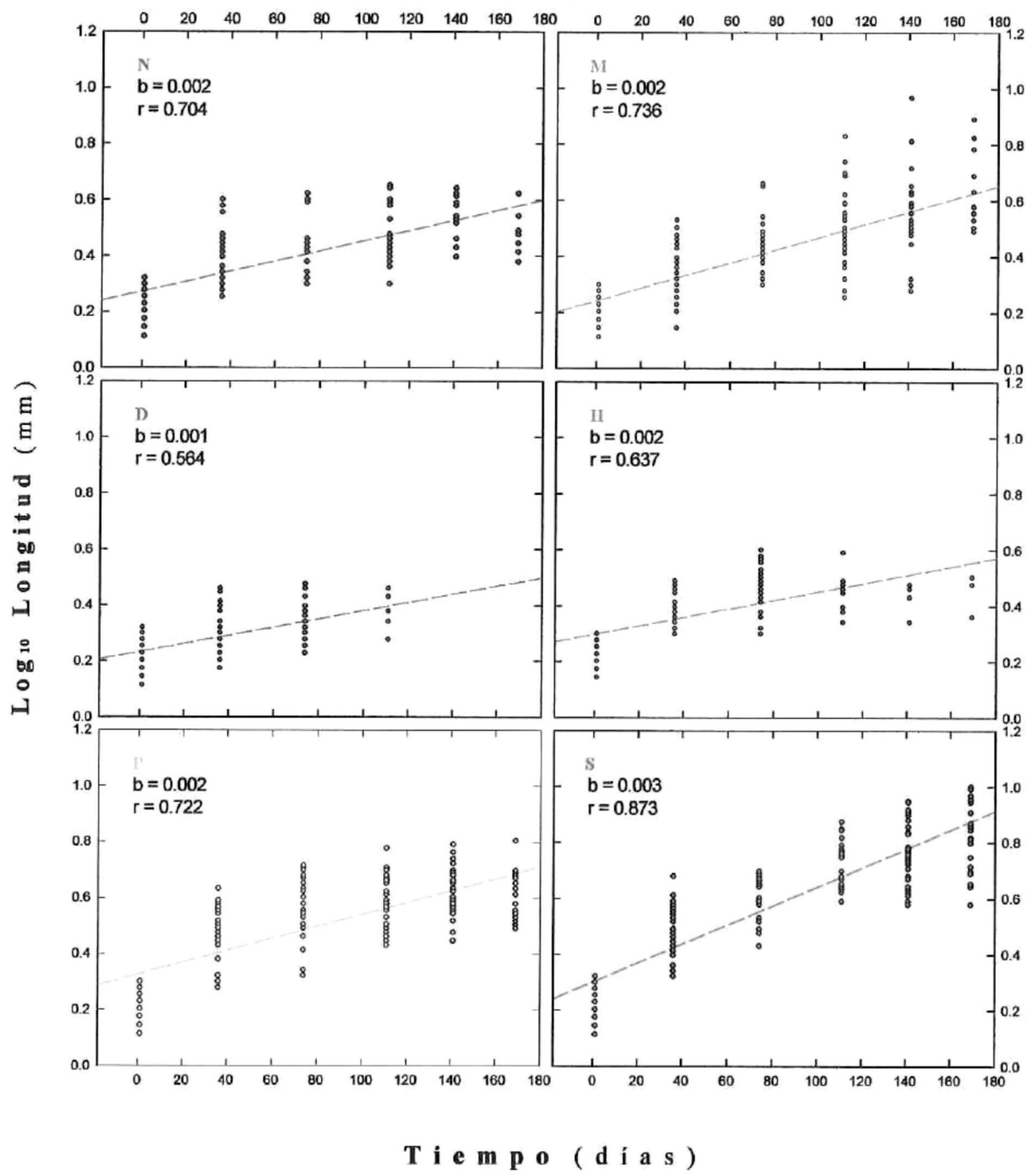


Figura 6. Regresión lineal calculada para la relación tiempo (días) y crecimiento en Log<sub>10</sub> longitud (mm) para cada tratamiento (N=*M. pyrifera* (sin manejo), M=*M. pyrifera*, D= diatomeas bentónicas, H=harina de pescado, P=alimento para pollo, S=alimento para perro). Se muestra la pendiente (b) y el coeficiente de correlación de Pearson (r).

0.0023) también fue significativamente diferente a las dietas H y N ( $P > 0.001$ ). No se observaron diferencias entre P y las dietas M ( $P > 0.5$ ), N ( $0.5 > P > 0.2$ ) y H ( $0.2 > P > 0.1$ ), como tampoco entre N y H ( $P > 0.5$ ) (Tabla IV, Anexo: Tabla C).

Tabla IV. *Intensidad de asociación* entre el crecimiento en longitud (mm) de juveniles de erizo *S. purpuratus* y el tiempo (días) de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson (r) para cada tratamiento. Pendiente (b) de la misma relación. [S=alimento para perro, M=*M. pyrifera*, P=alimento para pollo, N=*M. pyrifera* (sin manejo), H=harina de pescado].

	D I E T A				
	S	M	P	N	H
<b>r</b>	0.87	0.74	0.72	0.70	0.64
<b>b</b>	0.0033	0.0023	0.0021	0.0018	0.0015

### 5.1.2. Crecimiento en peso

El crecimiento en peso de los juveniles de erizo fue diferente ( $\alpha = 0.05$ ), dependiendo de la dieta a la cual fueron sometidos.

De un peso inicial promedio de 3 mg ( $\pm 1.0$ ), el mayor crecimiento observado al final del experimento (169 días) fue de 160 mg ( $\pm 25.9$ ) en los organismos alimentados con la dieta S. Los juveniles alimentados con la dieta M alcanzaron un peso promedio de 89 mg ( $\pm 36.4$ ) para el mismo periodo. Los organismos alimentados con la dieta P pesaron 44 mg ( $\pm 6.3$ ) y los alimentados con la dieta N, 22 mg ( $\pm 5.5$ ). El crecimiento en peso observado en los juveniles alimentados con las dietas H y D fue el más bajo, 14

mg ( $\pm 2.4$ ) y 8 mg ( $\pm 1.3$ ) respectivamente (Figura 7).

Desde el inicio del experimento y hasta los 36 días (2ª medición), el crecimiento fue continuo para todas las dietas, sin embargo los juveniles alimentados con las dietas formuladas (S, P y H) presentaron un crecimiento mayor que las dietas naturales M y D ( $P < 0.001$ ). Con la dieta N el crecimiento en peso fue diferente al de la dieta formulada P ( $0.02 < P < 0.05$ ), sin embargo el resto de las dietas formuladas (S y H) fueron iguales a N [N-S ( $0.1 > P > 0.05$ ) y N-H ( $P > 0.5$ )]. No se observaron diferencias significativas en el crecimiento entre las dietas formuladas ( $0.2 > P > 0.1$ ) ni entre las dietas naturales M-N y M-D ( $P > 0.5$ ) pero si entre N-D ( $0.005 < P < 0.1$ ) (Anexo: Figura B, Tabla A).

A partir de los 74 días (3ª medición), el crecimiento en longitud mostrado con la dieta formulada S fue muy diferente a todas las dietas naturales e incluso fue diferente al de la dieta formulada H ( $P < 0.001$ ). El crecimiento con la dieta P también fue mejor al de las dietas naturales [P-M-D ( $P < 0.001$ ), P-N ( $0.002 < P < 0.005$ )] y que el crecimiento con la dieta H ( $0.005 < P < 0.01$ ). Para este período no se observaron diferencias en el crecimiento entre los juveniles sometidos a las dietas N, M y H ( $P > 0.5$ ) ni los alimentados con las dietas M-D y N-D ( $0.1 > P > 0.05$ ) (Anexo: Figura B-b).

El crecimiento en peso de los juveniles alimentados con la dieta S permaneció diferente al del resto de las dietas desde los 111 días (4ª med.) [S-N,M,D,H ( $P < 0.001$ ) y S-P ( $0.005 < P < 0.01$ )] y hasta los 141 días (5ª med.) [S-N,M,D,H,P ( $P < 0.001$ )]. En la 4ª

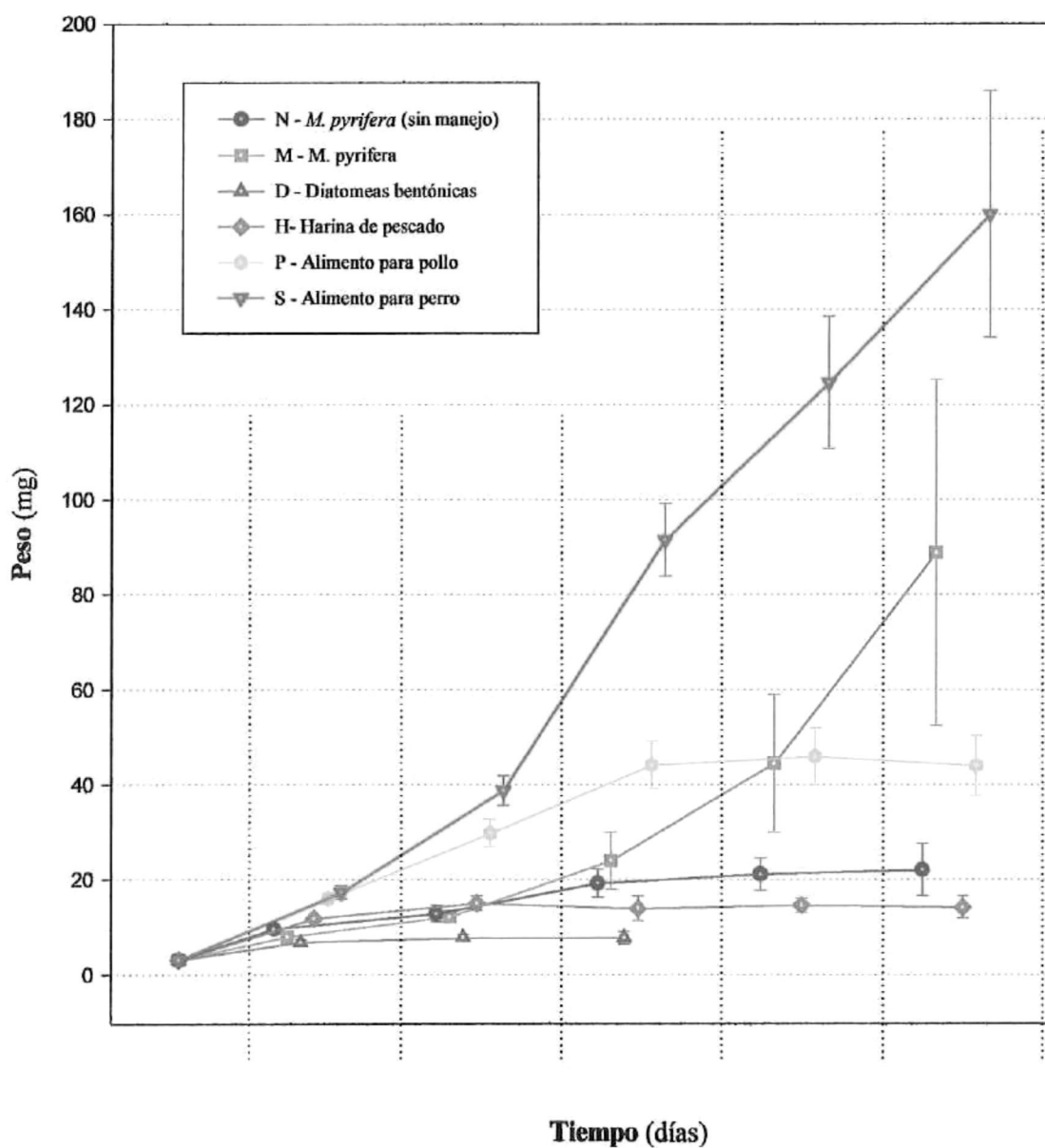


Figura 7. Crecimiento promedio en peso (mg) de juveniles de *S. purpuratus* alimentados con cinco dietas diferentes durante el periodo comprendido del 23 de abril al 28 de septiembre de 1999 (169 días). Las barras verticales muestran el error estándar.

medición la dieta P presentó diferencias en el crecimiento menos evidentes que en la medición anterior (3ª) con las dietas M y D ( $0.02 < P < 0.05$ ) y H ( $0.01 < P < 0.02$ ), sin embargo no se observaron diferencias entre P y N ( $0.1 > P > 0.5$ ). Tampoco se observaron diferencias significativas en el crecimiento de los juveniles con las dietas N, M, H y D ( $P > 0.5$ ). Esto mismo se observó para el siguiente período (5ª medición), pero si hubieron diferencias entre las dietas H y P ( $0.02 < p < 0.05$ ) (Anexo: B-c y B-d). Los juveniles sometidos a la dieta D, sobrevivieron únicamente hasta la 5ª medición.

En el último período del experimento (169 días) el crecimiento de los juveniles con la dieta S fue diferente al de las dietas N y H ( $P < 0.001$ ) y P ( $0.001 < P < 0.002$ ). No obstante que se obtuvo el mejor crecimiento con la dieta S, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre esta dieta y la dieta M para este período ( $0.1 > P > 0.05$ ). Así mismo no se encontraron diferencias significativas entre el crecimiento de M y el resto de las dietas [M-N,H ( $0.5 > P > 0.2$ ) y M-P ( $P > 0.5$ )] (Anexo: Figura B-e).

La mayor tasa de crecimiento promedio en peso ( $\text{mg día}^{-1}$ ) se obtuvo con los juveniles alimentados con la dieta S desde los 36 hasta los 141 días (Figura 8). La dieta P también proporcionó una tasa de crecimiento superior a el resto de las dietas (N, M, D, y H) durante los dos primeros meses (Tabla V).

La tasa de crecimiento registrada a los 36 días para los juveniles alimentados

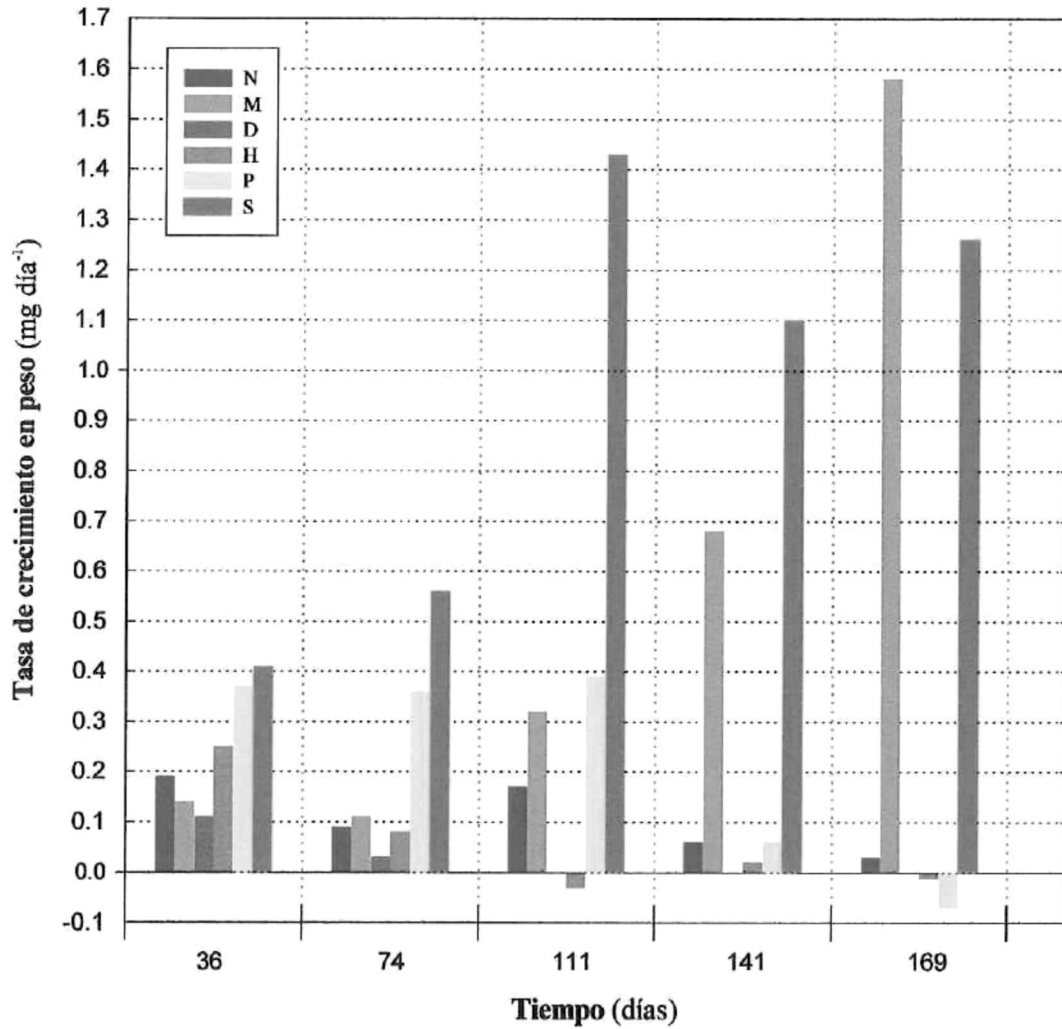


Figura 8. Tasa diaria de crecimiento en peso ( $\text{mg día}^{-1}$ ) para juveniles de *S. purpuratus* alimentados con cinco dietas diferentes durante el periodo comprendido del 23 de abril al 28 de septiembre de 1999 (169 días). [N = *M. pyrifera* (sin manejo), M = *M. pyrifera*, D = diatomeas bentónicas, H = harina de pescado, P = alimento para pollo, S = alimento para perro].

con las dietas S y P fue de  $0.41 \text{ mg día}^{-1}$  para la primera y  $0.37 \text{ mg día}^{-1}$  para la segunda; equivalente aproximadamente a 3.6 veces más que la tasa de crecimiento observada con la dieta de diatomeas bentónicas (D) ( $0.11 \text{ mg día}^{-1}$ ) y 2.8 veces más que la tasa registrada con *M. pyrifer* (M) ( $0.14 \text{ mg día}^{-1}$ ). En la cuarta medición (111 días) la tasa de crecimiento con la dieta S fue de  $1.43 \text{ mg día}^{-1}$ , es decir, 4.5 veces mayor que la tasa registrada para la dieta de *M. pyrifer* ( $0.32 \text{ mg día}^{-1}$ ). Sin embargo, para el último período (169 días) la tasa de crecimiento fue superior con la dieta M ( $1.58 \text{ mg día}^{-1}$ ) con una relación de 1.3 veces mayor con respecto a la dieta S ( $1.26 \text{ mg día}^{-1}$ ). La menor tasa de crecimiento se observó con la dieta D, desde los 36 hasta los 111 días. A partir de los 74 días la tasa de crecimiento con la dieta H fue más baja en comparación con el resto de las dietas (Tabla V).

Tabla V. Tasa de crecimiento ( $\text{mg día}^{-1}$ ) de juveniles de *S. purpuratus* para cada dieta en cada periodo de medición. (N = no manjeo, M = *M. pyrifer*, D = diatomeas, H = harina de pescado, P = alimento para pollo, S = alimento para perro).

Dieta	Tiempo (días)				
	36	74	111	141	169
N	0.19	0.09	0.17	0.06	0.03
M	0.14	0.11	0.32	0.68	1.58
D	0.11	0.03	0.00	-	-
H	0.25	0.08	-0.03	0.02	-0.01
P	0.37	0.36	0.39	0.06	-0.07
S	0.41	0.56	1.43	1.10	1.26

No se encontró asociación alguna entre la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y la tasa de

crecimiento en peso ( $\text{mg día}^{-1}$ ) ya que los coeficientes de correlación de Pearson fueron muy bajos ( $r < 0.44$ ).

En el análisis *a posteriori* de los coeficientes de correlación de la relación tiempo (días) y crecimiento en  $\text{Log}_{10}$  peso (mg), se encontró que la dieta S presentó la mayor intensidad de asociación ( $r = 0.88$ ) (Figura 9) por lo cual fue significativamente diferente al resto de las dietas (S-H,  $P < 0.001$  y S-N,P,M  $0.001 < P < 0.005$ ). No se observaron diferencias entre los coeficientes ( $r < 0.73$ ) de N, P y M ( $P > 0.5$ ) ni entre H-N ( $P > 0.5$ ) y H-P ( $0.5 > P > 0.2$ ) (Tabla VI, Anexo: Tabla D).

En los análisis de comparación de pendientes *a posteriori* para la relación tiempo (días) y crecimiento en  $\text{Log}_{10}$  peso (mg), se encontró que el valor de la pendiente de los juveniles alimentados con la dieta S ( $b = 0.0093$ ) fue superior a las pendientes del resto de las dietas (N, M, H y P  $P < 0.001$ ). También se observaron diferencias significativas entre las pendientes de M-N y M-H ( $P > 0.001$ ), pero no entre M-P ( $P > 0.5$ ). Igualmente no fueron significativamente diferentes las pendientes de P-N ( $0.5 > P > 0.2$ ) y P-H ( $0.2 > P > 0.1$ ) (Tabla VI, Anexo: Tabla E).

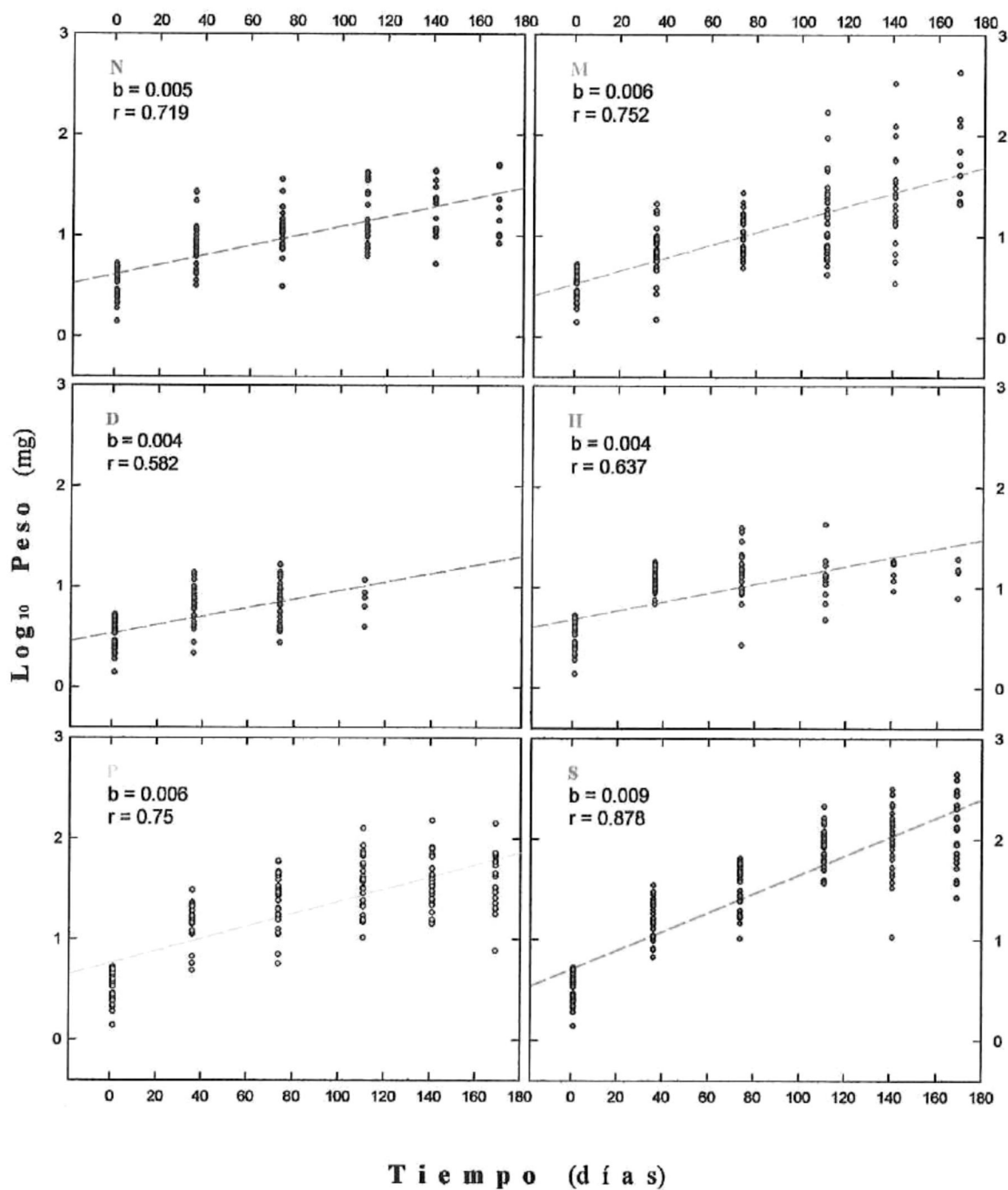


Figura 9. Regresión lineal calculada para la relación tiempo (días) y crecimiento en Log<sub>10</sub> peso (mg) para cada tratamiento (N=*M. pyrifera* (sin manejo), M=*M. pyrifera*, D=diatomeas bentónicas, H=harina de pescado, P=alimento para pollo, S=alimento para perro). Se muestra la pendiente (b) y el coeficiente de correlación de Pearson (r).

Tabla VI. *Intensidad de asociación* entre el crecimiento en  $\text{Log}_{10}$  peso ( $\text{mg d}^{-1}$ ) de juveniles de erizo *S. purpuratus* y el tiempo (días) de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) para cada tratamiento Pendiente ( $b$ ) de la misma relación. [S=alimento para perro, P=alimento para pollo, M=*M.pyrifera*, N=*M. pyrifera* (sin manejo) , H=harina de pescado].

	D I E T A				
	S	M	P	N	H
r	0.88	0.75	0.75	0.72	0.64
b	0.0093	0.0064	0.0061	0.0048	0.0044

### 5.1.3. Relación Peso y Longitud

En el análisis de la relación peso y longitud fue necesario linearizar la relación mediante el logaritmo natural ( $\ln$ ) del peso ( $\text{mg}$ ), puesto que estas variables presentaron una asociación tipo exponencial (Figura 10). Con base en dicha transformación se calcularon los coeficientes de correlación para cada dieta y se realizaron las comparaciones entre los mismos ( $p = 0.0000$ ). El coeficiente de correlación de la dieta S fue significativamente diferente al de las dietas M ( $0.001 < P < 0.005$ ), N ( $0.01 < P < 0.025$ ) y H ( $0.05 < P < 0.1$ ), sin embargo fue igual que el coeficiente de la dieta P ( $P > 0.5$ ).

También se observaron diferencias entre los coeficientes de las dietas P y M ( $0.025 < P < 0.05$ ) pero no entre P-N ( $0.2 > P > 0.1$ ) y P-H ( $0.5 > P > 0.2$ ). Los coeficientes de las dietas H-M, N y N-M tampoco presentaron diferencias significativas ( $P > 0.5$ ). No se realizaron comparaciones con la dieta D (Tabla VII, Anexo: Tabla F).

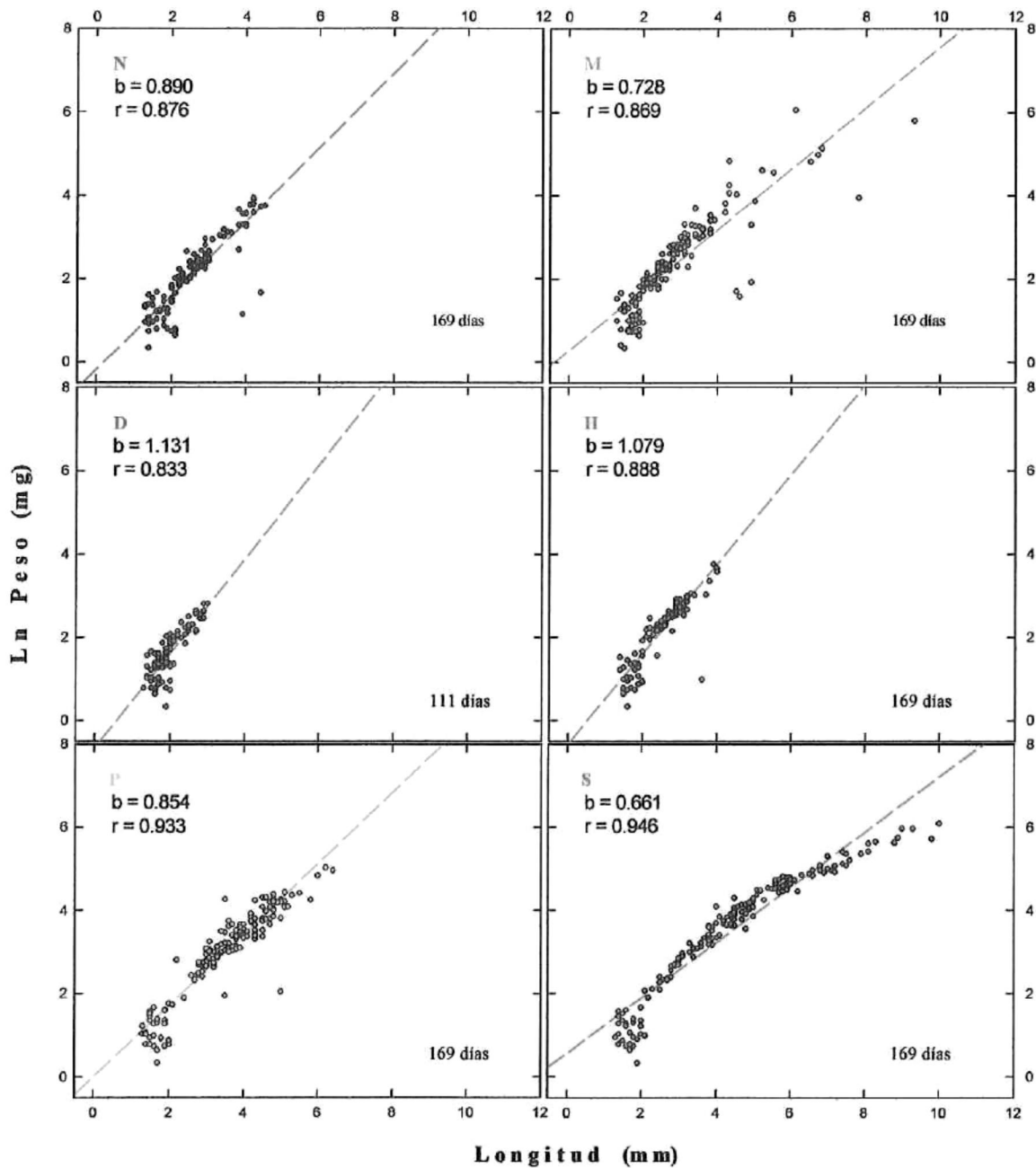


Figura 10. Regresión lineal calculada para la relación talla (mm) y Ln peso (mg). Se muestra la pendiente (b) y el coeficiente de correlación de Pearson para cada dieta. [N=*M. pyrifera* (sin manejo), M=*M. pyrifera*, D=diatomeas bentónicas, H=harina de pescado, P=alimento para pollo, S=alimento para perro].

Tabla VII. *Intensidad de asociación* de la relación de crecimiento en longitud (mm) y el Ln peso (mg) de juveniles de *S. purpuratus* según el coeficiente de correlación de Pearson (r) para cada tratamiento. Pendiente (b) de la misma relación. (S=alimento para perro, P=alimento para pollo, H=harina de pescado, N= no manejo, , M=*M.pyrifera*,).

	D I E T A				
	S	P	H	N	M
r	0.946	0.933	0.888	0.876	0.869
b	0.661	0.854	1.079	0.890	0.728

En la prueba de comparación entre pendientes para la relación del crecimiento en longitud (mm) y el crecimiento en ln del peso (mg), se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p = 0.0000$ ). La pendiente de la dieta S fue diferente a las pendientes de las dietas H, P y N ( $P < 0.001$ ). La pendiente de la dieta M también presentó diferencias con las mismas dietas [M-H ( $P < 0.001$ ), M-P ( $0.01 < P < 0.025$ ) y M-N ( $0.025 < P < 0.05$ )]. Las pendientes de las dietas H y P también fueron significativamente diferentes ( $0.01 < P < 0.025$ ). No se encontraron diferencias entre las pendientes de las dietas S-M ( $0.5 > P > 0.2$ ), N-P ( $0.2 > P > 0.1$ ) y N-H ( $P > 0.5$ ) (Tabla VII, Anexo: Tabla G).

#### 5.1.4. Tasa de Mortalidad Diaria y Sobrevivencia

La sobrevivencia de los juveniles alimentados con la dieta S fue del 56%. Para los juveniles con la dieta P del 28%, con la dieta M del 21% y con la dieta N del 18%. Se observó una sobrevivencia muy baja en los juveniles con la dieta H (5%) y un 0% de sobrevivencia con la dieta D (Tabla VIII).

En el último mes (169 días) se presentó una mortalidad de 28 juveniles con la dieta S debido a una falla en el suministro de oxígeno (Figura 11).

Tabla VIII. Tasa de mortalidad diaria, porcentaje de sobrevivencia, y tasa instantánea de mortalidad (T.I.M) para juveniles de erizo *S. purpuratus* alimentados con cinco dietas diferentes durante el periodo comprendido del 23 de abril al 28 de septiembre (169 días). ( S= alimento para perro, P = alimento para pollo, M= *M. pyrifera*, N= no manejo, H = harina de pescado, D = diatomeas ).

Días	Tasa de Mortalidad Diaria					
	S	P	M	N	H	D
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
74	0.04	0.11	0.04	0.50	0.18	0.23
111	0.03	0.02	0.05	0.01	0.64	0.63
141	0.04	0.23	0.14	0.29	0.07	0.13
169	0.20*	0.20	0.33	0.04	0.04	-
	Sobrevivencia					
169	56 %	28 %	21 %	18 %	5 %	0 %
	T .I.M.					
1 - 169	0.08	0.13	0.13	0.36	0.67	1.00

\* Se presentó una falla en el suministro de oxígeno

La intensidad de asociación entre la tasa de mortalidad de los juveniles y la temperatura (°C) fue muy baja para todos los tratamientos, variando desde  $r = 0.32$  para la dieta D hasta  $r = 0.0$  para la dieta S (Tabla IX).

En la relación de la mortalidad con el tiempo, las dietas P, M y S presentaron los coeficientes de correlación mas altos ( $r > 0.76$ ), por lo cual se realizó la prueba de comparación entre los coeficientes de dichas dietas. Sin embargo no se encontraron

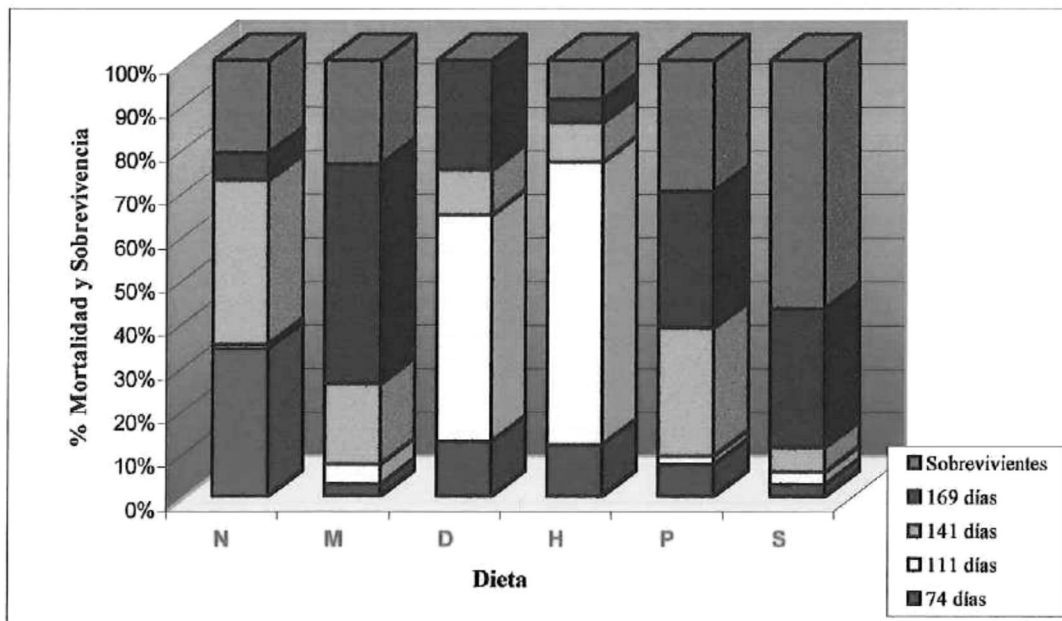


Figura 11. Relación en porcentaje (%) de juveniles muertos a lo largo de todo el experimento (36, 74, 111, 141, 169 días) así como el porcentaje de sobrevivientes al final del experimento. Estos porcentajes están calculados en función del número inicial de organismos (105 por tratamiento).

diferencias ( $p=0.956$ ) significativas. No se hicieron comparaciones entre los coeficientes de correlación de las dietas D, N y H ya que los valores fueron muy bajos ( $r<0.48$ ) (Tabla IX).

Tabla IX. *Intensidad de asociación* entre la tasa de mortalidad de juveniles de erizo *S. purpuratus* y el tiempo (días) de acuerdo con el **coeficiente de correlación** de Pearson (**r**). Pendiente (**b**) de la regresión lineal calculada para los tratamientos P, M y S. (P = alimento para pollo, M = *M. pyrifera*, S = alimento para perro, D = diatomeas, N= no manejo, H = harina de pescado).

	D I E T A					
	P	M	S	D	N	H
<b>r</b>	0.87	0.85	0.77	0.47	0.17	0.10
<b>b</b>	0.24	0.37	0.19			

Dado la baja asociación entre la mortalidad y el tiempo para las dietas D, N y H, únicamente se calcularon las pendientes de los tratamientos P, M y S. La mayor pendiente se observó con la dieta M (M-S  $0.001 < P < 0.005$ , M-P  $0.01 < P < 0.05$ ). No se observaron diferencias significativas entre las dietas S y P ( $0.5 > P > 0.2$ ) (Tabla 9).

### 5.1.5. Análisis Bacteriológico del Alimento

En el análisis bacteriológico se encontró que la dieta P generó más bacterias heterótrofas (en el orden de millones/ ml: 3,745,950 UFC ml<sup>-1</sup>) en comparación con el resto de las dietas (miles ml<sup>-1</sup>). Sin embargo pese a que la dieta H obtuvo 417,490 UFC ml<sup>-1</sup>, el porcentaje de bacterias posiblemente patógenas generadas por esta dieta fue

cinco veces mayor que con la dieta P (Tabla X, Figura 12).

El porcentaje de bacterias posiblemente patógenas en relación con las bacterias heterótrofas fue de 3.5% para la dieta S. Las dietas naturales D y M presentaron valores más bajos; 0.4 y 0.3% respectivamente.

Tabla X. Unidades formadoras de colonias por ml (UFC ml<sup>-1</sup>) para cada muestra en dos medios de cultivo: Zobell y TCBS. Porcentaje de UFC ml<sup>-1</sup> en TCBS respecto a las UFC ml<sup>-1</sup> en Zobell (% de bacterias posiblemente patógenas en relación al total de bacterias heterótrofas). (Tex = tanque exterior, Tint = tanque interior, M = *M. pyrifera*, D = diatomeas, S = alimento para perro, H = harina de pescado, P = alimento para pollo).

Muestra	UFC ml <sup>-1</sup> en cada muestra		UFC ml <sup>-1</sup> generadas por la dieta		% de TCBS con respecto a ZOB
	Zobell	TCBS	Zobell	TCBS	
Tex	24,595	110			-
Tint	49,300	50	-		-
M	96,250	245	63,000	170	0.3
D	112,300	220	46,950	195	0.4
S	137,100	3,120	87,800	3,070	3.5
H	417,490	87,510	368,190	87,460	23.8
P	3,745,950	172,680	3,696,650	172,630	4.7

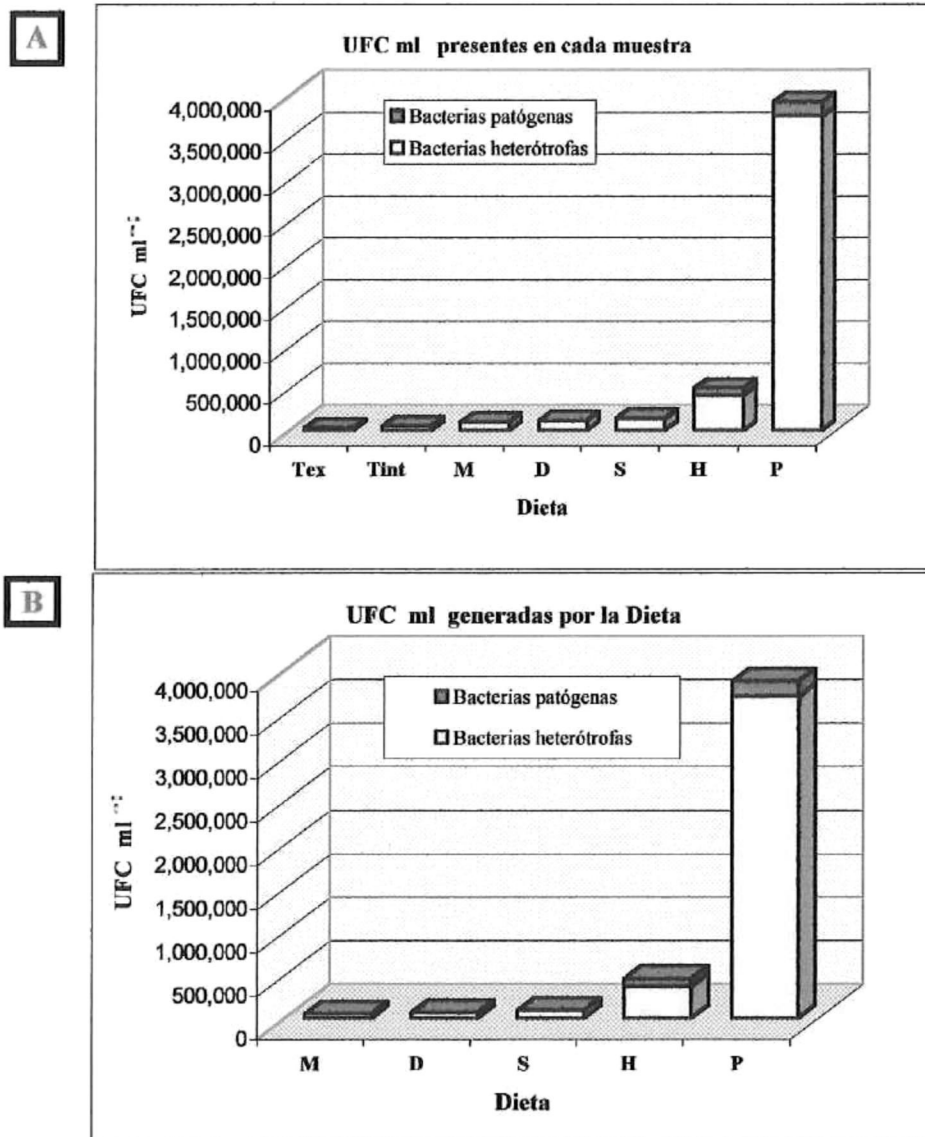


Figura 12. (A) Muestra las UFC ml presentes en cada tratamiento. (B) muestra las UFC ml totales generadas como consecuencia de las diferentes dietas. En ambas gráficas se observa la relación de bacterias posiblemente patógenas (en verde) con las bacterias heterótrofas (en amarillo). (Tex= tanque exterior, Tint= tanque interior, M=*M. pyrifera*, D=diatomeas bentónicas, S=alimento para perro, H=harina de pescado, P=alimento para pollo).

## 5.2. SEGUNDO EXPERIMENTO

### 5.2.1. Crecimiento en longitud

Con una longitud promedio inicial de 6.2 mm para la dieta mixta SM (alimento para perro y *M. pyrifera*) y 6.0 mm para la dieta S (sólo alimento para perro), los juveniles alcanzaron en 66 días una talla final de 11.8 mm y 8.7 mm respectivamente (Figura 13A). Con la prueba de Kruskal-Wallis ( $\alpha = 0.05$ ) se encontraron diferencias significativas entre los crecimientos alcanzados con estas dietas tanto a los 39 días ( $P = 0.0209$ ), como a los 66 días ( $P = 0.0022$ ) (Anexo: Figura C, Tabla H).

La tasa de crecimiento fue superior con la dieta SM ( $92 \mu\text{m día}^{-1}$  en la primera medición y  $75 \mu\text{m día}^{-1}$  para la segunda) que con la dieta S ( $38$  y  $66 \mu\text{m día}^{-1}$ ) (Figura 14A).

En los análisis de comparación entre coeficientes de correlación y de pendientes para la relación del crecimiento en longitud (mm) y tiempo (días), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos SM y S en ambas pruebas ( $0.2 > P > 0.1$ ) (Figura 15A, Tabla XI).

Tabla XI. *Intensidad de asociación* entre el crecimiento en longitud (mm) de juveniles de *S. purpuratus* y el tiempo (de 1-66 días) de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) para las dietas SM (dieta mixta) y S (alimento para perro).

	D I E T A	
	SM	S
<b>r</b>	0.695	0.521
<b>b</b>	0.004	0.003

### 5.2.2. Crecimiento en Peso

Con un peso promedio inicial de 152 mg para la dieta SM (alimento para perro y *M. pyrifera*) y 153 mg para la dieta S (sólo alimento para perro), los juveniles alcanzaron un peso final de 727 mg y 334 mg respectivamente a los 66 días (Figura 13B). No se encontraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) entre el peso promedio obtenido con estas dietas a los 39 días ( $P = 0.1978$ ) pero si a los 66 ( $P = 0.0035$ ) (Anexo: Figura C, Tabla H).

La tasa diaria de crecimiento en peso de los erizos fue superior con la dieta SM que con la dieta S. Los juveniles con la dieta mixta presentaron una tasa de crecimiento de  $6 \text{ mg día}^{-1}$  durante el primer mes y  $12 \text{ mg día}^{-1}$  en el segundo. Con la dieta S los organismos obtuvieron una tasa de  $3$  y  $2 \text{ mg día}^{-1}$  respectivamente (Figura 15B).

En las pruebas de comparación entre pendientes y coeficientes de correlación no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $0.2 > P > 0.1$  para ambas pruebas) (Figura 15B, Tabla XII).

Tabla XII. *Intensidad de asociación* entre el crecimiento en peso (mg) de juveniles de *S. purpuratus* y el tiempo (de 1-66 días) de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) para las dietas SM (dieta mixta) y S (alimento para perro).

	D I E T A	
	SM	S
<b>r</b>	0.625	0.386
<b>b</b>	0.010	0.005

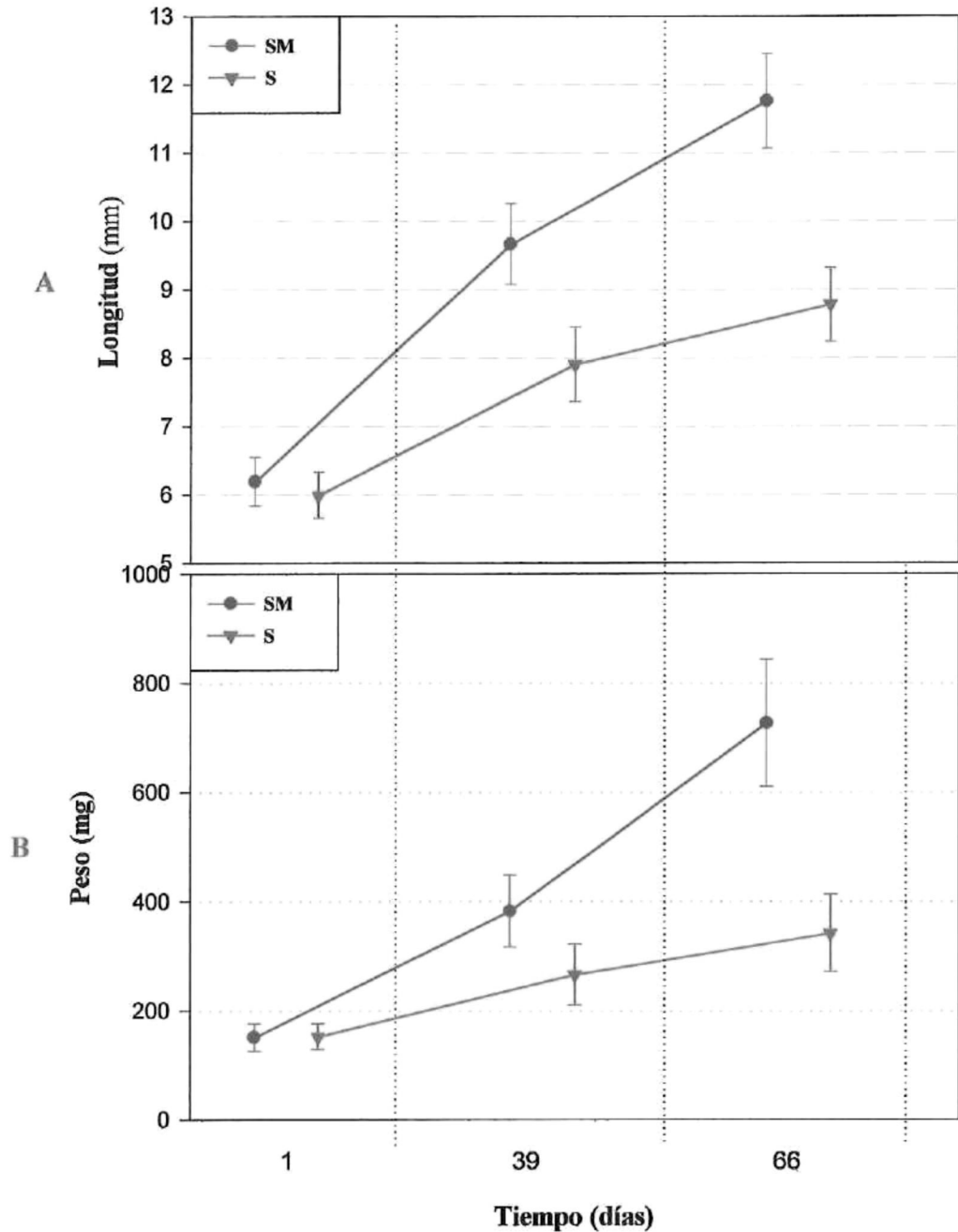


Figura 13. **(A)** Crecimiento promedio en longitud (mm) de juveniles de *S. purpuratus* alimentados con dos dietas diferentes SM (dieta mixta) y S (alimento para perro) durante el periodo comprendido del 15 de octubre al 20 de diciembre de 1999 (66 días). **(B)** Crecimiento en peso (mg) para el mismo periodo. En ambas gráficas las barras verticales muestran el error estándar.

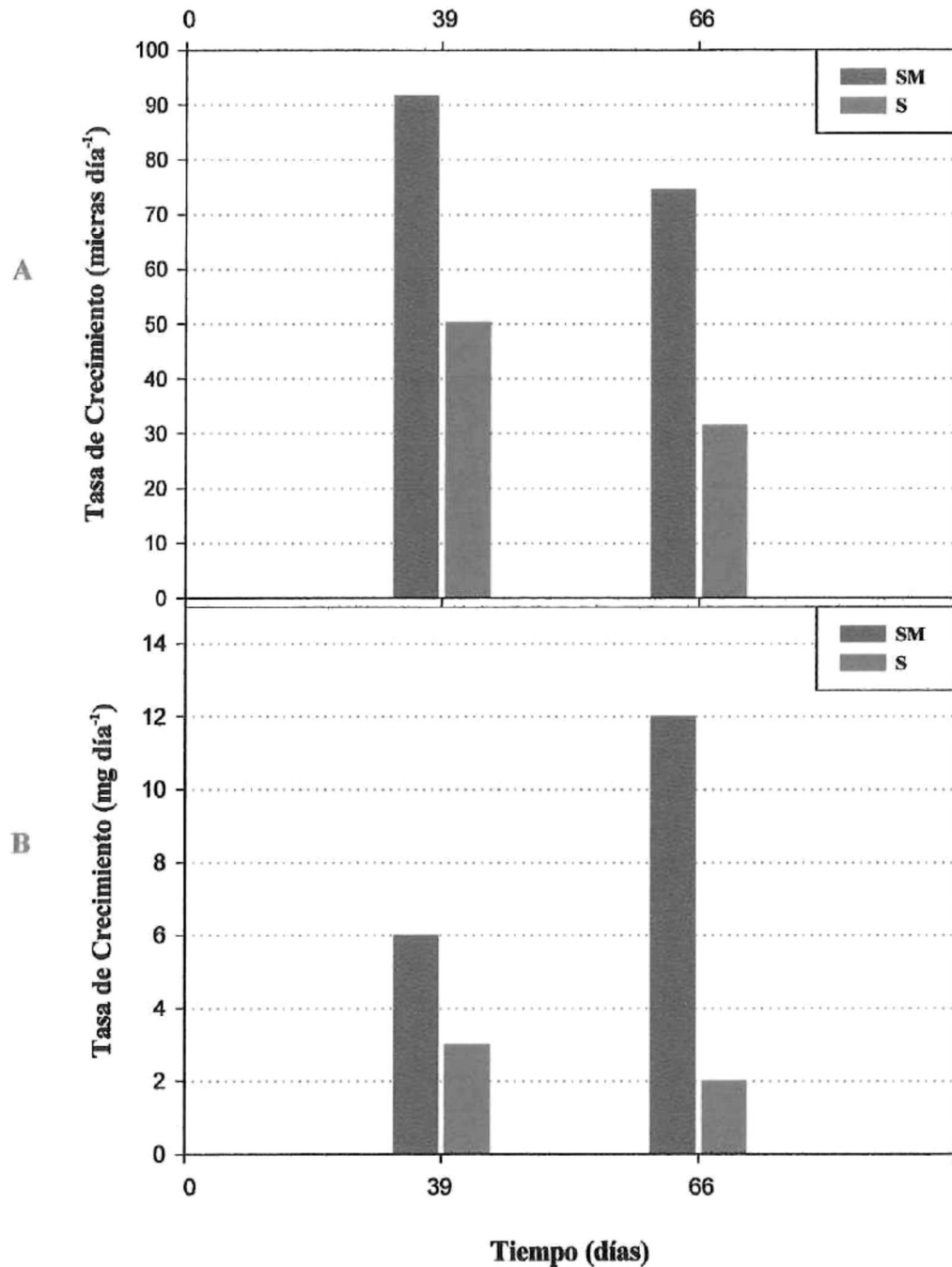


Figura 14. **A**) Tasa diaria de crecimiento en longitud (micras día<sup>-1</sup>) de juveniles de *S. purpuratus* alimentados con dos dietas diferentes SM (dieta mixta) y S (alimento para perro) durante el periodo comprendido del 15 de octubre al 20 de diciembre de 1999 (66 días). **B**) Tasa diaria de crecimiento en peso (mg día<sup>-1</sup>) para el mismo periodo.

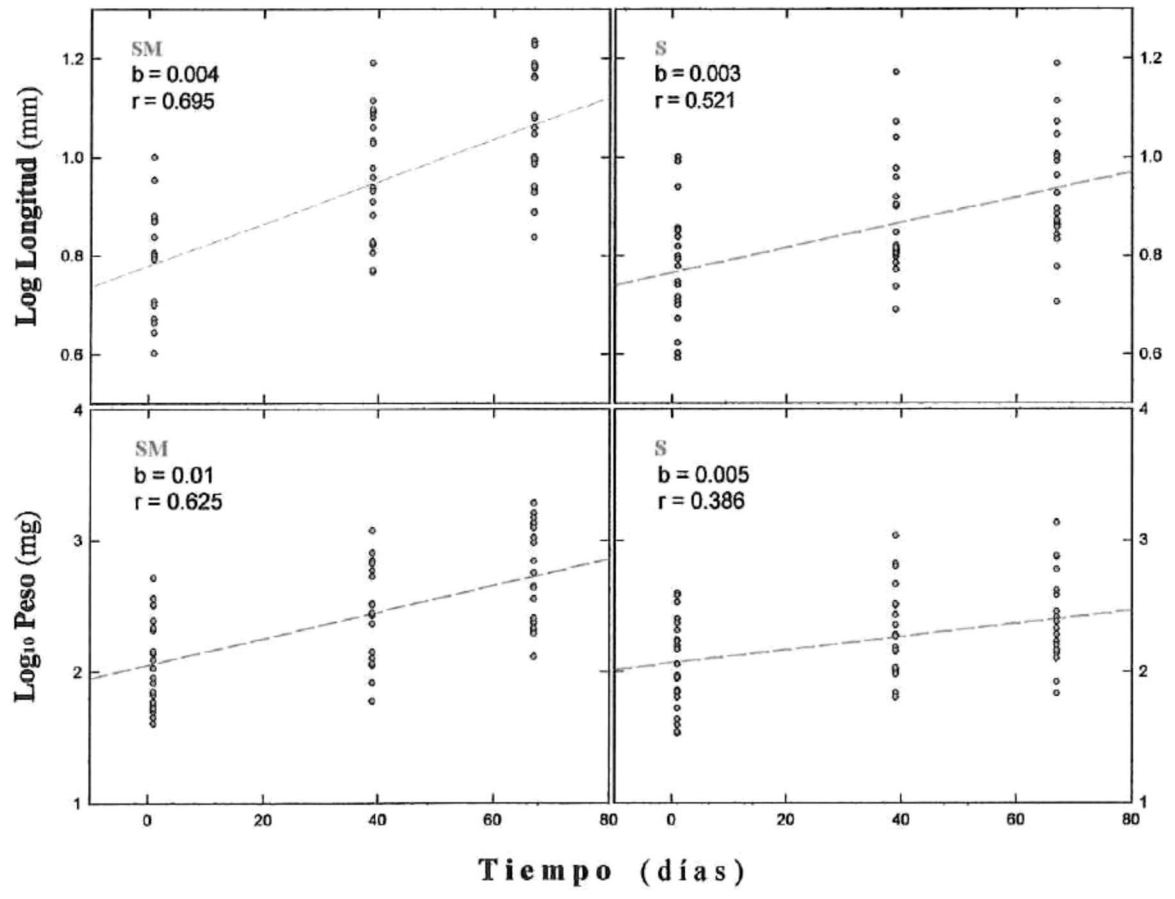


Figura 15. Regresión lineal calculada para (A): la relación tiempo (días) y crecimiento en Log<sub>10</sub> longitud (mm) y (B): la relación tiempo (días) y el crecimiento en Log<sub>10</sub> peso (mg) para las dietas SM (dieta mixta=*M. pyrifera* y alimento para perro) y S (solo el alimento para perro).

### 5.2.3. Tasa de Mortalidad Diaria y Sobrevivencia

De una abundancia inicial de 24 organismos para cada dieta, se obtuvo una sobrevivencia del 92% para la dieta SM y un 88% para la dieta S (Tabla, XIII).

Tabla XIII. Tasa de mortalidad diaria y porcentaje de sobrevivencia para juveniles de erizo *S. purpuratus* alimentados las dietas SM (dieta mixta) y S (alimento para perro) durante el periodo comprendido del 15 de octubre al 20 de diciembre, 1999 (66 días).

Días	Tasa de Mortalidad Diaria	
	SM	S
1-66	0.03	0.05
	Sobrevivencia	
%	92	88

## 6. DISCUSIÓN

### 6.1. CRECIMIENTO EN TALLA Y PESO

#### *Dietas Formuladas*

Las diferencias obtenidas en los resultados de crecimiento en longitud y en peso de los organismos alimentados con las dietas artificiales en relación con las naturales, probablemente pueden ser explicadas por los diferentes contenidos nutricionales de las mismas. Las dietas de elaboración comercial P y S utilizadas en esta investigación fueron fácilmente consumidas y aportaron los mejores crecimientos lo cual sugiere que contienen ciertos constituyentes que pudieran ser utilizados para la elaboración de una dieta factible de sustituir a las diatomeas bentónicas y a *M. pyrifera* en la alimentación de juveniles de *S. purpuratus* en la etapa temprana. Lo anterior concuerda con otros estudios en los cuales, la mayoría de las dietas artificiales han conducido a un incremento significativo en el crecimiento somático y gonadal comparado a una dieta únicamente macroalgal o a una dieta en el medio natural (Fernández *et al.*, 1995; Lawrence *et al.*, 1992; Fernández y Clatagirone, 1994; William y Harris, 1998; Klinger *et al.*, 1998; Jong-Westman *et al.*, 1995; ).

Numerosos estudios de campo y de laboratorio han demostrado que tanto el crecimiento como la reproducción de erizos de la Familia Strongilocentrotidae, están directamente relacionados con la cantidad y la calidad del alimento disponible (Ebert,

1968; Himmelman y Steele, 1971; Vadas, 1977; Larson *et al.* 1980; Thompson, 1983, 1984; Briscoe y Sebens, 1988). Sin embargo, puesto que la calidad del alimento necesario para *S. purpuratus*, como para cualquier otra especie, es muy difícil de elaborar, ya que comprende el estudio de características diversas tales como cantidad, digestibilidad, absorción y composición del alimento (Lawrence y Lane, 1982), en el presente estudio se considera que el crecimiento somático es una primera observación en el estudio de juveniles de erizo morado, ya que involucra tales procesos de forma general.

Dado que el crecimiento larval y postmetamórfico no ha sido documentado con la misma frecuencia como lo ha sido el crecimiento somático y gonadal en erizos jóvenes y adultos de distintas especies, no fue posible encontrar estudios realizados con juveniles de *S. purpuratus* con las tallas utilizadas en esta investigación ( $1.7 \pm 0.5$  mm). Por lo cual es difícil el hacer comparaciones de crecimiento, sin embargo los resultados obtenidos son similares a estudios realizados con otras especies utilizando individuos de mayor tamaño (McBride *et al.*, 1998; Fernández y Boudouresque, 1998; Fernández y Pergent, 1998; Lawrence *et al.* 1992; Nagai y Kaneko, 1975; Fernández y Caltagirone, 1994; Fernández *et al.*, 1995; Nestler y Harris, 1994).

Debido a que el crecimiento en erizos pequeños es primeramente en la pared del cuerpo (testa) y la proteína es el mayor constituyente orgánico de la pared del mismo (Lawrence y Guille, 1982; Lawrence y Bryne, 1994; Fernández, 1997), al ofrecer la

dieta formulada S, con 28% de proteína y un 15% de grasa, fue posible fomentar el crecimiento somático de los juveniles de erizos *S. purpuratus*, como lo mencionan Lawrence y Lane (1982); Lawrence *et al.*, (1992), para otras especies. Es evidente que esta dieta contiene una proporción mayor de proteínas comparado con *M. pyrifera*, las cuales aportaron ciertos requerimientos nutricionales a los organismos lo que les permitió el mejor crecimiento promedio diario desde su estadio temprano hasta el término del experimento (Figura 4). Desafortunadamente se desconoce la cantidad total de proteínas o la proporción exacta de amino ácidos constituyentes necesarios para *S. purpuratus* en esta etapa de desarrollo, por lo que cual se precisa de futuros estudios nutricionales. Sin embargo, es importante considerar que el llevar a cabo estudios para identificar contenidos estomacales y calcular los requerimientos nutricionales de los erizos, resulta difícil en organismos de la talla utilizada en este experimento (1.7 mm). Kenner (1992) menciona la dificultad de realizar estos estudios en erizos morados menores de 15 mm.

Aún cuando ha sido demostrado que el crecimiento de ciertos equinoideos, depende de los niveles de proteína ingerida (Lowe y Lawrence, 1976; Frantzis y Grémare, 1992; Floreto *et al.*, 1996), la dieta de harina de pescado, constituida por un 68% de proteína, con una diferencia del 40% más, con respecto al porcentaje de proteína presente en la dieta S, no trajo consigo un mayor crecimiento en los juveniles a lo largo de todo el experimento. Este menor crecimiento puede ser atribuido en parte, por la posibilidad de que exista una regulación fisiológica en la alimentación de los

erizos en la cual se observa una disminución en la tasa de alimentación cuando existe un exceso en los niveles de proteína, como han sugerido McBride *et al.* (1998) para *S. franciscanus*.

El nivel de proteína en la harina de pescado utilizada en este estudio fue elevado ocasionando un crecimiento menor de lo esperado como ha sido documentado por diversos estudios. En investigaciones con el erizo *P. lividus* con diversos tamaños de clase (3.0 mm – 45.0 mm), se observó el mayor crecimiento con una dieta a base de harina de pescado con un 28.9% de proteínas que con una dieta mixta cuyo contenido de proteínas era superior (47.2%) (Fernández y Pergent, 1998). También se encontró que *S. franciscanus* (de 34.8 mm de longitud promedio de testa y 19.9 gr de peso promedio) tuvo un mayor crecimiento con una dieta con un 40% de proteína que con un 50% (McBride *et al.*, 1998).

El crecimiento en los juveniles alimentados con la dieta P relativamente alto durante los tres primeros meses comparado con las dietas naturales y disminuido luego durante el quinto y sexto mes, puede ser explicado considerando que el crecimiento depende de la calidad de la dieta, así como de la edad y el tamaño del erizo, ya que la fisiología y los requerimientos nutricionales difieren según estos factores (edad y tamaño) como sugieren Willams y Harris (1998). Es probable que el tipo y la proporción de los constituyentes presentes en la dieta P hayan sido suficientes para favorecer un rápido crecimiento en los juveniles durante los tres primeros meses. Sin

embargo, los resultados obtenidos en los meses posteriores parecen indicar que los requerimientos nutricionales de los juveniles en esa etapa, fueron superiores de lo que esta dieta podía proporcionar.

El alto contenido de lípidos en la dieta S sugiere haber constituido un importante factor para que los juveniles bajo esta dieta obtuvieran el mayor crecimiento en peso y que además se observara una relación proporcional del crecimiento en peso respecto al crecimiento en longitud (Figura 10). Es factible la posibilidad de que los ácidos grasos de la dieta formulada hayan fomentado el crecimiento gonadal, así como el ambulacral e interambulacral, considerando que estos órganos actúan como receptores de estos componentes (Allen, 1974). De las observaciones externas realizadas a los organismos, fue evidente que la abundancia y la longitud de los pies ambulacrales fue superior en los juveniles sometidos a la dieta formulada que en los alimentados con *M. pyrifera*.

El tipo de dieta no solo tuvo influencia en el crecimiento de los juveniles sino también en la apariencia externa de los erizos. En la presente investigación se encontró que los juveniles alimentados con la dieta S, tenían una apariencia de erizo adulto ya que desarrollaron una testa más alta y redonda cubierta por espinas largas y duras de color púrpura. Los erizos sometidos a la dieta de *M. pyrifera* presentaron, desde el inicio y hasta al final del experimento, una testa aplanada de tonos verduzcos y espinas suaves como ha sido documentado en juveniles del medio natural (Morris *et al.*, 1980).

Otros estudios han observado repercusiones del alimento sobre la apariencia externa de los organismos, lo cual puede tener implicaciones en la comercialización de estas especies. El erizo *P. miliaris*., presentó espinas notoriamente mas largas cuando los organismos fueron alimentados con *Ulva lactuca* que con pellets para salmón (Cook *et al.*, 1998). Este efecto negativo sobre la longitud de las espinas, fue atribuido a deficiencias en esta dieta la cual influyó no solo influyó en el escaso crecimiento de las espinas, sino también en la coloración de los organismos (William y Harris, 1998). En el presente estudio, el hecho de que el contenido de la dieta artificial S haya contribuido a que los juveniles tuvieran espinas duras y saludables, representa otra cualidad de este alimento.

Es importante destacar que el crecimiento tanto en talla como en peso de los juveniles alimentados con la dieta S, fue diferente ( $P < 0.001$ ) que el crecimiento obtenido por los juveniles con la dieta de *Macrocystis* desde el inicio del experimento. Estas diferencias entre los crecimientos obtenidos con dietas formuladas y sus contrapartes naturales, no son tan comunes en organismos pequeños. Cook *et al.* (1998), en pruebas con *P. miliaris* de 0.89-1.1 mm de talla, no encontraron diferencias en el crecimiento de los juveniles alimentados con una dieta para salmón y la macroalga *Laminaria saccharina*. Este mismo resultado también ha sido documentado en juveniles de *S. droebachiensis* con una talla menor a 10 mm, alimentados con un alimento artificial comparado con la macroalga *L. saccharina* cubierta de el briozoario *Membranipora membranacea* (Williams y Harris, 1998). Esto reafirma que la dieta S

contiene constituyentes que favorecen el crecimiento de los juveniles, por lo que es muy recomendable realizar estudios nutricionales con dicha formulación.

### *Dieta Mixta*

Los mejores crecimientos en talla y peso de los juveniles alimentados con la dieta mixta SM (alimento para perro y *M. pyrifera*) que con la dieta única de alimento para perro (S) (Figura 13), fueron significativos ya que con la dieta mixta aumentaron 1.9 veces su talla inicial y 4.9 veces su peso inicial en tan solo dos meses mientras que los erizos con la dieta S aumentarían 1.5 veces en talla y 2.2 veces en peso. Esto sugiere que no obstante que el alimento S haya proporcionado ciertos nutrimentos que causaron el mejor crecimiento en el experimento I, la macroalga contiene algún elemento, que en conjunto con esta dieta, pudo haber promovido aun mas el crecimiento en peso de los juveniles en el experimento II.

Es importante considerar que puesto que los juveniles utilizados en el segundo experimento fueron los mismos que se emplearon en el primer experimento con el tratamiento S, el crecimiento con la dieta SM en el segundo experimento pudo haber sido el resultado de un crecimiento compensatorio, es decir, que es probable que algún componente ausente en la dieta S haya sido aportado por *M. pyrifera* ocasionando una tasa de crecimiento mayor, sin que necesariamente la dieta S haya afectado el crecimiento normal de los juveniles por ausencia de tal componente.

Los crecimientos con la dieta mixta sugieren que la macroalga pudo haber estimulado la tasa de ingestión de la dieta S lo cual pudo haber propiciado un mayor aprovechamiento de la misma. En un estudio con *S. pulcherrimus* alimentado con una dieta artificial, se encontró que cuando la ingestión de dicho alimento decrecía, un extracto de alga parda adicionada a los tanques de cultivo, estimulaba el apetito de los organismos y estos ingerían de nuevo el alimento artificial (Nagai y Kaneko, 1975).

En la tabla XIV se comparan los resultados obtenidos en este trabajo con los Fernández y Pergent (1998), considerando que las especies utilizadas en ambos estudios *S. purpuratus* y *P. lividus*, tienen un crecimiento anual muy similar (18mm/año (Kenner, 1992) y 5-18 mm/año (Leighton, 1995; Cellario y Fenaux, 1990 respectivamente), en condiciones naturales. Los crecimientos obtenidos por los juveniles alimentados con las dietas SM y S, fueron superiores a los obtenidos por Fernández y Pergent (1998) para juveniles de de *P. lividus* (3-9 mm) alimentados con una dieta mixta.

Tabla XIV. Crecimiento total (CT) en longitud (mm) observadas en dos especies de erizo (Fernández y Pergent, 1998 y el presente estudio).

ESTUDIO	Dieta	Tiempo	Tallas (mm)	CT (mm)	ES
<b>Experimento II <i>S. purpuratus</i></b>	Animal	2 meses	4 - 10	2.8	0.48
<b>Experimento II <i>S. purpuratus</i></b>	Mixta	2 meses	4 - 10	5.6	0.55
<b>Fernández y Pergent (1998) <i>P. Lividus</i></b>	Mixta	2 meses	3 - 9	1.7	0.46

Es evidente que la dieta SM promovió un mejor crecimiento de la testa de los juveniles y probablemente permitió la canalización de la energía hacia la producción gonadal lo que aumentó su peso de manera significativa. Esto concuerda con estudios realizados para otras especies, en los cuales se demuestra que el crecimiento tanto en peso como en talla son superiores con las dietas mixtas, seguido por las dietas animales y en último las vegetales (Fernández y Pergent, 1998; Fernández *et al.*, 1995; Fernández y Boudouresque, 1998; Lawrence *et al.*, 1992).

### *Diatomeas Bentónicas*

El menor crecimiento promedio tanto en longitud (diámetro de testa) como en peso observado en los juveniles alimentados con las diatomeas bentónicas (D), desde el inicio (1.7mm y 3.2 mg respectivamente) y hasta los 111 días (2.4 mm y 7.6 mg respectivamente), claramente muestra que los requerimientos nutricionales para esta etapa temprana de desarrollo, son mucho mayores de lo que las diatomeas *Nitzschia* spp y *Cocconeis* spp pueden proporcionar. Consecuentemente, la tasa de crecimiento observado con las diatomeas fue muy baja tanto en talla ( $>2.4$  y  $<12.4$   $\mu\text{m}/\text{día}$ ) como en peso ( $>0.03$  y  $<0.11$  y  $\text{mg}/\text{día}$ ). Se ha observado que miembros de los Strongylocentrotidae, ante limitaciones alimenticias, tienen tasas de crecimiento lentas puesto que hacen un reparto para el mantenimiento y no para el crecimiento (Ebert, 1975).

A pesar del lento crecimiento de los juveniles con la dieta de *M. pyrifera* durante

los tres primeros meses y su aumento hasta el final del experimento (Figura 5), éste siempre tuvo un mejor desempeño que el observado con diatomeas bentónicas, lo cual sugiere el cambio gradual de dieta en que los erizos pequeños cambian su alimentación de la microalga a la macroalga. Sin embargo esta transición de un alimento a otro es paulatino, de ahí que la tasa de crecimiento con la dieta M haya ido en lento ascenso, debido al acondicionamiento a la dieta única de *Macrocystis*. Esto también explica el que los juveniles con la dieta D hayan presentado un crecimiento tan bajo e incluso que no hayan sobrevivido hasta los 169 días por falta de nutrientes, los cuales, en condiciones naturales, probablemente lo obtienen de las diatomeas en conjunto con la macroalga (Morris *et al.*, 1980).

### *Macrocystis pyrifera*

A pesar de que *M. pyrifera* es considerada como el alimento preferido de *S. purpuratus*, su uso en este estudio no brindó el mejor crecimiento. El crecimiento con esta dieta M fue menor que el observado para las dietas formuladas P y S desde el inicio y hasta 141 días (Figura 4 y 7). Solo hasta el final del experimento (169 días), la macroalga tuvo un desempeño mejor que las dietas P y H, e igual a la dieta S. Es posible que la variabilidad en la calidad nutricional que *Macrocystis* presenta a lo largo del año y en particular la variación nutricional que pudo haber ocurrido durante el experimento, así como la variabilidad que existe de fronda a fronda (Baardseth y Haugh, 1952), hayan implicado una desventaja ante las dietas formuladas:

Es evidente que la macroalga fue limitante para el rápido desarrollo de los juveniles ya que su contenido de proteínas y lípidos son muy bajos en relación con el contenido de las dietas formuladas. Una situación similar se observa en un estudio realizado por Floreto *et al.* (1996) con el erizo *Tripneustes gratilla* alimentado con tres algas diferentes. Estos autores encontraron que los organismos crecieron mejor con *Undaria pinnatifida* (25.5% proteína y 6.9% lípidos), seguido por *Ulva pertusa* (23.2 proteína y 3.1% lípidos) y por último *Gloiopeltis furcata* (22.1% proteína y 1.4% lípidos). Se observa que *U. pinnatifida* tiene un contenido lipídico y proteínico mayor que las otras dos algas y fue ésta la que proporcionó el mayor crecimiento de los erizos de esta especie.

No obstante que las dietas formuladas S y P proporcionaron un mayor crecimiento hasta los 141 días, los resultados mostraron que el erizo morado está muy bien adaptado a la dieta de *M. pyrifera* (Booolotian y Lasker, 1964). Esta mantuvo el crecimiento de los juveniles durante todo el experimento aun a pesar de que el crecimiento tanto en talla como en peso fue lento al inicio de la prueba y aumentó paulatinamente hacia el final del mismo.

El comportamiento de la curva de crecimiento de los juveniles alimentados con *M. pyrifera* (Figuras 4 y 7) sugiere ser el resultado de la adaptación paulatina de los organismos a la macroalga. Los erizos cambian su dieta de alimentación de diatomeas a algas hasta que obtienen un diámetro de 3 mm aproximadamente (Raymond y

Scheibling, 1987). Los juveniles utilizados en este experimento fueron trasladados a la dieta de macroalga con tan solo una talla de 1.7 mm en promedio, por lo cual es probable que hayan respondido plásticamente (cambio de morfología) hacia este hecho, dirigiendo los nutrientes hacia el desarrollo de la mandíbula o a la linterna de Aristóteles con la finalidad de incrementar su capacidad para pastorear sobre *Macrocystis*. Ebert (1991) encontró que la colocación de los recursos hacia la linterna puede ser una respuesta inicial de los erizos con el propósito de incrementar la eficiencia en la alimentación. Por tanto, el notable aumento en el crecimiento tanto en talla como en peso hacia el final del experimento podrían indicar una habilidad ya bien desarrollada para el pastoreo.

Pese a que el crecimiento de los juveniles sometidos al tratamiento N fue igual al crecimiento de los organismos con la dieta M, no es posible asegurar que el crecimiento no se vio afectado por estrés. Existe la posibilidad de que las unidades de muestreo N, por falta de aseo, hayan originado suciedad y acumulación de heces generando un ambiente de baja calidad el cual pudo haber influido sobre el crecimiento de los organismos (Grosjean *et al.*, 1995). Ebert (1967a y 1968) menciona que los erizos crecen hasta un límite que les es permitido por el ambiente y se ajustan a las fluctuaciones ambientales. Él propuso que el tamaño “óptimo” para *S. purpuratus* está dispuesto por las condiciones que imperan en el área donde se encuentran los organismos.

## 6.2. TASAS DE CRECIMIENTO

Las diferencias en la tasa de crecimiento de las dietas M y D con respecto a la dieta formulada S, pueden ser el resultado no solo de sus valores nutritivos, como las proteínas y el alto contenido de lípidos, si no también de la presencia de ciertos atractivos químicos en la dieta formulada, los cuales pudieron haber influido en el consumo de esta dieta por parte de los juveniles. Se encontró que el erizo *Tripneustes gratilla* consume más la macroalga *Undaria* en comparación con otras algas, debido a los atrayentes químicos presentes en esta alga (Floreto *et al.*, 1996).

La uniformidad en las tasas de crecimiento de los erizos con la dieta S a diferencia de las tasas de crecimiento con las dietas naturales (Figura 16), también ha sido observada por William y Harris (1998) en el erizo *P. lividus*. Encontraron que esta especie tuvo tasas de crecimiento más uniformes cuando se le alimentó con una dieta artificial pelletizada que las tasas observadas con su contraparte natural *Laminaria sacharina*.

No obstante la uniformidad observada en las tasas de crecimiento con la dieta S se observa que las mayores tasas de crecimiento en longitud se presentan en las tres primeras mediciones (36-111 días). Por el contrario, las mayores tasas de crecimiento en peso se presentan en las tres últimas mediciones (111-169 días). De lo anterior se deduce que los nutrientes presentes en el alimento fueron dirigidos en primera instancia hacia la producción de testa (crecimiento somático) dando como resultado las mayores

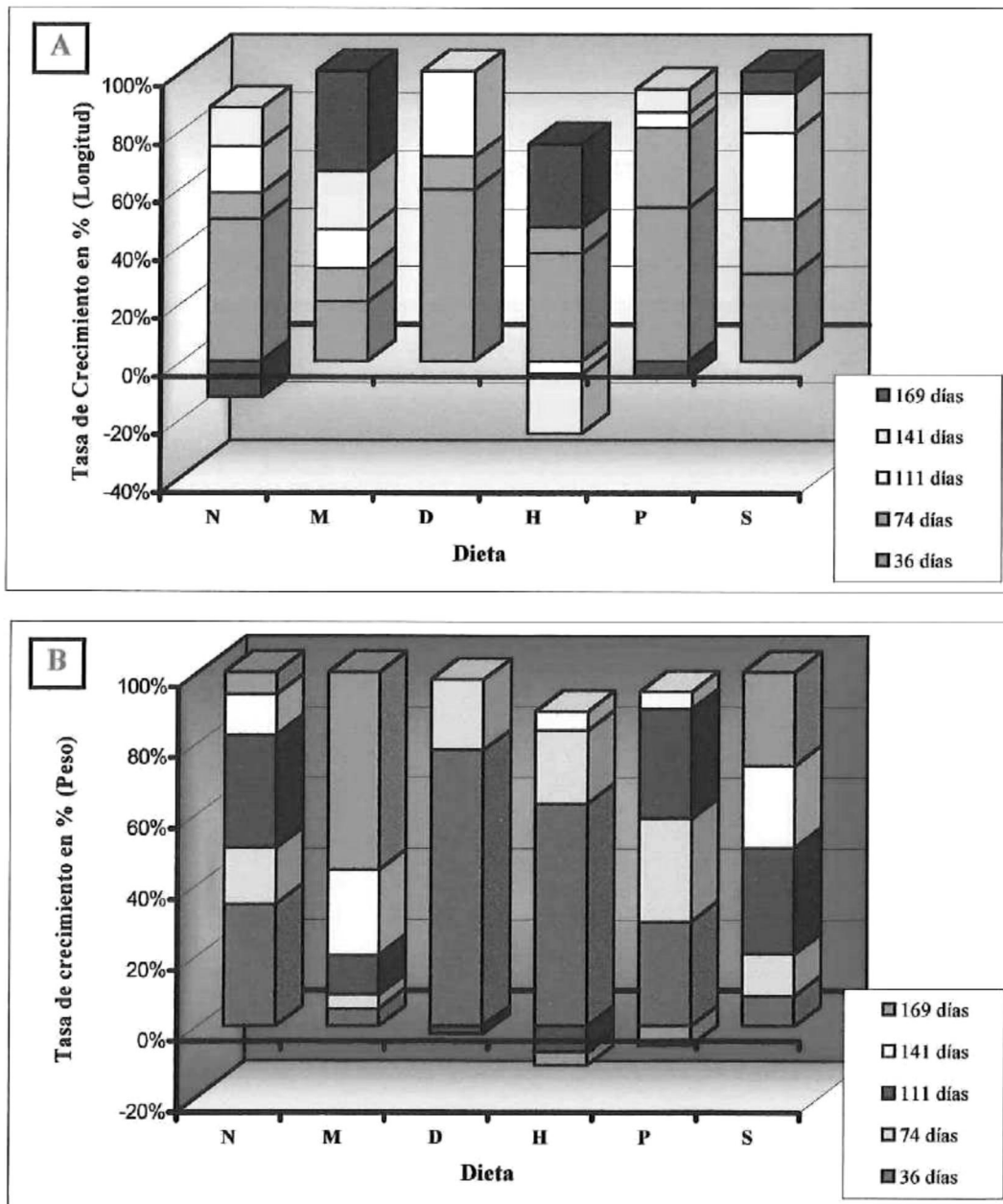


Figura 16. A) Porcentaje (%) de crecimiento en longitud mensual en relación con la tasa de crecimiento total (100%) (36-169 días). B) Porcentaje (%) de crecimiento en peso mensual en relación con la tasa de crecimiento total (100%).

tasas de crecimiento en longitud al inicio del experimento. Posteriormente, habiendo los juveniles alcanzado una talla mayor, los nutrientes fueron dirigidos hacia el desarrollo gonadal como sugieren varios autores para otras especies: *P. lividus* (Fernández y Boudouresque, 1998; Cellario y Fenaux, 1990) y *E. Chloroticus* (McShane y Anderson, 1997), por lo cual las mayores tasas de crecimiento en peso se observan en las últimas mediciones. Además, Lawrence y Lane (1992), han demostrado que las condiciones nutricionales pueden determinar el inicio de la madurez sexual.

La edad de iniciación de actividad gametogénica para varias especies de equinoideos en el campo empieza de 6 a 12 meses después de la metamorfosis con diámetros horizontales de la testa, de 20-50 mm (Moore, 1935; Fuji, 1960b; McPherson, 1968; Gonor, 1972 en Lawrence y Lane, 1982). Sin embargo, se ha encontrado que es posible reducir este tiempo en condiciones de laboratorio. Hinegardner (1969) documentó el desarrollo de juveniles de erizo *Lythechinus pictus* en el laboratorio y encontró algunos gametos maduros 4 o 5 meses después de la metamorfosis con diámetros horizontales de 6 mm. Esto reafirma la posibilidad de que los juveniles de *S. purpuratus*, alimentados con la dieta S, hayan iniciado su crecimiento gonadal hacia el final del experimento, cuando contaban con 5.6 mm de testa.

La heterogeneidad en las tasas de crecimiento de la dieta H sugiere una continua variación en la canalización de la energía asimilada en los organismos. En la figura 16A y 16B se observa que a los 36 días la tasa de crecimiento en talla es alta mientras que la

tasa de crecimiento en peso es baja. Para el periodo siguiente (74 días) se observa lo contrario, es decir, la tasa en talla es baja y mientras que la tasa en peso es superior, y así subsecuentemente a lo largo de todo el experimento. Esto podría ser explicado de acuerdo a los criterios de Ebert (1968). Este autor ha documentado que el rompimiento de las espinas actúa como un drenado de recursos puesto que la regeneración de las mismas es un proceso continuo. Considerando que, la dieta H no proporcionó los requerimientos nutricionales necesarios para los juveniles de erizo morado, y tomando en cuenta las observaciones realizadas durante los periodos de limpieza en los que se notaba una pérdida fácil de las espinas por parte de los juveniles sometidos a ésta, podría decirse que los periodos en los cuales las tasas de crecimiento en peso fueron superiores, corresponden a periodos en los que se daba la regeneración de espinas ocasionando que los erizos aumentaran de peso. Los periodos en los cuales las tasas de crecimiento en tallas eran superiores, podrían ser periodos en los que no era necesario drenar los recursos hacia la regeneración de las espinas, por lo cual se colocaban hacia el crecimiento de la testa.

Se observa que las tasas de crecimiento en talla como en peso para los juveniles con la dieta P, conservan una proporción similar a lo largo de todo el experimento, lo cual sugiere que el contenido de la misma, permitió el crecimiento relativamente uniforme. Sin embargo la dieta no cubrió las necesidades de los juveniles en los últimos periodos del experimento por lo cual el crecimiento fue muy bajo.

Durante el experimento II, se observó que las tasas de crecimiento, tanto en talla como en peso, fueron superiores con la dieta mixta (SM) que únicamente con alimento para perro (S). Sin embargo, la tasa de crecimiento en talla fue en descenso con ambas dietas para este periodo (dos meses) (Figura 16A). Por el contrario, la tasa de crecimiento en peso para la dieta mixta, fue en aumento. Este decremento en la tasa de crecimiento en longitud y el aumento en la tasa de crecimiento en peso a través de el tiempo sugiere que ambas dietas propician el crecimiento de la testa y que la dieta S contribuye a la iniciación del crecimiento gonadal en los juveniles (como se observó en el experimento I). Es probable que el mayor y más rápido incremento en peso con la dieta mixta (Experimento II) se deba a que ésta contribuye aun mas a que se reduzca la canalización de los nutrientes hacia la producción somática y se dirija a la producción gonadal, como sugieren Fernández y Boudouresque (1998).

### 6.3. RELACIÓN DEL CRECIMIENTO CON EL TIEMPO

La mayor intensidad de asociación entre el crecimiento (longitud y peso) y el tiempo observada con la dieta S ( $r = 0.87$ ) se debió a que el crecimiento se mantuvo casi constante a lo largo de todo el experimento (Figuras 6 y 9). Lo anterior indica que el alimento formulado siempre favoreció el crecimiento de los juveniles, permitiéndoles un desarrollo continuo. La dieta H presentó una correlación menor ( $r = 0.64$ ) que las dietas M y N ( $r = 0.74$ ) puesto que el crecimiento de los organismos alimentados con esta dieta fue mas lento que con las dietas naturales. La dieta D tuvo una correlación muy baja ( $r = 0.57$ ) ya que los organismos crecieron muy poco en los tres meses en los

cuales sobrevivieron.

El índice de crecimiento representado por las pendientes de las regresiones lineales variaron de acuerdo al tratamiento. El crecimiento mas rápido obtenido con la dieta S tanto en peso ( $b = 0.009$ ) como en talla ( $b = 0.003$ ) a diferencia de las dietas H, M y N ( $b < 0.006$  en peso y  $b < 0.002$  en talla) que proporcionaron un crecimiento mas lento, apoya el hecho de que esta dieta contribuye a minimizar el tiempo de crecimiento de los juveniles ya que cuenta con un contenido proteico y lipídico que es aceptado y asimilado por los juveniles (Anexo: Tabla III).

En un estudio realizado por Fernandez y Pergent (1998) con *P. lividus* de 20-25 mm, alimentados durante seis meses con una dieta animal compuesta por 28.9% proteínas y 12.8% de lípidos, similar al contenido de la dieta animal S utilizada en este trabajo, encontraron también que el crecimiento con la dieta animal fue mas rápido ( $b = 0.03$ ) que con el alimento vegetal ( $b = 0.02$ ). También probaron una dieta mixta compuesta por 47.2% de proteínas y 15.5% de lípidos en organismos de 3-9 mm para el mismo periodo de tiempo la cual tuvo una mayor pendiente ( $b = 0.04$ ). En el presente trabajo también se observó una pendiente mayor para la dieta mixta ( $b = 0.004$ ,  $b = 0.003$  para la dieta S), sin embargo, las pendientes no fueron diferentes ( $P > 0.5$ ).

Los resultados obtenidos muestran que los nutrientes en las dietas naturales como son las diatomeas y la macroalga fueron una limitante para obtener un desarrollo

mas acelerado. El rápido crecimiento observado con la dieta artificial S utilizada como dieta única o bien como dieta mixta en conjunto con la *M. pyrifera*, confirma que *S. purpuratus* es una especie omnívora como ha sido sugerido por Lasker y Giese, (1954) y que además las dietas omnívoras o de origen animal, permiten un mayor desarrollo.

#### 6.4. RELACIÓN DEL CRECIMIENTO EN LONGITUD Y PESO.

La pendiente que resultó al evaluar la relación del crecimiento en longitud y peso de los erizos alimentados con la dieta S, fue superior a las obtenidas con las dietas N, H y P ( $P < 0.001$ ) dado a que esta dieta favoreció a que los organismos aumentaran en peso aún cuando las tallas de los organismos eran pequeñas (Figura 10). Esto mismo se observó con la pendiente de la dieta M pero en menor medida ( $0.01 < P < 0.05$ ). El hecho de que la pendiente resultante con la dieta formulada S no haya sido significativamente diferente a la pendiente obtenida con *M. pyrifera*, sugiere que el alimento formulado puede ser utilizado como suplemento a esta dieta natural por lo menos para un periodo de seis meses.

Las pendientes con las dietas N, H y P fueron inferiores debido a que los contenidos nutricionales no fueron los necesarios para propiciar un aumento del crecimiento en peso. Esto soporta la conclusión de que tanto la producción somática como gonadal ocurre cuando la cantidad y calidad de alimento es alta (Lawrence 1985, 1987; Lawrence *et al.*, 1992).

Pese a que las pendientes de las dietas S y M fueron iguales es importante hacer notar la dispersión de la relación talla-peso para los crecimientos observados en los juveniles con la dieta M y la uniformidad en la distribución de la misma relación para los alimentados con la dieta formulada (Figura 10). Lo anterior indica que la dieta S, además de lograr un mayor crecimiento de los juveniles en un menor tiempo, presenta una variabilidad mínima en la relación del crecimiento en talla y peso. Esto puede significar un importante aporte para el cultivo del erizo morado ya que la homogeneidad en el tamaño de los juveniles podría significar un mayor control sobre los cultivos puesto que existiría un menor número de organismos pequeños lo cual a su vez, reduciría el tiempo en el que los juveniles requieren de mayor atención.

#### 6.5. TEMPERATURA Y TASA DE MORTALIDAD

La temperatura no afectó el crecimiento de los juveniles puesto que durante el experimento ésta osciló entre los 17 y 20°C y el erizo morado puede soportar temperaturas desde los 12°C hasta los 23.5°C ya que es una especie que habita en el intermareal y está mas expuesto a una variación térmica (Ulbricht y Pritchard, 1972; Farmanfarmaian y Giese, 1962).

La intensidad de asociación ( $r$ ) entre la mortalidad y el tiempo para las dietas M, P y S fue mayor de 0.76 debido a que no se presentaron cambios abruptos en el numero de individuos muertos de mes a mes, es decir, la mortalidad con estas dietas fue incrementando paulatinamente a lo largo del experimento (Figura 11). La mayor

pendiente se observó con la dieta M ya que hubo un notorio aumento de mortalidad al final del experimento.

La mortalidad observada con las dietas D y H tuvo una correlación menor de 0.31 con el tiempo lo cual indica que el alto índice de mortalidad se presentó en periodos específicos como consecuencia de otros factores. Esto corrobora el hecho ya antes mencionado de que las especies de microalgas utilizadas, no fomentaron un rápido crecimiento de los juveniles por lo cual se presentó un 100% de mortalidad a los 111 días. El 95% de mortalidad observada con la dieta H, se le atribuye a los componentes de la dieta así como las proporciones de los mismos, los cuales no fomentaron un buen crecimiento en los organismos. También se considera la generación de bacterias patógenas en este tratamiento, como un posible inhibidor del crecimiento de los juveniles e incluso un causante de la muerte de los mismos (Figura 12).

El mejor porcentaje de sobrevivencia se observó con la dieta S (56%). Sin embargo, la sobrevivencia para este tratamiento se vió afectada por una falla en el suministro de oxígeno en una de las réplicas durante el último periodo experimental, lo cual ocasionó la mortalidad de todos los juveniles contenidos en la réplica. Así mismo, es importante destacar que durante los periodos de limpieza en los cuales se cuantificaba el numero de organismos muertos, se observó que con la dieta S no se presentó una mortalidad selectiva con la cual murieran los organismos mas pequeños. Es decir, que la mortalidad a lo largo del experimento, se presentó en organismos tanto

pequeños como grandes (dentro del rango de tallas estudiado).

La sobrevivencia observada para el resto de las dietas (P, M, N, H y D) fue considerablemente baja (<28%). No obstante, con los resultados obtenidos se puede inferir que *S. purpuratus* tiene un comportamiento alimenticio omnívoro ya que fue capaz de ingerir y utilizar eficientemente dietas formuladas con un contenido de lípidos y proteínas superior al contenido de estos nutrientes en *M. pyrifera*; alimento preferido de esta especie en condiciones naturales.

#### 6.6 EFECTO DE LAS BACTERIAS GENERADAS POR EL ALIMENTO

De los tratamientos utilizados en el presente experimento, el alimento para pollo fue el que generó el mayor número de bacterias heterótrofas ( $3 \times 10^6$  aprox.), el cual es cercano a los valores observados por otros autores para erizos de esta misma especie alimentados con dietas naturales ( $1.8, 2.1$  y  $1.4 \times 10^6$  UFC  $\text{ml}^{-1}$  con *Iridophycus flaccidum* y  $1.7, 1.8$  y  $0.7 \times 10^6$  UFC  $\text{ml}^{-1}$  con el alga parda *Alara marginata*) (Lasker y Giese, 1954). Se ha demostrado la presencia de un número considerable de bacterias en el intestino de *S. purpuratus* las cuales tienen un papel importante en la digestión y funcionamiento nutricional del erizo. Sin embargo, debido a que no se realizaron pruebas específicas para identificación de bacterias, no es posible decir en qué grado las bacterias generadas por los tratamientos fueron consumidas por los organismos y en que medida contribuyeron o no al aprovechamiento de las dietas.

pequeños como grandes (dentro del rango de tallas estudiado).

La sobrevivencia observada para el resto de las dietas (P, M, N, H y D) fue considerablemente baja (<28%). No obstante, con los resultados obtenidos se puede inferir que *S. purpuratus* tiene un comportamiento alimenticio omnívoro ya que fue capaz de ingerir y utilizar eficientemente dietas formuladas con un contenido de lípidos y proteínas superior al contenido de estos nutrientes en *M. pyrifera*; alimento preferido de esta especie en condiciones naturales.

De los tratamientos utilizados en el presente experimento, el alimento para pollo fue el que generó el mayor número de bacterias heterótrofas ( $3 \times 10^6$  aprox.), el cual es cercano a los valores observados por otros autores para erizos de esta misma especie alimentados con dietas naturales ( $1.8, 2.1$  y  $1.4 \times 10^6$  UFC  $\text{ml}^{-1}$  con *Iridophycus flaccidum* y  $1.7, 1.8$  y  $0.7 \times 10^6$  UFC  $\text{ml}^{-1}$  con el alga parda *Alara marginata*) (Lasker y Giese, 1954). Se ha demostrado la presencia de un número considerable de bacterias en el intestino de *S. purpuratus* las cuales tienen un papel importante en la digestión y funcionamiento nutricional del erizo. Sin embargo, debido a que no se realizaron pruebas específicas para identificación de bacterias, no es posible decir en qué grado las bacterias generadas por los tratamientos fueron consumidas por los organismos y en qué medida contribuyeron o no al aprovechamiento de las dietas.

destacado la importancia de estas características en el alimento y su influencia sobre las tasas de ingestión y consecuentemente el crecimiento de los erizos (Nagai y Kaneko, 1975; Klinger *et al.*, 1998; Farmanfarmaian *et al.*, 1982). Dado que la estabilidad de la harina de pescado, suministrada como tal, fue casi nula y el tiempo de exposición en el agua fue muy largo, es probable que gran parte de los nutrientes hayan sido lixiviados, contribuyendo a la proliferación de bacterias.

## 7. CONCLUSIONES

Los alimentos formulados superaron desde el inicio, al alimento natural de diatomeas bentónicas *Nitzschia* spp y *Cocconeis* spp (predominantemente) para este estadio de desarrollo. Las diatomeas probablemente no cubrieron los requerimientos nutricionales de los juveniles de erizo morado.

La macoralga *M. pyrifera* probó ser un buen alimento para los juveniles no obstante que el crecimiento no fue el mejor.

En organismos de esta talla, es indispensable la utilización de diatomeas bentónicas a la par de *M. pyrifera* para permitir la paulatina adaptación a la macroalga y no frenar el crecimiento de los juveniles.

No es recomendable utilizar la harina de pescado como único alimento y en la presentación suministrada en el cultivo de juveniles de erizo morado puesto que tuvo un efecto negativo en la sobrevivencia y el crecimiento de los organismos.

Pese a que el contenido de proteínas es esencial para optimizar el desarrollo en cualquier organismo, el elevado contenido (68%) de este nutrimento en la harina de pescado no implicó un mayor crecimiento en los juveniles de esta especie. La

generación de bacterias por este tratamiento pudo haber afectado el crecimiento de los juveniles así como elevado la mortalidad.

El alimento P proporcionó un crecimiento de 4.1 mm y 44 mg en un periodo de 141 días. No obstante, es necesario mejorar su composición bioquímica para la obtención de mejores resultados.

Dado el crecimiento somático y porcentaje de sobrevivencia observado en los erizos alimentados con la dieta S, es posible utilizar la formulación o parte de la formulación de esta dieta como complemento o sustituto de las diátomeas bentónicas y *M. pyrifer*, en la alimentación del erizo morado en las primeras fases de desarrollo, al menos por un periodo de ocho meses. Asimismo, esta dieta puede ser la base de posteriores estudios de investigación en la constitución de una dieta más refinada que satisfaga aún mejor los requerimientos nutricionales de esta especie en particular.

## 7.1 RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación abren perspectivas para estudios de maricultura y para posibles proyectos de cultivo de *S. purpuratus* en ambientes artificiales con dietas formuladas. Es indispensable incurrir en la investigación de estas dietas para su optimización en aspectos tales como composición, forma física, palatabilidad, entre otros. Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio se recomienda:

- Realizar pruebas de la dieta S con juveniles de mayor tamaño y analizar los contenidos de aminoácidos y de ácidos grasos presentes tanto en la dieta como en los organismos para comparar los perfiles de ambos y así tal vez conocer qué pudo haber propiciado un crecimiento 1.4 veces mayor en longitud y 1.8 veces mayor en peso que el obtenido con *M. pyrifer*, así como una sobrevivencia 2.6 veces mayor.
- Analizar las gónadas de juveniles alimentados con la dieta S con la finalidad de conocer cómo y en qué grado este alimento puede fomentar el desarrollo gonádico en organismos pequeños.
- Hacer un análisis bacteriológico del tracto digestivo de juveniles alimentados con estas dietas para comparar con los UFC ml<sup>-1</sup> generadas por los tratamientos en presencia de agua de mar y poder con ello conocer en qué grado el crecimiento o la sobrevivencia se ven afectados por la generación de bacterias.
- Poner atención en la forma y textura de los alimentos formulados y examinar en qué medida la palatabilidad y el aspecto físico del mismo afectan las tasas de alimentación y consecuentemente el crecimiento de *S. purpuratus*.

## 8. LITERATURA CITADA

- Allen, W.V.** 1974. Interorgan transport of lipids in the purple sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 47:1297-1311.
- Baardseth, E., y Haug, A.** 1952. Individual variation of some constituents in brown algae and reliability of analytical results. Norwegian Institute of seaweed research. Report No. 2.
- Booolotian R., Lasker R.** 1964. Digestion of brown algae and the distribution of nutrients in the purple sea urchin *S. purpuratus*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 11:273-289.
- Briscoe, C.S., Sebens, K.P.** 1988. Omnivory in *Strongylocentrotus droebachiensis* (Müller) (Echinodermata:Echinoidea): predation on subtidal mussels. *Jour. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 115:1-24.
- Bustos, R.E., Godoy, C., Olave, S. y Trancoso, R.** 1991. Desarrollo de técnicas de Producción de Semillas y Repoblamiento de Recursos Bentónicos. Parte 1. Investigaciones en el erizo chileno *Loxechinus albus* (Molina, 1782). Instituto de Fomento Pesquero, Chile, PNUD. Impresos XIMPAUSER. pp 1-60.
- Cellario Ch., Fenaux, L.** 1990. *Paracentrotus lividus* (Lamarck) in culture (larval and benthic phases): Parameters of growth observed during two years following metamorphosis. *Aqua.*, 84:173-188.
- Colby, J.** 1979. Larval Development in the purple sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* and the sea urchin, *Strongylocentrotus franciscanus*. Reporte de Bodega Marine Laboratory and Santa Cruz University. No Publicado.
- Conand, C., Sloan, N.A.** 1989. World fisheries for echinoderms. pp. 647-663. En: J.F. Caddy (ed.). *Marine Invertebrate Fisheries: Their Assessment and Management*. J. Willey & Sons. New York.
- Cook, E.J., Kelly, M.S. y Mckenzie, J.D.** 1998. Somatic and gonadal growth of sea urchin *Psammechinus miliarisk* (Gmelin) fed artificial salmon food compared with a macroalga diet. *J. Shell. Res.*, 17: 1549-1555.
- DIFCO Manual.** 1985. Dehydrated Culture Media and Reagents for Microbiology. DIFCO LABORATORIES. Detroit, Michingan 48232. USA. 1155 pp.

- Dugdale, R.C.** 1967. Nutrient limitation in the sea: dynamics, identification and significance. *Limnol. Oceanogr.* 12:685-695.
- Ebert, T.A.** 1967a. Negative growth and longevity in the purple sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). *Sci.* 157:557-558.
- Ebert, T.A.** 1968. Growth rates of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* related to food availability and spine abrasion. *Ecol.*, 49:1075-1091,
- Ebert, T.A.** 1975. Growth and mortality of post-larval echinoids *Am. Zool.*, 15:755-775.
- Ebert, T.A.** 1991. Plastic responses to limited food availability and spine damage in the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 145:205-220.
- Enríquez, M.R.** 1997. Dietas artificiales como sustitutos de las diatomeas bentónicas como alimento para juveniles de abulón azul *Haliotis fulgens* (Philipi,1845). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. 49 pp.
- Farmanfarmaian A., Giese, A.** 1962. Thermal tolerance and acclimation in the western purple sea urchin *S. purpuratus*. Park, Th. (ed) *Physiol. Zool.* 35:237-243.
- Fernández, C.** 1997. Effect of diet on the biochemical composition of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: echinoidea) under natural and rearing conditions. *Comp. Biochem. Physiol. (A)* 118:1377-1384.
- Fernández C., Boudouresque Ch.** 1998. Evaluating artificial diets for small *Paracentrotus lividus*. *Echinoderm: San Francisco*, Mooi & Telford (eds): 651-656, *Balkema, Rotterdam*.
- Fernández, C. y Clatagirone, A.** 1994. growth rate of adult sea urchins, *Paracentrotus lividus* in lagoon environment: The effect of different diet types. En B. David, A. Guille, J.P. Féral y M. Roux (eds), *Echinoderms through Time*: 655-660, *Balkema, Rotterdam*.
- Fernández, C., Dombrowski, E y Caltagirone, A.** 1995. Gonadal growth of adult sea urchins, *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) in rearing: the effect of different diet type. 269-275 pp. en *Echinoderm Research 1995* (eds. R.H. Emson, A.B. Smith & A.C. Campbell), *Balkema, Rotterdam*, 341 pp.
- Fernández, C. y Pergent, G.** 1998. Effect of different formulated diets and rearing

- conditions on growth parameters in the sea urchin *Paracentrotus lividus*. *J. Shell. Res.*, 17:1571-1587.
- Fleming, A., Van Barneveld R.J., Hone P.W.** 1996. The development of artificial diets for abalone: A review and future directions. *Aquaculture* (in press).
- Floreto, E., Teshima, S. Ishikawa, M.** 1996. The effects of seaweed diets on the growth, lipid and fatty acids of juveniles of the white sea urchin *Tripneustes gratilla*. *Fish. Sci.*, 62:589-593.
- Frantzis, A. y Grémare A.** 1992. Ingestion, absorption, growth rate of *Paracentrotus lividus* (echinodermata: Echinoidea) fed different macrophytes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 95:169-183.
- Fuji, A.** 1960b. Studies on the biology of the sea urchin: III. Reproductive cycle of two sea urchins, *Strongylocentrotus nudus* and *Strongylocentrotus intermedius*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido University*, 11: 49-58.
- Fuji, A.** 1967. Ecological studies on the growth and food consumption of the Japanese common littoral sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius* (A. Agassiz). Member of the Faculty of Fisheries. Hokkaido University, 15: 83-160.
- Goebel N., Barker M.** 1998 Artificial diets supplemented with carotenoid pigments as feeds for sea urchins. *Echinoderm: San Francisco*, Mooi & Telford (eds): 667-672, *Balkema, Rotterdam*.
- Gonor, J.J.** 1972. Gonad growth in the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson) (Echinodermata: Echinoidea) and the assumption of gonad index method. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 10:89-103.
- González, L. P., Castilla J.C. y Guisado C.** 1987. Effect on the larval diet and rearing temperature on metamorphosis and juvenile survival of the edible sea urchin *Loxechinus albus* (Molina, 1782) (Echinoidea: Echinoidea) *J. Shell. Res.*, 6:109-115.
- Grosjean, Ph., Spirlet, Ch., Jangoux, M.** 1996. Experimental study of growth in the echinoid *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) (Echinodermata), 201:173-184.
- Hahn K.**, 1989. Handbook of culture of abalone and other marine gastropods. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida USA, 348 pp.
- Hinegardner R.T.** 1969. Growth and development of the laboratory cultured sea urchin. *Biol. Bull.*, 137:465-475.

- Himmelman, J.H., Steele, D.H.** 1971. Foods and predators of the green sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* in New-foundland waters. *Mar. Biol.*, 9: 315-322.
- Jong-Westman M., March B., Carefoot T.** 1995. The effect of different nutrient formulations in artificial diets on gonad growth in the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Can. J. Zool.*, 73:1495-1502.
- Keesing, J.K., Hall, K.C.** 1998. Review of harvest and status of world sea urchin fisheries points to opportunities for aquaculture. *J. Shell. Res.*, 17: 1597-1604.
- Kenner, M.C.** 1992. Population dynamics of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* in a central California kelp forest: recruitment, mortality and diet. *Mar. Biol.* 112:107-118.
- Klinger T.S., Lawrence J.M., Lawrence A.L.** 1998. Digestion, absorption, and assimilation of prepared feeds by echinoids, *Echinoderms: San Francisco*, Mooi R., Telford M. (eds.) *Balkema, Rotterdam*, pp. 713-721.
- Larson B., Vadas R., Keser M.** 1980. Feeding and nutritional ecology of the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* in Maine, USA *Mar. Biol.*, 59: 49-62.
- Lasker R. y Giese, A.C.** 1954. Nutrition of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus*. *Biol. Bull.*, 106:328-340.
- Lawrence, J.** 1975. On the relationship between marine plants and sea urchins. *Oce. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 13: 213-286.
- Lawrence, J.M.** 1985. The energetic echinoderm. Keegan y B.D.S. O'Connor (eds.). *Echinodermata. Balkema, Rotterdam*, pp. 17-67.
- Lawrence, J.M.** 1987. Echinodermata. T.J. Panadian y F.J. Vernberg (eds.) *Animal energetics. 2.* Orlando: Academic Press. pp. 229-321.
- Lawrence, J.M., Bryne, M.** 1994. Allocation of resources to body components in *Heliocidaris erythrogramma* and *Heliocidaris tuberculata* (Echinodermata:Echinoidea). *Zool. Sci.* 11:133-137.
- Lawrence, J.M., Fenaux L., Corre M.C., Lawrence A.**, 1992. The effect of quantity and quality of prepared diets on production in *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea), *Echinoderm Research*, Scalera-Liaci L., Canicatti C. (eds.). *Balkema, Rotterdam*, pp. 107-110.

- Lawrence, J.M., Guille, A.** 1982. Organic composition of tropical, polar, and temperate water echinoderms. *Comp. Biochem. Physiol.*, 72:283-287.
- Lawrence, J.M., Lane, J.M.** 1982. The utilization of nutrients by post-metamorphic echinoderms. *Echinoderm Nutrition. Balkema Rotterdam*, pp. 331-361.
- Lawrence J.M., Olave S., Otaiza R., Lawrence A.L. y Bustos E.** 1997. Enhancement of gonad production in the sea urchin *Loxochinus albus* in Chile fed extruded feeds, *J. Wor. Aqua. Soc.*, 28: 91-96.
- Le Gall, P.** 1990. Culture of echinoderms, pp. 443 - 462. *En: G. Barnabé (ed.). Aquaculture – A Biotechnology in Progress.* European Aquaculture Soc., Bredene, Belgium.
- Leighton, D.L.** 1968. A comparative study of food selection and nutrition in the abalone *Haliotis rufescens* (Swainson) and the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). PhD thesis. University of California.
- Leighton, P.** 1995. Contributions toward the development of echinoculture in North Atlantic waters with particular reference to *Paracentrotus lividus* (Lamarck). Ph.D. thesis, University Collage, Galaway, pp. 192-193.
- Lesser, M.P., Walker, C.W.** 1998. Over exploitation of the urchin fishery: Does history repeat itself and if there anything we can do to insure a sustainable yield to the market. *J. Shell. Res.*, 17: 331.
- Lowe, E.F., Lawrence, J.M.** 1976. Absorption efficiencies of *Lythechinus variegatus* (Lamarck) (Echinodermata:Echinoidea) for selected marine plants. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 21: 223-234.
- Mateus-Valdés, H.** 1972. Studies on the marine brown alga *Macrocystis pyrifera*. Thesis presented for the degree of Master of Science. Graduate School of Cornell University. U.S.A.
- McBride, S.D., Pinnix, W.D., Lawrence, J.M., Lawrence, A.L., Mulligan, T.M.** 1997. The effect of temperature on production of gonads by the sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* fed natural and prepared diets. *J. Wor. Aqua. Soc.*, 28:357-365.
- McBride, S.D., Lawrence, J.M., Lawrence, A.L., Mulligan, T.J.** 1998. The effect of protein concentration in prepared feeds on growth, feeding rate, total organic absorption, and gross assimilation efficiency of sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*. *J. Shell. Res.*, 17: 1563-1570 .

- McPherson, B.F.** 1968. Contributions to the biology of the sea urchin *Eucidaris tribuloides* (Lamarck). *Bull. Mar. Sci.*, 18:400-443.
- McShane, P.E., Anderson, O.F.** 1997. Resource allocation and growth rates in the sea urchin *Evechinus cloroticus* (Echinoidea: Echinometridae). *Mar. Biol.*, 128:657-663.
- Minor M.A., Schiebling R.E.** 1997. Effects of food rotation and feeding regime on growth and reproduction of the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*, *Mar. Biol.*, 129:159-167.
- Moore, H.** 1935. A comparison of the biology of *Echinus esculentus* in different habitats. Part I. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 19: 869-885.
- Morris R.H., Abbot D.P. y Haderlie E.C.** 1980. Intertidal Invertebrates of California, Stanford University Press. USA. 690 pp.
- Nagai, Y y Kaneko, K.** 1975. Culture experiments on the sea urchin *Strongylocentrotus pulcherrimus* fed an artificial diet. *Mar. Biol.*, 29: 105-108.
- Nestler E., Harris L** 1994. The importance of omnivory in *Strongylocentrotus droebachiensis* (Müller) in the Gulf of Maine. 813-818 pp. En: *Echinoderms Through Time*, David Guille, Féral y Roux (eds). *Balkema, Rotterdam*.
- North, W.J.** 1971. Kelp restoration activities in San Diego County, pp. 5-26. En: Annual Report Kelp Habitat Improvement Project. W.M. Keck Laboratory of Environmental Health Engineering. Cal. Inst. Tech., Pasadena, Ca.
- Odum, E.P.** 1972 *Ecología*. México. Ed. Interamericana S.A. de C.V. 639 pp.
- Oshima, Y., Ishikawa N y Tanaka, Z.** 1975. Feeding habits of *Strongylocentrotus pulcherrimus* and *Heliocidaris crassipina*. *Aqua*. [Japan Aquicultural Research Group, Tokyo, Japan] 5:26-30.
- Parson, G.J.** (ed.) 1997. Proceedings of the sea urchin culture workshop. 4 June 1996. *Bull. Aqua. Ass. Can.*, 97.
- Pearce, C.M. y Sheibling, R.E.** 1994. Induction of metamorphosis of larval echinoids ("*Strongylocentrotus droebachiensis*" and "*Echinarachinus parma*") by potassium chloride KCL. *Inv Rep. and Dev.* 26:213-220.
- Raymond, B.G., Sheibbling, R.E.** 1987. Recruitment and growth of the sea urchin

- Strongylocentrotus droebachiensis* (Muller) following mass mortalities off Nova Scotia, Canada. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 108:31-54.
- Saito, K.** 1992. Japan's sea urchin enhancement experience. *En*: C.M. Dewees, (ed). The Management and Enhancement of Sea Urchins and Other Kelp Bed Resources: A Pacific Rim Perspective. California Se Grant College. University of California La Jolla, California. Publ. T-CSGCP-028, pp. 1-36.
- Saito, K., Yamashita, K., Tajima, K., Obara, A., Nishihama, Y., Sawasaki, M., Kawamata, K. Y Kawamura, K.** 1985. Manual of Artificial Seed Production of Sea Urchin, *Strongylocentrotus intermedius*. Hokkaido Institute of Mariculture, 22 pp.
- Salas, A. Y Parés, G.** 2000. Dietary treatments in the larvae of the purple sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* and their impact on metamorphosis (Abstract). *Aqua. Ame.* New Orleans, Louisiana, USA.
- SEMARNAP** 1998. Capturas de erizo morado por zona de pesca. Periodo 1994-95 a 1997-98. Centro Regional de Investigaciones pesqueras de Ensenada.
- Thompson, R.J.** 1983. The relationship between food ration and reproductive effort in the green sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Oecol.*, 56: 50-57.
- Thompson, R.J.** 1984. Partitioning of energy between growth and reproduction in three populations of the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*. In: Engels W (ed) Advances in vertebrate reproduction 3. Elsevier Science Publishers BV. Amsterdam, pp. 425-431.
- Uki, N., Watanabe, T.** 1992. Review of the nutritional requirement of abalone (*Haliotis* spp) and development of more efficient artificial diets. Shepherd, S.A., Tegner, M.J., Guzmán del Prío, S.A. (eds.). Abalone of the World: Fisheries and Culture. Fishing News Books, Oxford. pp. 504-517.
- Ulbricht, R.J., Pritchard, A.W.** 1972. Effect of temperature on the metabolic rate of sea urchins. *Biol. Bull. Mar. Biol. Lab.*, Woods Hole. 142:178-185.
- Vadas, R.** 1968. The ecology of *Agarum* and kelp bed community. Ph.D. Thesis, Washington: University of Washington. 280 pp.
- Vadas R.** 1977. Preferential feeding an optimization strategy in sea urchins. *Ecol. Mongr.*, 47: 337-371.
- William C., Harris L.** 1998. Growth of juvenile sea urchins on natural and artificial

---

diets. pp 887-892. En: *Echinoderms: San Francisco*, Mooi y Telford (eds).  
*Balkema, Rotterdam*,

**Yazaki, I.** 1995. Quantitative analysis of metamorphosis induced by L/Glutamine in embryos of sea urchin, *Hemicentrotus pulcherrimus*. *Zool. Sci.*, 12: 105-112.

**Zar, J.H.** 1984 *Biostatistical analysis*, 2<sup>nd</sup> edition. Prentice Hall, New Jersey.

# A N E X O 1

**Clave de identificación de las dietas y simbología utilizada para hacer referencia al nivel de significancia derivado de las consideraciones de probabilidad ( $\alpha$ ).**

Clave	Dieta	Simbología	Nivel de significancia	$\alpha$
<b>N</b>	<i>M. pyrifera</i> - sin manejo	NS	No significativo	$\alpha > 0.05$
<b>M</b>	<i>M. pyrifera</i>	•	Significativo	$0.01 < \alpha < 0.05$
<b>D</b>	Diatomeas Bbentónicas	••	Muy significativo	$0.001 < \alpha < 0.01$
<b>H</b>	Harina de pescado	•••	Altamente significativo	$\alpha < 0.001$
<b>P</b>	Alimento para pollo			
<b>S</b>	Alimento para perro			

TABLA A. Contrastes múltiples de la prueba *a posteriori* de Tukey (no paramétrico) para el crecimiento en longitud y en peso de juveniles de erizo *S. purpuratus* alimentados con cinco dietas diferentes durante el primer experimento.

TALLAS						PESO					
36 días						36 días					
	M	D	H	P	S		M	D	H	P	S
N	NS	••	NS	•	NS	N	NS	••	NS	•	NS
M		NS	NS	•••	•••	M		NS	NS	•••	•••
D			•••	•••	•••	D			•••	•••	•••
H				NS	NS	H				NS	NS
P					NS	P					NS
74 días						74 días					
	M	D	H	P	S		M	D	H	P	S
N	NS	NS	NS	••	•••	N	NS	NS	NS	••	•••
M		NS	NS	•••	•••	M		NS	NS	•••	•••
D			••	•••	•••	D			••	•••	•••
H				••	•••	H				••	•••
P					NS	P					NS
111 días						111 días					
	M	D	H	P	S		M	D	H	P	S
N	NS	NS	NS	NS	•••	N	NS	NS	NS	NS	•••
M		NS	NS	•	•••	M		NS	NS	•	•••
D			NS	•	•••	D			NS	•	•••
H				•	•••	H				•	•••
P					••	P					••
141 días						141 días					
	M	D	H	P	S		M	D	H	P	S
N	NS	-	NS	NS	•••	N	NS	-	NS	NS	••
M		-	NS	NS	•••	M		-	NS	NS	••
D		-	-	-	-	D		-	-	-	-
H				•	•••	H				•	••
P					•••	P					•
169 días						169 días					
	M	D	H	P	S		M	D	H	P	S
N	NS	-	NS	NS	•••	N	NS	-	NS	NS	•••
M		-	NS	NS	NS	M		-	NS	NS	NS
D			-	-	-	D			-	-	-
H				NS	•••	H				NS	•••
P					••	P					••

TABLA B. Contrastes múltiples de la prueba *a posteriori* de Tukey para coeficientes de correlación de la relación de crecimiento en Log<sub>10</sub> longitud (mm) de juveniles de *S. purpuratus* y tiempo (169 días).

B vs. A	zA - zB	SE	q	q <sub>0,05,10,5</sub>	Conclusión	P
S-H	0.5949	0.0864	6.8835	3.858	***	P<0.001
S-N	0.4728	0.0842	5.6144		***	P<0.001
S-P	0.4353	0.0772	5.6418		***	P<0.001
S-M	0.4046	0.0790	5.1233		**	0.001<P<0.005
M-H	0.1904	0.0886	2.1476		NS	P>0.5
M-N	0.0682	0.0865	0.7888		NS	P>0.5
M-P	0.0308	0.0796	0.3866		NS	P>0.5
P-H	0.1596	0.0870	1.8333		NS	P>0.5
P-N	0.0374	0.0848	0.4411		NS	P>0.5
N-H	0.1221	0.0933	1.3087		NS	P>0.5

TABLA C. (A) Prueba de comparaciones entre pendientes. Se relaciona el crecimiento en Log<sub>10</sub> longitud (mm) de juveniles de *S. purpuratus* en función del tiempo (169 días). (B) Contrastes múltiples de la prueba *a posteriori* de Tukey para la misma relación.

A	SC x	SC xy	SC y	n	b	Res. SC	Res.gl
Reg H	246211.36	1084.46	11.78	113	0.0044	7.0066	111
Reg N	369476.70	1773.95	16.49	123	0.0048	7.9749	121
Reg P	544056.48	3324.56	36.14	168	0.0061	15.8225	166
Reg M	445912.16	2874.95	32.75	154	0.0064	1.7667	152
Reg S	570904.14	5308.87	64.90	174	0.0093	15.5351	172
Reg. Ponderada						48.1058	722
Reg. Común	2176560.83	14366.79	162.06	732	0.0066	67.2319	716
<b>F (pendientes)</b>	<b>5.244</b>						
B	Comparación	Dif.	SE	q	q <sub>0,05,722,5</sub>	Conclusión	P
	S-H	0.0018	0.000173	10.568	3.858	***	P<0.001
	S-N	0.0015	0.000159	9.651		***	P<0.001
	S-P	0.0012	0.000152	8.003		***	P<0.001
	S-M	0.0011	0.000158	6.780		***	P<0.001
	M-H	0.0008	0.000183	4.171		•	0.025<P<0.05
	M-N	0.0005	0.000170	2.741		NS	0.5>P>0.2
	M-P	0.0001	0.000164	0.895		NS	P>0.5
	P-H	0.0006	0.000182	3.384		NS	0.2>P>0.1
	P-N	0.0003	0.000166	1.914		NS	P>0.5
	N-H	0.0003	0.000174	1.704		NS	P>0.5

TABLA D. Contrastes múltiples de Tukey para coeficientes de correlación de la relación crecimiento en  $\text{Log}_{10}$  peso (mg) de juveniles de *S. purpuratus* y tiempo (169 días).

B vs. A	zA - zB	SE	q	$q_{0.05, 0.5}$	Conclusión	P
S-H	0.6135	0.0864	7.0984	3.858	***	$P < 0.001$
S-N	0.4613	0.0842	5.4777		**	$0.001 < P < 0.005$
S-P	0.3936	0.0772	5.1012		**	$0.001 < P < 0.005$
S-M	0.3877	0.0790	4.9101		**	$0.001 < P < 0.005$
M-H	0.2258	0.0886	2.5471		NS	$0.5 > P > 0.2$
M-N	0.0735	0.0865	0.8504		NS	$P > 0.5$
M-P	0.0059	0.0796	0.0742		NS	$P > 0.5$
P-H	0.2199	0.0870	2.5260		NS	$0.5 > P > 0.2$
P-N	0.0676	0.0848	0.7972		NS	$P > 0.5$
N-H	0.1522	0.0933	1.6309		NS	$P > 0.5$

TABLA E. (A) Prueba de comparaciones entre pendientes. Se relaciona el crecimiento en  $\text{Log}_{10}$  peso(mg) de juveniles de *S. purpuratus* en función del tiempo (169 días). (B) Contrastes múltiples de la prueba *a posteriori* de Tukey para la misma relación.

A	SC <sub>x</sub>	SC <sub>xy</sub>	SC <sub>y</sub>	n	b	Res. SC	Res.gl
Reg H	27158.23	8140.93	6004.49	113	0.300	12657.13	111
Reg N	26716.29	8497.51	15359.89	123	0.318	360195.91	121
Reg M	28860.34	10977.24	364371.18	154	0.380	3564.17	152
Reg P	28871.12	23398.89	115967.42	168	0.810	97003.56	166
Reg S	28891.36	42726.64	1145709.71	174	1.479	1082522.45	172
Reg. Ponderada						1555943.23	722
Reg. Común	140497.336	93741.209	1647412.695		0.667	1584867.64	718
<b>F (pendientes)</b>	<b>3.355</b>						

Comparación	Dif.	SE	Q	$q_{0.05, 722, 5}$	Conclusión.	P
S-H	0.0049	0.00047	10.320	3.858	***	$P < 0.001$
S-N	0.0045	0.00042	10.783		***	$P < 0.001$
S-P	0.0032	0.00040	7.895		***	$P < 0.001$
S-M	0.0029	0.00032	8.899		***	$P < 0.001$
M-H	0.0020	0.00032	6.300		***	$P < 0.001$
M-N	0.0016	0.00030	5.539		***	$P < 0.001$
M-P	0.0003	0.00034	1.002		NS	$P > 0.5$
P-H	0.0017	0.00049	3.460		NS	$0.2 > P > 0.1$
P-N	0.0013	0.00043	3.017		NS	$0.5 > P > 0.2$
N-H	0.0004	0.00047	0.849		NS	$P > 0.5$

TABLA F. Contrastes múltiples de Tukey para coeficientes de correlación de la relación de crecimiento en longitud (mm) y Ln peso (mg) de juveniles de *S. purpuratus*.

B vs. A	$z\bar{A} - z\bar{B}$	SE	q	$q_{0.05,0.5}$	Conclusión	P
S-M	0.4648	0.088	5.304	3.858	**	0.001<P<0.005
S-N	0.4351	0.095	4.560		.	0.01<P<0.025
S-H	0.3788	0.099	3.827		NS	0.05<P<0.1
S-P	0.1103	0.085	1.296		NS	P>0.5
P-M	0.3545	0.089	4.004		.	0.025<P<0.05
P-N	0.3247	0.096	3.375		NS	0.2>P>0.10
P-H	0.2685	0.100	2.691		NS	0.5>P>0.2
H-M	0.0860	0.102	0.844		NS	P>0.5
H-N	0.0562	0.109	0.518		NS	P>0.5
N-M	0.0297	0.098	0.302		NS	P>0.5

TABLA G. (A) Prueba de comparaciones entre pendientes. Se relaciona el crecimiento en Ln peso (mg) en función del crecimiento en talla (mm) de juveniles de *S. purpuratus*. (B) Contrastes múltiples de la prueba *a posteriori* de Tukey para la misma relación.

A	SC <sub>x</sub>	SPC	SC <sub>y</sub>	n	b	Res. SC	Res.gl
Reg H	42.33	45.68	62.47	113	1.08	13.18	111
Reg N	83.23	74.04	85.86	123	0.89	19.99	121
Reg M	228.61	195.30	191.60	168	0.85	24.76	166
Reg P	247.15	179.96	173.62	154	0.73	42.58	152
Reg S	705.25	466.05	344.11	174	0.66	36.12	172
Reg. Ponderada						136.63	722
Reg. Común	1306.57	961.04	857.66		0.74	150.78	718
<b>F (pendientes)</b>	<b>18.69</b>						

B	Comparación	Dif.	SE	q	$q_{0.05,722.5}$	Conclusión.	P
	H-S	0.4184	0.0487	8.5943	3.858	***	P<0.001
	H-M	0.3511	0.0512	6.8608		***	P<0.001
	H-P	0.2249	0.0515	4.3697		.	0.01<P<0.025
	H-N	0.1896	0.0581	3.2654		NS	0.2>P>0.1
	N-S	0.2287	0.0357	6.4161		***	P<0.001
	N-M	0.1614	0.0390	4.1413		.	0.025<P<0.05
	N-P	0.0353	0.0394	0.8962		NS	P>0.5
	P-S	0.1934	0.0234	8.2632		***	P<0.001
	P-M	0.1261	0.0282	4.4690		**	0.01<P<0.025
	M-S	0.0673	0.0227	2.9599		NS	0.5>P>0.2

TABLA H. Contrastes múltiples de la prueba *a posteriori* de Tukey (no paramétrico) para el crecimiento en longitud y en peso de juveniles de *S. purpuratus* alimentados con las dietas SM (dieta mixta) y S (alimento para perro) durante el segundo experimento.

TALLA

39 días	
	<b>SM</b>
S	•
66 días	
	<b>SM</b>
S	••

PESO

39 días	
	<b>SM</b>
S	NS
66 días	
	<b>SM</b>
S	••

# A N E X O 2

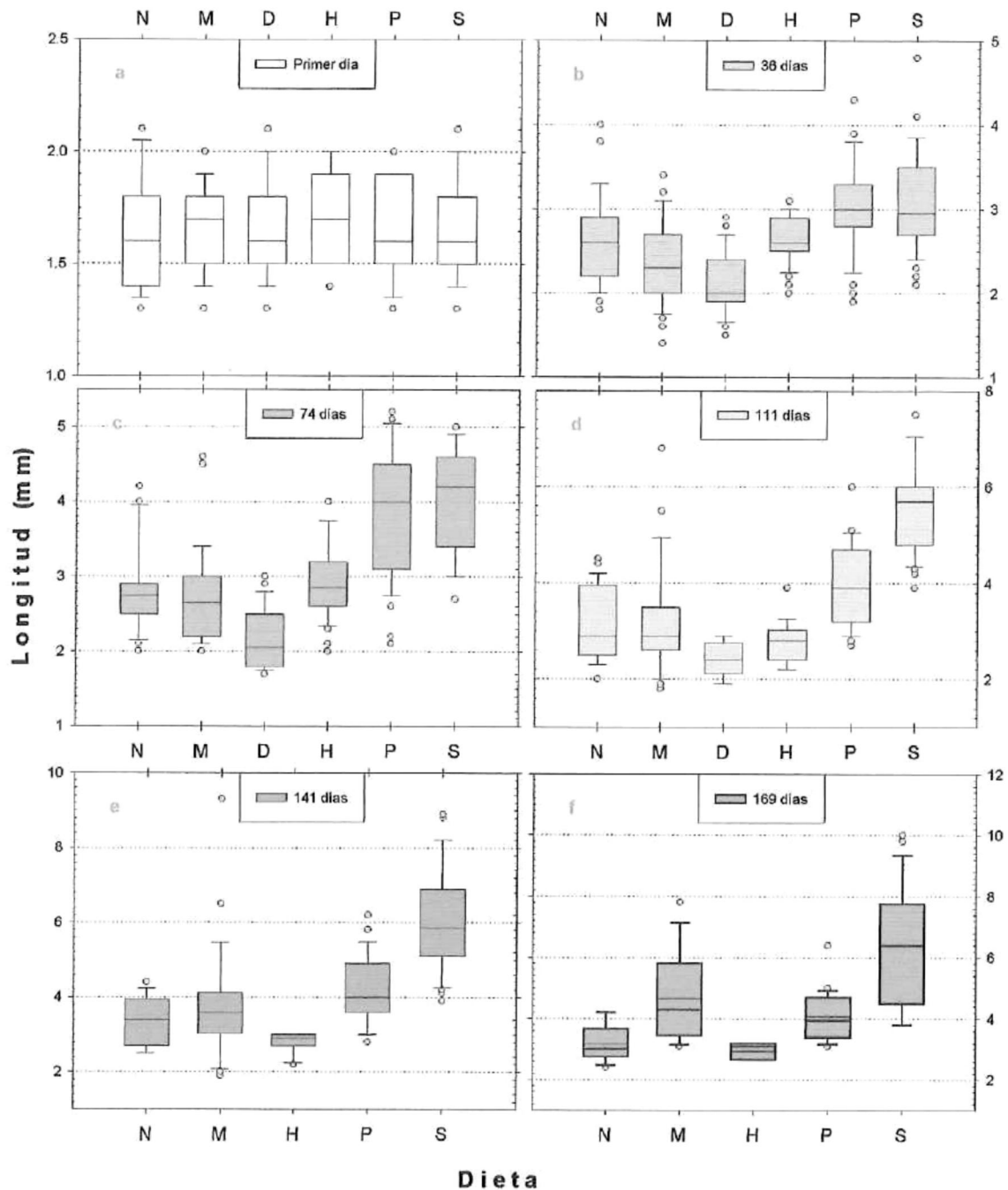


Figura A. Crecimiento en longitud (mm) de juveniles de *S. purpuratus* alimentados con cinco dietas diferentes desde la primera medición (a) hasta los 169 días (f). Se muestra la mediana como una línea horizontal y los percentiles del 10%-90% como cajas verticales con sus respectivas barras de error. Los puntos indican los valores mínimo y máximo observados para cada dieta. [N=*M. pyrifera* (sin manejo), M=*M. pyrifera*, D=diatomeas bentónicas, H=harina de pescado, P=alimento para pollo, S=alimento para perro].

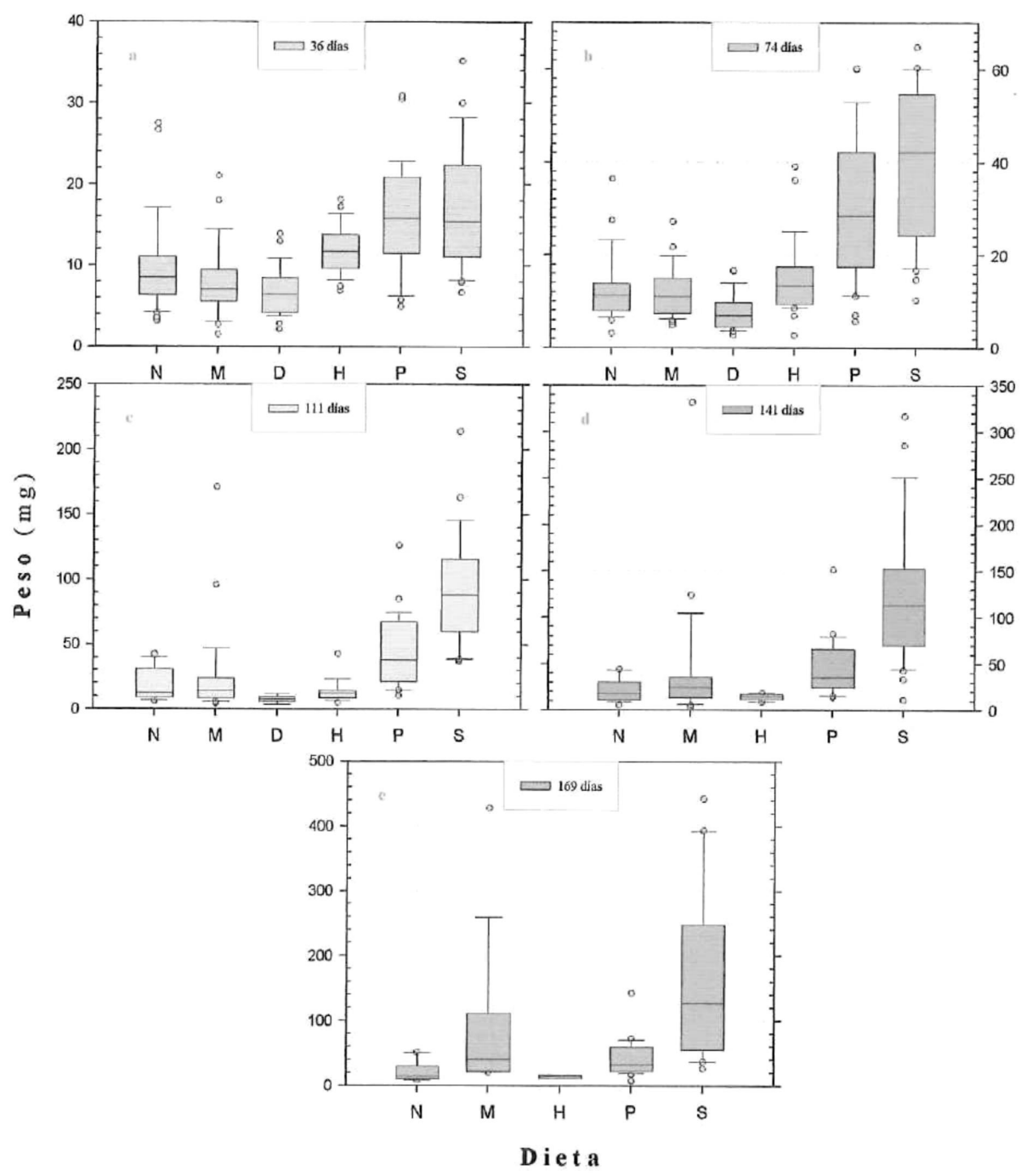


Figura B. Crecimiento en peso (mg) de juveniles de *S. purpuratus* alimentados con cinco dietas diferentes desde los 36 días (a) hasta los 169 días (e). Se muestra la mediana como una línea horizontal y los percentiles del 10%-90% como cajas verticales con sus respectivas barras de error. Los puntos indican los valores mínimo y máximo observados para cada dieta. [N=*M. pyrifera* (sin manejo), M=*M. pyrifera*, D=diatomeas bentónicas, H=harina de pescado, P=alimento para pollo, S= alimento para perro).

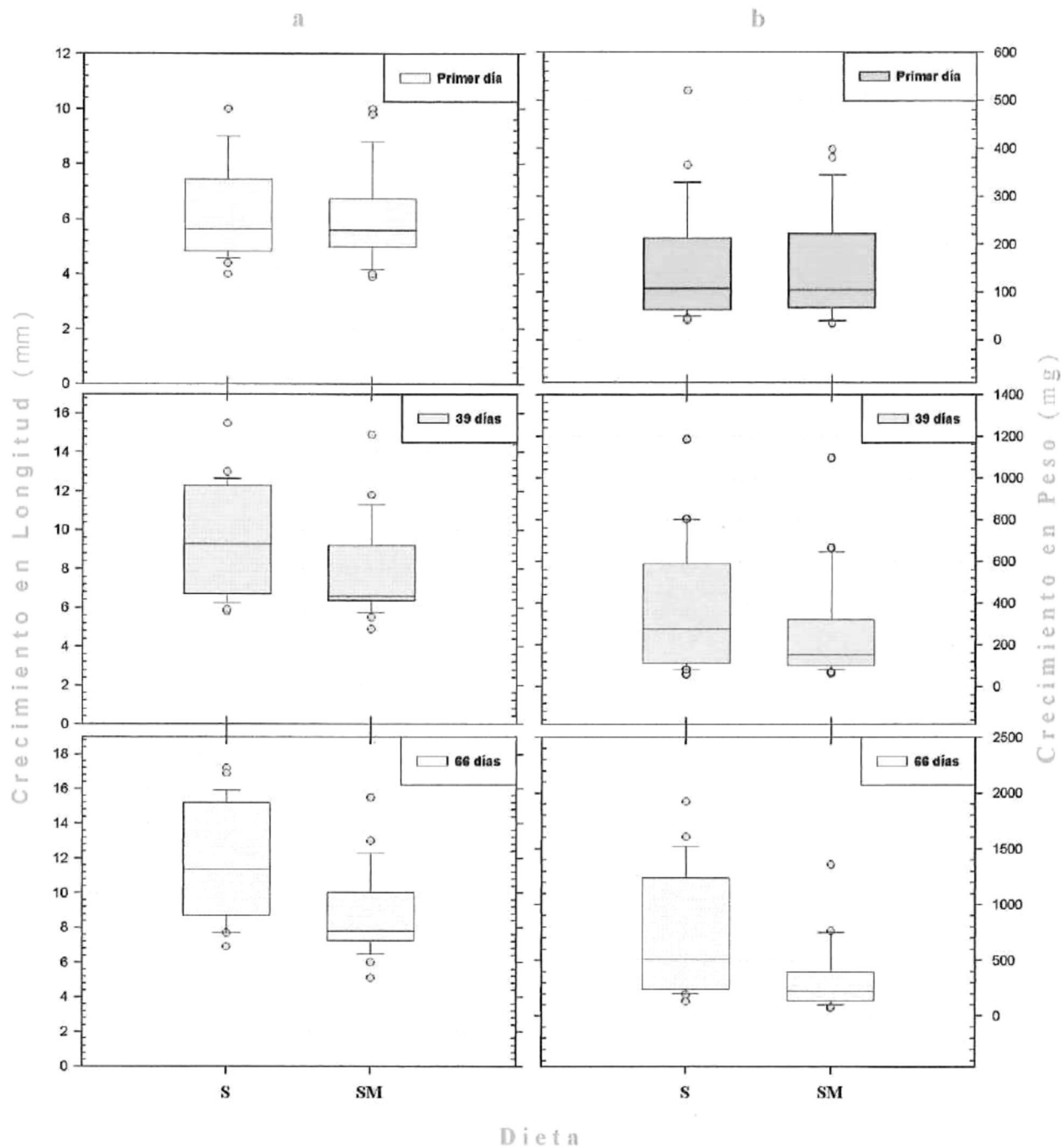


Figura C. (a) Crecimiento en talla (mm) de juveniles de *S. purpuratus* alimentados con las dietas SM (dieta mixta) y S (alimento para perro) del 15 de octubre al 20 de diciembre, 1999 (66 días). (b) Crecimiento en peso (mg) para el mismo periodo. Se aprecia la mediana como una línea horizontal y los percentiles del 10%-90% como cajas verticales con sus respectivas barras de error. Los puntos indican los datos que salen de los percentiles décimo y décimo noveno.