

*Research Article*

**Componentes bioquímicos de los tejidos de *Perna perna* y *P. viridis* (Lineo, 1758) (Bivalvia: Mytilidae), en relación al crecimiento en condiciones de cultivo suspendido**

**Vanessa Acosta<sup>1</sup>, Yolimar Natera<sup>1</sup>, César Lodeiros<sup>2</sup>, Luis Freites<sup>2</sup> & Aléikar Vásquez<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Biología, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente

<sup>2</sup>Departamento de Biología Pesquera, Laboratorio de Acuicultura, Instituto Oceanográfico

<sup>3</sup>Departamento de Biología Pesquera, Laboratorio de Acuicultura, Instituto Oceanográfico, Extensión Plancton  
Avenida Universidad, Cerro Colorado Cumaná, Apartado Postal 245, Código Postal 6101, Estado Sucre,  
Venezuela

**RESUMEN.** Se evaluó los cambios ocurridos en carbohidratos, proteínas y lípidos de la glándula digestiva, músculo y lóbulos gonadales de los mejillones *Perna perna* y *P. viridis* bajo condiciones de cultivo suspendido en el Golfo de Cariaco, Venezuela. Paralelamente, se llevaron registros de la condición reproductiva de ambas especies y de temperatura, clorofila *a* y seston. Los resultados mostraron que en los tejidos analizados de ambas especies, los lóbulos gonadales presentaron las mayores variaciones de los sustratos energéticos estudiados. La variación de los sustratos energéticos se explicó en ambos mejillones mediante desarrollo gonádico y la disponibilidad de alimento, particularmente clorofila *a* para *P. perna* y seston total para *P. viridis*. La temperatura fue un factor que afectó negativamente a *P. viridis*. Los contenidos de los diferentes sustratos energéticos observados en *P. perna* fueron más altos que en *P. viridis*, a lo largo de casi todo el periodo experimental, lo que indicó que esta especie mostró una mayor capacidad para explotar de manera más eficiente los recursos alimenticios presentes en las condiciones de cultivo suspendido.

**Palabras clave:** mejillón, crecimiento, composición bioquímica, ambiente, Golfo de Cariaco, Venezuela.

**Biochemical components of the tissues of *Perna perna* and *P. viridis* (Lineo, 1758) (Bivalvia: Mytilidae), in relation to the growth under conditions of suspended cultivation**

**ABSTRACT.** In the organisms, the variations of the biochemical composition of reproductive and somatic tissues in the growth permit to infer about its adaptative to environment. In the present study, we evaluate the changes observed in carbohydrates, lipids and proteins of digestive gland, muscle and gonad tissues of *Perna perna* and *P. viridis*, growing in suspended culture at Cariaco Gulf, Venezuela. The reproductive condition of both mussels and environmental factors (temperature, chlorophyll *a* and of the seston) were determinate. The results show that, in both species, the gonadic lobes showed the highest variations in the biochemical component. The variations in the biochemical components were direct explained by the variations in the gonad development and the food availability, particularly chlorophyll *a* for *P. perna* and total seston for *P. viridis*. The temperature was a negative factor affecting *P. viridis*. Along almost the whole experimental period, the contents of the different energy components observed in *P. perna* were higher than *P. viridis*, this indicate species that *P. perna* show a major capacity to exploit the resources alimentary present under the conditions of suspended cultivation.

**Keywords:** mussel, growth, biochemical composition, environment, Cariaco Gulf, Venezuela.

## INTRODUCCIÓN

La variación estacional de la composición química en los tejidos de moluscos bivalvos ha sido ampliamente utilizada como un indicador de la dinámica, estructura y períodos de engorde; permitiendo determinar el balance energético del organismo y el valor nutricional de la carne. De esta manera el metabolismo energético en moluscos bivalvos está relacionado con la movilización y consumo de energía, la cual es indispensable para el mantenimiento, reproducción y crecimiento (Gabbott, 1983). En tal sentido, los organismos obtienen del alimento ingerido la energía necesaria para el mantenimiento basal, crecimiento y reproducción. No obstante, éste puede ser almacenado en órganos y/o tejidos de reserva, particularmente en la glándula digestiva, músculo aductor y manto. Una vez que el organismo ha obtenido la energía del ambiente, puede suceder: 1) utilización inmediata, 2) almacenamiento en órganos especializados, y/o 3) utilización y almacenamiento, según sus necesidades. Por lo tanto, evaluar en los diferentes órganos los cambios que ocurren en su composición bioquímica, permite inferir sobre la movilización de la energía en función de las necesidades metabólicas que el organismo requiere, en un periodo dado.

El mejillón marrón (*Perna perna*) ha mostrado un crecimiento sostenido bajo condiciones de cultivo suspendido en el Golfo de Cariaco, puesto que alcanza su talla comercial de 6 cm, en apenas cinco meses de cultivo. Este rápido crecimiento sugiere que tiene un balance energético positivo que le permite mantener de manera sostenida su crecimiento. En contraste, *P. viridis*, bajo las mismas condiciones experimentales ha mostrado un menor crecimiento (4 cm) en todos sus tejidos, sugiriendo un déficit de sus reservas energéticas (Acosta *et al.*, 2009). En vista de lo señalado y con la finalidad de entender como es la canalización de energía de mejillones bajo cultivo en una zona tropical con variabilidad ambiental dada por los procesos de surgencia costera, en el presente estudio se contempló: 1) determinar cual es el principal tejido de almacenamiento de energía, 2) como son los cambios que se producen en el almacenamiento y distribución de lípidos, proteínas y carbohidratos, en el músculo, glándula digestiva y lóbulos gonadales, y 3) evaluar la influencia de la reproducción como un factor endógeno y los factores ambientales como factores exógenos, sobre la composición bioquímica de los mejillones *P. perna* y *P. viridis*, bajo condiciones de cultivo suspendido.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los análisis de composición bioquímica y la evaluación de los estadios reproductivos se realizaron en muestras de mejillones (*P. perna* y *P. viridis*) provenientes de un cultivo suspendido, durante un período de 13 meses en la ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco (10°27'30"N, 64°01'52"W), Venezuela. En la zona de cultivo se obtuvieron registros semanales de biomasa fitoplanctónica, estimada mediante la concentración de clorofila a, seston total, y sus componentes inorgánico y orgánico (Strickland & Parsons, 1972); mientras que los registros de temperatura se obtuvieron con un termógrafo electrónico. La influencia de los factores ambientales en los parámetros de crecimiento utilizando la masa de los tejidos fueron analizados en Acosta *et al.* (2009).

La evaluación del tejido reproductivo, se realizó de manera mensual a lotes de 20 mejillones de ambas especies. Se hizo de manera cualitativa identificando las características macroscópicas de las gónadas, siguiendo la escala de apreciación visual establecida por Sreenivasan *et al.* (1989). Esta clasificación considera el área que ocupa el lóbulo gonadal en la cavidad del manto, en el espesor y la coloración de la gónada en los mitílidos, siendo agrupados en diferentes estadios: estadio I (inmaduro): correspondiente a los períodos de reposo y fases iniciales de la gametogénesis; estadio II (desarrollo): el tejido gonadal muestra una coloración más intensa que el anterior y abarca casi la totalidad de los lóbulos; estadio III (maduro): la gónada está totalmente desarrollada, abarca todo el lóbulo, hasta llegar al borde del manto, la coloración es uniforme y muy intensa; estadio IV (desove): la gónada abarca todos los lóbulos pero no presenta uniformidad en su coloración, con ramificaciones claras o blanquecinas, y estadio V (regresión): los lóbulos presentan poco tejido gonadal, con algunas partes que pueden observarse flácidas y transparentes.

Las cuantificaciones de los componentes bioquímicos se realizaron por triplicado, tomando lotes de cinco organismos mensuales por especie. El músculo, glándula digestiva y lóbulos gonadales (gónada + manto) fueron secados en una estufa a 60°C durante 48 h, para obtener su masa seca. Luego, estos tejidos fueron pulverizados. La materia orgánica de cada tejido fue obtenida por la diferencia entre la masa seca menos el correspondiente a las cenizas (450°C por 4h). De este modo, los contenidos absolutos de cada uno de los integrantes de la composición bioquímica fueron expresados en miligramos por gramo de materia orgánica. Para minimizar la variabilidad en los contenidos de los componentes bioquímicos debido al

crecimiento de los mejillones, estos se calcularon mediante la interpolación a un individuo estándar.

Todas las determinaciones de los componentes bioquímicos se hicieron bajo métodos colorimétricos. Las proteínas se determinaron empleando el reactivo de Folin-Ciocalteu (Lowry *et al.*, 1951). Se obtuvo una curva de calibración en un espectrofotómetro, utilizando solución (1 mg mL<sup>-1</sup>) de albúmina de suero de bovino (SIGMA, A-7888) y la absorbancia fue medida a 750 nm. Los carbohidratos fueron cuantificados utilizando el método establecido por Dubois *et al.* (1956). Se realizó una curva de calibración con soluciones patrones de glucosa (D-Glucosa; SIGMA, G-5767) y la absorbancia fue medida a 490 nm. Los lípidos fueron determinados mediante el método descrito por Marsh & Weinstein (1966). La curva de calibración se obtuvo con un patrón de ácido palmítico (SIGMA, P-5585) y la absorbancia se midió a 375 nm.

Para comparar los valores mensuales de cada componente bioquímico en los tejidos experimentales, entre las especies de mejillón, se empleó un ANOVA I. En los casos donde se establecieron diferencias significativas del ANOVA ( $p < 0,05$ ) se aplicó una prueba *a posteriori* de Scheffè. Para estimar la posible influencia de la temperatura, biomasa fitoplanctónica y seston total, sobre los estadios reproductivos de ambas especies de mejillones y los componentes bioquímicos, se realizó un análisis de regresión múltiple "Stepwise", según Hair *et al.* (1992).

## RESULTADOS

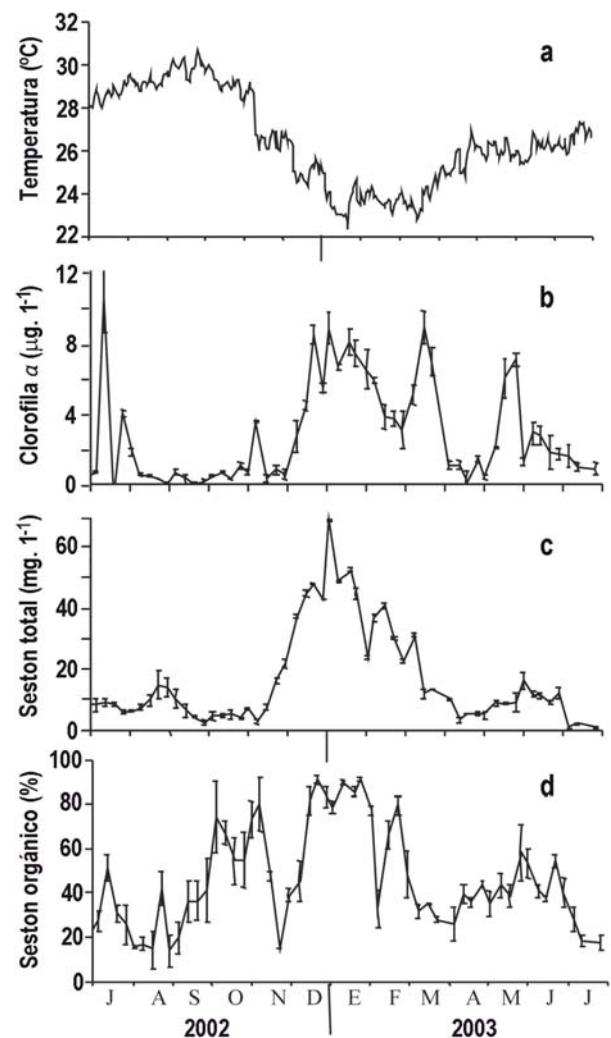
### Factores ambientales

La temperatura mostró una variación con valores que alcanzaron 29,9°C en octubre 2002, para descender progresivamente hasta finales de enero 2003, cuando se registraron temperaturas menores (22-22,5°C, Fig. 1a). Entre febrero y mediados de marzo 2003, la temperatura se mantuvo menor a 24°C, para luego incrementar a 26°C a mediados de abril y mantenerse hasta el final del estudio. La biomasa fitoplanctónica estimada por clorofila *a*, mostró un patrón de variación inverso a la temperatura (Fig. 1b). Este comportamiento es típico de la región, debido a los fenómenos de surgencia costera, favorecidos por los regímenes de vientos en la zona (Moigis, 1986; Lodeiros & Himmelman, 2000). Cuando las temperaturas fueron elevadas, la clorofila *a* estuvo por debajo de 1 µg L<sup>-1</sup>, generalmente desde mediados de agosto hasta fines de noviembre 2002, incluyendo el mes de abril, el resto del período estuvo caracterizado por concentraciones de clorofila *a* mayores de 4 µg

L<sup>-1</sup>. Una tendencia similar a la biomasa fitoplanctónica se observó para el seston total y su porcentaje orgánico, alcanzando los valores mayores (40-60 mg L<sup>-1</sup>), en enero-febrero (Fig. 1c), coincidentes con > 80% de su fracción orgánica y las bajas temperaturas (Fig. 1d).

### Estadios reproductivos

Entre julio y diciembre de 2002, los individuos de *P. perna* mostraron predominancia de los estadios reproductivos: inmaduro (I), desarrollo (II) y maduración (III), mientras que, a partir de enero y hasta

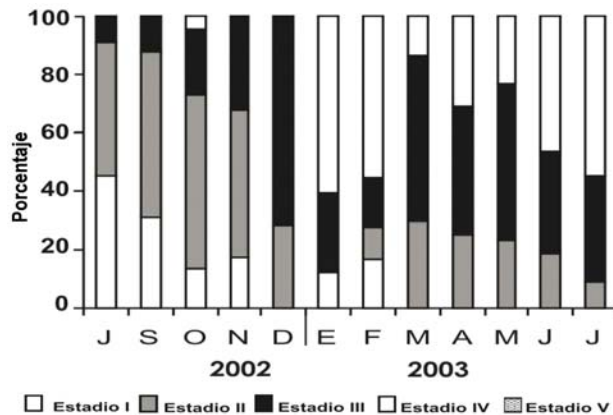


**Figura 1.** a) Variación mensual de temperatura, b), clorofila *a*, c) seston total, y d) porcentaje orgánico en la Ensenada de Turpialito (Golfo de Cariaco), en el período julio 2002-julio 2003.

**Figure 1.** a) Monthly variation of the temperature b), chlorophyll *a*, c) total seston, and d) organic percentage in the Ensenada de Turpialito (Cariaco Gulf), in the period July 2002-July 2003.

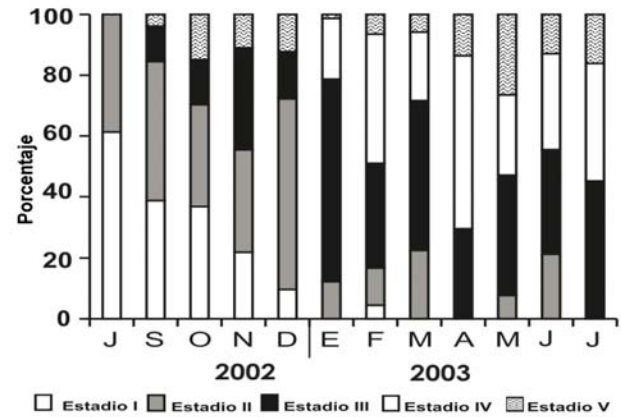
julio de 2003, se observó la presencia del estadio IV (desove). La mayor ocurrencia del estadio de desarrollo se presentó en septiembre (42%), octubre (62%) y noviembre (58%) de 2002 (Fig. 2); mientras que en diciembre 2002, se pudo apreciar el mayor período de madurez (75%). En enero y febrero de 2003 predominó el estadio de desove (> 60%), mientras que entre mayo y julio 2003 se observó una alta incidencia de organismos maduros (> 40%). En líneas generales, a partir de enero de 2003, se observó la coexistencia de organismos en todos los estados reproductivos, sugiriendo una actividad reproductiva continua de tipo asincrónica.

En *P. viridis* se observó similar comportamiento reproductivo al de *P. perna*, una dominancia de los estadios I, II y III, entre julio y diciembre de 2002, pero el desove se determinó a partir de enero de 2003, el cual se mantuvo hasta el final de la experiencia (Fig. 3). La diferencia más notoria con respecto a *P. perna* es la presencia del estadio de regresión, en casi todo el periodo de estudio. El estadio de desarrollo gonádico mostró su mayor porcentaje en diciembre 2002 (78%), mientras que, el estadio madurez se presentó entre enero (70%), mayo (50%) y julio de 2003 (63%). También para esta especie se observó la coexistencia de organismos en todos los estadios reproductivos, prueba de su asincronía reproductiva.



**Figura 2.** Histograma de frecuencias de los estados de maduración sexual de *P. perna* cultivada en la Ensenada de Turpialito (Golfo de Cariaco), período julio 2002-julio 2003. estadio I: inmaduro, estadio II: desarrollo, estadio III: maduro, estadio IV: desove, estadio V: regresión gonádica.

**Figure 2.** Histogram of frequencies of the states of sexual maturation of *Perna perna* cultivated in the Ensenada de Turpialito (Cariaco Gulf), period July 2002-July 2003. Stage I: immature, stage II: develop, stage III: mature; stage IV: it spawns, stage V: gonadic regression).



**Figura 3.** Histograma de frecuencias de los estados de maduración sexual de *P. viridis* cultivado en la Ensenada de Turpialito (Golfo de Cariaco), período julio 2002-julio 2003. estadio I: inmaduro, estadio II: desarrollo, estadio III: maduro, estadio IV: desove, estadio V: regresión gonádica.

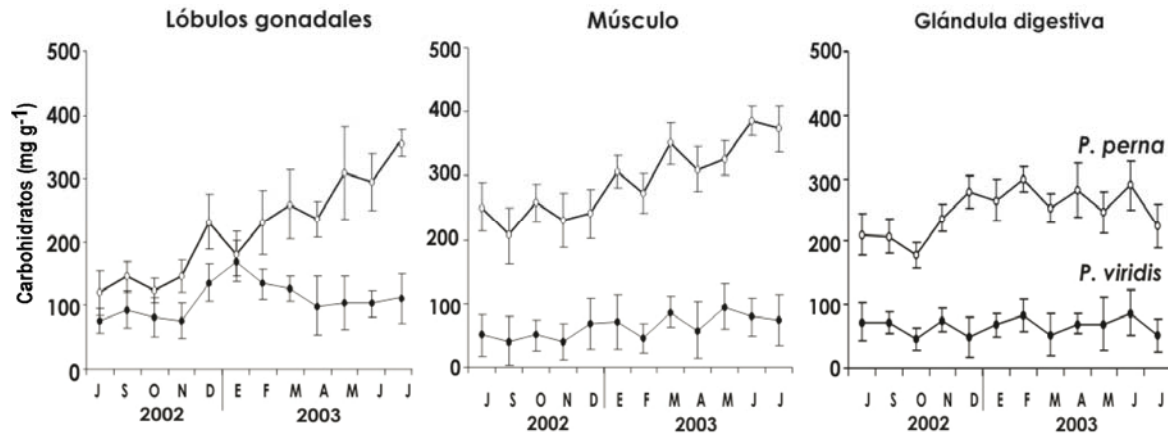
**Figure 3.** Histogram of frequencies of the states of sexual maturation of *P. viridis* cultivated in the Ensenada de Turpialito (Cariaco Gulf), period July 2002-July 2003. Stage I: immature, stage II: develop, stage III: mature, stage IV: it spawns, stage V: gonadic regression).

### Composición bioquímica

Los contenidos absolutos de carbohidratos de *P. perna*, en los tejidos estudiados fueron significativamente más altos que los de *P. viridis* (ANOVA I;  $p < 0,05$ ). Con respecto a los lóbulos gonadales, en *P. perna* se observó un incremento casi sostenido, hasta alcanzar sus valores mayores en diciembre de 2002, mientras que *P. viridis* mostró sólo un incremento de noviembre 2002 a enero 2003 (Fig. 4). Los aumentos en carbohidratos coincidieron con el máximo período de maduración gonádica en ambas especies (Figs. 2 y 3). En el músculo y la glándula digestiva, los carbohidratos se mantuvieron estables en *P. viridis*. En cambio, en *P. perna*, los carbohidratos mantuvieron bajos niveles en los primeros meses, para luego aumentar hasta el final del experimento, mientras que en la glándula hubo una disminución en los tres primeros meses, para luego aumentar y mantenerse estables a partir de noviembre 2002.

### Relaciones con los factores ambientales y estadios reproductivos

Los carbohidratos en el músculo de *P. perna* y *P. viridis* estuvieron relacionados directamente con el estadio de desarrollo gonádico, explicando el 44,8% y el 39,2%, respectivamente, de la varianza observada (Tabla 1). Con respecto a la glándula digestiva, en *P. perna* el parámetro ambiental que explicó la varia-



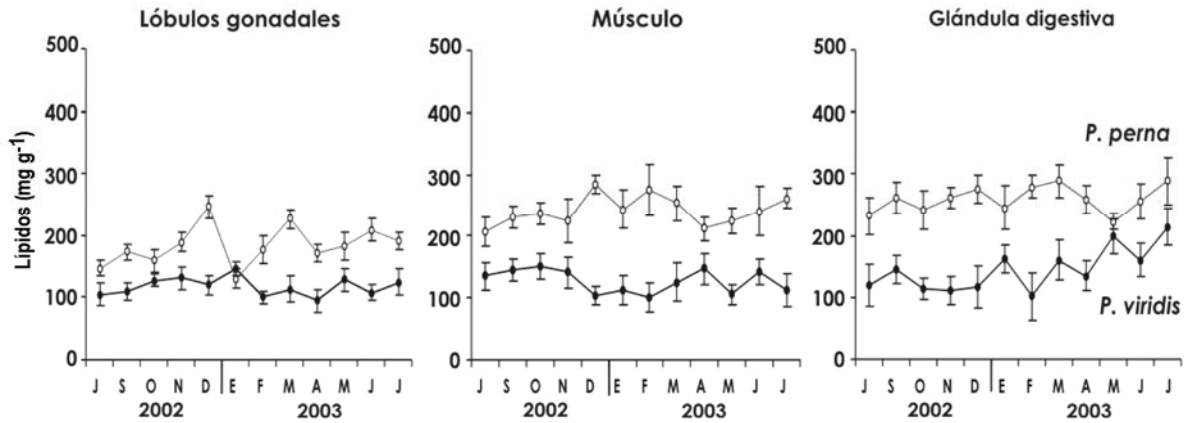
**Figura 4.** Carbohidratos en los lóbulos gonadales, músculo y glándula digestiva de los mejillones *P. perna* y *P. viridis*, cultivados en la Ensenada de Turpialito (Golfo de Cariaco), en el período julio 2002-2003.

**Figure 4.** Carbohydrates in the gonadic lobes, muscle and digestive gland of the mussels *P. perna* and *P. viridis*, cultivated in the Ensenada de Turpialito (Cariaco Gulf), in the period July 2002-2003.

**Tabla 1.** Análisis de regresión paso a paso ("Stepwise") aplicados a los carbohidratos, proteínas y lípidos de lóbulos gonadales, glándula digestiva y músculo, de *Perna perna* y *P. viridis*, con respecto a los parámetros ambientales (temperatura, seston total, seston orgánico y clorofila *a*) y los estadios reproductivos (estadio I= inmaduro, estadio II= desarrollo, estadio III= maduro; estadio IV= desove, estadio V= regresión gonádica).

**Table 1.** Analysis of regression step to step ("Stepwise") applied to the carbohydrates, proteins and lipids of gonadic lobes, digestive gland and muscle, of *Perna perna* and *P. viridis* with concerning, to the environmental parameters (temperature, total seston, organic seston and chlorophyll *a*) and the reproductive stage (stage I = immature, stage II = develop, stage III = mature; stage IV = spawns, stage V = gonadic regression).

	Especie	Modelo	$R^2$	<i>P</i>
<b>CARBOHIDRATOS</b>				
Músculo	<i>P. perna</i>	-39,2 (desarrollo) + 342,5	0,448	< 0,001
	<i>P. viridis</i>	-2,61 (desarrollo) + 271,7	0,392	< 0,001
Glándula digestiva	<i>P. perna</i>	281,5 (seston total) + 980,1	0,460	
	<i>P. viridis</i>	-	-	
Lóbulos gonadales	<i>P. perna</i>	-187,9 (desarrollo) + 99,8 (maduro) + 427,5	0,533	< 0,001
	<i>P. viridis</i>	141,3 (maduro) + [-221,6 (temperatura)] + 160,2	0,571	< 0,001
<b>LIPIDOS</b>				
Músculo	<i>P. perna</i>	30,8 (desarrollo) + 304,3	0,401	< 0,001
	<i>P. viridis</i>	-91,1 (desove) + 233,1	0,445	< 0,001
Glándula digestiva	<i>P. perna</i>	9,77 (clorofila <i>a</i> ) + 7,96 (desove) + 117,1	0,62	< 0,001
	<i>P. viridis</i>	122,7 (seston total) + 761,9	0,39	< 0,001
Lóbulos gonadales	<i>P. perna</i>	22,7 (desarrollo) + 68,9 (maduro) + 357,7	0,601	< 0,001
	<i>P. viridis</i>	52,7 (maduro) + [-48,0 (desove)] + 804,0	0,527	< 0,001
<b>PROTEINAS</b>				
Músculo	<i>P. perna</i>	12,53 (desarrollo) + 88,9 (clorofila <i>a</i> ) + 286,4	0,592	< 0,001
	<i>P. viridis</i>	124,43 (desarrollo) + 86,58 (seston total) + 175,23	0,533	< 0,001
Glándula digestiva	<i>P. perna</i>	77,9 (clorofila <i>a</i> ) + 188,5	0,452	< 0,001
	<i>P. viridis</i>	169,2 (maduro) + 244,3	0,560	< 0,001
Lóbulos gonadales	<i>P. perna</i>	63,9 (desarrollo) + 193,2 (clorofila <i>a</i> ) + 179,1 (maduro) + 182,8	0,701	< 0,001
	<i>P. viridis</i>	23,8 (desarrollo) + [-33,9 (temperatura)] + 427,5	0,601	< 0,001



**Figura 5.** Lípidos en los lóbulos gonadales, músculo y glándula digestiva de los mejillones *P. perna* y *P. viridis*, cultivados en el la Ensenada de Turpialito (Golfo de Cariaco), en el período julio 2002-2003.

**Figure 5.** Lipids in the gonadic lobes, muscle and digestive gland of the mussels *P. perna* and *P. viridis*, cultivated in the the Ensenada de Turpialito (Cariaco Gulf), in the period July 2002-2003.

bilidad de los carbohidratos fue el seston total con el 46,0% de la varianza observada, en contraste, en *P. viridis* ningún factor explicó la varianza observada en los carbohidratos de la glándula digestiva. En los lóbulos gonadales de *P. perna*, fue el estadio de desarrollo el que explicó el 43,4% de la varianza observada, con un coeficiente negativo, mostrando así una relación inversa, mientras que, la inclusión del estadio de madurez gonádica en el modelo, incrementó el porcentaje hasta un 53,3%. En *P. viridis* el estadio de madurez explicó un 42,2 % de la varianza observada en los carbohidratos de los lóbulos gonadales y fue la temperatura la que incrementó el porcentaje a -57,1%, aunque con un coeficiente negativo.

Al igual que en los carbohidratos, a lo largo de casi todo el estudio, los contenidos absolutos de los lípidos de *P. perna* fueron significativamente más altos que los de *P. viridis* (ANOVA I;  $p < 0,05$ ), con excepción de enero (lóbulos gonadales) y mayo 2003 (glándula digestiva), cuando los valores no fueron estadísticamente diferentes (ANOVA I;  $p > 0,05$ ). Los lípidos del músculo fueron relativamente estables en cada una de las especies durante el período de estudio, con excepción de noviembre a abril, cuando ocurre la mayor actividad reproductiva en cuanto a maduración y desove en ambas especies (Figs. 2 y 3). El comportamiento de los lípidos de ambas especies fue inverso: en *P. perna* aumentó a sus máximos de noviembre a diciembre 2002, para luego disminuir, y en *P. viridis*, disminuyó a sus mínimos de noviembre a enero 2003. En el caso de la glándula digestiva, los niveles de lípidos en *P. perna* se mantuvieron

generalmente estables en el período de estudio, mientras que en *P. viridis* se observó una tendencia general al aumento (Fig. 5).

#### Relaciones con los factores ambientales y estadios reproductivos

En el músculo de *P. perna* el estadio de desarrollo gonádico explicó el 40,1% de la varianza observada en los lípidos, a diferencia de *P. viridis* donde el estadio de desove fue el que explicó un 44,5% de la varianza ocurrida en los lípidos, pero con un coeficiente negativo (Tabla 1). En *P. perna* la clorofila *a* y el estadio de madurez participaron en la explicación de la variabilidad observada en los lípidos de la glándula digestiva, con un 40,1 y 62,0%, respectivamente. En *P. viridis* el seston total fue el único factor que significativamente entró en el modelo, mostrando el 39,3% de la varianza observada de la glándula digestiva de *P. viridis*. En los lóbulos gonadales de *P. perna*, los lípidos estuvieron relacionados con los estadios de desarrollo y de madurez gonádica, aportando el 55,7% y el 60,1% de la varianza observada respectivamente, mientras que, en *P. viridis* los estadios de desove y de madurez, aportaron el 48 y 52,7% de la varianza observada, respectivamente. El estadio de madurez mostró una relación directa, mientras que con el de desove fue inversa.

En general los contenidos absolutos de las proteínas, en todos los tejidos de *P. perna*, fueron significativamente más altos que los de *P. viridis* (ANOVA I;  $p < 0,05$ ), siendo estas diferencias más evidentes en los lóbulos gonadales y el músculo (Fig. 6). En ambas especies también se observaron

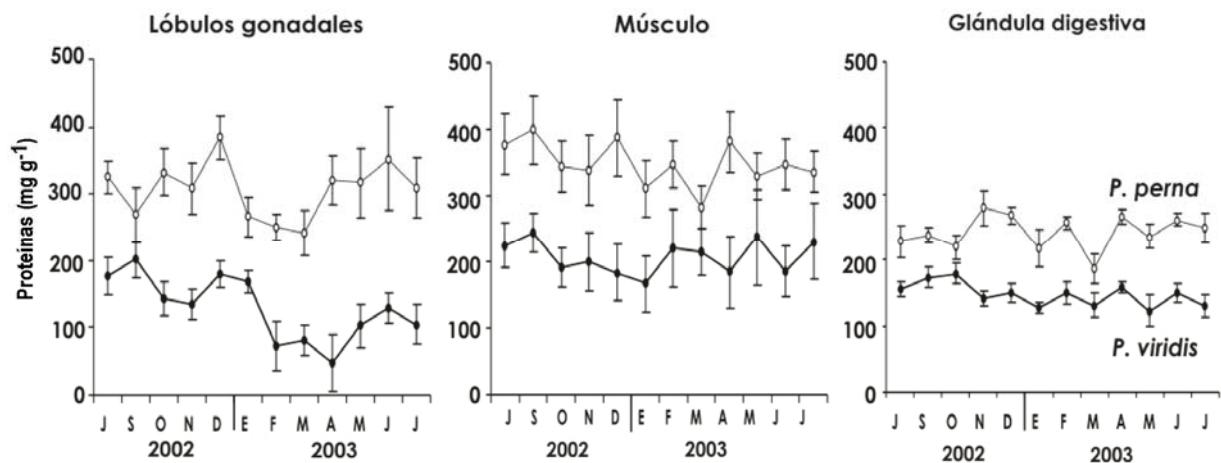
disminuciones de proteínas en la gónada, particularmente de diciembre a enero en *P. perna* y de enero a mayo en *P. viridis*, coincidiendo con los períodos de desove (Figs. 2 y 3).

En *P. perna* se observaron incrementos en los períodos dominados por los estadios de desarrollo y de madurez gonádico. En cuanto al músculo, las proteínas tendieron a disminuir de septiembre a enero en *P. viridis* y hasta febrero en *P. perna*, para luego aumentar en el mes subsiguiente y mantenerse estables hasta el final del periodo estudiado. En cuanto a la glándula digestiva los valores se mantuvieron estables, con mayor variabilidad en *P. perna* y ligera disminución en *P. viridis*.

### Relaciones con los factores ambientales y estadios reproductivos

El análisis de regresión múltiple estableció que en *P. perna* el estadio de desarrollo gonádico y la clorofila *a* fueron los componentes que explicaron la variabilidad

de la concentración de las proteínas en el músculo (53,5% y 59,2%), ambos con coeficiente positivo. Sin embargo, en *P. viridis* este mismo estadio y el seston total, fueron los parámetros que explicaron el 53,3 y 46% de la varianza observada, mostrando ambos componentes un coeficiente positivo. En la glándula digestiva, la clorofila *a* fue el único componente que explicó de manera significativa el 45,2% de la varianza observada en *P. perna*, mientras que en *P. viridis* lo fue el estadio de madurez con el 56% (Tabla 1). Las proteínas en la gónada de *P. perna* estuvieron relacionadas por el estadio de desarrollo gonádico y la clorofila *a*, explicando de manera significativa el 53,5 y el 60,1% de la varianza observada, mientras que el estadio de madurez incrementó en un 70,1% el porcentaje de la varianza explicada. En *P. viridis* el estadio de desarrollo gonádico explicó el 54,1% de la varianza observada, con coeficiente positivo. Sin embargo, con la inclusión de la temperatura en el modelo, se incrementó el porcentaje en un 60,1%, pero con coeficiente negativo.



**Figura 6.** Proteínas en los lóbulos gonadales, músculo y glándula digestiva de los mejillones *P. perna* y *P. viridis*, cultivados en la Ensenada de Turpialito (Golfo de Cariaco), en el período 2002-2003.

**Figure 6.** Proteins in the gonadic lobes muscle and digestive gland of the mussels *P. perna* and *P. viridis*, cultivated in the the Ensenada de Turpialito (Cariaco Gulf), in the period July 2002-2003.

## DISCUSIÓN

De manera general, los contenidos de los diferentes sustratos energéticos observados en el mejillón *P. perna* fueron más altos que los de *P. viridis*, a lo largo de casi todo el periodo experimental. Este resultado probablemente es debido a que *P. perna* explotó de manera más eficiente la oferta alimentaria presente en la columna de agua, consecuente del cultivo suspendido sugiriendo que esta especie presenta un sistema de obtención del alimento más eficiente que *P.*

*viridis*, bajo estas condiciones particulares. Probablemente, esto se debe a que el seston total en la columna de agua estuvo dominado por un alto componente orgánico (Fig. 1d), por lo que un estudio bajo condiciones contrastantes, en cuanto a la composición del seston total, sería interesante para analizar la respuesta de ambas especies.

Por otro lado, la composición bioquímica en los diferentes tejidos analizados mostró cambios significativos durante el periodo experimental, relacio-

nados con la actividad reproductiva y los parámetros ambientales, evidenciándose diferencias en cuanto al almacenamiento, utilización y redistribución de los sustratos energéticos entre *P. perna* y *P. viridis*, en condiciones de cultivo suspendido.

Durante la primera parte del cultivo (julio-noviembre 2002), los mejillones estuvieron expuestos a altas temperaturas y baja disponibilidad de alimento, condiciones que se producen en el Golfo de Cariaco debido a la estratificación de la columna de agua (Mandelli & Ferráz, 1982; Ferráz-Reyes, 1989; Lodeiros & Himmelman, 2000). En este período, el patrón de crecimiento de ambas especies de mejillones fue lento, tanto en dimensión de la concha como en masa de los tejidos, y se relacionó con un posible estrés fisiológico producido por escasez de alimento, junto a la demanda metabólica necesaria para mantenimiento basal (Acosta *et al.*, 2009). Sin embargo, como en las dos especies dominaron los estadios de desarrollo y de madurez, el presente estudio sugiere, que el estrés fisiológico al cual estuvieron expuestos, no solo fue originado por estrés ambiental, sino que también los organismos fueron afectados por la demanda de energía que implica el proceso reproductivo, el cual pudo tener una influencia negativa en el crecimiento somático. En este sentido, en ambas especies se observó una tendencia a la disminución de carbohidratos y proteínas, relacionada con los estadios mencionados anteriormente, particularmente en el músculo y glándula digestiva, lo cual muestra posibles movilizaciones hacia la gónada. Este descenso de los carbohidratos, sugiere que la demanda energética de la gametogénesis, excedió a la captada en el ambiente, siendo la deficiencia energética compensada por la utilización de dichas reservas. Esto se ve corroborado por un decrecimiento de la masa, tanto del músculo aductor como de la glándula digestiva, en ambas especies. Comportamiento similar ha sido reportado en ostras, donde los carbohidratos son movilizados antes y durante la maduración gonadal por cuando la concentración de alimento en el medio es baja, actuando como uno de los principales recursos de energía utilizados para la formación de gametos (Ruiz *et al.*, 1992; Berthelin *et al.*, 2000). En mejillones también se ha demostrado que la variación estacional del contenido de glucógeno guarda una estrecha relación con la disponibilidad de alimento, crecimiento y reproducción, actuando como principal recurso de energía (Zandee *et al.*, 1980).

En ambas especies, entre noviembre 2002 y enero 2003, la mayoría de los individuos mostró su máxima madurez gonádica, la cual coincidió con el período de surgencia continua, fenómeno que se presenta en el

Golfo de Cariaco, caracterizado por bajas temperaturas y alta disponibilidad de alimento (Okuda *et al.*, 1978). En *P. perna* el alimento presente en el medio, se reflejó en un aumento de los componentes bioquímicos de los tejidos analizados, particularmente carbohidratos y lípidos en el músculo y carbohidratos en la glándula digestiva, teniendo a la vez un efecto favorable para el desarrollo de la gónada, la cual se caracterizó por presentar incrementos, específicamente en los niveles de proteínas y lípidos. La obtención de energía del medio a través del alimento ingerido, la capacidad de reserva en períodos de alta disponibilidad de alimento, el continuo crecimiento somático y la relación positiva sobre la maduración gonadal, se observó en *P. perna*, lo cual sugiere un balance energético positivo. Sin embargo, los valores de los componentes bioquímicos en *P. viridis*, principalmente de carbohidratos, siempre fueron menores a los alcanzados por *P. perna*, mostrando menor ganancia energética. Este comportamiento indica que en *P. viridis* el alimento ingerido no fue suficiente para sostener la gametogénesis, por lo que utilizó sus reservas internas para mantener el proceso reproductivo, dada por una disminución de lípidos y proteínas en el músculo.

En *P. viridis*, a parte del alimento, la temperatura mostró una asociación negativa con los niveles de proteínas y carbohidratos en las gónadas, hecho que posiblemente tuvo una relación directa con los periodos de regresión gonádica observados en todo el período experimental. Según Bayne & Newell (1983), cuando un organismo no obtiene el alimento necesario para la gametogénesis, se produce un declive del esfuerzo reproductivo y se disminuye la energía hacia la reproducción, lo cual puede traducirse en reabsorción de gametos maduros o la utilización de las reservas energéticas endógenas en función del metabolismo basal, estos resultados coinciden con lo reportado para *P. viridis* por Acosta *et al.* (2006, 2009).

En las gónadas hubo una disminución notable de las proteínas tanto en *P. perna* como en *P. viridis*, relacionadas con los mayores períodos de desove; la expulsión de gametos y tejido gonádico podría explicar estas disminuciones. Una hipótesis alternativa, es la posible utilización de proteínas en los lóbulos gonadales, donde se aloja la mayor parte del manto. En este sentido, se ha señalado que las proteínas del manto son los principales sustratos energéticos utilizados para la gametogénesis en *Mytilus edulis* (Zandee *et al.*, 1980) y *M. galloprovincialis* (Freites *et al.*, 2003). En este estudio, por la dificultad de separar la gónada del manto, ambos se extrajeron conjuntamente, lo cual pudo repercutir en



las concentraciones de los componentes bioquímicos de la gónada. Por lo tanto, se requiere un estudio histológico que pueda diferenciar las reservas energéticas del manto y su utilización hacia la gónada para dilucidar la hipótesis antes señalada.

A pesar de la reproducción asincrónica de ambas especies, lo cual indujo a una variabilidad en las fases reproductivas de las poblaciones experimentales, los modelos resultantes de los análisis de regresión múltiple mostraron que los estadios reproductivos, particularmente los de desarrollo y madurez gonádica, fueron los que mayormente explicaron el comportamiento de los sustratos energéticos, tanto en el lóbulo gonadal como en el músculo. La glándula digestiva estuvo generalmente influenciada por factores ambientales asociados a la disponibilidad de alimento (biomasa fitoplanctónica, seston). Esto corrobora la importancia que posee el músculo como posible tejido de reserva, particularmente de carbohidratos en relación al desarrollo gonádico y muestra a la glándula digestiva como un órgano energético que depende de la disponibilidad de alimento en el medio. En estos modelos, la temperatura resultó ser el parámetro ambiental que explicó de manera negativa el comportamiento de las proteínas (músculo y gónada) y carbohidratos en la gónada de *P. viridis*, corroborando que la variabilidad de la temperatura constituye un factor importante que induce un posible estrés, que afecta el metabolismo energético de la especie, influyendo así negativamente en la reproducción y crecimiento. En el caso de *P. perna*, el seston orgánico y la clorofila *a*, actuaron de manera positiva en los tres componentes bioquímicos, permitiéndole una ganancia energética sin implicaciones de estrés relativos a la elevada demanda energética de la reproducción.

En líneas generales se produjeron movilizaciones de las reservas energéticas, en respuesta a las condiciones ambientales y particularmente a las actividades reproductivas de ambas especies. El músculo presentó mayor actividad metabólica que la glándula. *P. perna* mostró una mayor capacidad de utilizar eficientemente los recursos alimenticios, a juzgar por sus mayores niveles de reservas energéticas, si se comparan con los de *P. viridis*, lo cual está relacionado con una mejor condición fisiológica y por ende, mayor crecimiento. El menor contenido de reservas energéticas de *P. viridis* en todos sus tejidos, sugiere una baja tasa de obtención de alimento, y por lo tanto, poca disponibilidad para el almacenamiento de reservas energéticas. Esta condición, sumada a la presión causada por el esfuerzo reproductivo sería la causa del estrés fisiológico. De los sustratos ener-

géticos analizados, los carbohidratos desempeñaron un papel importante en los ciclos energéticos y reproductivos de ambas especies.

## REFERENCIAS

- Acosta, V., M. Glem, T. Urbano, Y. Natera, J. Himmelman, M. Rey-Méndez & C. Lodeiros. 2009. Differential growth of the mussels *Perna perna* and *Perna viridis* (Bivalvia: Mytilidae) in suspended culture in the Golfo de Cariaco, Venezuela. *JWAS*, (40)2: 227-236.
- Acosta, V., A. Prieto & C. Lodeiros. 2006. Index of condition of the mussels *Perna perna* and *Perna viridis* (Bivalvia: Mytilidae) under a suspended system of cultivation in the bay of Turpialito, Cariaco Gulf, Venezuela. *Zootec. Trop.*, 24(2): 177-192.
- Bayne, B. & R. Newell. 1993. Physiological energetic of marine mollusks. In: A.S. Saleuddin & K.M. Wilbur (eds.). *The Mollusca Vol. 4, Physiology, Part. I*, Academic Press, New York, pp. 407-515.
- Berthelin, C., K. Kellner & M. Mathieu. 2000. Storage metabolism in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in relation to summer mortalities and reproductive cycle (West Coast of France). *C.B.P.*, 125B: 359-369.
- Dubois, M., K. Gilles, J. Hamilton., P. Rebers & F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28: 350-360.
- Ferráz-Reyes, E. 1989. Influencia de los factores físicos en la distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica en el Golfo de Cariaco (Venezuela). *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*, 28: 47-56.
- Freites, L., M. Fernández-Reiriz & U. Labarta. 2003. Biochemical composition and energy content of the mussel *Mytilus galloprovincialis* of subtidal and rocky shore origin: influence of environmental variables and source of ussel seed. *Cienc. Mar.*, 29: 603-619.
- Gabbott, P. 1983. Developmental and seasonal metabolic activities in marine mollusks. In: P.W. Hochachka (ed.). *The Mollusca 2: environmental biochemistry and physiology*, Academic Press, New York, pp. 165-217.
- Hair, J., R. Anderson, L. Tatham & W. Black. 1992. *Multivariate data analysis with regarding*, MacMillan Publishing Company, New York, 544 pp.
- Lodeiros, C. & J. Himmelman. 2000. Identification of factors affecting growth and survival of the tropical scallop *Euvola (Pecten) ziczac* in the Golfo de Cariaco Venezuela. *Aquaculture*, 182: 91-114.

- Lowry, O., N. Rosebrough & L. Fair. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193: 265-275.
- Mandelli, E & E. Ferráz-Reyes. 1982. Primary production and phytoplankton dynamics in a tropical inlet, Cariaco Gulf, Venezuela. *Int. Rev. Hydrobiol.*, 67: 85-95.
- Marsh, J. & D. Weinstein. 1966. Simple charring method for determination of lipids. *J. Lipid Res.*, 7: 574-576.
- Okuda, T., J. Benítez-Álvarez, J. Bonilla & G. Cedeño. 1978. Characteristic hidrográficas of Cariaco Gulf, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*, 17: 69-88.
- Ruiz, C., M. Abad, F. Sedano, O. García-Martín & J. Sánchez. 1992. Influence of seasonal environmental changes on the gamete production and biochemical composition of *Crassostrea gigas* (Thunberg) in suspended culture in El Grove, Galicia, Spain. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 155: 249-262.
- Sreenivasan, P., R. Thangavelu & P. Poovannan. 1989. Biology of the green mussel *Perna viridis* (Linnaeus) cultured in Mutukadu Lagoon. *Madras. Ind. J. Fish.*, 36: 149-155.
- Zandee, D., J. Kluytmans, W. Zurburg & H. Pieters. 1980. Seasonal variations in biochemical composition of *Mytilus edulis* (L.) with reference to energy metabolism and gametogenesis. *N. J. Sea Res.*, 14: 1-29.

*Received: 11 December 2009; Accepted: 8 October 2009*