

## ARTÍCULO DE REVISIÓN

# HÁBITOS ALIMENTARIOS DE *HALIOTIS* SPP. Y BASES NUTRICIONALES PARA SU MANEJO

Uri Argumedo Hernández

Departamento de Plancton y Ecología Marina, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, C.P. 23096. e-mail: uhrhi@hotmail.com

**RESUMEN.** La mayor parte del conocimiento sobre la dieta de abulón emana de bases empíricas bajo condiciones de cultivo, sobre todo en las primeras etapas de vida. Así mismo la mayoría de estos estudios se hacen con adultos y enfocados sobre macroalgas, las cuales albergan un gran número de especies de diatomeas epifitas que podrían estar enriqueciendo la dieta del abulón. Sin embargo, al segregarse de los estudios de contenido intestinal éstas podrían estar subestimadas. El suministro empírico de pocas taxa de diatomeas en la dieta de juveniles de abulón en cultivo no corresponde con el gran número de diatomeas encontradas en contenidos intestinales de organismos del medio natural. De tal forma, su uso como alimento en cultivo requiere de mayor base científica; observaciones hechas con dietas combinadas a base de macroalga y diatomeas parecen ser mejor opción. Por otro lado, una dieta artificial para abulones adultos que busque sustituir el uso de macroalgas disminuyendo costos de producción, dependerá de la información de los requerimientos nutricionales y del aprovechamiento de la fuente de alimento por las distintas especies de abulón, lo cual se desconoce, sobre todo en relación con su dieta natural. Las dietas mixtas proveen más nutrientes esenciales, a diferencia de dietas mono-específicas en las cuales se puede presentar deficiencia en uno o más nutrientes. Finalmente el sabor del músculo de abulón al ser alimentado con dietas artificiales puede ser diferente al que se obtiene con dietas naturales, reflejándose en una menor aceptación del producto en el mercado.

Palabras clave: Abulón, dieta, diatomeas, microalgas, dieta artificial.

## FEEDING HABITS OF *HALIOTIS* SPP. AND NUTRITIONAL BASIS FOR ITS MANAGEMENT

**ABSTRACT.** Most of the knowledge on abalone diet rises from empirical bases under cultured conditions, especially during its early life stages. Likewise, most of these studies have been made on adults and are focused on macroalgae, which harbor a large number of epiphytic diatom species that could enrich the abalone diet. Nevertheless, when these are segregated its diet contribution could be underestimated. The empiric supply of few diatom taxa on juvenile cultured abalone do not correspond to the large number of diatoms observed in intestinal contents of wild specimens. Likewise, their use as food for cultured abalone needs a larger scientific base; meanwhile combined diets using macroalgae and diatoms seems to be a better alternative. On the other hand, an artificial diet for adult abalones as an alternative for the macroalgal diet with lower production costs, will depend on the information about nutrimental requirements and the use of food sources by different abalone species, which is unknown, especially in relation with their natural diet. On the plus side, mixed diets provide more essential nutrients than the mono-specific diets which can be lacking in one or more nutrients. Also, it has to be taken into account that the flavor of abalone meat fed with artificial diets could be different than that obtained with natural diets and could result in less acceptance of the product in the market.

Key words: Abalone, diet, diatoms, macroalgae, artificial diet.

Argumedo Hernández, U. 2007. Hábitos alimentarios de *Haliotis* spp. y bases nutricionales para su manejo. *CICIMAR Oceánides*, 22(1,2): 13-27.

## INTRODUCCIÓN

Los abulones pertenecen al Phylum Mollusca, Clase Gastropoda, Subclase Proso-

branchia, Orden Archaeogastropoda, Familia Haliotidae, Género *Haliotis*. A nivel mundial se registran entre 75 y 100 especies de abulones, 20 de las cuales son clasificadas como de

Fecha de recepción: 31 de agosto, 2007

Fecha de aceptación: 12 de agosto, 2008

alto valor comercial (Jarayabhand & Paphavasi, 1996).

Son herbívoros bentónicos longevos (Haaker *et al.*, 1998) que se distribuyen en Australia, Japón, África del Sur y a lo largo de las costas del Pacífico Este y Oeste. Batimétricamente se localizan desde la zona entre mareas hasta profundidades mayores de 400 m (Lindberg, 1992) y entre sustratos rocosos (Haaker *et al.*, 1998).

En México, se distribuyen seis especies de abulón: azul, *Haliotis fulgens* Philippi, 1845 (talla entre 161 mm - 169 mm); amarillo, *H. corrugata* Wood, 1828 (155 mm - 169 mm); rojo, *H. rufescens* Swainson, 1822 (192 mm - 275 mm); chino, *H. sorenseni* Beartsch, 1940 (125 mm - 200 mm); negro, *H. cracherodii* Leach, 1871 (117 mm - 139 mm) y rayado, *H. assimilis* Dall, 1878 (<10 mm); todas con importancia comercial, excepto el último (Guzmán del Prío, 1992). Sin embargo, al igual que en otros países en México se ha presentado un decaimiento de las poblaciones naturales del abulón y algunos intentos por rescatar el recurso incluyen producción de semilla para su liberación en el medio (Salas-Garza & Searcy-Bernal, 1990).

Durante el desarrollo del abulón se reconocen varias etapas: de 12 horas a 18 horas después de la fertilización se presenta una larva pelágica lecitotrófica (McShane, 1992). La fijación, metamorfosis y depositación de la concha peristomal marcan la transición de larva planctónica a poslarva bentónica. El periodo poslarval continúa hasta la formación del primer poro respiratorio que se forma entre el primer mes y el tercero (Guzmán del Prío, 1992); a partir de aquí y hasta que alcanzan la madurez sexual se denominan juveniles y su crecimiento mensual varía entre 1 mm y 1.5 mm (Hahn, 1989); alcanzan la madurez sexual entre los tres y cuatro años de edad con una talla de 12 cm a 15 cm que varía según la especie, los factores ambientales (Guzmán del Prío, 1992), etapa de desarrollo e incluso con la estación del año (Day & Fleming, 1992).

El conocimiento de los hábitos alimentarios de los abulones y de cómo satisfacen sus requerimientos nutricionales en el medio natural es imprescindible para el suministro de una dieta adecuada durante su cultivo, máxime considerando que son requeridos de dos a tres años para producir abulones de talla comercial de entre 7 cm y 8 cm de longitud (Hahn, 1989).

Los estudios sobre requerimientos nutricionales del abulón usualmente se enfocan sobre el crecimiento producido por las distintas dietas, ya sea a base de macroalgas y diatomeas ó con dietas artificiales, variando principalmente los niveles de proteínas, lípidos y otros nutrientes (Hahn, 1989).

La mayor parte de la información sobre abulón, emana de investigaciones con propósitos acuaculturales, partiendo de bases empíricas. Así, se maneja que las poslarvas consumen primordialmente diatomeas de formas pequeñas y postradas (<10 µm), que los juveniles tempranos ingieren diatomeas grandes y de crecimiento erecto y cuando alcanzan una talla de 10 mm de longitud (aprox.) cambian a una dieta a base de macroalgas (Ebert & Houk, 1984; Hahn, 1989).

En México, son pocos los trabajos sobre hábitos alimentarios del abulón en el medio natural; lo que se ha observado es que juveniles de *H. fulgens* y *H. corrugata* de entre 10 mm y 100 mm, en Bahía Tortugas y Bahía Asunción, se alimentan tanto de macroalgas (hasta nueve especies) (Guzmán del Prío *et al.*, 2003), como de un gran número de diatomeas epifitas (Siqueiros-Beltrones *et al.*, 2004; 2005); éstas han sido observadas incluso en los mismos organismos utilizados para determinación de la dieta macroalgal en el contenido intestinal (Guzmán del Prío *et al.*, 2003). De acuerdo con lo anterior se hace evidente que la contribución de las diatomeas no ha sido considerada en la dieta natural del abulón.

Los estudios sobre selectividad alimenticia del abulón se han enfocado principalmente

sobre la fase de poslarva, encontrándose cierta selección por algunos taxa de diatomeas (Kawamura *et al.*, 1998a; Siqueiros-Beltrones & Voltolina 2001; Siqueiros-Beltrones, 2002b). Sin embargo, aún se desconoce si esta preferencia alimenticia se mantiene en juveniles y adultos.

Por otro lado, es necesario tener cuidado en el manejo de la información generada a partir del examen de los contenidos intestinales, debido a que muchas diatomeas pueden pasar intactas el tracto digestivo tanto de poslarvas (Kawamura *et al.*, 1998a), como de juveniles (*obs. pers.*). Asimismo, existen muchas formas de diatomeas que sólo se adhieren levemente al sustrato, lo que permite que se desprendan sin romper la frústula, o pueden formar grumos, lo que impide en ambos casos el que sean digeridas. Además, pueden existir diferencias entre especies del mismo género o cepas de la misma especie de diatomea, así como diferencias entre las distintas especies de abulón (Kawamura *et al.*, 1998a), por lo que las relaciones tróficas respectivas deben ser dilucidadas.

En su microhábitat los juveniles de *H. fulgens* y *H. corrugata*, en la región central de Baja California Sur, se han identificado 45 especies de macroalgas asociadas a las rocas y consecuentemente disponibles como fuente potencial de alimento para *Haliotis* spp. (Carrón-Palau *et al.*, 2003). Asimismo, Siqueiros-Beltrones & Valenzuela-Romero (2004) registraron 236 taxa de diatomeas en el hábitat rocoso utilizado por el abulón en Bahía Magdalena, B.C.S y en la costa occidental de B.C.S., Siqueiros-Beltrones *et al.* (2004) elaboraron un inventario con 321 taxa de diatomeas bentónicas (epiliticas y epifitas), de las cuales 98 forman parte de la dieta natural de los juveniles de abulón. Estas observaciones discrepan notablemente con la práctica de suministrar pocas especies de diatomeas como alimento para los abulones cultivados en granjas y laboratorios de producción de abulón en Baja California, particularmente, *Navicula incerta*, *Nitzschia* spp., *N. laevis*, *Amphiprora paludosa* var. *hyalina* y *Cocconeis* spp. (Si-

mental *et al.*, 2004; Correa-Reyes *et al.*, 2001). No obstante, buscar una sola especie de diatomea que cumpla con los requerimientos del abulón disminuye los costos en la producción, mientras que cultivar un número alto de especies de diatomeas para suministrarlas como alimento no sería factible. Un criterio para acotar esto último es considerar aspectos nutricionales que permitan seleccionar aquellos taxa de diatomeas que mejor se combinen en una dieta efectiva. Así, en esta revisión se hace mención del valor nutricional y los problemas que se derivan del uso de dietas, tanto naturales como artificiales, suministradas al abulón.

## DIETA NATURAL DE *Haliotis* spp.

### Diatomeas

La mayoría de las investigaciones sobre diatomeas como alimento de abulón se han hecho con poslarvas y en menor medida con juveniles (Ebert & Houk, 1984); ambas etapas son consideradas críticas en el cultivo del mismo (Searcy-Bernal *et al.*, 1992a). Buscando precisar sobre el aspecto dietético en el cultivo de abulón Kawamura *et al.* (1998a) revisaron la información disponible sobre alimentación y crecimiento de abulón, encontrando que la dieta de las poslarvas y juveniles de entre 5 mm y 10 mm de longitud está basada en diatomeas, películas bacterianas y formas juveniles de macroalgas (todo bajo condiciones de cultivo).

Por otro lado, observaciones recientes en juveniles extraídos del medio natural (>40 mm), muestran que éstos ingieren abundantes diatomeas epifitas cuando se alimentan de algas carnosas y coralinas; así, las evidencias sugieren que las diatomeas epifitas reemplazan a las epiliticas en la dieta de abulones juveniles cuando éstos crecen arriba de 10 mm (Siqueiros-Beltrones & Valenzuela-Romero, 2001). Asimismo, en la Isla Samed (Tailandia) se distribuye *Haliotis asinina* en cuyo ambiente (arrecife de coral) solo existen algunas algas pequeñas (*Cladophora* sp., *Centroceras* sp. y *Ectocarpus* sp.) de manera que *H. asini-*

na se alimenta casi exclusivamente de diatomeas bentónicas durante toda su vida (Sawatpeera *et al.*, 1998). Esto refuerza la idea de que, a pesar de que los abulones en otras partes del mundo se alimentan de macroalgas (estadio de juvenil-adulto), las diatomeas desempeñan un papel importante en la dieta durante todas sus etapas de desarrollo.

Así, de acuerdo con lo anterior, el supuesto cambio gradual de una dieta de diatomeas hacia una dieta exclusivamente de macroalgas podría no presentarse, es decir que ambos componentes serían complementarios. Sin embargo, las investigaciones sobre la dieta natural de abulones (adultos y/o juveniles) en su medio natural, se enfocan sobre la composición proximal de macroalgas que son consumidas por las distintas especies de abulón y no así en la composición de diatomeas (Serviere *et al.*, 1998; Guzmán del Prío *et al.*, 2003).

Experimentando en el laboratorio, Takami *et al.* (1998) observaron que las diatomeas del género *Cocconeis*, que son ampliamente utilizadas como alimento para abulón en cultivo, no son adecuadas como alimento para juveniles de abulones. Con base en esto sugieren que organismos mayores de 10 mm prefieren no pasturar sobre especies de este género si están disponibles otras especies de diatomeas; interpretan así que existe cierta selección por algunos taxa. Sin embargo, en contenidos intestinales de juveniles de abulón azul y abulón amarillo extraídos del medio natural (de entre 10 mm y 50 mm), las especies del género *Cocconeis* son de los mejor representados (Siqueiros-Beltrones *et al.*, 2005). De esta manera surgen interrogantes sobre qué factores regulan la ingesta de las diatomeas y a qué se deben las diferencias entre la dieta de abulones bajo condiciones de cultivo y los del medio natural.

La eficiencia en la digestión de diatomeas (diatomeas vivas que son rotas durante la ingestión-digestión) (Kawamura *et al.*, 1998b) puede variar: a) con la condición del cultivo de la diatomea (la cual puede presentar mayor o menor silicificación); b) con el desarrollo de las poslarvas (Roberts *et al.*, 1999) ya

que la rádula se va haciendo más fuerte conforme va creciendo el organismo; c) con las características de la frústula (ancho y grado de silicificación); d) con la capacidad de movilidad y tamaño de la diatomea; e) con la fuerza de adhesión de las diatomeas al sustrato (Kawamura *et al.*, 1998b). Así, una misma especie de diatomea tendría diferente grado de digestibilidad entre dos abulones de distinta talla.

En general, las diatomeas que han sido examinadas proximalmente poseen entre el 3.5% y 47% de proteína (Knauer *et al.*, 1996) y altas concentraciones de aminoácidos libres (Searcy-Bernal *et al.*, 1992b), así como entre 7% y 23% de lípidos y ácidos grasos poliinsaturados (PUFA 20:5n-3, 22:6n-3 y 20:4n-6) (Dunstan *et al.*, 1996). Usualmente bajo condiciones de cultivo, el valor nutricional de las diatomeas bentónicas varía con la edad y condiciones del cultivo. Por ejemplo, se ha visto en *Navicula* spp. que el contenido de proteína, puede variar entre un 20% y 30%, los carbohidratos entre un 10% y 15% y los lípidos entre un 15% y 20% (Simental *et al.*, 2004). De manera que la composición bioquímica y los valores nutricionales de las diatomeas deben ser considerados para explicar las diferencias en la tasa de crecimiento de los abulones (Correa-Reyes *et al.*, 2001).

Los aminoácidos libres en las diatomeas pueden constituir una proporción significativa del total de aminoácidos contenidos en la célula, los cuales pueden ser fácilmente absorbidos por las poslarvas de abulón, incluso antes de completar el desarrollo de las enzimas encargadas de la digestión de las proteínas y de esta manera satisfacer los requerimientos nutricionales (Gordon *et al.*, 2005). Una vez desarrolladas las enzimas (laminarina), ya pueden hidrolizar la crisolaminarina (difícil de degradar), fuente principal de reserva de las diatomeas (Werner, 1977), así como la glucosa (fácil de degradar).

Algunas diatomeas utilizadas como alimento secretan sustancias desfavorables o tóxicas para los abulones. En un estudio con poslarvas de *H. discus hannai*, utilizando como alimento tres especies de diatomeas:

*Amphora luciae*, *Navicula* cf. *lenzii* y *Nitzschia laevis*, se observó que ésta última tiene el porcentaje más alto de proteína (38% peso seco), comparado con las otras dos. Sin embargo, en las poslarvas que se alimentaron con esta especie se presentaron los niveles más bajos de crecimiento. De esta manera, se evidencia que niveles altos de proteína no siempre implican un mayor crecimiento y aunque no fueron determinadas las causas, se sugiere que *N. laevis* podría segregar sustancias que actúen en detrimento, en este caso, para las poslarvas observadas (Gordon *et al.*, 2005).

Por otra parte, muchas diatomeas bentónicas producen estructuras para fijarse al sustrato (cápsulas, tapetes mucilaginosos, tubos y pedúnculos) y cuando los abulones raspan el sustrato o el tejido macroalgal, estas estructuras pueden ser consumidas. Sin embargo, cada una presenta una composición bioquímica diferente. Por ejemplo, *Navicula pelliculosa* produce una cápsula compuesta por residuos de ácido glucurónico, mientras que la cápsula de *Phaeodactylum tricornutum* contienen xylosa, manosa, fucosa y galactosa. El mucílago de los tubos de *Amphipleura rutilans* es un polímero de xylosa y manosa con trazas de proteína. *Thalassiosira fluviatilis* y *Cylcotella cryptica* producen largos filamentos compuestos por formas cristalinas de quitina. El pedúnculo formado por *Gomphonema olivaceum* está compuesto por D-galactosa y D-xylosa (Werner, 1977). De esta manera, las estructuras de fijación producidas por las diatomeas podrían representar una fuente energética importante para los abulones.

### Macroalgas

La alimentación de los abulones en el medio natural depende de la disponibilidad y abundancia de las macroalgas, por lo que la flora asociada a los bancos de abulón tiene un papel muy importante en su ciclo de vida, ya que le representan su hábitat, proporcionándole refugio (Leighton, 2000; *en* Ponce-Díaz *et al.*, 2004) y fuente de alimento, por lo menos en su etapa adulta (Tutschulte & Connell, 1988; Serviere-Zaragoza *et al.*, 1998).

Los hábitos alimentarios de los abulones son aparentemente erráticos y sensibles a factores ambientales y fisiológicos (Corazani & Illanes, 1998) pero, generalmente, en zonas templadas los abulones muestran mejores tasas de crecimiento cuando se alimentan de algas pardas (Upatham *et al.*, 1998); asimismo se acepta casi incuestionablemente que la dieta natural de *H. fulgens* (costa pacífica de Norte América) está compuesta principalmente de algas laminariales (kelpos) (McBride, 1998). En cambio, las especies de abulón australianas y asiáticas muestran mayor tasa de crecimiento cuando se alimentan con algas rojas (Upatham *et al.*, 1998). Así, las diferencias en el consumo preferencial de macroalgas difiere entre los abulones alrededor del mundo, dependiendo de la especie, del hábitat y de la disponibilidad del alimento (Dunstan *et al.*, 1996).

Con base en lo anterior, para el cultivo del abulón en México se han utilizado preferentemente algas pardas con las cuales se han obtenido mejores resultados, no obstante que sus niveles de proteína son en general bajos (3% - 15% peso seco) en relación a las algas rojas (11% y 24%) (Fleurence, 1999 *en*: Serviere-Zaragoza *et al.*, 2002). Así por ejemplo, *H. fulgens* alimentado con algas rojas presenta menor tasa de crecimiento que cuando se alimenta con el alga parda *Macrocystis pyrifera* (Serviere-Zaragoza *et al.*, 2002).

También se han observado diferencias en las tasas de crecimiento de juveniles de abulón de la misma especie alimentados con especies del mismo género de macroalga. Ello se ha relacionado con la presencia de metabolitos químicos en el alga, con su morfología (Upatham *et al.*, 1998) y con la composición bioquímica de las algas (Ponce-Díaz *et al.*, 2004) que varía de una especie a otra de acuerdo con la ubicación geográfica, estado de desarrollo del alga, la exposición al oleaje, corrientes, concentraciones de nutrientes, estación del año, profundidad, y temperatura (Rodríguez-Montesinos & Hernández-Carmona, 1991). Lo que se desconoce es si esta variación en la tasa de crecimiento está determinada por la variabilidad en los individuos de abulón en sí.

Las macroalgas presentan diferentes proporciones de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) dependiendo de la especie. Sin embargo, en todos los grupos los 22:5(n-3) son generalmente los más abundantes. En contraste, en muchas dietas artificiales se incluyen altos niveles de C<sub>18</sub>(n-6) y 22:6(n-3) (Dunstan *et al.*, 1996) los cuales no se encuentran de manera natural en la dieta macroalgal del abulón. Consecuentemente, se propone que algunos de estos ácidos grasos ausentes en las macroalgas pero, necesarios para el crecimiento del abulón, podrían obtenerse de otra fuente natural.

Así, aunque las macroalgas son consideradas la dieta principal del abulón, por lo menos en sus etapas juvenil-adulto, Viana (2002) propone que para lograr un mejor crecimiento del abulón se requiere de mayor cantidad de proteína que la contenida de manera natural en las macroalgas; de tal forma, los organismos epifitos de las macroalgas serían una fuente importante de nutrimentos adicionales.

De acuerdo con lo anterior, es pertinente resaltar que las macroalgas generalmente presentan un gran número de organismos epifitos que bien pueden ser consumidos por organismos pastreadores, incluidos los abulones. En este caso, por ejemplo: *Macrocystis pyrifera* que es ampliamente utilizada durante el cultivo de abulón, representa un buen sustrato para la fijación de esponjas, tunicados, anfípodos, hidrozoarios, briozoarios, poliquetos e incluso otras especies de macroalgas como *Myriograme caespitosa* (feofita), *Pterochondria woodi* (rodofita) y *Microcladia coulteri* (rodofita), además de una gran variedad de diatomeas (Foster & Schiel, 1985), siendo éstas últimas muy abundantes en láminas maduras (Siqueiros-Beltrones *et al.*, 2002; Argumedo-Hernández & Siqueiros-Beltrones, 2007).

Una práctica propuesta recientemente como alternativa para enriquecer la dieta del abulón en cultivo, cuando es a base de macroalgas, es la utilización de diatomeas. Tal es el caso de *Navicula incerta* la cual se ha utilizado como suplemento alimenticio inoculándose en láminas de *Macrocystis pyrifera* (Simental *et al.*, 2004). Se eligió *N. incerta* por ser

la más usada últimamente en las granjas de abulón en la parte norte de Baja California (Simental *com. pers.*); sin embargo, no es una especie que se encuentre de manera natural en las láminas de *M. pyrifera* (Siqueiros-Beltrones & Argumedo-Hernández, 2005). De esta manera, resultan necesarios estudios sobre el valor nutricional que desempeñan las diatomeas epifitas antes de continuar con la práctica de adicionar diatomeas, considerando aquellas que proliferan de manera natural sobre las láminas.

En su medio natural, los abulones en las costas de California se alimentan casi exclusivamente de láminas viejas de *Macrocystis pyrifera* que se desprenden del talo y llegan al fondo (Foster & Schiel, 1985); estas láminas presentan niveles más bajos de proteínas pero a diferencia de las láminas jóvenes, albergan un gran número de diatomeas epifitas (Siqueiros-Beltrones & Argumedo-Hernández, 2005) y en algunos casos presentan incluso metazoarios (Siqueiros-Beltrones *et al.*, 2001) los cuales podrían desempeñar un papel importante en la nutrición del abulón como fuente suplementaria de proteínas y lípidos (López *et al.*, 1998).

Así por ejemplo, se obtuvieron mejores resultados en abulones alimentados con *Laminaria religiosa* epifitada con metazoarios (briozoarios) (Uki, 1981, en Simental *et al.*, 2004), debido quizá a que los niveles de proteína en la macroalga, aumentan casi en un 5% y aunque los carbohidratos y lípidos no aumentaron; estos nutrientes aparentemente no son limitantes, ya que los carbohidratos son muy abundantes en las macroalgas y los lípidos en la dieta del abulón no se requieren en altos porcentajes (Knauer *et al.*, 1996).

Aunado a lo anterior, a pesar de que los abulones se consideran herbívoros, cuando se fabrican dietas artificiales en las que se incluye proteína animal, pueden obtenerse mejores resultados que cuando se incluye únicamente proteína vegetal. Así, es probable que los abulones en el medio natural enriquezcan su dieta con proteína animal de organismos como: briozoarios, pequeños crustáceos, protozoarios u otros pequeños organismos epifi-

tos. A partir de ésto, se podrían plantear nuevas investigaciones sobre el enriquecimiento con estos organismos y no solo de diatomeas.

Sin embargo, aparentemente no en todos los casos se obtiene un mejor crecimiento cuando se incluyen los epifitos de las macroalgas. Al evaluar diferencialmente la tasa de crecimiento de juveniles de *Haliotis rufescens* (talla promedio de 3.67mm), alimentados con láminas de *Macrocystis pyrifera* se compararon diversas combinaciones dietéticas: a) con epifitos naturales (diatomeas), b) sin epifitos naturales, c) sin epifitos naturales e inoculadas con una película de *Navicula incerta* (diatomea), d) con epifitos naturales e inoculados con *N. incerta*, y e) alimentados únicamente con *N. incerta*. Las menores longitudes de las conchas se obtuvieron con láminas de *M. pyrifera* sin sus epifitos naturales (6.76 mm); la mayor longitud se obtuvo con láminas sin epifitos naturales e inoculadas con *N. incerta* (9.06 mm) y alimentados únicamente con el cultivo de *N. incerta* (8.81 mm) (Simental *et al.*, 2004). Así, se evidenció que una sola especie de diatomea (*N. incerta*) puede representar un aporte nutricional importante, sobre todo al combinarse con una base macroalgal.

Por otro lado, es importante precisar en este tipo de trabajos qué tipo de epifitos naturales estaban presentes en *Macrocystis pyrifera*, ya que las láminas jóvenes presentan poco epifitismo tanto de diatomeas como de briozoarios (Siqueiros-Beltrones & Argumedo-Hernández, 2005). Además, las láminas apicales (jóvenes) son las que se cosechan para el cultivo del abulón, de manera que el aporte nutricional adicional por parte de los epifitos pudo haber sido mínimo o nulo, por la carencia de dichos epifitos en láminas jóvenes.

Una práctica común en las granjas abulonerías para evitar introducir contaminantes al tanque (macroalgas, microorganismos y bacterias), es el lavado de macroalgas antes de suministrarlas como alimento (Simental *et al.*, 2004); empero, estos contaminantes pueden incrementar los nutrientes en los tanques, por ejemplo, la proliferación de diatomeas no de-

seadas en los tanques es común, aunado a que el control que se tiene sobre estos florecimientos no siempre es efectivo. Así, los resultados difieren en los ensayos utilizando la misma especie como alimento macroalgal, ya que si bien esta variación se da por las diferencias en la duración del ensayo, las estrategias de cultivo y la variación bioquímica del alga, existe una carencia en la precisión taxonómica de las diatomeas asentadas en los tanques y potencialmente utilizadas por el abulón.

En este sentido existe poca información, por lo que el desarrollo de investigaciones dirigidas a resolver el problema del valor nutricional que aportan cada uno de los componentes de la dieta del abulón en el medio natural (incluyendo epifitos naturales de la macroalgas) ayudaría a entender las relaciones entre el abulón y su fuente alimenticia.

#### DIETAS ARTIFICIALES PARA *Haliotis* spp.

El cultivo intensivo del abulón requiere de grandes cantidades de macroalga fresca, lo que resulta problemático en algunas ocasiones por la operatividad asociada a su uso: extracción, transporte, costo de almacenaje y el mismo abastecimiento que a menudo es inconstante, ya que depende de las condiciones del medio y la estacionalidad de las mismas (Sang-Min *et al.*, 2004). Debido a ésto, el uso de dietas formuladas aparentemente aumenta la producción de abulón (Britz, 1996), porque las dietas artificiales permiten una forma constante de alimento. De esta manera los acuicultores pueden ser independientes de la variación en el abastecimiento de macroalgas sobre todo en las primeras etapas de desarrollo del abulón, en donde la presión de pastoreo es muy alta (Daume & Ryan, 2004). Adicionalmente algunas características a considerarse en las dietas son: valor nutricional, costo, abastecimiento estable, palatabilidad (importante en el mercado del producto), así como la fuente de proteína utilizada (Sang-Min *et al.*, 2004).

El desarrollo adecuado de una dieta artificial nutricionalmente balanceada y de bajo costo depende de la información en los reque-

rimientos nutricionales en las distintas especies de abulón (Sang-Min, 2004). En México, la formulación de dietas artificiales para el abulón es una actividad reciente (Viana *et al.*, 1993, 1996; Monje & Viana, 1998) ya que se carece de información sobre los hábitos alimentarios y requerimientos nutricionales de las especies mexicanas de abulón.

El conocimiento sobre dietas artificiales para abulón generado en otros países (Viana, 2002), debe tomarse solo como complemento a la información que se tiene para las especies de abulón que se distribuyen en México, debido a que los requerimientos nutricionales de cada especie difieren y la dieta que funcione a una especie podría no ser adecuada para otra.

Generalmente, el porcentaje de proteína incluida en las dietas artificiales del abulón es mayor que la que se encuentra de manera natural en las macroalgas, independientemente de la fuente proteica utilizada, ya sea que se suministre *Eisenia* sp. (18.5%) o *Laminaria* sp. (9%) (Hanh, 1989). Al contrario, las dietas artificiales presentan una composición similar: un alto contenido de proteína (20% - 50%) y de carbohidratos (30% - 60%), los cuales confieren el volumen a las dietas; proveen también baja cantidad de fibra cruda (entre el 0% y el 3%) y de lípidos (1.5% - 5.3%), así como de una mezcla de minerales (4% - 5%) (Fleming *et al.*, 1996).

Aunado a lo anterior, el porcentaje suministrado de alimento artificial varía entre 2% y 7% del peso húmedo del organismo, mientras que con dietas naturales (macroalgas) entre 10% y 30% (Hahn, 1989). Asimismo, es requerido un continuo y balanceado abastecimiento de proteínas y aminoácidos para el mantenimiento, crecimiento y salud del organismo, aunado a que el suministro adecuado de proteína es fundamental para no elevar los costos de la dieta. En las dietas artificiales, tradicionalmente se usa pescado como aporte principal de proteína, debido a su alto contenido y su buen balance en el perfil de aminoácidos esenciales. Sin embargo, el alto precio que hay que pagar por esta proteína de calidad no resuelve el problema en cuanto a la

disminución en los costos de producción del abulón, por lo que muchos estudios se han enfocado al uso de fuentes proteicas más económicas (Viana *et al.*, 1996), como lo son los productos de deshecho de las procesadoras comerciales de pescado (Sang-Min *et al.*, 2004).

El hecho de que la producción acuacultural del abulón en los últimos años haya aumentado considerablemente, llegando a representar el 43% de la producción mundial (Gordon & Cook, 2001) se atribuye en parte al uso de dietas formuladas en las cuales se incluyen proteínas de buena calidad (Sang-Min *et al.*, 2004). Un ejemplo es el trabajo de Viana *et al.* (1993), quienes alimentando a juveniles de *H. fulgens* (ocho meses) con *Macrocystis pyrifera* obtuvieron una tasa promedio de crecimiento diario de 16µm, que comparado con una dieta artificial a base de caseína fue de 45 µm, y con otra a base de pescado fue de 47 µm.

Del mismo modo, Corazani & Illanes (1998) trabajaron con abulón japonés (*H. discus hannai*), obteniendo el mejor crecimiento con dietas artificiales (pelets de pescado) vs. lo obtenido con dietas naturales (*Lessonia trabeculata*, *Macrocystis integrifolia* y *Ulva rigida*). Esto concuerda con la explicación de Hahn (1989) quien observó que la tasa de crecimiento de juveniles alimentados con dietas artificiales es usualmente más alta, porque esta formulación de dietas contiene la concentración apropiada de cada elemento, además de vitaminas y minerales. Aunque lo anterior evidencia la mayor eficiencia de las dietas artificiales en el cultivo de abulón, en algunos casos se ha observado lo contrario ya que Corazani & Illanes (1998) obtuvieron mayor crecimiento en juveniles de abulón rojo (*H. rufescens*) con una dieta de *Macrocystis integrifolia* que con una dieta artificial.

Con respecto a la mortandad utilizando dietas artificiales, tenemos que en un estudio con juveniles de *H. midae* (3.22 mm - 11.29 mm) y alimentados con una dieta a base de diatomeas oportunistas asentadas en los tanques y una dieta artificial (pelets con 35.5% proteína y 7% lípidos), la mortalidad de juveni-

les alimentados con diatomeas fue mayor (4% - 8%) que con pelets (2% - 5%) (Knauer *et al.*, 1996).

### Proteínas

Entre los ingredientes de las dietas artificiales las proteínas son muy importantes económicamente, debido a que, además de que el crecimiento del organismo puede estar más influenciado por la disponibilidad de proteína en la dieta, su costo es más alto en comparación con los lípidos o los carbohidratos (Sang-Min, 2004). En estudios donde se comprenden aspectos nutricionales, la determinación del requerimiento diario de proteína es generalmente considerado el primer paso; ya que éstas no sólo son el principal constituyente del cuerpo del organismo, sino que funcionan como enzimas y hormonas. Por otro lado, las proteínas requeridas en las dietas para las distintas especies de abulón, pueden variar dependiendo de la talla del abulón, del tiempo de suministro de la dieta, aminoácidos esenciales y tipo de cultivo (Sang-Min, 2004).

Se ha reportado que la caseína representa un buen aporte de proteína, por lo menos para la dieta de *Haliotis discus hannai*, pero utilizarla como fuente principal de proteína aumenta el costo de las dietas, por lo que fuentes de proteínas alternas y de bajo costo tales como ensilajes de pescado y de soya representan una ventaja económica en la formulación de dietas (Sang-Min *et al.*, 2004).

En diferentes países, las dietas artificiales del abulón contienen como fuente principal de proteína, ensilados de pescado, ensilados de soya desgrasados (o la combinación de ambas), caseína combinada tanto con ensilaje de pescado o de soya y caseína como fuente primaria de proteína. Aparte de éstos, muy pocos aportes alternativos de proteína han sido utilizados y generalmente no contribuyen significativamente como fuente proteica (Fleming *et al.*, 1996).

Los requerimientos de proteína no sólo se satisfacen con adicionar más cantidades de proteínas a la dieta (que podrían ser inadecuados), sino que es vital asegurar la alta calidad de la proteína antes de determinar los niveles de inclusión (Fleming *et al.*, 1996). Los factores que más afectan la utilización de las proteínas son, su digestibilidad, balance y disponibilidad de aminoácidos, así como la talla, el sexo, el genotipo del organismo. La formulación de las dietas artificiales deberían basarse en la disponibilidad de los nutrientes, en los ingredientes utilizados y los requerimientos de los organismos hacia estos nutrientes (Sang-Min, 2004); además de asegurar que la dieta tenga una mezcla balanceada de aminoácidos esenciales y no esenciales (Strain *et al.*, 2006). Así, se han hecho intentos por hacer dietas con los aminoácidos esenciales requeridos por el abulón (por lo menos 10 son esenciales); pero ello resulta muy complejo, a pesar de que los aminoácidos en el cuerpo proteico son relativamente estables (King *et al.*, 1996).

### Carbohidratos

El metabolismo de muchos gasterópodos se basa en la utilización de carbohidratos, debido a que en su dieta natural (macroalgas) son muy abundantes (Knauer *et al.*, 1996), representando así, entre el 40% y 50% en su dieta. El aprovechamiento se debe a que los abulones presentan varias enzimas capaces de hidrolizar carbohidratos complejos (Fleming *et al.*, 1996), tales como alginatos, laminarín y celulosa, aunado a que en el tracto digestivo se asocian bacterias específicas que ayudan a la digestión de éstos (Monje & Viana, 1998). Por lo que a pesar del bajo contenido energético que aparentemente aportan, son fundamentales en su dieta.

### Lípidos

Los lípidos en la dieta tienen un papel importante ya que proporcionan energía. Los ácidos grasos y lípidos solubles son nutrientes importantes para el crecimiento normal del organismo, que a diferencia de los organismos carnívoros, casi todos los herbívoros (incluido el abulón), pueden usar carbohidratos como fuente de energía, pero no pueden usar altos niveles de lípidos (Sang-Min, 2004).

Según Knauer *et al.* (1996), el crecimiento del abulón disminuye cuando los niveles diarios de lípidos en la dieta son mayores del 5%, debido quizá a la baja actividad de la lipasa. Sin embargo, en otros trabajos en donde los niveles utilizados de lípidos son del 9%, se presentan aceleradas tasas de crecimiento para *H. fulgens* en relación a dietas en donde se incluye únicamente un 1% de lípidos (macroalgas). De la misma manera en *H. tuberculata* y *H. discus hannai*, cuando se suministran bajos niveles de lípidos se producen bajas tasas de crecimiento. Por lo que las diferencias en el crecimiento podrían implicar otros factores nutricionales además de los lípidos (Viana *et al.*, 1993).

Estudios recientes han demostrado que los abulones son capaces de sintetizar ácidos grasos de cadena larga a partir de ácidos grasos de 18C, o bien son tomados de las bacterias presentes en el estómago (Viana, 2002).

#### Otras características

Aunque la formulación de una dieta nutricional es crucial para la acuicultura de abulón, el alimento artificial también debe simular ciertas características de las algas tales como su flotabilidad neutra y su distribución en todas las dimensiones del tanque. Además de evitar algunos problemas relacionados con el suministro de alimento en los tanques como son la eliminación de productos de desecho y la aireación (Fleming *et al.*, 1996). Así, uno de los problemas en el suministro de dietas artificiales es la estabilidad del alimento en el agua (Knauer *et al.*, 1996). Los pelets podrían ser una buena opción para la producción comercial del abulón, ya que han sido utilizados en países como China y Japón, y en otros están en desarrollo, como en Australia, Canadá, Chile, Corea, México, Nueva Zelanda, Sudáfrica, Tailandia y Estados Unidos (Britz, 1996). Por otra parte, algunos de los problemas de incluir dietas artificiales se relacionan con el sabor y composición nutricional del abulón, debido a que el contenido de lípidos en el músculo del abulón es bajo (pero alto en omega-3). Sin embargo son un aspecto importante que determina el sabor de los mariscos y

del pescado; y debido a que la composición de éstos en el músculo, puede variar con la dieta, el utilizar dietas artificiales que contengan aceites de pescado le confieren al músculo del abulón un sabor de pescado, a diferencia de cuando son alimentados con aceites vegetales. Asimismo, se pueden provocar cambios en la textura del músculo.

Estos factores deben ser considerados con respecto al mercado del producto, ya que es necesario alimentar al abulón con macroalgas por un periodo de tiempo, antes de salir a la venta, para asegurar la aceptación en el mercado y mantener la calidad del producto (Dunstan *et al.*, 1996), y siendo un mercado de primera calidad, la reputación del producto incluye la apariencia y el sabor del mismo (Oakes & Ponte, 1996).

#### DIETAS MIXTAS

La tendencia general observada en los estudios revisados indica que las dietas mixtas producen un mayor crecimiento que las dietas monoespecíficas, ya que en éstas se pueden presentar deficiencias en uno o más nutrientes, lo que produce un decremento en la tasa de crecimiento después de un periodo (Simpson & Cook, 1998); además de que los abulones se alimentan de manera natural de muchas especies de macroalgas y microalgas, las cuales presumiblemente representan una dieta balanceada (Viana *et al.*, 1996)

Un aspecto a considerar es que no solo la adición de diatomeas a la dieta es suficiente. Esto es, que pueden obtenerse resultados similares cuando se utilizan dietas que combinen dos o tres taxa de diatomeas. Sin embargo, en el trabajo de Gordon *et al.* (2005) con poslarvas de *H. discus asinina*, el crecimiento fue similar con una dieta mixta de *Navicula cf. lenzii* y *Amphora luciae* ( $35.5 \mu\text{m día}^{-1}$ ) que con una dieta en donde además se adicionó *Nitzschia laevis* ( $33.2 \mu\text{m día}^{-1}$ ). Así, el hecho de combinar más especies de diatomeas no implica que sea una dieta más adecuada.

Por otro lado, varias especies de diatomeas (dietas mixtas) pueden coexistir, sin embargo la concentración celular de cada una

de las especies puede variar entre cultivos monoespecíficos o mixtos, debido quizá a las sustancias extracelulares que secretan algunas especies de diatomeas como *Navicula incerta* (especie comúnmente utilizada en cultivos de abulón en México), o bien, pueden existir interacciones alelopáticas en diatomeas bentónicas debido a la acumulación de sustancias excretadas, las cuales afectan la tasa de crecimiento de otras especies de diatomeas (Carvajal-Miranda *et al.*, 2005).

Finalmente, en juveniles de *Haliotis laevigata* (mayores de 5 mm) se observó que con una dieta monoespecífica de *Ulva* sp., la tasa de crecimiento era menor comparada con la obtenida con dietas mixtas. Asimismo, con la clorofita *Ulva lens* en combinación con *Navicula jeffreyi* (diatomea) se presenta una tasa mayor de crecimiento que cuando sólo se incluye la clorofita (Strain *et al.*, 2006). Aunado a esto, se ha sugerido que una dieta que contenga una fuente proteica derivada de algas en combinación con una fuente proteica animal, produce mejor crecimiento, por lo menos en *Haliotis fulgens* y *H. asinina*. Esto se podría atribuir al hecho de que en las macroalgas algunos aminoácidos esenciales están ausentes o se encuentran en bajas cantidades, de manera que pueden ser compensados enriqueciendo con proteína animal (Sang-Min, 2004).

### CONCLUSIONES

A pesar de la importancia económica del abulón, existe una carencia importante de información sobre el papel nutricional que desempeñan tanto macroalgas como diatomeas en la dieta natural del abulón.

Las macroalgas contienen bajos niveles de proteína; de tal forma, el abulón podría satisfacer sus requerimientos o enriquecer su dieta con la ingestión de organismos epifitos (flora y fauna), los cuales muchas veces son subestimados al no considerarse como parte de la dieta.

Las dietas mixtas de diatomeas proveen más nutrientes esenciales a diferencia de dietas monoespecíficas, con las cuales se puede

presentar deficiencia en uno o más nutrientes. De tal forma, la elección empírica de pocas *taxa* podría no cumplir con los requerimientos nutricionales.

Una dieta artificial balanceada y de bajo costo, depende del conocimiento sobre los requerimientos nutricionales y las fuentes de alimento utilizadas por las distintas especies de abulón en el medio natural, lo cual está escasamente investigado.

Se debe considerar la naturaleza herbívora de los abulones y las implicaciones ecológicas, evolutivas y fisiológicas del cambio artificial de la dieta en donde se incluye únicamente una fuente de proteína animal.

La mayor parte del conocimiento en torno a los abulones se funda en la experiencia, resaltando así la falta de investigaciones científicas dirigidas a resolver la problemática detectada en los hábitos alimentarios del abulón.

### AGRADECIMIENTOS

Agradezco los comentarios hechos al manuscrito por Elisa Serviere Zaragoza, María del Pilar Sánchez Saavedra, Gerardo Aceves Medina, Christine Band Schmidt y David A. Siqueiros Beltrones. Al CONACYT por la beca otorgada y al Programa Institucional de Formación a Investigadores como parte de los proyectos CGPI-20060646 del Instituto Politécnico Nacional. La revisión por árbitros anónimos ayudó a mejorar la versión final de este manuscrito

### REFERENCIAS

- Argumedo-Hernández U. & D.A. Siqueiros-Beltrones. 2007. Cambios en la estructura de las asociación de diatomeas epifitas de *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Ag. *Acta Botánica Mexicana*, 82: 43-66.
- Britz, P.T. 1996. The suitability of selected protein source for inclusión in formulated diets for the South African abalone, *Haliotis midae*. *Aquaculture*, 140:63-73.

- Carreón-Palau, L., S.A. Guzmán del Prío, J. Beldar-Pérez, J. Carrillo-Laguna & R. Herrera-Fragoso. 2003. Microhábitat y biota asociada de juveniles de abulón *Haliotis fulgens* y *H. corrugata* en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. *Cienc. Mar.*, 29(3): 325-341.
- Carvajal-Miranda, M.J., M. del P. Sánchez-Saavedra & J.A. Simental. 2005. Effect of monospecific and mixed benthic diatom cultures on the growth of red abalone postlarvae *Haliotis rufescens* (Swainson 1822). *J. Shellfish Res.*, 24(2): 401-405.
- Corazani, D. & J.E. Illanes. 1998. Growth of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino 1953 and *Haliotis rufescens* Swainson 1822, fed with different diets. *J. of Shellfish Res.*, 17(3): 663-666.
- Correa-Reyes, J.G., M. del P. Sánchez-Saavedra, D.A. Siqueiros-Beltrones & N. Flores-Acevedo. 2001. Isolation and growth of eight strains of benthic diatoms, cultured under two light conditions. *J. Shellfish Res.*, 20(2): 603-610.
- Daume, S. & S. Ryan. 2004. Nursery culture of the abalone *Haliotis laevigata*: larval settlement and juvenile production using cultured algae or formulated feed. *J. Shellfish Res.*, 23(4): 967-974.
- Day, R.W. & A.E. Fleming. 1992. The determinants and measurement of abalone growth, 141-200. *En: Sheperd, M.J., M.J. Stegner & S.A. Guzmán del Prío (eds), Abalone of the World; biology, fisheries and culture.* Fishing News Books, Oxford, 608 pp.
- Dunstan, G.A., H.J. Baillie, S.M. Barrett & J.K. Volkman. 1996. Effect of diet on the lipid composition of wild and cultured abalone. *Aquaculture*, 140: 115-127.
- Ebert, E.E. & J.L. Houk, 1984. Elements and innovations in the cultivation of red abalone *Haliotis rufescens*. *Aquaculture*, 39: 375-392.
- Fleming, A., R.J. Van Barneveld & P.W. Hone. 1996. The development of artificial diets for abalone: A review and future directions. *Aquaculture*, 140: 5-53.
- Foster, S. M. & D. R. Schiel. 1985. *The ecology of giant kelp forests in California: A community profile.* U.S. Fish Wild. Serv. Biological Report 85 (7.2), 152 pp.
- Gordon, R. & P.A. Cook. 2001. World Abalone Supply, Markets and Pricing: historical, current and future. *J. Shellfish Res.*, 20(2): 567-570.
- Gordon, N., A. Neori, M. Shpigel, J. Lee & S. Harpaz. 2005. Effect of diatom diets on growth and survival of the abalone *Haliotis discus hannai* postlarvae. *Aquaculture*, En Prensa.
- Guzmán del Prío, S. 1992. A review of the biology of abalone and its fishery in México, 341-369. *En: Sheperd, M.J., M.J. Stegner & S.A. Guzmán del Prío (Eds), Abalone of the World; biology, fisheries and culture.* Fishing News Books, Oxford, 608 pp.
- Guzmán del Prío, S., E. Serviere-Zaragoza & D. Siqueiros-Beltrones. 2003. Natural Diet of Juvenile Abalone *Haliotis fulgens* and *Haliotis corrugata* (Mollusca:Gastropoda) in Bahía Tortugas, México. *Pacific Science*, 57(3): 319-324.
- Haaker, P.L., D.O. Parker, K.C. Barsky & C.S.Y. Chun. 1998. Growth of red abalone, *Haliotis rufescens* (Swainson), at Johnsons Let, Santa Rosa Island, California. *J. Shellfish Res.*, 17(3): 747-753.
- Hahn, K.O. 1989. Nutrition and growth of abalone, 135-156. *En: Hahn, K.O. (Ed.) Handbook of Culture of abalone and other marine gastropods.* CRC Press. Boca Raton, Florida, 348 pp.
- Jarayabhand, P. & N. Paphavasit. 1996. A review of the culture of tropical abalone with special reference to Thailand. *Aquaculture*, 140: 159-168.

- Kawamura, T., D.R. Roberts & H. Takami. 1998a. A review of the feeding and growth of postlarval. *J. Shellfish Res.*, 17(3): 615-626.
- Kawamura, T., D.R. Roberts & C.M. Nicholson. 1998b. Factors affecting the food value of diatom strains for post-larval abalone *Haliotis iris*. *Aquaculture*, 160: 81-88.
- King, R.H., Rayner, C.J., Kerr, M. Gorfine, H.K. & P.E. McShane. 1996. The composition and amino acid balance of abalone (*Haliotis rubra*) tissue. *Aquaculture*, 140: 109-113.
- Knauer, J., P.T. Britz & T. Hecht. 1996. Comparative growth performance and digestive enzyme activity of juvenile South African abalone *Haliotis midae*, fed on diatoms and a practical diet. *Aquaculture*, 140: 75-85.
- Lindberg, D.R. 1992. Evolution, distribution and systematics of Haliotidae, 3-18. *En: Sheperd, M.J., M.J. Stegner & S.A. Guzmán del Prío (eds) Abalone of the World; biology, fisheries and culture*. Fishing News Books, Oxford, 608 pp.
- Leighton, D.L. 2000. The biology and culture of the California abalones. Dorrance Publishing Co., Pittsburg, PA, 215. *En: Ponce-Díaz, G, S. Sánchez-Hernández & E. Yuen Sánchez. (Eds.) Alternativas para fortalecer la cadena productiva de la pesquería del abulón*. CIBNOR. México, 158 pp.
- López, L.M., P.A. Tyler & M.T. Viana. 1998. The effect of temperature and artificial diets on growth rates of juvenile *Haliotis tuberculata* (Linnaeus, 1758). *J. Shellfish Res.*, 17(3): 657-662.
- McBride, S. 1998. Current status of abalone aquaculture in the Californias. *J. Shellfish Res.*, 17(3): 593-600.
- McShane, P.E. 1992. Early life history of abalone: a review, 120-138. *En: Sheperd, M.J., M.J. Stegner & S.A. Guzmán del Prío (Eds.) Abalone of the World; biology, fisheries and culture*. Fishing News Books, Oxford, 608 pp.
- Monje, H. & M.T. Viana. 1998. The effect of cellulose on the growth and cellulolytic activity of abalone *Haliotis fulgens* when used as an ingredient in formulated artificial diets. *J. Shellfish Res.*, 17(3): 667-671.
- Oakes, F.R. & R.D. Ponte. 1996. The abalone market: Opportunities for cultured abalone. *Aquaculture*, 140: 187-195.
- Ponce-Díaz, G., E. Serviere-Zaragoza, I.S. Racotta, T. Reynoso-Granados, A. Mazariegos-Villareal, P. Monsalvo-Spencer & D. Lluch-Belda. 2004. Growth and tissue biochemical composition of *Haliotis fulgens* at elevated temperatures in Baja California under two dried brown algal diets, *J. Shellfish Res.*, 23(4): 1051-1058.
- Roberts, R.D., T. Kawamura & C.M. Nicholson. 1999. Growth and survival of postlarval abalone (*Haliotis iris*) in relation to development and diatom diet. *J. Shellfish Res.*, 18(1): 243-250.
- Rodríguez-Montesinos, Y.E. & G. Hernández-Carmona. 1991. Variación estacional y geográfica de la composición química de *Macrocystis pyrifera* en la costa occidental de Baja California. *Cienc. Mar.*, 17(3): 91-107.
- Salas-Garza, A.E. & R. Searcy-Bernal. 1990. Desarrollo y estado actual del cultivo del abulón en México, 538-545. *En: Sheperd, M.J., M.J. Stegner & S.A. Guzmán del Prío (Eds.) Abalone of the World; biology, fisheries and culture*. Fishing News Books, Oxford, 608 pp.
- Sang-Min, L. 2004. Utilization of dietary protein, lipid, and carbohydrate by abalone *Haliotis discus hannai*: a review. *J. Shellfish Res.*, 23(4): 1027-1030.

- Sang-Min, L., K. Kyoung-Duck & K. Tae-Jin. 2004. Utilization of fermented skipjack tuna viscera as a dietary protein source replacing fish meal or soy bean meal for juvenile abalone *Haliotis discus hannai*. *J. Shellfish Res.*, 23(4): 1059-1064.
- Sawatpeerra, S., E.S. Upatham, M. Kruatrachue, V. Ingsrisawang, T. Singhagrawan, Y.P. Chitramvong & K. Parkpoomkamol. 1998. Determination of gut contents of thai abalone *Haliotis asinina* Linnaeus. *J. Shellfish Res.*, 17(3): 765-769.
- Searcy-Bernal, R. A.E. Salas-Garza, R. Flores-Aguilar & P.R. 1992a. Simultaneous comparison methods for settlement and metamorphosis induction in the red abalone (*Haliotis rufescens*). *Aquaculture*, 105: 241-250.
- Searcy-Bernal, R. A.E. Salas-Garza & R. Flores-Aguilar. 1992b. Investigaciones en México sobre la etapa crítica de la producción de semilla de abulón (*Haliotis* spp.), 547-560. *En*: Sheperd, M.J., M.J. Stegner & S.A. Guzmán del Prío (Eds.) *Abalone of the World; biology, fisheries and culture*. Fishing News Books, Oxford, 608 pp.
- Serviere-Zaragoza, E., D. Gómez-López, & G. Ponce-Díaz. 1998. The natural diet of green abalone (*Haliotis fulgens* Philippi) in the Southern part of its range, Baja California Sur, Mexico, assessed by an analysis of gut contents. *J. Shellfish Res.*, 17(3): 777-782.
- Serviere-Zaragoza, E., D. G. Gómez-López, & G. Ponce-Díaz. 2002. Gross chemical composition of three common macroalgae and a sea-grass on the Pacific coast of Baja California, Mexico. *Hidrobiológica*, 12(2): 113-118.
- Simental, J.A., M.P., Sánchez-Saavedra & N. Flores-Acevedo. 2004. Growth and survival of juvenile red abalone (*Haliotis rufescens*) fed with macroalgae enriched with a benthic diatom film. *J. Shellfish Res.*, 23(4): 995-999.
- Simpson, B.J. & P.T. Cook. 1998. Rotation diets: a method of improving growth of cultured abalone using natural algal diets. *J. Shellfish Res.*, 17(3):635-640.
- Siqueiros-Beltrones, D.A. 2002a. *Diatomeas bentónicas de la península de Baja California; diversidad y potencial ecológico*. SEP-UABCS-IPN-CICIMAR. México, 102 pp.
- Siqueiros-Beltrones, D.A. 2002b. Succession of benthic diatom assemblages in culture buckets for abalone (*Haliotis* spp.) post-larvae, 421-441. *En*: John, J. (Ed.). *Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Diatom Symposium*. Perth, W. Australia (28 September–2 October 1998).
- Siqueiros-Beltrones & Valenzuela-Romero. 2001. New records of benthic diatoms from natural grazing surfaces of abalone (*Haliotis* spp.) in the Baja California Peninsula. *CICIMAR Océánides*, 16(2): 107-125.
- Siqueiros Beltrones, D.A. & D. Voltolina. 2000. Grazing selectivity of red abalone *Haliotis rufescens* post-larvae on benthic diatom films under culture conditions. *J. World Aquacult. Soc.*, 31(2): 239-246.
- Siqueiros-Beltrones, D.A, E. Serviere-Zaragoza & U. Argumedo-Hernández. 2001. First record of the diatom *Cocconeis notata* Petit living inside the hydroteca of a hydrozoan epiphyte of *Macrocystis pyrifera* (L.) C. AG. *CICIMAR Océánides*, 16(2): 135-138.
- Siqueiros-Beltrones, D.A, E. Serviere-Zaragoza & U. Argumedo-Hernández. 2002. Epiphytic diatoms of *Macrocystis pyrifera* (L.) C. AG. from the Baja California Peninsula, México. *CICIMAR Océánides*, 17(1): 31-39.
- Siqueiros-Beltrones, D.A. & G. Valenzuela-Romero. 2004. Benthic diatoms as-

- semblages in an abalone (*Haliotis* spp.) habitat in the Baja California Peninsula. *Pacific Science*, 58 (3): 435-446.
- Siqueiros-Beltrones, D. A., G. Valenzuela-Romero, O. Hernández Almeida, U. Argumedo-Hernández & F. O. López Fuerte. 2004. Catálogo iconográfico de diatomeas de hábitats rocosos y su incidencia en la dieta de abulones (*Haliotis* spp.) jóvenes de Baja California Sur, México. *CICIMAR Océanides*, 19(2): 1-79.
- Siqueiros-Beltrones, D.A, S. Guzmán del Prío & E. Serviere-Zaragoza. 2005. Main diatom taxa in the natural diet of juvenile *Haliotis fulgens* and *H. corrugada* (Mollusca: Gastropoda) in Bahía Tortugas and Bahía Asunción, B.C.S., México. *Pac. Sci.*, 59(4): 581-592.
- Siqueiros-Beltrones, D.A. & U. Argumedo-Hernández. 2005. Florística de diatomeas epifitas en láminas apicales de *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Ag. *CICIMAR Océanides*, 20(1,2): 37-63.
- Strain, L.W., M.A. Borowitzka & S. Daume. 2006. Growth and survival of juvenile greenlip abalone feeding on germlings of the macroalgae *Ulva* sp. *J. Shellfish Res.*, 25(1): 239-248.
- Takami, H.T. Kawamura & Y. Yamashita. 1998. Development of polysaccharide degradation activity in postlarval abalone *Haliotis discus hannai*. *J. Shellfish Res.*, 17(3): 723-727.
- Tutschulte, T.C. & J.H. Connell. 1988. Feeding behavior and algal food of three species of abalone (*Haliotis*) in southern California. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 49: 57-64.
- Upatham, E.S., S. Sawatpeera, M. Kruatrachue, Y.P. Chitramong, T. Singhagravan, T. Pumthong & P. Jarayabhand. 1998. Food utilization by *Haliotis asinina* Linnaeus. *J. Shellfish Res.*, 17(3): 771-776.
- Viana, M.T. 2002. Avances en la nutrición, fisiología digestiva y metabolismo del abulón. *En: Cruz-Suárez, L. E., Rique-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés & M.G. Simoes, N. (Eds.) Avances en nutrición acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 3 al 6 de septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México.*
- Viana, M.T., L.M. López & A. Salas. 1993. Diet development for juvenile abalone *Haliotis fulgens*: Evaluation of two artificial diets and macroalgae. *Aquaculture*, 117: 149-156.
- Viana, M.T., López, L.M, García-Esquivel, Z. & E. Méndez. 1996. The use of silage made from fish and abalone viscera as an ingredient in abalone feed. *Aquaculture*, 140: 87-98.
- Werner, D (Ed). 1977. Botanical Monographs Vol. 13. *The Biology of Diatoms*. University of California Press. Gran Bretaña, 497 pp.