

Effect of the seaweed *Macrocystis pyrifera* and a formulated diet on growth and fatty acid composition in the green abalone, *Haliotis fulgens*, under commercial culture conditions

Efecto de la macroalga *Macrocystis pyrifera* y una dieta formulada sobre el crecimiento y la composición de ácidos grasos en el abulón azul, *Haliotis fulgens*, en condiciones de cultivo comercial

Eduardo Durazo-Beltrán¹

Jorge F. Toro-Vázquez²

Carlos Vásquez-Peláez³

María Teresa Viana^{4*}

¹ Facultad de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado postal 453
Ensenada, CP 22800, Baja California, México

² Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Ave. Dr. Manuel Nava No. 6
San Luis Potosí, CP 78210, SLP, México

³ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria
México, CP 04510, DF, México

⁴ Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado postal 453
Ensenada, CP 22800, Baja California, México
*E-mail: viana@uabc.mx

Recibido en enero de 2003; aceptado en julio de 2003

Abstract

The effect of a formulated diet (FD), a seaweed diet (SW), and a mixture of both (FD + SW) on growth, survival rate, and fatty acid content in the tissue of juvenile *Haliotis fulgens* abalone grown under commercial culture conditions, was analyzed over a 329-day period. Survival and growth rate in terms of length and weight were different with each of the diets evaluated, being significantly higher ($P < 0.05$) with the mixed diet (FD + SW), followed by SW and FD. Since feed intake was not evaluated in this preliminary study, differences in growth cannot be attributed to the dietary treatments; however, the importance of this work was to show the significant impact of the diet treatments on the tissue fatty acid profiles, suggesting that the treatments contribute to the composition of some fatty acids found in muscle. The polyunsaturated fatty acid (PUFA) 22:4n-6 was not detected in any of the diets, while 20:4n-3 was only present in SW and 22:5n-3 only in FD. However, after the feeding experiment all these PUFAs were present in abalone tissue. The possible synthesis of PUFAs from dietary n-3 and n-6 fatty acids of shorter hydrocarbon chain is discussed.

Key words: *Haliotis fulgens*, commercial culture, formulated diet, *Macrocystis pyrifera*, fatty acids.

Resumen

Se analizaron los efectos de una dieta formulada (FD), de una dieta de macroalgas (SW) y de la mezcla de ambas (SW + FD) sobre el crecimiento, la tasa de supervivencia y la composición de ácidos grasos en el tejido de juveniles de abulón azul, *Haliotis fulgens*, en un cultivo comercial durante un periodo de 329 días. La tasa de supervivencia y el crecimiento en términos de longitud y peso, mostraron diferencias significativas entre los tratamientos estudiados, siendo significativamente mayores ($P < 0.05$) para la dieta FD + SW, seguida por las dietas SW y FD. Dado que la tasa de consumo no pudo ser evaluada en este

experimento preliminar, las diferencias encontradas no pueden ser atribuidas a los diferentes tratamientos; sin embargo, la importancia de este trabajo consistió en mostrar el impacto de los tratamientos sobre los perfiles de ácidos grasos contenidos en el tejido de los abulones, lo cual sugiere que los tratamientos contribuyeron en la composición de algunos de los ácidos grasos encontrados en el músculo. El ácido graso poliinsaturado (PUFA) 22:4n-6 no fue detectado en ninguna de las dietas, mientras que el 20:4n-3 estuvo presente sólo en la SW y el 22:5n-3 sólo en la FD. Sin embargo, al finalizar el experimento todos estos PUFAs estuvieron presentes en el tejido de abulón. Se discute la posible síntesis de los PUFAs a través de los ácidos grasos n-3 y n-6 de cadena más corta presentes en la dieta.

Palabras clave: *Haliotis fulgens*, cultivo comercial, dietas balanceadas, *Macrocystis pyrifera*, ácidos grasos.

Introduction

Abalone nutrition research is conducted under strict experimental conditions; however, experimental diets can behave differently under commercial conditions. This happens when factors such as temperature, light, abalone manipulation, and the presence of natural food are not taken into consideration, leading to contradicting results (Viana *et al.*, 1996). In fact, several studies have reported that seaweed performed significantly poorer compared with formulated diets (Viana *et al.*, 1993a; Alarcón, 2000). Nevertheless, seaweed is still being used under commercial conditions (Fleming *et al.*, 1996) based on its apparent performance, because no data are available to support the idea that seaweed is more nutritious than formulated diets. Several aspects of the use of seaweed in the culture of abalone have been questioned, such as the role that diatoms play in the nutrition of abalone. Diatoms grow attached to the seaweeds and ponds, and are available for abalone to grasp onto them to complement their nutritional requirements. Thus, any contribution addressing the role that seaweed plays on a commercial scale will help to determine abalone nutritional requirements and the possible substitution of seaweed by formulated diets under commercial conditions.

The goal of any abalone producer, as of most other aquatic organisms and livestock, is to grow the species of interest using formulated diets to optimize their growth efficiency, unless natural food is cheaply available. Any formulated diet should contain all the necessary nutrients to meet the nutrition requirements of the particular organisms, usually met with a variety of ingredients available in the market (Jobling, 2001a). Therefore, nutrition research is essential to determine their nutritional requirements in order to sustain adequate production.

Recently, several reports on abalone nutrition have resulted in the modification of diets in order to improve feed utilization. For example, protein levels have been reduced from 40% to 27% of the diet. Cellulose, previously reported to have a negative effect on growth (Uki and Watanabe, 1992), has now been shown to be efficiently used by abalone (Erasmus *et al.*, 1997; Monje and Viana, 1998). Although progress has been made, lipids may be the nutrient less studied, probably because their recommended level of inclusion is no more than 5% of the diet. This requirement is usually met by incorporating fish and soybean meals as protein sources. Thus, the quantity and quality of fatty acids in the diet will depend on the type and level of protein source used. Nevertheless, it has been shown that abalone

Introducción

La investigación sobre nutrición del abulón se realiza bajo estrictas condiciones experimentales, sin embargo, las dietas pueden mostrar efectos diferentes en los organismos en los cultivos comerciales. Esto ocurre cuando no se toman en consideración factores como temperatura, luz, manejo y presencia de alimento natural, dando resultados contradictorios (Viana *et al.*, 1996). De hecho, varios estudios han reportado que las dietas formuladas han rendido mejores resultados que las algas marinas (Viana *et al.*, 1993a; Alarcón, 2000). Dadas sus aparentes cualidades alimenticias, en los cultivos comerciales todavía se utilizan las algas marinas (Fleming *et al.*, 1996), sin embargo, no existen datos disponibles que sustenten la idea de que las algas marinas sean más nutritivas que las dietas balanceadas. Se han cuestionado algunos aspectos del uso de las algas marinas en el cultivo de abulón tales como el rol que juegan las diatomeas en su nutrición. Las diatomeas crecen adheridas a las algas marinas y a las paredes de los estanques, y se encuentran disponibles para que el abulón ramonee sobre ellas y las utilice para complementar sus requerimientos nutricionales. Por ello, cualquier estudio que contribuya a entender el papel que juegan las algas marinas en los cultivos comerciales ayudará a determinar los requerimientos nutricionales del abulón y la posible sustitución de éstas en la formulación de alimentos balanceados en condiciones comerciales.

La meta de cualquier productor de abulón, como la de la mayoría de los productores de otros organismos acuáticos o cualquier clase de ganado, consiste en criar sus animales utilizando alimentos balanceados que optimicen el crecimiento, a menos que se cuente con una fuente alimenticia natural más barata. Cualquier alimento balanceado debe contener todos los nutrimentos necesarios para satisfacer los requerimientos nutricionales de cada organismo en particular, lo cual usualmente se logra con una variedad de ingredientes disponibles en el mercado (Jobling, 2001a). Por lo tanto, es esencial llevar a cabo investigación en el campo de la nutrición animal para poder determinar sus necesidades nutricionales y así poder mantener una producción adecuada.

Recientemente algunos reportes sobre nutrición del abulón han dado origen a la modificación de las formulaciones a fin de mejorar el uso de los alimentos. Por ejemplo, se han reducido los niveles de proteína del 40% al 27% de la dieta. Se ha demostrado que la celulosa, para la cual se habían reportado efectos negativos sobre el crecimiento en el pasado (Uki y Watanabe, 1992), puede ser utilizada eficientemente por el

exhibit greater growth when n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids (PUFAs) such as 18:3n-3, 18:2n-6, 20:4n-6, and 20:5n-3 are present in the diet (Uki *et al.*, 1986; Floreto *et al.*, 1996; Mai *et al.*, 1996).

In addition to using growth as a parameter to evaluate the effect of diets, it is important to study the muscle tissue composition, since the overall performance of the diets, including the feed ingredients, feeding frequency and handling, will be reflected in the composition of the muscle (Carter *et al.*, 2001; Jobling, 2001b). Even under commercial conditions, tissue composition will show the presence of natural foods besides the formulated diets.

Therefore, the aim of the present work was to evaluate the effect of a formulated diet, a natural diet composed of seaweed and the combination of both, on the growth, survival and fatty-acid composition of the tissue of juvenile abalone *Haliotis fulgens*.

Material and methods

Experimental diets

The percentual and proximate compositions of the diets are presented in table 1. The formulated diet (FD) was balanced according to the recommendations of Mai *et al.* (1995) and Viana *et al.* (1996) (table 1). The vitamin and mineral mixtures used were those recommended by Hahn (1989). Fish silage was made as described by Viana *et al.* (1993b). The lipid content in the FD was the result of the corresponding lipid concentration present in the ingredients used. Butyl-hydroxy toluene was added to the formulation to prevent lipid oxidation. All ingredients were mixed with a blender (Robot Coupe® R10) until a homogeneous paste was obtained. The diet was then flattened into 2-mm-thick sheets using a pasta maker (Rossito Bisanti®). Pieces of 2 × 2 cm were then cut and dried (45°C for 24 h). The diet was stored in plastic containers in a cold, dry place for four weeks prior to feeding.

Fresh seaweed, *Macrocystis pyrifera*, from coastal areas close to Ensenada (Ejido Eréndira, Baja California, Mexico), collected and supplied weekly, was used as seaweed diet (SW). Prior to feeding, the seaweed was transported to the abalone farm and left in a large pond where it was washed thoroughly with seawater. Fresh seaweed samples were stored in sealed containers at -25°C for proximate and fatty acid analyses.

The mixed diet (FD + SW) was prepared with fresh seaweed and formulated diet at a ratio of 150% and 5% of the abalone biomass, respectively.

Experimental procedure

The study was carried out in a commercial abalone farm (BC Abalone, SA de CV, Ejido Eréndira, Baja California, Mexico). Three-month-old *H. fulgens*, with an average length of 5.9 ± 0.06 mm and average weight of 24.2 ± 1.5 mg, were held in a flow-through system (20 L min⁻¹) using seawater.

abulón (Erasmus *et al.*, 1997; Monje y Viana, 1998). Aunque se han logrado algunos avances, los lípidos son probablemente los nutrientes menos estudiados, quizá debido a que su nivel de inclusión recomendado es no mayor al 5% de la dieta. Este requisito es usualmente cubierto al incorporar harina de pescado o de soya como fuentes proteicas. Por ende, la cantidad y la calidad de los ácidos grasos en la dieta dependerá entonces del tipo y nivel de la fuente proteica utilizada. Sin embargo, se ha demostrado que el abulón presenta un mayor crecimiento cuando están presentes en la dieta ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs, por sus siglas en inglés) n-3 y n-6, tales como el 18:3n-3, 18:2n-6, 20:4n-6, y el 20:5n-3 (Uki *et al.*, 1986; Floreto *et al.*, 1996; Mai *et al.*, 1996).

Además de usar el crecimiento como un parámetro para evaluar los efectos de las dietas, es importante estudiar la composición del tejido muscular de los organismos ya que la calidad general de la dieta, incluyendo los ingredientes del alimento, la frecuencia de alimentación y el manejo de los organismos, se verán reflejados en la composición del músculo (Carter *et al.*, 2001; Jobling, 2001b). Aún en condiciones comerciales, la composición del tejido mostrará la presencia de alimentos naturales, además del alimento balanceado.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue llevar a cabo una evaluación los efectos de una dieta balanceada, de una dieta natural compuesta de algas marinas y de la combinación de ambas en el crecimiento, la sobrevivencia y la composición de ácidos grasos en el tejido de abulones *Haliotis fulgens* juveniles.

Material y métodos

Dietas experimentales

En la tabla 1 se presentan la composición porcentual y el análisis proximal de las dietas utilizadas. La dieta formulada (FD) se balanceó de acuerdo con las recomendaciones de Mai *et al.* (1995) y Viana *et al.*, (1996) (tabla 1). Las mezclas de vitaminas y minerales utilizadas fueron las recomendadas por Hahn (1989). El ensilado de pescado se hizo a la manera descrita por Viana *et al.* (1993b). El contenido de lípidos en la FD fue el resultado de la concentración lipídica presente en los ingredientes utilizados. Para evitar la oxidación de los lípidos se agregó butil-hidroxitolueno a la formulación. Todos los ingredientes se incorporaron con una mezcladora (Robot Coupe® R10) hasta formar una pasta homogénea. El alimento se moldeó en forma aplanada en hojas de 2 mm de espesor con una maquina semi-industrial de pastas (Rossito Bisanti®), las cuales fueron cortadas en trozos de 2 × 2 cm y secadas a 45°C por 24 h. El alimento se guardó en contenedores de plástico en un lugar fresco y seco, durante cuatro semanas, antes de ser suministrado a los organismos.

Como dieta de algas (SW) se utilizó alga fresca *Macrocystis pyrifera* de la zona costera cercana a Ensenada (Ejido Eréndira, Baja California, México), recolectada y suministrada semanalmente. Antes de alimentar a los organismos,

Table 1. Ingredient composition (dry basis) of the formulated diet and proximate composition of the diet and the seaweed (*Macrocystis pyrifera*) used.**Tabla 1.** Composición de ingredientes (base seca) de la dieta formulada, y análisis proximal de la dieta y de las algas marinas (*Macrocystis pyrifera*) usadas.

Ingredients (g/100 g diet)	Formulated diet	Seaweed
Fishmeal ^a	30.00	
Corn starch	14.66	
Kelp meal ^b	10.00	
Corn flour ^c	10.00	
Gelatin (50 blooms)	10.00	
Soybean meal ^d	8.00	
Cellulose ^e	5.00	
Modified starch ^f	5.00	
Mineral mixture ^g	4.00	
Vitamin mixture ^h	1.50	
Fish silage ⁱ	1.40	
Stay-C ^j	0.20	
Choline chloride	0.10	
Sodium benzoate	0.10	
BHT ^k	0.04	
Composition (%)		
Crude protein	30.8 ± 0.7	9.6 ± 0.5
Ash	12.6 ± 0.1	37.5 ± 0.5
Total lipid	6.3 ± 0.1	3.1 ± 0.1

^a 64% protein; ^b made from *Macrocystis pyrifera*; ^c corn flour ("Maseca"); ^d 39% protein, 21% lipid; ^e α-cellulose (Alphacel); ^f modified corn starch ("Clearjel"); ^g ICN vitamin diet fortification; ^h ICN salt mixture #5 Briggs; ⁱ acid fish silage from tuna viscera; ^j ascorbyl polyphosphate (Roche); ^k butylatedhydroxy toluene.

Aeration was also constantly provided. Water temperature was 13.1°C and 21.1°C during winter and summer, respectively. The animals were confined in six 850-L rectangular fiberglass tanks with open seawater flow, filled to contain 300 L in each tank (two replicates per treatment) and 2000 abalone per tank. Abalone were fed daily as indicated before. The FD was offered for 12 h overnight every night, and the remaining FD was siphoned by the system or removed daily. Feed intake was not determined due to the difficulty of measuring under commercial conditions.

Abalone growth was evaluated as the total growth for the experimental period in terms of length and body weight. Whole-body wet weight was measured with an electronic balance (± 0.001 g) and shell length with an electronic digital caliper (± 0.05 mm), at 0, 141, 234, and 329 days.

las algas eran transportadas a la granja abulonera, donde se lavaban con agua de mar abundante en un estanque. Para los análisis proximal y de ácidos grasos de las algas se guardaron muestras frescas en recipientes sellados, a -25°C.

La dieta mixta (FD + SW) se preparó con una mezcla de algas marinas y dieta formulada en una proporción de 150% y 5% de la biomasa de abulón, respectivamente.

Diseño experimental

El estudio se realizó en una granja comercial de abulón (BC Abalone, SA de CV, Ejido Eréndira, Baja California, México), en donde se mantuvieron abulones *H. fulgens* con una talla media de 5.9 ± 0.06 mm y un peso medio de 24.2 ± 1.5 mg en un sistema abierto con flujo continuo (20 L min⁻¹) de agua de mar y aireación constante. La temperatura del agua fue de 13.1°C en invierno y 21.1°C en verano. Los organismos estuvieron confinados en seis tanques rectangulares de fibra de vidrio de 850 L con flujo abierto de agua de mar, conteniendo un nivel de 300 L de agua y 2000 abulones por tanque (dos réplicas por tratamiento). Los abulones se alimentaron como se indicó anteriormente. La dieta de FD fue suministrada cada noche, durante 12 h, y el remanente era vertido hacia afuera por el propio sistema o retirado diariamente. No se determinó el consumo de alimento debido a las dificultades de hacerlo en condiciones de cultivo comercial.

El crecimiento del abulón se evaluó como el crecimiento total en talla y peso corporal de los organismos durante el periodo experimental. El peso húmedo de los organismos completos se determinó con una báscula electrónica (± 0.001 g) y la longitud de la concha con un calibrador digital (± 0.05 mm), a los 0, 141, 234 y 329 días de iniciado el experimento. También se calculó la tasa de supervivencia (%S) para cada tratamiento, a lo largo del periodo experimental.

Para evitar daños debidos al manejo de los abulones, se utilizaron MgSO₄ (4%) o 2-fenoxietanol (1mL L⁻¹) como anestésicos (White *et al.*, 1996). Para evaluar el efecto de las dietas en la composición química del tejido, al final del periodo experimental se recogieron 40 abulones por tratamiento.

Análisis proximal

Para llevar a cabo este análisis se utilizaron muestras de las diferentes dietas experimentales y del tejido muscular de los abulones. El peso seco se calculó después de secar la muestra a 100°C hasta alcanzar peso constante. El nitrógeno total (N) se determinó por el Método Kjeldhal (AOAC, 1995), y la proteína cruda se estimó utilizando un factor de 6.25 (N × 6.25). Los lípidos crudos se determinaron por extracción usando cloroformo-metanol-agua (1:1:0.9 v/v), siguiendo el método de Blygh y Dyer (1959). El contenido de cenizas se calculó gravimétricamente después de calcinar la materia orgánica a 550°C por 18 h.

Survival rate (%S) was calculated for each treatment during the experimental period.

To prevent injury from handling abalone, MgSO_4 (4%) or 2-phenoxyethanol (1 mL L^{-1}) were used as anesthetic (White *et al.*, 1996). To evaluate the effect of the diets on the chemical composition of the tissue, 40 abalone per experimental unit were collected at the end of the experiment.

Proximate analysis

Samples of the experimental diets used for each treatment and abalone muscle tissue were used to perform the analysis. Dry weight was calculated after drying the sample to constant weight at 100°C . Total nitrogen (N) was determined by the Kjeldhal method (AOAC, 1995), and crude protein was calculated by $\text{N} \times 6.25$. Crude lipids were determined by extraction using chloroform-methanol-water (1:1:0.9 v/v), following Bligh and Dyer's (1959) method. Ash was determined gravimetrically after burning the organic matter at 550°C for 18 h.

Fatty acid analysis

Aliquots of the lipid extract were first refluxed during 3 min in a 0.5 M KOH solution in methanol prior to methylation, achieved by refluxing again (3 min) in 14% boron trifluoride in methanol ($\text{BF}_3\text{-MeOH}$) (Metcalf *et al.*, 1966). Fatty acid methyl esters (FAMES) were analyzed in a Hewlett Packard 5890II gas chromatograph equipped with a flame ionization detector (260°C). FAMES were separated with a capillary column (Omegawax 320 by Supelco Inc.; $30\text{ m} \times 0.32\text{ mm}$, film thickness 0.25 mm), using hydrogen as carrier gas. The initial oven temperature was 140°C . Five minutes after sample injection (1 mL), the temperature was increased at a rate of 4°C min^{-1} until 240°C was reached, temperature that was held for an additional 10 min. Fatty acids were identified using commercial standards, 37 Component FAME Mix (Supelco Inc.; GLC 87, Nu-Chek Prep), and marine oils (PUFA1 and PUFA3, Supelco Inc.), under similar conditions. An internal standard (23:0) was used to calculate the concentration for each fatty acid using the software package HP ChemStation rev. A.06 for Windows.

Statistical analysis

Survival, growth rates and fatty acid profiles among treatments were analyzed using a one-way ANOVA, followed by a SNK multiple comparison (Zar, 1999). For percentage values, data were transformed to arc sen. The analysis was performed using the statistical package SAS 6.08 (Cary, NC, USA).

Results

The overall performance of the abalone in terms of growth and survival was significantly higher when fed the mixed diet (FD + SW), compared with the SW diet and FD (table 2).

Análisis de ácidos grasos

Primero se sometieron alícuotas del extracto lipídico a reflujo durante 3 min en una solución 0.5 M de KOH en metanol, antes del proceso de metilación, la cual se alcanzó volviendo a someter las alícuotas a reflujo por 3 min en una solución de trifluoruro de boro en metanol ($\text{BF}_3\text{-MeOH}$) al 14% (Metcalf *et al.*, 1966). Los metil ésteres de ácidos grasos (FAMES, por sus siglas en inglés) se analizaron en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard 5890II equipado con detector de ionización de flama (260°C). Los FAMES se separaron por medio de una columna capilar (Omegawax 320 de Supelco, Inc.; $30\text{ m} \times 0.32\text{ mm}$, película de 0.25 mm de espesor) con hidrógeno como gas portador. La temperatura inicial del horno fue de 140°C . Cinco minutos después de la inyección de la muestra (1 mL), la temperatura se incrementó a razón de 4°C min^{-1} hasta llegar a 240°C , temperatura que se mantuvo por otros 10 min. Los ácidos grasos se identificaron usando estándares comerciales, una mezcla de FAMES de 37 componentes (Supelco, Inc.; GLC 87, Nu-Check Prep), y aceites marinos (PUFA1 y PUFA3, Supelco, Inc.), en condiciones similares. Se utilizó un estándar interno (23:0) para calcular la concentración de cada ácido graso utilizando el programa de cómputo HP ChemStation rev. A 06 para Windows.

Análisis estadístico

Se analizaron supervivencia, tasas de crecimiento y perfiles de ácidos grasos entre los tratamientos usando un ANOVA de una vía, seguido por una comparación múltiple SNK (Zar, 1999). Para obtener los valores porcentuales, los datos fueron transformados a su arco seno. El análisis se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico SAS 6.08 (Cary, NC, USA).

Resultados

El desarrollo general del abulón en términos de crecimiento y supervivencia fue significativamente mayor cuando fue alimentado con la dieta mixta (FD + SW), en comparación con los organismos alimentados con las dietas SW y FD (tabla 2). Las tasas de crecimiento fueron significativamente mayores con el tratamiento con SW que con el tratamiento FD, pero sólo en términos de longitud; sin embargo, la supervivencia fue significativamente mayor con el tratamiento FD que con el SW.

A pesar de las diferentes tasas de crecimiento observadas en el abulón alimentado con las dietas experimentales, la composición proximal del tejido muscular del abulón fue bastante similar (tabla 2). No se observaron diferencias significativas en los contenidos de proteína cruda y cenizas entre los abulones alimentados con los diferentes regímenes alimenticios. Se encontraron diferencias significativas en los contenidos de lípidos del tejido muscular de los abulones sometidos a los diferentes tratamientos. Los abulones alimentados con la dieta mixta presentaron mayor contenido de lípidos (5.36%) que los alimentados con SW (4.88%) o con FD (4.69%).

Table 2. Growth performance and survival of juvenile abalone *Haliotis fulgens* fed with a formulated diet (FD), seaweed (SW) and a mixture of both (FD + SW), under commercial conditions during 329 days, and their proximate muscle tissue composition after the experiment.**Tabla 2.** Análisis del crecimiento y la supervivencia de abulones *Haliotis fulgens* juveniles alimentados con una dieta formulada (FD), con algas marinas (FD), y con una mezcla de ambas (FD + SW), en un cultivo comercial durante 329 días, y composición proximal de su tejido muscular al final del experimento.

	FD	SW	FD + SW
Initial weight (mg)	26.25 ± 2.05 ^a	22.45 ± 1.05 ^a	23.90 ± 0.30 ^a
Final weight (mg)	984.50 ± 25.50 ^b	1057.00 ± 41.00 ^b	1915.50 ± 86.50 ^a
Total growth in weight (mg)	958.25	1034.55	1891.6
Initial shell length (mm)	6.13 ± 0.11 ^a	5.69 ± 0.09 ^b	5.89 ± 0.14 ^{ab}
Final length (mm)	20.69 ± 0.21 ^c	21.58 ± 0.23 ^b	26.21 ± 0.26 ^a
Total growth in length (mm)	14.56	15.89	20.32
Growth			
µm day ⁻¹	44.26 ± 0.65 ^c	48.31 ± 0.72 ^b	61.77 ± 0.78 ^a
mg day ⁻¹	2.91 ± 0.07 ^b	3.15 ± 0.13 ^b	5.75 ± 0.26 ^a
Survival (%)	48.88 ± 3.68 ^b	36.97 ± 5.08 ^c	53.70 ± 0.65 ^a
Proximate tissue composition %			
Crude protein	76.31 ± 0.00	75.48 ± 1.95	76.63 ± 0.31
Total lipid	4.69 ± 0.16 ^b	4.88 ± 0.10 ^b	5.36 ± 0.14 ^a
Ash	8.21 ± 0.39	6.87 ± 0.17	7.22 ± 0.06

Mean ± standard error.

Different letters (super indices) indicate statistical differences between treatments ($P < 0.05$).

Growth rates were significantly higher, only in terms of length, with the SW treatment than with the FD treatment; however, survival was significantly higher with the FD treatment than with the SW treatment.

Despite the differences in growth rate observed in abalone fed the experimental diets, the proximate composition of abalone muscle was quite similar (table 2). No significant differences in crude protein and ash contents were observed among abalone fed the dietary treatments. Significant differences in total lipid content of tissue were found among *H. fulgens* fed the dietary treatments. Abalone fed FD + SW contained higher total lipid level (5.36%) than those fed SW (4.88%) or FD (4.69%).

Among the fatty acid profiles, differences were observed in both the diet composition (table 3) and the tissue after the experimental feeding period (table 4). In this work, FD showed the highest content of fatty acids 15:0, 16:0, 16:1n-7, 16:3n-6, 18:0, 18:1n-9, 18:1n-7, 18:2n-6, 18:3n-3, 18:3, 20:1n-9, 22:1n-9, and 22:6n-3, whereas SW presented the highest content of 16:2n-6, 17:1n-7, 18:4n-3, 20:4n-6, and 20:5n-3. The abalone tissue from the FD treatment had a higher content of 16:3n-6 and 18:2n-6 than that observed in abalone fed with the other diets. Additionally, the PUFAs 20:3n-6, 20:4n-3, and 22:4n-6 were present in the abalone muscle from the FD treatment, though these fatty acids were not detected in the corresponding diet. Moreover, the 22:4n-6 is present in the abalone tissues, though this particular fatty acid is absent in the

Con relación a los perfiles de ácidos grasos, se observaron diferencias tanto entre la composición de las dietas (tabla 3) como en los tejidos después del periodo experimental de alimentación (tabla 4). En este trabajo la dieta FD mostró el contenido más elevado de los ácidos grasos 15:0, 16:0, 16:1n-7, 16:3n-6, 18:0, 18:1n-9, 18:1n-7, 18:2n-6, 18:3n-3, 18:3, 20:1n-9, 22:1n-9 y 22:6n-3, mientras que la dieta SW presentó los mayores contenidos de los ácidos grasos 16:2n-6, 17:1n-7, 18:4n-3, 20:4n-6 y 20:5n-3. El tejido del abulón alimentado con FD tuvo mayor contenido de los ácidos grasos 16:3n-6 y 18:2n-6 que el observado en el tejido de los alimentados con las otras dietas. Adicionalmente, en el tejido de los abulones alimentados con FD se detectó la presencia de los PUFAs 20:3n-6, 20:4n-3 y 22:4n-6, no obstante que estos ácidos grasos no fueron detectados en tal dieta. Además, aunque en particular el ácido graso 22:4n-6 no estuvo presente en las dietas, éste si fue detectado en los tejidos de los abulones mostrando una correlación significativa con los niveles del 20:4n-6 ($r = 0.99$; $P = 9.3 \times 10^{-5}$). El tratamiento con SW mostró el mayor contenido de ácido graso 20:5n-3 y el menor de 18:2n-6. Similarmente, los ácidos grasos 22:4n-6 y 22:5n-3 estuvieron presentes en el músculo de los abulones sometidos al tratamiento SW, no obstante no haber sido éstos detectados en las algas marinas. Los abulones alimentados con la dieta mixta presentaron el mayor contenido de 13 de los 32 ácidos grasos reportados.

diets, showing a significant correlation between levels among this fatty acid (22:4n-6) and 20:4n-6 ($r = 0.99$; $P = 9.3 \times 10^{-5}$). The SW treatment showed the highest content of 20:5n-3 and the lowest content of 18:2n-6. Likewise, 22:4n-6 and 22:5n-3 were present in abalone muscle from the SW treatment, though these fatty acids were not detected in the seaweed. Abalone fed with mixed diet presented the highest content of 13 of the 32 fatty acids reported.

Discussion

Survival rates obtained in this study (table 2) seem to be low compared to earlier studies, but not too different from those figures found under commercial conditions for a period of 329 days (Neori *et al.*, 1998; Preece and Mladenov, 1999). The FD treatment resulted in lower growth in length and weight, while the mixed diet performed better. Different results were obtained in another study conducted under similar laboratory conditions and scale, with similar treatments and diets (Alarcón, 2000), in which the FD and the mixed diets performed equally well, and the SW diet resulted in the lowest growth with almost no survival after 45 days. Even though our FD treatment did not achieve a good growth, the results show a positive effect when used together with the seaweed. Moreover, since feed intake was not evaluated, the differences in growth cannot be attributed to the diet quality itself, but rather to the availability of feed plus environmental conditions (Jobling, 2001b). Unfortunately, the estimation of feed intake on a commercial scale is difficult since water is siphoned from the tanks under an open flow system; in addition, the 12-h exposure to food in the tanks, which has been shown to be the time for a proper feeding of abalone during the dark period, can lead to a high dry matter loss of pellets making the feed estimation imprecise. Moreover, abalone has a negative phototaxis (Leighton, 2000) and, as a result, when too much light is present in the tanks, abalone gather in groups and concentrate in the darker areas of the tank. Here it was possible to observe that abalone in the FD treatment tanks were confined to the corners, whereas in the presence of seaweed, abalone were all over the tanks. Therefore, more studies are recommended to evaluate commercial systems using formulated diets that promote an equal distribution of abalone so that the food is available for all organisms in the tanks.

Differences were observed among the fatty acid profiles in both the diets and the abalone tissues after the experimental feeding period (tables 3, 4). Even though the amount of feed ingested is unknown, due to differences in the fatty acid profiles obtained in the tissue it is possible to suggest that abalone were feeding their corresponding treatments rather than grazing on food that grows naturally on seaweeds and ponds (i.e., diatoms, bacteria), because otherwise abalone would be ingesting lipids from sources different to the dietary treatments; however, in a long-term study like this, where more than 70% of the fatty acids reported in tissue was different among treatments, an effect of dietary fatty acid profile on the fatty acid profile in muscle would be expected.

Table 3. Fatty acid composition (mg fatty acid/g dry weight) of seaweed (SW) and formulated diet (FD).

Tabla 3. Composición de ácidos grasos (mg ácido graso/g peso seco) de las algas marinas (SW) y la dieta formulada (FD).

Fatty acid	FD	SW
14:0	3.31 ± 0.01	3.33 ± 0.03
15:0	0.31 ± 0.01 ^a	0.06 ± 0.00 ^b
16:0	14.37 ± 0.03 ^a	5.32 ± 0.06 ^b
16:1n-9	nd	0.24 ± 0.01
16:1n-7	3.22 ± 0.01 ^a	0.22 ± 0.01 ^b
16:2n-6	0.15 ± 0.00 ^b	0.24 ± 0.01 ^a
16:3n-6	0.46 ± 0.0 ^a	0.34 ± 0.00 ^b
17:0	0.65 ± 0.01	nd
17:1n-7	0.29 ± 0.01 ^b	0.40 ± 0.00 ^a
16:4n-1	0.08 ± 0.01	nd
18:0	3.87 ± 0.00 ^a	0.43 ± 0.00 ^b
18:1n-9	11.06 ± 0.03 ^a	4.95 ± 0.03 ^b
18:1n-7	2.11 ± 0.01	tr
18:2n-6	14.22 ± 0.04 ^a	1.78 ± 0.01 ^b
18:3n-6	tr	0.23 ± 0.00
18:3n-3	1.41 ± 0.01 ^a	0.97 ± 0.01 ^b
18:3	0.57 ± 0.01 ^a	0.46 ± 0.00 ^b
18:4n-3	0.10 ± 0.01 ^b	2.04 ± 0.02 ^a
18:4n-1	nd	0.05 ± 0.00
20:0	nd	0.27 ± 0.00
20:1n-11	0.12 ± 0.00	tr
20:1n-9	1.00 ± 0.01 ^a	0.10 ± 0.00 ^b
20:1n-7	0.12 ± 0.01	nd
20:3n-6	nd	0.23 ± 0.00
20:4n-6	0.27 ± 0.02 ^b	5.37 ± 0.05 ^a
20:4n-3	nd	0.11 ± 0.00
20:5n-3	0.36 ± 0.01 ^b	2.17 ± 0.02 ^a
22:0	0.11 ± 0.01	tr
22:1n-9	0.29 ± 0.01 ^a	0.07 ± 0.00 ^b
22:4n-6	nd	nd
22:5n-3	0.09 ± 0.01	nd
22:6n-3	0.50 ± 0.30 ^a	0.06 ± 0.01 ^b

Mean ± standard error; nd = not detected; tr = trace (< 0.05 mg g⁻¹).

Discusión

Las tasas de supervivencia que se obtuvieron en este estudio (tabla 2) parecen bajas comparadas con las de estudios anteriores, pero no muy diferentes de las estimadas en cultivos comerciales durante un periodo de 329 días (Neori *et al.*, 1998; Preece y Mladenov, 1999). El tratamiento con FD dio como

Table 4. Fatty acid composition (mg fatty acid/g dry weight) of muscle of *Haliotis fulgens* fed during 329 days with the formulated diet (FD), seaweed diet (SW), and mixed diet (FD + SW).**Tabla 4.** Composición de ácidos grasos (mg ácido graso/g peso seco) del músculo de *Haliotis fulgens* alimentado durante 329 días con una dieta formulada (FD), con una dieta de algas (SW), y con una dieta mixta (FD + SW).

Fatty acid	FD	SW	FD + SW
14:0	1.40 ± 0.00 ^c	1.43 ± 0.01 ^b	1.56 ± 0.01 ^a
15:0	0.23 ± 0.00 ^b	0.28 ± 0.01 ^{ab}	0.30 ± 0.01 ^a
16:0	8.13 ± 0.02 ^c	8.33 ± 0.03 ^b	9.57 ± 0.03 ^a
16:1n-9	0.25 ± 0.01 ^b	0.24 ± 0.01 ^b	0.31 ± 0.00 ^a
16:1n-7	0.35 ± 0.00 ^c	0.37 ± 0.00 ^b	0.40 ± 0.01 ^a
16:2n-6	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.11 ± 0.01
16:3n-6	2.68 ± 0.01 ^a	2.13 ± 0.02 ^b	1.12 ± 0.01 ^c
17:0	0.51 ± 0.02 ^c	0.74 ± 0.00 ^b	0.85 ± 0.01 ^a
17:1n-7	0.27 ± 0.01 ^b	0.36 ± 0.00 ^a	0.36 ± 0.01 ^a
16:4n-1	2.15 ± 0.02 ^c	3.04 ± 0.05 ^b	3.66 ± 0.04 ^a
18:0	3.00 ± 0.01 ^c	3.06 ± 0.00 ^b	3.44 ± 0.01 ^a
18:1n-9	2.50 ± 0.03 ^c	2.67 ± 0.03 ^b	2.96 ± 0.03 ^a
18:1n-7	2.95 ± 0.04 ^b	3.14 ± 0.04 ^{ab}	3.36 ± 0.05 ^a
18:2n-6	2.95 ± 0.01 ^a	1.89 ± 0.01 ^c	2.34 ± 0.00 ^b
18:3n-6	nd	nd	nd
18:3n-3	0.67 ± 0.00 ^a	0.60 ± 0.00 ^b	0.67 ± 0.01 ^a
18:3	0.96 ± 0.00 ^a	0.75 ± 0.02 ^b	0.95 ± 0.00 ^a
18:4n-3	nd	nd	nd
18:4n-1	0.17 ± 0.00 ^b	0.17 ± 0.01 ^b	0.20 ± 0.01 ^a
20:0	0.14 ± 0.01 ^b	0.16 ± 0.01 ^b	0.19 ± 0.01 ^a
20:1n-11	1.27 ± 0.01 ^b	1.20 ± 0.01 ^c	1.35 ± 0.01 ^a
20:1n-9	0.30 ± 0.02	0.30 ± 0.01	0.32 ± 0.00
20:1n-7	0.14 ± 0.02	0.11 ± 0.01	0.12 ± 0.01
20:3n-6	0.24 ± 0.01 ^a	0.16 ± 0.01 ^b	0.25 ± 0.01 ^a
20:4n-6	2.55 ± 0.01 ^c	3.14 ± 0.01 ^b	3.67 ± 0.00 ^a
20:4n-3	0.08 ± 0.01	0.09 ± 0.00	0.09 ± 0.01
20:5n-3	2.36 ± 0.01 ^c	3.45 ± 0.00 ^a	3.21 ± 0.00 ^b
22:0	0.24 ± 0.03	0.20 ± 0.02	0.27 ± 0.03
22:1n-9	0.12 ± 0.02	0.10 ± 0.00	0.14 ± 0.01
22:4n-6	0.32 ± 0.00 ^c	0.65 ± 0.00 ^b	0.71 ± 0.01 ^a
22:5n-3	3.22 ± 0.01 ^c	4.23 ± 0.01 ^a	4.59 ± 0.01 ^a
22:6n-3	0.59 ± 0.07	0.45 ± 0.01	0.68 ± 0.03

Mean ± standard error; nd = not detected.

The abalone tissue from the FD treatment had a higher content of fatty acids 16:3n-6 and 18:2n-6 than that observed in abalone fed with the other diets. Additionally, the PUFAs 20:3n-6, 20:4n-3, and 22:4n-6 were present in the abalone muscle from the FD treatment, even though these fatty acids were not detected in the corresponding diet. The presence of these n-3 and n-6 PUFAs in the muscle tissue suggests that

resultado un menor crecimiento tanto en talla como en peso, mientras que la dieta mixta dio mejor rendimiento. En otro estudio conducido en condiciones de laboratorio similares, y en una escala y con dietas similares, Alarcón (2000) obtuvo resultados diferentes, en los que las dietas con FD y mixta dieron igualmente buenos rendimientos mientras que la dieta SW dio como resultado menor crecimiento y casi nada de

H. fulgens may be able to synthesize PUFAs from the series of lower n-3 and n-6 fatty acids found in the diet. Likewise, 22:4n-6 and 22:5n-3 were present in abalone muscle from the SW treatment, even though these fatty acids were not detected in the seaweed. Studies on *H. discus hannai* established that this species is able to convert 18:2n-6 and 18:3n-3 into 22:4n-6 and 22:5n-3 (Uki *et al.*, 1986). Moreover, it has been determined that *H. laevis* and *H. rubra* are capable of producing C20 PUFAs from C18 PUFAs (Dunstan *et al.*, 1996). Abalone fed with mixed diet had the highest content of 13 of the 32 fatty acids reported. The effect of dietary treatment on fatty acid content in abalone tissue is difficult to explain, because the PUFAs n-3 and n-6, required for normal growth and development of abalone (Uki *et al.*, 1986; Floreto *et al.*, 1996; Mai *et al.*, 1996), are metabolized by the same enzyme systems of sequential desaturation and elongation, resulting in a long chain of the n-3 and n-6 series (Lands, 1992; Cook, 1996; Bell, 1998). Therefore, in dietary studies it is important to consider the influence that one type of fatty acid can have on the metabolism of another. Based on the fatty acid profiles, we can suggest that *H. fulgens* is able to synthesize long-chain PUFAs from short-chained fatty acids, an ability that has already been reported in green abalone (Durazo-Beltrán *et al.*, 2003).

The effect of specific lipids and fatty acids on growth and tissue composition should be studied under strict experimental conditions, with no presence of natural food and adequately measuring feed intake. More work is necessary to evaluate the use of seaweeds under commercial conditions in order to understand their role in abalone production to improve the production system for formulated diets.

Acknowledgements

We thank BC Abalone for allowing the experiment to be conducted at their farm. Roche provided the vitamin and mineral mixtures used in this experiment. This project was financed by CONACYT (projects 1925PB and G28119B) and UABC. Special thanks to Lou D'Abramo for his valuable comments and interest in the present work.

References

- Alarcón, A.B. (2000). *Gracilaria pacifica* fertilizada como alimento para abulones cultivados. Tesis de maestría en ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, 63 pp.
- AOAC (1995). Official Methods of Analysis of AOAC. 16th ed. Vol. I. Arlington, Virginia.
- Bell, J.G. (1998). Current aspects on lipid nutrition in fish farming. In: K.D. Black and A.D. Pickering (eds.), *Biology of Farmed Fish*. Sheffield Academic Press, Sheffield, pp. 114–1145.
- Bligh, E.G. and Dyer, W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.*, 37: 912–917.
- Carter, C., Houlihan, D., Kiessling, A., Médale, F. and Jobling, M. (2001). Physiological effects of feeding. In: D. Houlihan, T. Boujard and M. Jobling (eds.), *Food Intake in Fish*. Blackwell Science, Oxford, pp. 297–331.
- supervivencia después de 45 días. Aunque los organismos del tratamiento con FD no presentaron un buen crecimiento, los resultados muestran un efecto positivo cuando esta dieta se combinó con algas marinas. Además, dado que no se evaluó el consumo, las diferencias no pueden ser atribuidas a la calidad misma de la dieta sino a la disponibilidad del alimento combinada con las condiciones ambientales (Jobling, 2001b). Desafortunadamente la estimación del consumo de alimento en un cultivo de escala comercial es difícil debido a que en un sistema de flujo abierto el agua es vertida hacia afuera de los tanques; además, la exposición al alimento por 12 h en los tanques (tiempo que ha demostrado ser adecuado para alimentar al abulón durante el periodo oscuro) puede conducir a una gran pérdida de materia seca de los *pellets* haciendo poco precisa la estimación del consumo alimenticio. Además, como resultado del fototactismo negativo del abulón (Leighton, 2000), cuando los tanques se encuentran demasiado iluminados el abulón se concentra en las áreas más oscuras de los mismos. Se pudo observar que en los tanques del tratamiento con FD, el abulón se concentraba en las esquinas, mientras que en presencia de las algas marinas los organismos se distribuían por todo el tanque. Por lo tanto se recomienda llevar a cabo más estudios para evaluar sistemas comerciales que usen alimentos balanceados y que propicien la distribución homogénea del abulón, de manera que el alimento esté disponible para todos los organismos del tanque.
- Se observaron diferencias entre los perfiles de ácidos grasos tanto de las dietas como de los tejidos del abulón después del periodo experimental de alimentación (tablas 3, 4). Aunque se desconoce la cantidad de alimento consumida, dados los diferentes perfiles de ácidos grasos obtenidos en los tejidos es posible sugerir que el abulón se estuvo alimentando con sus correspondientes dietas experimentales más que pastoreando el alimento que crece de manera natural sobre las algas marinas y las paredes de los estanques (i.e. diatomeas, bacterias), ya que de otra manera el abulón estaría ingiriendo lípidos de fuentes distintas a las dietas experimentales suministradas; sin embargo, en un estudio de largo plazo como este en el que más del 70% de los ácidos grasos reportados en el tejido fuera diferente entre los tratamientos, sería de esperarse un efecto del perfil de ácidos grasos de la dieta sobre el perfil de ácidos grasos del músculo de los organismos.
- El tejido de los abulones sujetos al tratamiento con FD tuvo un mayor contenido de ácidos grasos 16:3n-6 y 18:2n-6, que el observado en abulón alimentado con las otras dietas. Además, los PUFAs 20:3n-6, 20:4n-3 y 22:4n-6 estuvieron presentes en el músculo del abulón del tratamiento con FD, no obstante que estos ácidos grasos no fueron detectados en la dieta correspondiente. La presencia de estos PUFAs n-3 y n-6 en el músculo sugiere que *H. fulgens* puede ser capaz de sintetizar PUFAs de las series de ácidos grasos inferiores n-3 y n-6 que se encontraban en su dieta. De la misma manera, aunque los ácidos grasos 22:4n-6 y 22:5n-3 no fueron detectados en las algas marinas, éstos sí se encontraron presentes en el músculo de los abulones sujetos al tratamiento con SW. Estudios hechos con *H. discus hannai* han establecido que esta especie es capaz de transformar

Cook, H.W. (1996). Fatty acid desaturation and chain elongation in eukaryotes. In: D.E. Vance and J.E. Vance J.E. (eds.), *Biochemistry of Lipids, Lipoproteins and Membranes*. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 129–152.

Dunstan, G.A., Baillie, H.J., Barrett, S.M. and Volkman, J.K. (1996). Effect of diet on the lipid composition of wild and cultured abalone. *Aquaculture*, 140: 115–127.

Durazo-Beltrán, E., D'Abramo, L.R., Toro-Vázquez, J.F., Vázquez-Peláez, C. and Viana, M.T. (2003). Effect of triacylglycerols in formulated diets on growth and fatty acid composition in tissue of green abalone (*Haliotis fulgens*). *Aquaculture*, 224: 257–270.

Erasmus, J.H., Cook, P.A. and Coyne, V.E. (1997). The role of bacteria in the digestion of seaweed by the abalone *Haliotis midae*. *Aquaculture*, 155: 377–386.

Fleming, A.E., Van Barneveld, R.J. and Hone, W.O. (1996). The development of artificial diets for abalone: A review and future directions. *Aquaculture*, 140: 5–53.

Floreto, E.A.T., Teshima, S.I. and Koshio, S. (1996). The effect of seaweed diets on the lipid and fatty acids of the Japanese disc abalone *Haliotis discus hannai*. *Fish. Sci.*, 62(4): 582–588.

Hahn, K.O. (1989). Nutrition and growth of abalone. In: K.O. Hahn (ed.), *CRC Handbook of Culture of Abalone and other Gastropods*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 135–156.

Jobling, M. (2001a). Feed composition and analysis. In: D. Houlihan, T. Boujard and M. Jobling (eds.), *Food Intake in Fish*. Blackwell Science, Oxford, pp. 1–24.

Jobling, M. (2001b). Nutrient partitioning and the influence of feed composition on body composition. In: D. Houlihan, T. Boujard and M. Jobling (eds.), *Food Intake in Fish*. Blackwell Science, Oxford, pp. 354–375.

Lands, W.E.M. (1992). Biochemistry and physiology of n-3 fatty acids. *FASEB J.*, 6: 2530–2536.

Leighton, D.L. (2000). *The Biology and Culture of the California Abalones*. Dorrance Publ. Co., Pittsburgh, 199 pp.

Mai, K., Mercer, J.P. and Donlon, J. (1995). Comparative studies on the nutrition of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. IV. Optimum dietary protein level for growth. *Aquaculture*, 136: 165–180.

Mai, K., Mercer, J.P. and Donlon, J. (1996). Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. V. The role of polyunsaturated fatty acids of macroalgae in abalone nutrition. *Aquaculture*, 139: 77–89.

Metcalfe, L.D., Schmitz, A.A. and Pelka, J.R. (1966). Rapid preparation of fatty acids acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. *Anal. Chem.*, 38: 514–515.

Monje, H. and Viana, M.T. (1998). The effect of cellulose on the growth and cellulolytic activity of abalone *Haliotis fulgens* when used as a ingredient in formulated artificial diets. *J. Shellfish Res.*, 17(3): 667–671.

Neori, A., Ragg, N.L.C. and Shpigel, M. (1998). The integrated culture of seaweed, abalone, fish and clams in modular intensive land-based systems. I. Performance and nitrogen partitioning within an abalone (*Haliotis tuberculata*) and macroalgae culture system. *Aquacult. Eng.*, 17: 215–239.

Preece, M.A. and Mladenov, P.V. (1999). Growth and mortality of the New Zealand abalone *Haliotis iris* Martyn 1784 cultured in offshore structures and fed artificial diets. *Aquacult. Res.*, 30: 865–877.

Uki, N. and Watanabe, T. (1992). Review of the nutritional requirements of abalone *Haliotis* spp and development of more efficient diets. In: S.A. Sheperd, M.J. Tegner, S.A. Guzmán del Proó (eds.), *Abalone of the World: Biology, Fisheries and Culture*. Fishing News Books, Oxford, pp. 504–517.

los ácidos grasos 18:2n-6 y 18:3n-3 en 22:4n-6 y 22:5n-3 (Uki *et al.*, 1986). Además, se ha determinado que *H. laevigata* y *H. rubra* son capaces de producir PUFAs C20 a partir de PUFAs C18 (Dunstan *et al.*, 1996). El abulón alimentado con la dieta mixta tuvo el mayor contenido de 13 ácidos grasos de los 32 reportados. Es difícil de explicar el efecto del tratamiento dietético en el contenido de ácidos grasos del tejido del abulón debido a que los PUFAs n-3 y n-6, necesarios para el crecimiento y desarrollo normal del abulón (Uki *et al.*, 1986; Floreto *et al.*, 1996; Mai *et al.*, 1996), son metabolizados por el mismo sistema enzimático de desaturación y elongación secuencial que da como resultado una cadena larga de las series n-3 y n-6 (Lands, 1992; Cook, 1996; Bell, 1998). Por lo tanto, en estudios sobre dietas es importante considerar la influencia que puede tener un tipo de ácido graso sobre el metabolismo de otro. Basados en los perfiles de los ácidos grasos podemos sugerir que *H. fulgens* es capaz de sintetizar PUFAs de cadena larga a partir de ácidos grasos de cadena corta, capacidad que ya ha sido reportada en el abulón azul (Durazo-Beltrán *et al.*, 2003).

Debería estudiarse el efecto de lípidos y ácidos grasos específicos en el crecimiento y la composición de los tejidos en condiciones experimentales estrictas, sin la presencia de alimento natural y midiendo adecuadamente el consumo alimenticio. Se requieren más trabajos para evaluar el uso de algas marinas en cultivos comerciales para entender su papel en la producción de abulón y así mejorar los sistemas de producción de alimentos balanceados.

Agradecimientos

Agradecemos a BC Abalone por permitirnos realizar este experimento en sus instalaciones. Roche proporcionó las mezclas de vitaminas y minerales usadas en el experimento. Este proyecto fue financiado por el CONACYT (proyectos 1925PB y G28119B) y la UABC. Agradecemos especialmente a Lou D'Abramo sus valiosos comentarios y su interés en este trabajo.

Traducido al español por Manuel Gardea-Ojeda.

Uki, N., Sugiura, M. and Watanabe, T. (1986). Requirement of essential fatty acids in the abalone *Haliotis discus hannai*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 52: 1013–1023.

Viana, M.T., López, L.M. and Salas, A. (1993a). Diet development for juvenile abalone, *Haliotis fulgens*, evaluation of two artificial diets and macroalgae. *Aquaculture*, 117: 149–156.

Viana, M.T., Nava, C. and Solana-Sansores, R. (1993b). Acid fish silages. Effect of preheating and addition of phosphoric and citric acids on the biochemical quality. *Cienc. Mar.*, 19(4): 415–433.

Viana, M.T., López, L.M., García-Esquivel, Z. and Méndez, E. (1996). The use of silage made from fish and abalone viscera as an ingredient in abalone feed. *Aquaculture*, 140: 87–98.

White, H.I., Hecht, T. and Potgieter, B. (1996). The effect of four anesthetics on *Haliotis midae* and their suitability for application in commercial abalone culture. *Aquaculture*, 140: 145–151.

Zar, J.H. (1999). *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, New Jersey, pp. 195–202.