

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

" Efecto de tres densidades de cultivo en la sobrevivencia
y crecimiento de juveniles de abulón rojo *Haliotis*
rufescens en un laboratorio comercial "



TESIS
QUE PARA OBTENER EL
TITULO DE
OCEANOLOGO
PRESENTA:

ALEJANDRA A. VALDÉS URRIOLAGOITIA

RESUMEN

Se probó el efecto de tres densidades de cultivo en la sobrevivencia y el crecimiento del abulón rojo *Haliotis rufescens* de 152 días de edad (ca. 4 mm de longitud). El experimento se realizó en las instalaciones de la granja de Abulones Cultivados S. de R. L. de C. V. localizada en Eréndira, B. C., México.

Las densidades experimentales fueron 0.18, 0.29 y 0.41 abulones/cm², utilizando tanques de 250 l distribuidos en columnas por cuadruplicado. El experimento tuvo una duración de 60 días para las densidades baja y media y de 40 días para la densidad alta. La alimentación fue con la dieta artificial usada en la empresa, y la temperatura promedio fue de 17.8°C.

La sobrevivencia se determinó con base en el número de conchas colectadas después de cada limpieza y fue alta en todos los casos (97.7, 98.7 y 99 % para las densidades baja, media y alta, respectivamente).

La evaluación del crecimiento se realizó mediante el análisis digital de imágenes videograbadas. Las densidades baja y media presentaron el mayor crecimiento a lo largo del experimento (37.79 y 33.33 μ /día, respectivamente). En la densidad alta se registró el menor crecimiento (19.44 μ /día) y se produjo una coloración anormal en la concha de los abulones, por lo que se cosecharon a los 40 días del inicio del experimento.

Con base en este trabajo se modificó la densidad usada en la empresa para cultivar juveniles de esta talla de 1,500 a 4,000 abulones por tanque, es decir, de 0.09 a 0.24 abulones/cm².

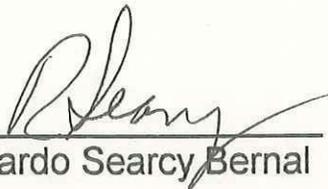
“Efecto de tres densidades de cultivo en la sobrevivencia
y crecimiento de juveniles de abulón rojo
Haliotis rufescens en un laboratorio comercial”

TESIS

QUE PRESENTA:

ALEJANDRA ANTONIETA VALDÉS URRIOLAGOITIA

APROBADA POR:



Dr. Ricardo Searcy Bernal

PRESIDENTE DEL JURADO



M.C. Casandra Anguiano Beltrán

SINODAL PROPIETARIO



M.C. Carlos Granados Machuca

SINODAL PROPIETARIO

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi Madre Lourdes en agradecimiento por el apoyo y el amor que me has brindado todos estos años y en especial por que me diste la vida.

A Eduardo por que sabes lo una carrera científica es y por que con hechos me has demostrado a lo largo de 25 años que en la vida hay que ser de una sola pieza coherente a nuestros principios. Tengo un enorme cariño y respeto por ti.

A mi Padre José Luis te agradezco el amor que me imbuíste al océano y a todas sus criaturas, así como el gran espíritu aventurero que poseo. Me enseñaste que al mar no hay que temerle, si no respetarlo. Te agradezco el apoyo, el cariño y las bellas noches estrelladas.

A mis hermanas Lourdes, Melba y Zeina por que siempre han sido mis mejores amigas y también me apoyaron mucho para llegar a concluir este proyecto. A ustedes por que siempre que las he necesitado ahí están, no importa que tan lejos se encuentren.

También deseo dedicarle este trabajo a mi primer sobrina Sofía, para que sea un incentivo para que también tu termines una carrera y alcances las metas que te forjes en el camino de tu vida. Estudia mucho para que seas una profesional.

Agradecimientos

Agradezco a mi director de Tesis el Dr. Ricardo Searcy Bernal por la paciencia y el interés que siempre mostró durante la elaboración de este proyecto.

Agradezco a los sinodales M. C. Cassandra Anguiano Beltrán y M. C. Carlos Granados Machuca por sus valiosas contribuciones para enriquecer este trabajo.

A la empresa Abulones Cultivados, en especial a su director Ing. Benito Altamira por su apoyo incondicional para la realización de este trabajo.

A el Oc. Enrique Vázquez Moreno, gerente de producción de Abulones Cultivados, por la enorme enseñanza que me brindó durante mi estancia en la empresa, así como su valiosa ayuda para el desarrollo del experimento.

A todos mis compañeros de trabajo de Abulones Cultivados, que me apoyaron en todo momento.

Por supuesto que agradezco a toda mi familia por creer en mi y apoyarme durante este largo proceso de realización personal.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Antecedentes.....	5
1.3 Objetivo.....	10
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
2.1 Descripción y operación del sistema de cultivo.....	11
2.2 Diseño del experimento.....	16
2.3 Evaluación de la sobrevivencia.....	19
2.4 Evaluación del crecimiento.....	19
2.5 Procesamiento de imágenes.....	20
2.6 Análisis de datos.....	20
3. RESULTADOS.....	21
3.1 Sobrevivencia.....	21
3.2 Longitud.....	25
3.3 Crecimiento.....	28
4. DISCUSIÓN.....	32
4.1 Parámetros físico-químicos del experimento.....	32
4.2 Sobrevivencia.....	32
4.3 Crecimiento.....	33
5. CONCLUSIONES.....	42
6. RECOMENDACIONES.....	43
7. LITERATURA CITADA.....	44

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Densidad inicial de abulón rojo (<i>Haliotis rufescens</i>) en cada tanque experimental.....	18
Tabla II. Porcentaje de sobrevivencia de juveniles de abulón rojo (<i>H. rufescens</i>) en tres densidades de cultivo.....	22
Tabla III. Mortalidad por tanque (con base en conchas colectadas) en dos periodos entre rutinas de limpieza. Se incluyen los resultados del análisis de Kruskal-Wallis.....	24
Tabla IV. Longitud (mm) de juveniles de abulón rojo (<i>H. rufescens</i>) por tratamiento en los días muestreados y resultados de los ANOVAs practicados.....	26
Tabla V. Tasas de crecimiento (μ /mdía) por periodo de muestreo en juveniles de abulón rojo (<i>H. rufescens</i>) en tres densidades de cultivo.....	29
Tabla VI. Datos de crecimiento obtenidos para juveniles de abulón rojo (<i>H. rufescens</i>) reportados en la literatura	38

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localización de la empresa Abulones Cultivados S. de R. L. de C. V., en Eréndira, B.C. 12
- Figura 2.** Tanque de cultivo de poslarvas y juveniles de abulón de la empresa Abulones Cultivados..... 13
- Figura 3.** Módulo de cultivo de poslarvas y juveniles de abulón en la empresa Abulones Cultivados dónde se aprecian las columnas de cuatro tanques..... 14
- Figura 4.** Porcentaje de sobrevivencia de juveniles de abulón rojo (*H. rufescens*) en tres diferentes densidades de cultivo durante el periodo experimental..... 23
- Figura 5.** Longitud (mm) de *H. rufescens* en tres densidades de cultivo durante el experimento. Las barras verticales representan errores estándar..... 27
- Figura 6.** Tasas de crecimiento de juveniles de *H. rufescens* en tres densidades de cultivo durante dos periodos de evaluación. Las barras verticales son errores estándar..... 31

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

El abulón es un molusco gasterópodo bentónico característico de aguas templadas que se alimenta de algas marinas. Existen aproximadamente 100 especies de abulón en el mundo y todas pertenecen al género *Haliotis* spp. De éstas, la mayoría son demasiado pequeñas o demasiado raras, y solo diez tienen una importancia comercial a nivel mundial (Hahn, 1989).

Éste recurso ha sido explotado comercialmente desde hace unos 120 años. La intensificación y eficiencia en la captura comercial, junto con la baja tasa de crecimiento que presenta, ha dado como resultado un decremento en sus poblaciones a nivel mundial en los últimos años (Chen 1984; Leighton, 1974; Ebert y Houk, 1984).

Dada la importancia económica del abulón como recurso pesquero por su alto precio en el mercado internacional, y a la sobre explotación de la que ha sido objeto, la mayoría de los países que lo extraen han dedicado un gran esfuerzo a promover su cultivo. Desde hace más de 40 años, en Japón se han realizado actividades de cultivo de abulón, produciendo los juveniles en el laboratorio debido a que su captación del medio natural es prácticamente imposible (Chen, 1984; Hahn, 1989).

En México existen seis especies comerciales de abulón, entre las cuales destaca el abulón rojo (*Haliotis rufescens*), del cual se han encontrado los ejemplares más grandes con tallas de más de 30 cm de longitud. El abulón

rojo, al igual que las demás especies, es de lento crecimiento y tarda aproximadamente de 6 a 8 años en alcanzar una longitud de 12 cm (Ebert y Houk, 1984; Hahn, 1989).

El abulón es un recurso de gran importancia económica para Baja California debido a la gran demanda y a su alto precio en el mercado. A partir de la década de los 70's se comenzaron a hacer esfuerzos por conocer su biología; sin embargo, fué hasta la siguiente década cuando estos esfuerzos tomaron mayor fuerza (Salas-Garza y Searcy-Bernal, 1992).

En 1984, se inició en México la operación de dos laboratorios para la producción de semilla destinada al repoblamiento natural en el Ejido Eréndira, B. C., y Bahía Tortugas, B. C. S. A partir de 1985, el Instituto de Investigaciones Oceanológicas (I.I.O.) de la Universidad Autónoma de Baja California (U.A.B.C.) inició estudios para mejorar las técnicas de cultivo en laboratorio y campo (Searcy-Bernal *et al.*, 1988). A raíz de dichos estudios se desarrolló un experimento de escala piloto-comercial en la Isla de Todos Santos, B. C., que dió lugar al primer proyecto a nivel comercial en 1993 con la formación de la empresa Abulones Cultivados S. de R. L. de C.V., que actualmente desarrolla todas las fases de producción en el cultivo de abulón rojo en el ejido Eréndira (Flores-Aguilar, 1989; Pérez-Muñoz, 1995).

Dentro de las técnicas de cultivo, la producción de semilla es fundamental, por lo que los factores que influyen en la mortalidad y crecimiento en esta etapa deben ser claramente entendidos (Chen, 1984; Hahn, 1989).

El cultivo del abulón (*Haliotis* spp) comienza con una fase de laboratorio que dura de 9 meses a un año, para la producción de la semilla. El cultivo larval se lleva a cabo en cubetas o tambos con una columna de agua suficiente para que nade la larva. El sistema puede ser abierto o cerrado y con recambios frecuentes de agua (Ebert y Houk, 1984; Hahn, 1989). Como en el cultivo de otros moluscos, la etapa más crítica de la producción de semilla de abulón es el proceso de inducción al asentamiento y metamorfosis, que ocurre aproximadamente una semana después de la fertilización y que posteriormente da lugar a lo que llamamos la etapa poslarval (Searcy-Bernal *et al.*, 1988). Los investigadores japoneses fueron los primeros en señalar esa etapa crítica como un factor primordial que controlar en el cultivo de abulón (Kan-no, 1975; Uki, 1989).

Para inducir al asentamiento existen varias técnicas como la exposición de la larva a diatomeas bentónicas, al ácido gamma aminobutírico (GABA) y/o al mucus de abulón adulto (Ebert y Houk, 1984; Hahn, 1989; Searcy-Bernal *et al.* 1992). Este proceso se lleva a cabo cuando las larvas son competentes y tienen un comportamiento alternado de natación y reptación. Para el asentamiento normalmente se usan tanques que proveen mayor superficie para la fijación. En esta etapa las poslarvas se alimentan de microalgas (diatomeas bentónicas) (Chen, 1984; Ebert y Houk, 1984; Genade *et al.*, 1988; Martínez-Ponce, 1998; Castro-Gálvez, 1999).

Una vez que se les forma el primer poro respiratorio (aproximadamente a los 2 meses a partir del asentamiento) se les denomina juveniles y el crecimiento aumenta notablemente (Ebert y Houk, 1984). Los que logran llegar a esta etapa (aproximadamente del 10 - 20% de las poslarvas iniciales), alcanzan sobrevivencias posteriores entre el 90 - 99% (Ebert y Houk, 1984; Hahn, 1989).

La producción de la empresa Abulones Cultivados consiste en cuatro etapas: el cultivo de larvas, el cultivo de poslarva y juveniles, la preengorda y finalmente la engorda. El cultivo de poslarva y juveniles se lleva a cabo en un área externa semi-protegida en tanques circulares de fibra de vidrio (250 L) que están dispuestos en columnas de cuatro tanques cada una (Flores-Aguilar, 1989).

Los juveniles se cultivan a densidades de 1,500 abulones por tanque (0.09 abulones/cm²), y a partir de los 4 meses de edad se les alimenta exclusivamente con una dieta artificial para engorda de peces, de nombre Aquadine. La sobrevivencia en esta etapa es de 88-98 % (Oc. E. Vázquez Moreno, com. pers.)¹

El crecimiento de la empresa hace necesario experimentar con mayores densidades de organismos en esta etapa, ya que por la falta de espacio para la creciente producción de poslarva se mandan a preengorda individuos de

¹ Oc. Enrique Vázquez Moreno, gerente de producción de Abulones Cultivados S.de R. L. de C. V., Eréndira, B. C.

tallas de aproximadamente 4 mm, que aún no están en condiciones para el cambio a tanques de preengorda masiva, donde se les cambia la dieta abruptamente de alimento artificial a macroalgas.

1.2 Antecedentes

Muchos factores intervienen en el crecimiento de los juveniles de abulón incluyendo la densidad, la alimentación, la temperatura, así como otras condiciones de cultivo (Leighton, 1974; Koike *et al*, 1979; Chen, 1984, Hahn, 1989). Las tasas de crecimiento y los factores que lo afectan son probablemente el elemento de mayor importancia económica en el cultivo de abulón, ya que los costos disminuyen mientras mayor es el crecimiento (Leighton y Boolootian, 1963; Clavier, 1982; Hahn, 1989; Uki, 1989; Day y Fleming, 1992).

Leighton (1974), reportó el crecimiento de cuatro especies de abulón a diferentes temperaturas, durante un periodo de catorce meses a partir del asentamiento. El crecimiento promedio del abulón rojo (*H. rufescens*) fué de 55 $\mu\text{m}/\text{día}$ de 14 a 18°C. Para el abulón amarillo (*H. corrugata*) se reportó un crecimiento de 75 $\mu\text{m}/\text{día}$ a temperaturas de 15 a 22°C. El abulón azul (*H. fulgens*) tuvo un crecimiento de 61.66 $\mu\text{m}/\text{día}$ a temperaturas de 16 a 24°C y el abulón chino (*H. sorenseni*) creció 68.33 $\mu\text{m}/\text{día}$ en 14 a 18°C. La mayor tasa de crecimiento obtenida para el abulón rojo fué de 90 $\mu\text{m}/\text{día}$ a 18° C.

Kioke *et al.* (1979) realizaron un importante trabajo enfocado al efecto de la densidad en el crecimiento de juveniles de *H. tuberculata* de 7 mm de longitud y cultivados en seis densidades (0.008, 0.063, 0.125, 0.250, 0.375 y 0.500 abulones/cm²), sugiriendo que la disminución del crecimiento con la densidad es de forma exponencial. Concluyen que una densidad de 0.25 a 0.37 abulones/cm² es razonable para la producción masiva de juveniles.

Leighton *et al.* (1981), reportan el crecimiento de juveniles de *H. fulgens* de 3-5 mm en tanques circulares de 1300 L de capacidad a una densidad de 5000 por tanque (no menciona el área de los tanques) obteniendo un promedio de 86.66 μ m/día.

Chen (1984), menciona que la densidad óptima de cultivo de la semilla de *H. diversicolor supertexta* en Taiwan, depende en gran medida de su tamaño, estación del año y técnica de cultivo; y que el mejor crecimiento de juveniles de aproximadamente 5 mm, se obtiene a una densidad de 0.036 abulones/cm² con una tasa de crecimiento de 133 μ m/día.

Ebert y Houk (1984) reportaron un crecimiento de abulón rojo de 66.66 μ m/día en el primer año de cultivo (15°C). Más tarde, Ebert y Houk (1989), reportaron un crecimiento de 50 μ m/día también para el primer año de vida del abulón rojo.

Douros (1985), realizó una investigación de campo transfiriendo abulones (*H. rufescens*) de un banco en una zona intermareal con alta densidad, hacia

una zona con una baja densidad de organismos, y no encontró diferencias significativas en el crecimiento; sin embargo, en el tratamiento donde la densidad inicial era baja se encontró un mayor número de abulones sexualmente maduros.

Peck *et al.*, (1987) mencionan que la densidad de organismos por tanque tiene un efecto marcado en las tasas de crecimiento de poslarvas y juveniles de *H. tuberculata*, pero no mencionan detalles sobre esta relación.

Yoo *et al.* (1988) realizaron un trabajo con juveniles de 14-24 mm de *H. discus hannai* a tres densidades de cultivo, 0.1, 0.2 y 0.3 abulones/cm² y encontró tasas de crecimiento de 59.2, 56.2 y 53.8 $\mu\text{m}/\text{día}$, respectivamente.

Hahn (1989) indica que se puede incrementar la tasa de crecimiento de algunas especies de abulón en condiciones controladas de laboratorio, y reporta crecimientos de 88 $\mu\text{m}/\text{día}$ para *H. fulgens* a 27° C; 77 $\mu\text{m}/\text{día}$ para abulón rojo a 18° C y de 63.7 $\mu\text{m}/\text{día}$ para *H. corrugata* a 21° C.

McMullen y Thompson (1989) trabajaron con juveniles de *H. rufescens* de 6 mm en tanques de 189 l con densidades de 2000 abulones/tanque, pero no proporcionan tasas de crecimiento.

Day y Fleming (1992) mencionan que el efecto de la densidad en el crecimiento de abulón ha recibido muy poca atención y que se ha probado que densidades altas reducen el crecimiento considerablemente. Ellos realizaron un experimento en campo y laboratorio sobre los prejuicios en los métodos de medición del crecimiento para *H. rubra*, y encontraron una

enorme variación en las tasas de crecimiento argumentando que dependen tanto del valor nutricional del alimento como de la tasa de alimentación.

Greenier (1991) realizó un experimento con tres densidades de abulón rojo de 11 mm (0.019, 0.057 y 0.14 abulones/cm²), concluyendo que la densidad afecta de manera importante al crecimiento del abulón. Menciona que incrementar la tasa de crecimiento es el principal objetivo en las granjas de abulón, y que existe muy poca información sobre el efecto que tiene la densidad en el crecimiento del abulón rojo.

Greenier y Takekawa (1992) probaron tres densidades de abulón rojo (0.019, 0.039 y 0.142 abulones/cm²) de aproximadamente 11 mm, y obtuvieron una tasa media de crecimiento de 12.44 µm/día, aunque sus resultados fueron para realizar modelos matemáticos de crecimiento y no discuten sobre el efecto de la densidad.

El crecimiento reportado por Leitman (1992) para ejemplares de abulón rojo de 12 mm fué de 15.8 µm/día a una saturación gaseosa de 100%, y encontró que el mejor crecimiento es a 105% (22.1 µm/día).

Salas-Garza y Searcy-Bernal (1992) realizaron un experimento de 18 meses de duración con abulones rojos de 20 a 31 mm de longitud obteniendo una sobrevivencia de 80% y un crecimiento de 75 µm/día.

Mgaya y Mercer (1995) reportaron el efecto de tres densidades de cultivo en el crecimiento de *H. tuberculata* de 15 mm (0.039, 0.068 y 0.124

abulones/cm²), y concluyeron que el crecimiento disminuye exponencialmente con la densidad.

Moss (1997) realizó un experimento con diferentes dietas en juveniles de *H. australis* de 3 a 6 mm de longitud a una densidad de 0.048 abulones/cm², y encontró el mayor crecimiento con la dieta de diatomeas bentónicas (60 µm/día). También concluyó que el mejor momento para cambiar a dieta de macroalgas es cuando los juveniles alcanzan los 7 mm de longitud.

Corazani e Illanes (1998) realizaron un experimento de nueve meses de duración con *H. rufescens* de 35 mm de longitud reportando un crecimiento de 56.66 µm/día.

Capinpin *et al.* (1999) hicieron tres estudios del efecto de la densidad de cultivo en el crecimiento de diferentes tallas de abulones de *H. asinina*. En el experimento con la menor talla (16-20 mm de longitud) se probaron dos densidades de cultivo (0.011 y 0.045 abulones/cm²), obteniendo valores de 140 y 87 µm/día respectivamente.

Castro-Gálvez (1999) realizó un experimento con poslarvas de abulón azul para probar dos métodos de inducción. A los 127 días reportó que el mejor crecimiento se observó en los estanques de menor densidad, reportando un crecimiento de 30 µm/día a una densidad de 0.05 abulones/cm².

El método de evaluación del crecimiento que se utiliza durante este experimento se basa en el análisis digital de imágenes videograbadas. Este método ha sido probado exitosamente en otros estudios con abulones

postlarvales y de talla comercial (Vilchis-Guajardo, 1998; Martínez-Ponce, 1998; Searcy-Bernal y Anguiano-Beltrán, 1998; Esparza-Hernández, 1999; Vélez-Espino, 1999). Este estudio constituye el primer esfuerzo para aplicar este método con abulones juveniles y en los propios tanques de cultivo (*in situ*).

Este trabajo de tesis forma parte de un proyecto del Instituto de Investigaciones Oceanológicas, a cargo del Dr. Ricardo Searcy Bernal, que comenzó en abril de 1993.

1.3 Objetivo

El objetivo de este trabajo es determinar el efecto de tres densidades de cultivo en la sobrevivencia y el crecimiento de juveniles de abulón rojo (*H. rufescens*) en un experimento a escala comercial.

La hipótesis central del trabajo es que se puede usar una densidad de cultivo mayor que la utilizada por la empresa Abulones Cultivados en juveniles de aproximadamente 4 mm, sin afectar de manera importante su sobrevivencia y crecimiento.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción y operación del sistema de cultivo

La fase experimental se realizó en el periodo de septiembre a noviembre de 1996 en el laboratorio de producción de semilla de abulón rojo (*Haliotis rufescens*), de la empresa privada Abulones Cultivados. Este laboratorio está ubicado en el ejido Eréndira, 85 km al sur de la ciudad de Ensenada, B. C. (Figura 1), y está planeado para tener una producción anual de 2 millones de semillas de abulón de 1.5 cm de longitud (Flores-Aguilar, 1989).

El experimento se llevó a cabo en el área de poslarva y juveniles, que consta de 800 tanques redondos de fibra de vidrio con capacidad de 250 L y un área de 19,870.56 cm², de los cuales aproximadamente 17,000 son de área bajo el agua (diámetro de 1.10 m, altura en pared de 30 cm y altura en el centro de 35 cm). En el centro tienen un orificio de 4 cm de diámetro donde se coloca un tubo de PVC de 30 cm de longitud que mantiene el nivel de agua en el tanque y por el cual se drena el agua para lavarlos (Figura 2).

Esta área de producción consiste en módulos con columnas de cuatro tanques cada una, en las cuales el agua sale del nivel superior y cae a manera de cascada hasta el nivel inferior a través del tubo de nivel (Figura 3).

El abastecimiento de agua de mar para toda la planta es por medio de una bomba de 60 HP a razón de 3,100 L/min. El agua pasa por tres filtros de arena marca Spark antes de llegar a dos tanques de almacenamiento de 180,000 L cada uno. Con la ayuda de dos bombas de 3 HP, el agua se

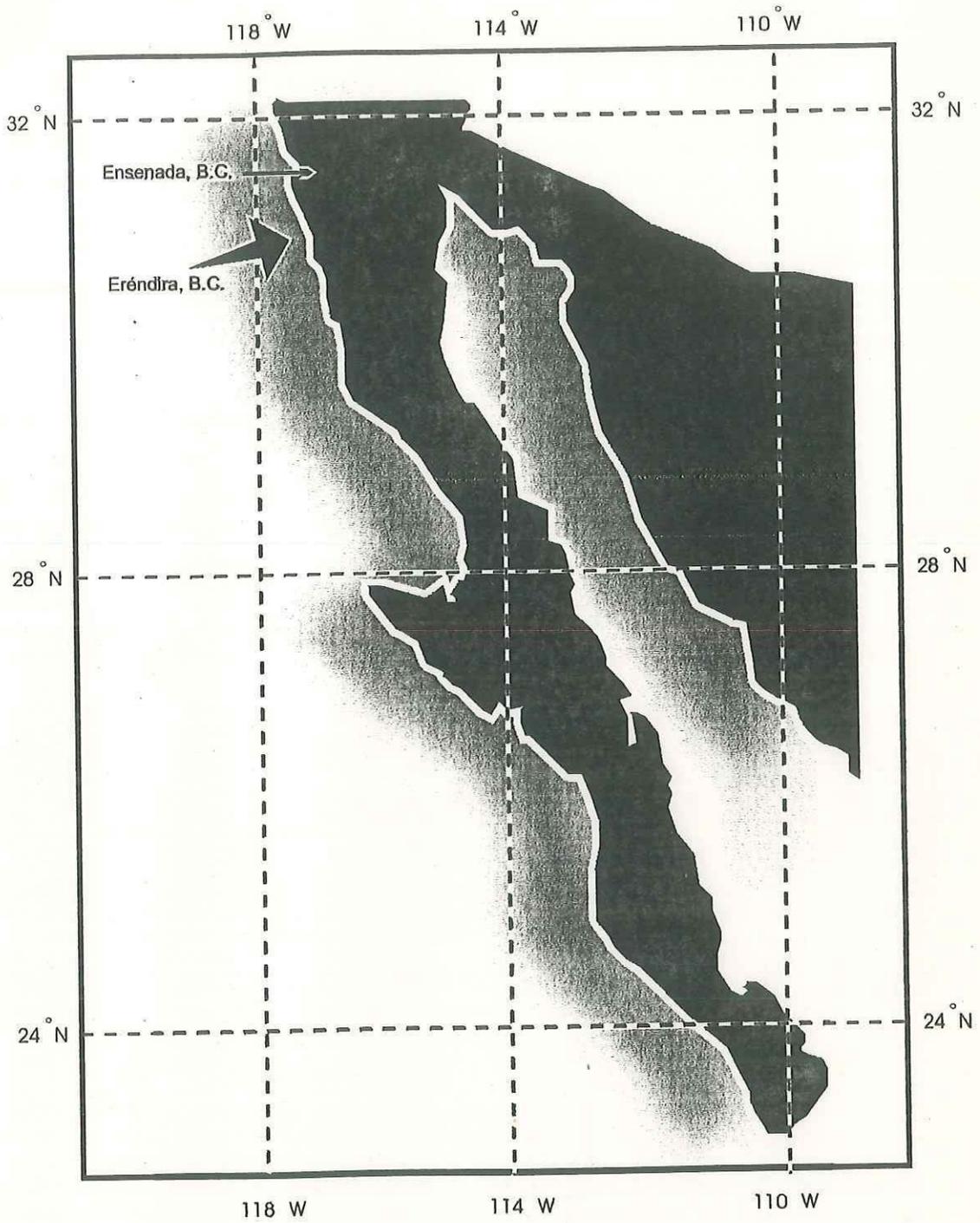


Figura 1. Localización de la empresa Abulones Cultivados S. de R.L. de C.V., en Eréndira, B.C.

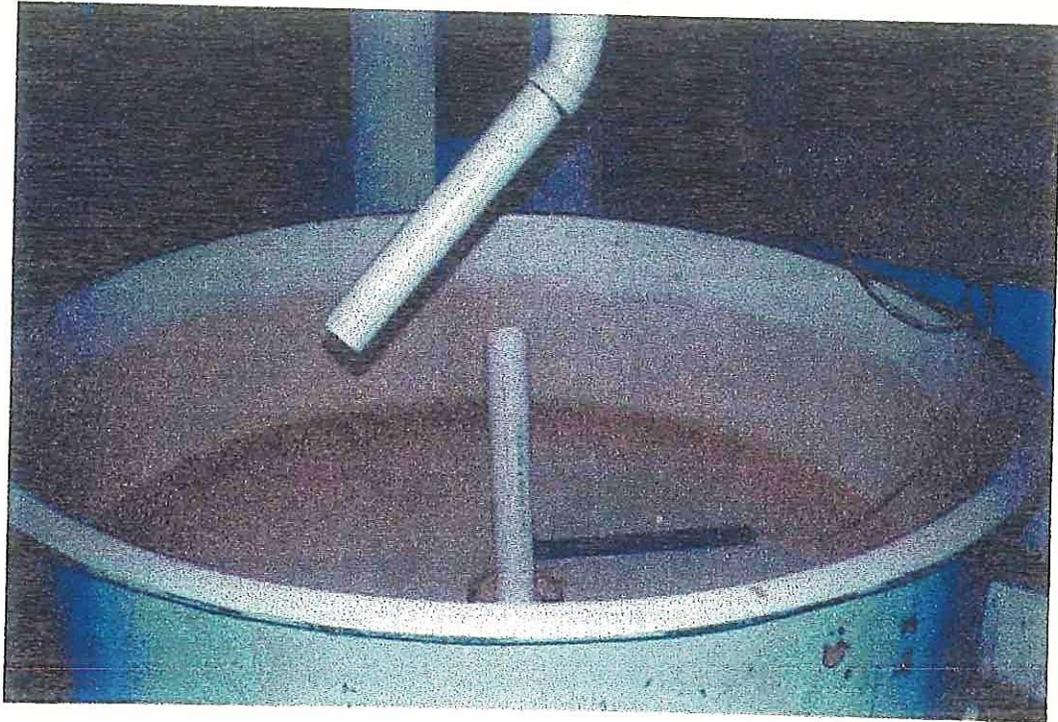


Figura 2. Tanque de cultivo de postlarvas y juveniles de abulón de la empresa Abulones Cultivados.



Figura 3. Módulo de cultivo de postlarvas y juveniles de abulón en la empresa Abulones Cultivados, donde se aprecian las columnas con cuatro tanques.

de los tanques de almacenamiento al área de poslarva, pasando por dos filtros de arena marca Jacuzzi, dos filtros de tierra de diatomeas, 24 unidades de luz ultravioleta de 30 W cada una y finalmente por bolsas filtro de una micra, situadas en la salida de agua del nivel superior. El flujo de agua que se mantiene en los tanques es de 5 L/min.

Para suministrar aire a los tanques se usa un aireador de $5.83 \text{ m}^3/\text{min}$, impulsado por un motor de 4.5 HP que se conecta a una red de distribución por encima del nivel superior de los tanques. El aire se distribuye a cada nivel por medio de mangueras de 0.5 cm de diámetro con piedras de aireación.

Cada dos días se lavan los tanques y se les proporciona alimento artificial. La rutina de limpieza se realiza cerrando el flujo de agua y vaciando el nivel superior para enjuagarlo con agua de mar. Después se abre el flujo para llenarlo mientras se vacía el agua del tanque del siguiente nivel y así sucesivamente. Al llegar al último nivel, se colocan tamices de $360 \mu\text{m}$ en el tubo de drenaje para recibir los abulones muertos para su conteo, así como los abulones vivos que se desprendieron en el proceso, los cuales se regresan al tanque del nivel superior.

El manejo de los tanques de producción incluye un procedimiento llamado corte o cosecha, que se realiza para sortear por tallas a los juveniles después de 3, 4, 5 y 6 meses de la fijación aproximadamente. Este procedimiento es común en los laboratorios de producción de semilla de moluscos (Mgaya y Mercer, 1995). Los abulones son anestesiados por burbujeo de bióxido de

carbono en el agua para despegarlos fácilmente con una brocha. En cada ocasión, los abulones más pequeños del lote (ca. 4 mm) se siembran nuevamente en el área de poslarva, mientras que los demás pasan a preengorda.

2.2. Diseño del experimento

Los abulones del lote asentado el 26 de abril de 1996, que se quedaron en el área de poslarva en el segundo corte, realizado a los 5 meses de fijación (con 152 días postasentamiento), fueron los que se utilizaron en el experimento. Las densidades de cultivo probadas en este trabajo fueron de 3,000, 5,000 y 7,000 abulones por tanque (0.18, 0.29 y 0.41 abulones/cm²), aproximadamente. Cada densidad se manejó por cuadruplicado (tanques de una columna).

Antes del experimento, los 12 tanques de cultivo se lavaron con una solución de agua con detergente y cloro. Se les adhirió una franja de pasto sintético de 5 cm de grosor en la parte superior interna para prevenir el escape de juveniles. Adicionalmente, se pintaron con un plumón rojo permanente para dividir radialmente los fondos y paredes en ocho partes iguales para facilitar el conteo de abulones.

Se hizo una primera aproximación de las tres densidades deseadas por medio del cálculo del peso húmedo de diez muestras de 100 abulones cada una, estimado después de extraer la mayor cantidad de agua posible con la ayuda de esponjas y papel secante. El promedio del peso de las diez muestras fué de 1.34 g, y con base en éste dato se estimó, el peso de 3,000, 5,000 y

7,000 abulones, correspondiendo a 41.32, 68.92 y 96.49 g, respectivamente. Los organismos se introdujeron a los tanques de cultivo y se dejaron con un flujo de 10 L/min durante el resto del día (un mínimo de 12 h) para su recuperación. Al día siguiente los tanques se lavaron para extraer a los organismos muertos por el manejo. Después de tres días de aclimatación se verificaron las densidades experimentales mediante dos conteos visuales con la ayuda de un contador manual. El primero de éstos se realizó para verificar la cantidad inicial en cada tanque y el segundo después de ajustar la densidad, cuando esto fué necesario.

El total de organismos fue de 62,402 abulones que se distribuyeron en densidades finales promedio de 3,200, 5,224 y 7,177 abulones por tanque (Tabla I).

El experimento tuvo una duración de 60 días, del 26 de septiembre al 21 de noviembre de 1996, con excepción de la densidad más alta que se cosechó a los 40 días por motivos administrativos.

Los juveniles se alimentaron cada dos días con alimento artificial de la marca Aquadine (31% proteína, 5% grasa, 4% fibra, 9% humedad; Aquadine Nutritional System, Hidelsburg, California, E. U. A). Las raciones fueron 3, 5 y 7 g para las densidades baja, media y alta, respectivamente, de acuerdo a las raciones alimenticias usadas por la empresa.

El mantenimiento y manejo de los tanques experimentales fué similar al resto de los tanques de producción (flujo, limpieza, etc.). Semanalmente se midió la temperatura y oxígeno disuelto con un oxímetro convencional.

Tabla I: Densidad inicial de abulón rojo (*Haliotis rufescens*) en cada tanque experimental.

Densidad	Réplica	No. Tanque	No. de juveniles
Baja	1	641	3326
	2	642	3317
	3	643	2997
	4	644	3158
Promedio			3200
Media	1	645	5178
	2	646	4998
	3	647	5249
	4	648	5470
Promedio			5224
Alta	1	649	7180
	2	650	7398
	3	651	6991
	4	652	7140
Promedio			7177

2.3 Evaluación de la sobrevivencia

Durante el experimento se hicieron en total once evaluaciones de mortalidad por tratamiento, contando todas las conchas que se colectaron del drenaje del último tanque durante la rutina normal de lavado. Adicionalmente se hicieron dos estimaciones de mortalidad por tanque en dos periodos de limpieza; el primero del día 34 al 36 y el segundo del día 41 al 43.

2.4 Evaluación del crecimiento

El crecimiento se evaluó con el apoyo de videograbaciones realizadas con una cámara Sony Handycam de 8 mm los días 0, 10, 40, 53 y 60 del experimento. Como se mencionó anteriormente, el tratamiento de la mayor densidad no concluyó el periodo de experimentación y fué cosechado el día 40 por decisión de los directivos de la empresa.

Se hicieron seis tomas al azar en el fondo de cada tanque y en cada una se incluyó un portaobjetos como referencia (ancho de 2.4 cm). El número de abulones filmados por tanque varió de 39 a 218, dependiendo de la cantidad de abulones en los que se distinguía claramente el eje longitudinal. La videograbación de las imágenes se hizo con los tanques llenos de agua, sin flujo ni aireación. El tiempo de filmación no duró más de 10 min en todos los casos.

2.5 Procesamiento de imágenes.

Las imágenes de vídeo de mejor calidad se digitalizaron con la ayuda de una computadora Apple Macintosh Performa 6200 CD Power PC, y el paquete de captura de imágenes Apple Vídeo Player. Se mejoró la resolución de las imágenes capturadas con el programa NIH Image Version 1.57 mediante el siguiente procedimiento: 1) al abrir el archivo se usó el "Look up Table" (LUT) para convertir la imagen a escala de gris, después se aplicó el filtro "Sharpen" para incrementar el contraste en la imagen y resaltar los bordes; 2) una vez lograda la mejor resolución de la imagen se calibró con ayuda del comando "Scale", utilizando el ancho del portaobjetos como escala; 3) después de terminada la calibración se procedió a medir todos los abulones en los cuales se distinguía perfectamente su eje longitudinal.

2.6. Análisis de datos.

El procesamiento de datos se realizó con el programa Excell 5.0. Se hizo un análisis de Kruskal-Wallis para los datos de mortalidad por tratamiento en términos absolutos (número de abulones muertos) y relativos estimados por tanque en dos periodos (porcentaje de mortalidad).

Se promediaron las longitudes por tanque y se estimaron tasas de crecimiento por periodo, que se compararon mediante un análisis de varianza (ANOVA) por fecha de muestreo después de verificar la normalidad y homogeneidad de varianza de los datos (Steel y Torrie, 1984). La potencia de los ANOVAs se calculó con base en Searcy-Bernal (1994).

3. RESULTADOS

Las condiciones climáticas generales a lo largo del experimento fueron normales para esa época del año. Asimismo no se registraron eventos anormales como mareas rojas. La temperatura promedio durante el experimento fué de 17.8° C. El oxígeno disuelto fluctuó de 8.42 a 8.66 mg/L, equivalente a valores de saturación de 108.3 a 110.4 %.

3.1. Sobrevivencia

Los porcentajes de sobrevivencia promedio por densidad de cultivo se muestran en la Tabla II y en la Figura 4. La sobrevivencia a los 39 días fué alta en todos los casos (97.76, 98.62 y 99% para las densidades baja, media y alta, respectivamente); sin embargo, en el periodo del día 18 al día 23 se observa un descenso para las tres densidades (Figura 4).

En la Tabla III se presentan los datos de mortalidad por tanque en dos periodos de limpieza. El primero comprendió del día 34 al día 36 y se observó una mortalidad promedio de 3.0, 14.75 y 38.25 abulones por tanque para las densidades baja, media y alta, respectivamente. El análisis de Kruskal-Wallis sugiere que existe diferencia significativa entre los tratamientos ($H= 6.05$; $P=0.049$). Para el segundo periodo, que comprendió del día 41 al día 43, se observó una mortalidad promedio de 2.75, 9.25 y 13.75 abulones por tanque para las densidades media, baja y alta respectivamente. Igual que para el primer periodo se observó una diferencia significativa entre los tratamientos ($H=6.46$; $P=0.039$). Con respecto al porcentaje de mortalidad por tanque

Tabla II. Porcentaje de sobrevivencia de juveniles de abulón rojo (*H.rufescens*) en tres densidades de cultivo.

Densidad	N	Días Transcurridos											
		0	4	7	11	18	21	23	25	32	39	46	52
Baja	4	100	99.75	99.72	99.58	99.50	99.10	98.36	98.12	98.00	97.76	97.70	97.67
Media	4	100	99.84	99.82	99.74	99.69	99.45	98.99	98.84	98.77	98.62	98.58	98.57
Alta	4	100	99.89	99.88	99.81	99.78	99.60	99.27	99.16	99.11	99.00		

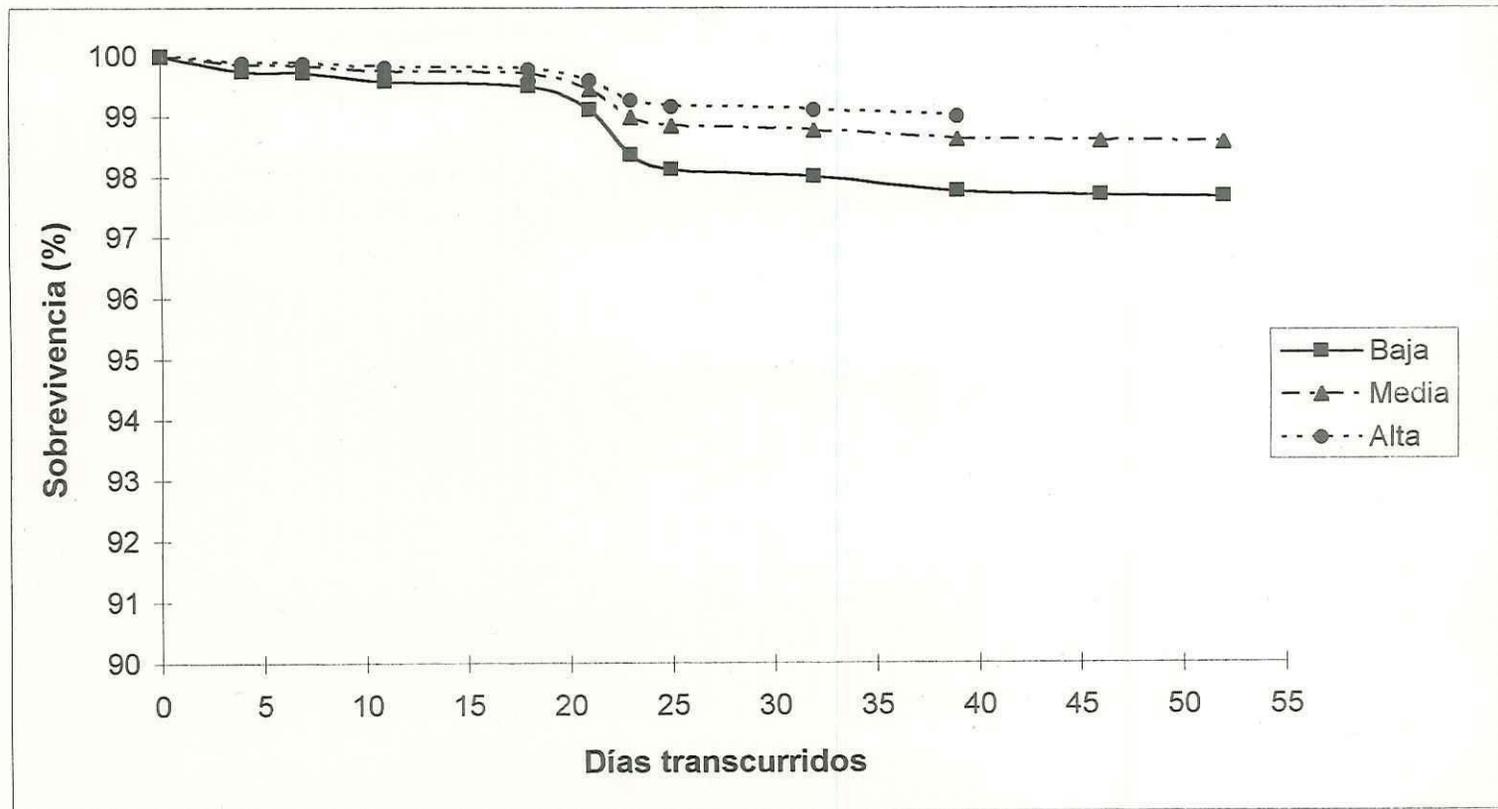


Figura 4. Porcentaje de sobrevivencia de juveniles de abulón rojo (*H. rufescens*) en tres densidades de cultivo durante el periodo experimental.

Tabla III: Mortalidad por tanque (con base en conchas colectadas) en dos periodos entre rutinas de limpieza. Se incluyen los resultados del análisis de Kruskal-Wallis.

Densidad	Réplica	Día 34 al 36		Día 41 al 43	
		N	% mortalidad	N	% mortalidad
Baja	1	0	0	0	0
	2	0	0	4	0.128
	3	12	0.383	2	0.064
	4	0	0	5	0.16
	Promedio	3	0.096	2.75	0.088
Media	1	10	0.194	3	0.058
	2	44	0.856	8	0.155
	3	0	0	20	0.388
	4	5	0.097	6	0.116
	Promedio	14.75	0.287	9.25	0.179
Alta	1	20	0.281	15	0.211
	2	15	0.211	7	0.099
	3	19	0.267	20	0.281
	4	99	1.392	13	0.183
	Promedio	38.25	0.538	13.75	0.194
	H	6.05	3.48	6.46	2.01
	P	0.049	0.176	0.039	0.365

(que fué menor que el 1.5 % en todas las réplicas de los tratamientos), no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos para ninguno de los dos periodos (Tabla III).

3.2. Longitud

En la Tabla IV y Figura 5 se presentan los datos de longitud de la concha a lo largo del experimento. El promedio de la longitud inicial fué de 4.06, 3.76 y de 3.66 mm para las densidades baja, media y alta, respectivamente, y tampoco se encontraron diferencias significativas entre ellas ($F=0.90$; $P=0.439$). A los 10 días, se observa la misma tendencia que en la primera evaluación en cuanto a que se encontró la longitud promedio más grande en la densidad más baja ($F=0.58$; $P=0.579$). El día 40, se realizó la última evaluación para los tres tratamientos, las longitudes observadas fueron 5.59, 5.05 y 4.44, para las densidades baja, media y alta, respectivamente. En este caso se observan diferencias significativas entre los tratamientos ($F=9.69$; $P=0.006$). A los 53 días, las longitudes promedio para las densidades baja y media fueron de 5.93 y 5.43 mm, respectivamente, detectándose diferencias significativas ($F=13.82$, $P=0.010$). En la última evaluación (60 d) se obtuvo una media de longitud de 6.33 y 5.76 mm para las densidades baja y media, respectivamente, mostrando diferencias significativas entre ellos ($F=14.40$, $P=0.009$).

Tabla IV: Longitud (mm) de juveniles de abulón rojo (*H. rufescens*) por tratamiento en los días muestreados y resultados de los ANOVAs practicados.

Densidad	Réplica	0 días		10 días		40 días		53 días		60 días	
		N	long	N	long	N	long	N	long	N	long
Baja	1	54	4.09	170	3.33	39	5.94	88	6.25	54	6.57
	2	101	3.51	110	4.93	96	5.54	49	5.68	81	6.19
	3	75	3.67	98	4.73	71	5.33	82	6.03	85	6.25
	4	98	4.97	81	4.78	61	5.55	131	5.75	110	6.30
	promedio	82	4.06	114.8	4.44	67	5.59	88	5.93	83	6.33
Media	1	100	3.36	101	4.08	96	5.54	67	5.39	54	6.11
	2	61	3.87	97	4.28	71	5.33	73	5.48	86	5.77
	3	145	3.98	79	4.48	59	4.96	96	5.48	128	5.57
	4	119	3.83	108	4.63	67	4.40	136	5.37	100	5.59
	promedio	106.3	3.76	96.25	4.37	73	5.05	93	5.43	92	5.76
Alta	1	118	3.85	123	4.29	121	4.52				
	2	149	3.84	169	4.44	170	4.02				
	3	131	3.63	204	3.86	212	4.46				
	4	170	3.33	113	3.76	123	4.76				
	promedio	142	3.66	152.3	4.09	157	4.44				
	F		0.90		0.58		9.69		13.82		14.40
	P		0.439		0.579		0.006		0.010		0.009

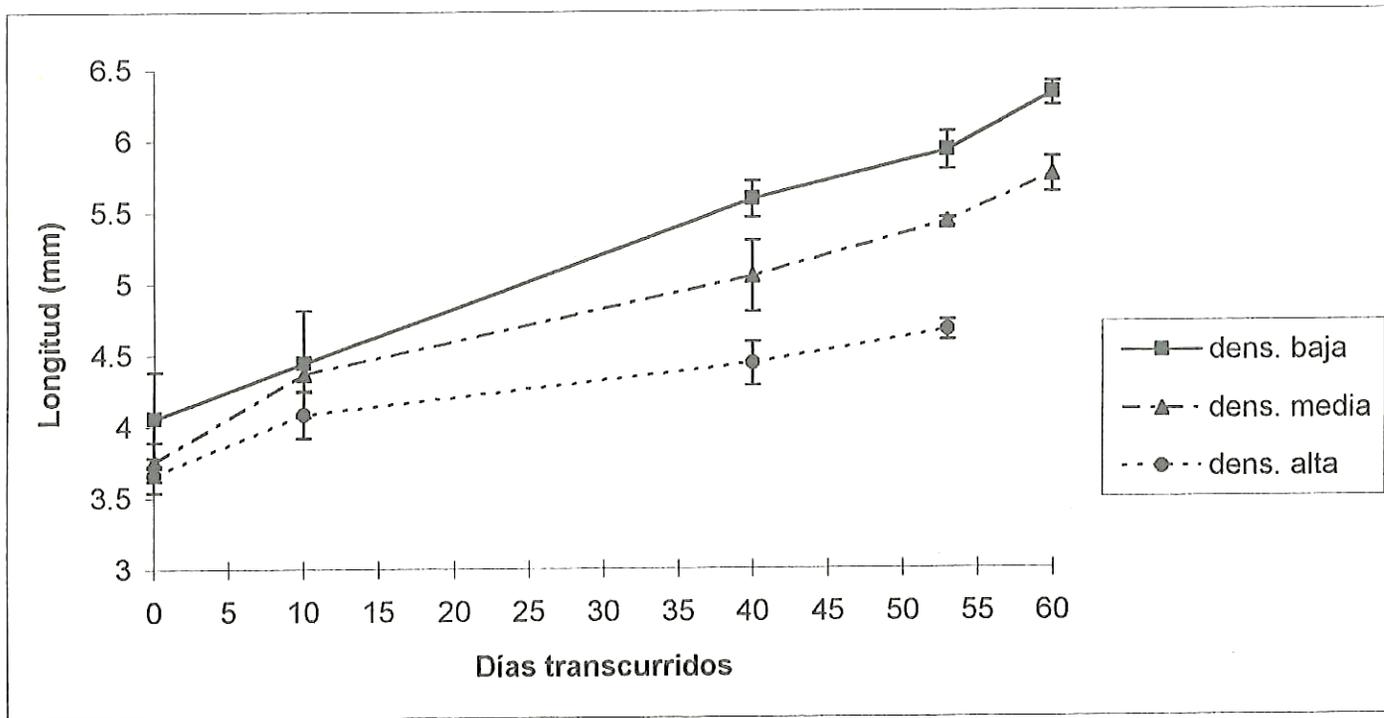


Figura 5. Longitud (mm) de *H. rufescens* en tres densidades de cultivo durante el experimento. Las barras verticales representan errores estándar.

diferencias significativas ($F= 3.15$, $P= 0.09$). En éste caso también se calculó la potencia de la prueba que resultó de sólo 0.46.

En la Figura 6 se muestran las tasas de crecimiento obtenidas en las tres densidades de cultivo durante los dos periodos de evaluación. Para el primer periodo se muestra claramente la diferencia de crecimiento entre las tres densidades resaltando la baja tasa de crecimiento en la densidad alta; en el segundo se observa una tasa de crecimiento similar para las densidades baja y media.

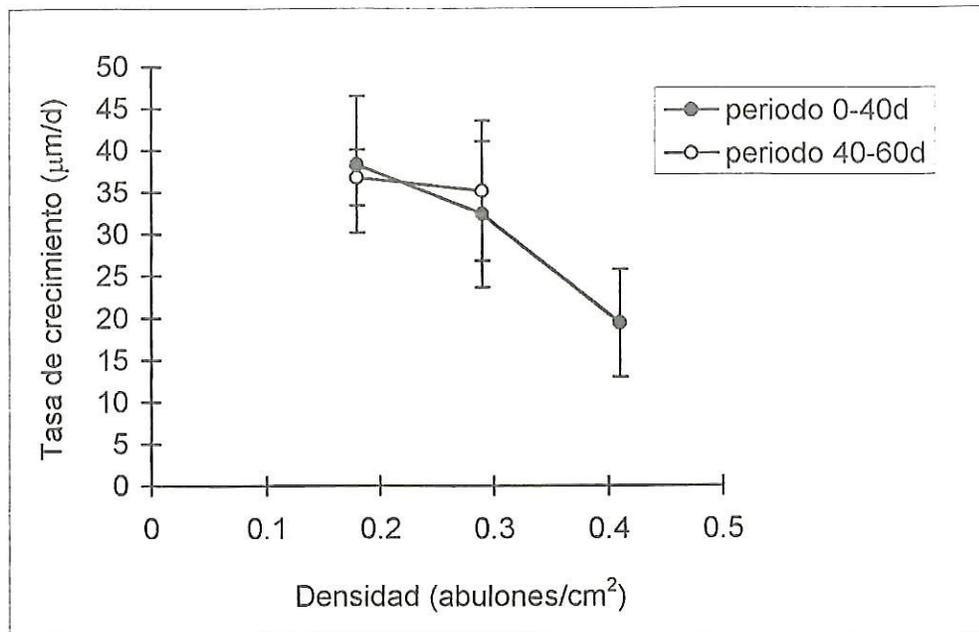


Figura 6. Tasas de crecimiento de juveniles de *H. rufescens* en tres densidades de cultivo durante dos periodos de evaluación. Las barras verticales son errores estándar.

4. DISCUSIÓN

4.1 Parámetros físico-químicos del experimento

Durante el periodo experimental la temperatura promedio (17.8°C) se mantuvo dentro del rango óptimo de temperatura para el abulón rojo reportado por diversos autores (9-19°C) (Leighton, 1974; Ebert y Houk, 1984; Hahn, 1989).

Los valores de saturación de oxígeno para el mejor crecimiento del abulón rojo son de 100-110 % (Leitman, 1992) y los valores registrados en este trabajo (108.3-110.4%) se encontraron en el límite. Leitman (1992) reportó que a una saturación de oxígeno mayor a 110% se observa una disminución en la tasa de crecimiento del abulón rojo.

4.2 Sobrevivencia

La sobrevivencia no se vió afectada por la densidad ya que fué alta en los tres tratamientos (>97%, Tabla II). Este porcentaje está dentro de los valores de sobrevivencia que se reportan en la granja de Abulones Cultivados para esta etapa (E. Vázquez, com. pers.), así como dentro de los valores reportados por diversos autores para dicha etapa de cultivo (Koike *et al.*, 1979; Ebert y Houk, 1984; Hahn, 1989; Capinpin *et al.*, 1999).

El ligero descenso en la sobrevivencia de las tres densidades que se observa del día 18 al 23 del experimento (Figura 4) es atribuible a la disminución en la calidad del agua, ya que en esas fechas hubo problemas con el sistema de bombeo en la granja y los flujos se minimizaron. Durante

toda una jornada laboral (8 h), se cerró el flujo de agua por completo, para efectuar las reparaciones correspondientes. En este periodo se registró la mayor temperatura de todo el experimento (18.9°C), que es aún tolerable por el abulón rojo (Ebert y Houk, 1984; Hahn, 1989). Este efecto fué mayor en la densidad baja, porque al día siguiente del problema, los encargados de la limpieza de tanques usaron la toma de agua de esa columna de tanques para lavar el módulo, por lo que ese tratamiento estuvo por lo menos 8 horas adicionales sin flujo de agua.

4.3 Crecimiento

La tasa final de crecimiento en la densidad alta (0.41 abulones/cm²) (19.41µm/día, Tabla V) fué de casi la mitad que la correspondiente a la densidad baja (0.18 abulones/cm²) (37.79 µm/día), lo que sugiere que la densidad de cultivo afecta de manera importante al crecimiento (Koike *et al*, 1979; Chen, 1984; Hahn 1989; Greenier, 1991; Day y Fleming, 1992). Sin embargo, este efecto no se detectó con el ANOVA debido a la alta variabilidad de los datos y/o la falta de más réplicas por tratamiento, lo que repercutió en una baja potencia de la prueba (0.46) (Searcy-Bernal, 1994). Tratándose de una granja comercial fué imposible que se asignaran más de tres columnas para este experimento debido a que el sistema ya se encontraba al tope de su capacidad de cultivo (razón por demás importante para realizar este experimento).

En el experimento de 112 días de duración realizado por Koike *et al.* (1979), observaron bajas tasas de crecimiento en todas las densidades antes del día 56, y después de esa fecha el crecimiento se incrementó. Esos autores argumentan que los abulones necesitan unos dos meses de aclimatación para adaptarse al cambio de sistema y al estrés provocado por las operaciones de cosecha y siembra. Este periodo de aclimatación también lo mencionan Day y Fleming (1992), Greenier (1991) y Mgaya y Mercer (1995) en sus respectivos trabajos.

En el caso de este trabajo, el periodo experimental no se pudo extender más por motivos de producción, pero los resultados obtenidos son de gran ayuda para evaluar el efecto de la densidad en el crecimiento.

Las tasas de crecimiento finales de este experimento (Tabla V) resultaron más bajas que las reportadas en este laboratorio de producción para los primeros nueve meses de cultivo (60 - 70 $\mu\text{m}/\text{día}$ en una densidad de 0.09 abulones/ cm^2). Estos valores corresponden a organismos de crecimiento rápido (primer corte), y cabe destacar que los utilizados en este trabajo, al ser del segundo corte, son organismos de menor crecimiento por factores genéticos o nutricionales (Greenier, 1991; Day y Fleming, 1992; Hahn, 1989). Sin embargo, con los datos generados por la empresa para el lote de abulón usado en este experimento, se calculó un crecimiento de 53 $\mu\text{m}/\text{día}$ desde el asentamiento. La diferencia observada entre los datos de la

empresa y los datos de esta investigación pueden atribuirse a el cambio de alimentación y/o a la diferencia en el método de medición.

En esta granja, a partir de los 3 meses de edad (primer corte), los juveniles son alimentados con diatomeas y la dieta artificial mencionada, mientras que después del segundo corte se les suministra exclusivamente la dieta artificial. Esto pudo repercutir en un bajo crecimiento.

Con respecto al método de medición en la empresa, éste se realiza pesando los organismos cosechados en cada malla de recepción y se le asignan tallas de 4, 6, 8, 10 y 13 mm de longitud. Adicionalmente se pesan muestras de 50 ó 100 abulones de cada malla para calcular en número aproximado de abulones de cada talla. Este método puede fácilmente sobrevaluar la cantidad de abulones así como la talla de los mismos, a diferencia del método usado en este trabajo que es más preciso.

La densidad de cultivo puede afectar al crecimiento de diversas maneras. La competencia por el alimento es uno de los factores críticos que se incrementan al aumentar la densidad de cultivo (Genade *et al.*, 1988; Mgaya y Mercer, 1995). Greenier (1991) reportó que el bajo crecimiento de altas densidades de cultivo está relacionado al hecho que los organismos están consumiendo o asimilando menor cantidad de alimento para el crecimiento provocado por la alta densidad poblacional.

Probablemente hay organismos que no logran ingerir el alimento mínimo requerido para el crecimiento normal que es del 2 al 7% de su peso si se

alimentan con dietas artificiales y del 10 al 30 % de su peso si se alimentan con macroalgas (Hahn, 1989). Otro factor que puede afectar a los organismos en una alta densidad es la interferencia que existe entre los organismos al desplazarse para conseguir el alimento. Por otro lado, puede haber una mayor secreción de mucus producto del estrés o para ayudar a la locomoción, ya que debido a las condiciones de alta densidad, los abulones pueden ser forzados a caminar unos sobre otros, lo que implica desplazarse sobre las superficies ásperas de las conchas (Greenier, 1991).

La tasa de crecimiento en la densidad alta (0.41 abulones/cm²) también pudo haber sido afectada por una disminución en la calidad del agua debido a una mayor producción de heces fecales y metabolitos (Capinpin *et al.*, 1999). Los abulones juveniles tienden a aglomerarse en las orillas de los tanques y este efecto fué mayor en la densidad alta. Aunque el flujo se mantuvo igual en los tres tratamientos (6 L/min), la velocidad del agua pudo haber sido menor en las aglomeraciones de abulón con la densidad alta causando una difícil remoción de las heces y del alimento (Higham *et al.*, 1998).

En la mayor parte de los abulones de la densidad alta, se presentó una coloración anormal en la concha (rojo ladrillo a negro) que no se observó en las otras densidades. Esta coloración es típica de los abulones conocidos en la granja como "enanos", que se caracterizan por un crecimiento menor que el normal (Oc. E. Vázquez Moreno, com. pers.). Desafortunadamente no se

ha publicado nada acerca de esta anomalía que puede ser un indicador indirecto del efecto de la densidad de cultivo. Diversos autores han reportado que el alimento influye en la coloración de la concha (Genade *et al.*, 1988; Hahn, 1989; Yoo, 1989). Los abulones en la densidad alta estuvieron en mayor contacto con las heces fecales y posiblemente las ingirieron ocasionalmente, lo que pudo haber influido en ese cambio de la coloración de la concha y en la menor tasa de crecimiento observada.

En los datos reportados sobre el crecimiento de *H. rufescens* (Tabla VI), se puede observar una gran variabilidad de tasas de crecimiento registradas (de 12 a 75 $\mu\text{m}/\text{día}$), y los valores encontrados en este trabajo se encuentran dentro de este rango.

Es difícil comparar los resultados de este estudio con otros trabajos, ya que no se ha reportado ningún experimento de este tipo a escala comercial y con la misma talla de juveniles. Solo en contadas ocasiones se reportan las densidades usadas en los experimentos y existe mucha variación en los sistemas experimentales y la alimentación suministrada a los juveniles (Chen, 1984; Ebert y Houk, 1984; Greenier, 1991; Greenier y Takekawa, 1992; Leitman, 1992; Corazani e Illanes, 1998).

En general, los juveniles se alimentan con diatomeas hasta los 5 ó 6 mm, para posteriormente cambiarles la dieta a macroalgas (Ebert y Houk, 1984; Genade *et al.*, 1988; Yoo, 1989; Uki, 1989; Moss, 1997) y en este trabajo se les suministró alimento artificial desde los 4 mm.

Tabla VI: Datos de crecimiento obtenidos para juveniles de abulón rojo (*H. rufescens*) reportados en la literatura.

Referencia	Temperatura 0 C	Longitud Inicial (mm)	Periodo experimental (meses)	Densidad de Cultivo (abulón /cm ²)	Tasa de Crecimiento (micras/día)	Observaciones
Corazani e Illanes, 1998	-	35	9	-	55.66	Alimentados con <i>Macrocystis</i>
Ebert y Houk, 1984	15	0.25*	12	-	66.66	Alimentados con macroalgas
Greenier y Takekawa, 1992	15	11	6	0.019 0.039 0.142	12.44	No presentaron el crecimiento obtenido por densidad, si no el promedio de las tres densidades usadas.
Hahn, 1989	18	0.25*	-	-	63.7	Alimentados con <i>Macrocystis</i>
Leighton, 1974	14 - 18	0.25*	-	-	55	Alimentados con macroalgas
Leitman, 1992	10 a 14	12	3	-	15.8	Alimentados con macroalgas
Salas-Garza y Searcy-Bernal, 1992	-	20 a 31	18	-	75	Alimentados con <i>Macrocystis</i>
Abulones Cultivados S. de R. L. de C. V.	-	0.25 *	9	0.09	60 - 70	Alimentados con dieta artificial
Este trabajo	17.2	4.06 3.76 3.66	2 2 1.1	0.18 0.29 0.41	37.79 33.33 19.41	Alimentados con dieta artificial

* Longitud aproximada de poslarvas recién asentadas.

Por otro lado, la mayoría de los estudios con abulón rojo reportan el crecimiento desde el asentamiento hasta la engorda, que son periodos muy largos y ninguno reporta específicamente el crecimiento en juveniles de 4 mm (Leighton, 1972; Ebert y Houk, 1984; Hahn, 1989; Greenier y Takekawa, 1992; Leitman, 1992).

Greenier y Takekawa (1992), probaron con tres densidades de abulón rojo, como se puede apreciar en la Tabla VI, la densidad más alta usada por ellos (0.142 abulones/cm²) es menor que la densidad más baja de este experimento (0.18 abulones/cm²). Los organismos usados en ese experimento tenían una longitud mayor de 11 mm a diferencia de este experimento en que se usaron abulones de ca. 4 mm. Aún así, estos autores observaron un crecimiento promedio de 12.44 $\mu\text{m}/\text{día}$, que resulta menor que los reportados en este trabajo para todas las densidades. Es posible que esta diferencia sea debido a que la talla de los abulones del experimento de Greenier y Takekawa (1992) era mayor, ya que en la mayor parte de los organismos el crecimiento disminuye con la edad. Desafortunadamente, en ese artículo no se mencionan ni discuten las tasas de crecimiento en diferentes densidades, lo que hubiera permitido una comparación más adecuada con este trabajo.

Mgaya y Mercer (1995) encontraron que el crecimiento de *H. tuberculata* es inversamente proporcional a la densidad de cultivo en un sistema de

jaulas siguiendo un comportamiento exponencial. Esta relación también es reportada por Koike *et al.* (1979), Young *et al.* (1988) y Capinpin *et al.* (1999). En los resultados de este experimento, también se detecta una disminución del crecimiento con la densidad de cultivo (Figura VI), pero no de manera exponencial, posiblemente debido al rango de las densidades probadas. Quizá si se hubieran incluido densidades más bajas se podría haber observado ese comportamiento exponencial.

Una de las dificultades asociadas a realizar experimentos a escala comercial, es la necesidad de medir cantidades considerables de organismos, lo cuál en el caso del abulón se realiza normalmente despegándolos con una espátula y midiéndolos con un vernier. Cuando los organismos son retirados para su medición existe un factor de estrés que puede disminuir la tasa de crecimiento (Day y Fleming, 1992).

El método de videograbación y análisis digital de imágenes probó ser muy efectivo en la evaluación del crecimiento de juveniles de abulón en este sistema de cultivo por la rapidez del procedimiento, que permite incrementar el número de muestra sin causar estrés por manipulación en los organismos (Searcy-Bernal y Anguiano-Beltrán, 1998). La única desventaja del método es que se necesita contar con el equipo electrónico tanto de videograbación como de cómputo, así como el personal calificado, lo que representaría un gasto adicional por parte de las empresas pero que a la larga se compensaría con un mejor manejo y conocimiento de la producción. Si bien

5. CONCLUSIONES

- 1) La sobrevivencia de juveniles de abulón rojo fué alta en las tres densidades probadas (mayor a 97%).
- 2) El mejor crecimiento de juveniles de abulón en el sistema de cultivo (tanques de 250 L), se obtuvo a una densidad de 0.19 abulones/cm², con una tasa de crecimiento de 37.8 $\mu\text{m}/\text{día}$, aunque en la densidad media (0.29 abulones/cm²) la tasa fué similar (33.3 $\mu\text{m}/\text{día}$).
- 3) La mayor densidad probada (0.41 abulones/cm²) produjo un crecimiento menor que las otras dos densidades (19.44 $\mu\text{m}/\text{día}$), y además presentaron una coloración oscura en la concha.
- 4) El método de videograbación para la medición de juveniles de abulón probó ser muy efectivo, permitiéndonos obtener un mayor tamaño de muestra, en un tiempo menor y sin causar estrés a los organismos por manipulación.

6. RECOMENDACIONES

- 1) Es conveniente evaluar la sobrevivencia por tanque y no por tratamiento.
- 2) Es recomendable asignar los tratamientos de manera aleatoria entre las columnas y no por densidades.
- 3) Para efectos del análisis estadístico, se recomienda contar con un mayor número de réplicas para que el análisis de varianza detecte con mayor potencia la variabilidad entre tratamientos.
- 4) Para implementar las recomendaciones arriba mencionadas en experimentos futuros a escala comercial, es necesario el establecimiento previo de criterios operativos con las empresas.

7. LITERATURA CITADA

- Capinpin, E. C., J. D. Toledo, V.C. Encena II y M. Doi, 1999. Density dependent growth of the tropical abalone *Haliotis asinina* in cage culture. *Aquaculture* (171): 227-234.
- Castro-Gálvez, R., 1999. Efecto del ácido gamma-aminobutírico (GABA) sobre el asentamiento, sobrevivencia y crecimiento postlarval del abulón azul (*Haliotis fulgens*) en un laboratorio de producción de semilla con el método de cultivo japonés de placas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. México. 63 pp.
- Corazani, D. y J. E. Illanes, 1998. Growth of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino 1953 and *Haliotis rufescens* Swainson 1822, fed with diferente diets. En: *J. Shellfish Res.* 17 (3): 663-667.
- Chen, H. C., 1984. Studies on the aquaculture of small abalone, *Haliotis diversicolor*, in Taiwan. *T.M.L. Conference Proceedings* 1: 143-160.
- Clavier, J., 1982. Initial data on natural ormer (*Haliotis tuberculata*) stocks in the St. Malo region. (Report d'étude, Association pour la Mise en Valeur du

Litoral de la Cote d'Emeraude. Traducido al inglés en Can. Transl. Fish. Aquat. Sci., (1983) (4928).

Day , R. W. y A. E. Fleming, 1992. The determinants and measurement of abalone growth. En: Shepherd, S. A., M. J. Tegner y S. A. Guzmán del Prío [Ed.]. Abalone of the World, Biology, Fisheries and Culture. Fishing News Books. Oxford; 141-168.

Douros, W. J., 1985. Density, growth, reproduction and recruitment in an intertidal abalone: Effects of intraspecific competition and historic predation. M. Sc. Thesis. University of California. Santa Barbara.

Ebert, E. E. y J. L. Houk, 1984. Elements and innovations in the culture of the red abalone *Haliotis rufescens*. *Aquaculture* 39: 375-392.

Ebert, E. E. y J. L. Houk, 1989. Abalone cultivation methods used at the California Department of Fish & Game's Marine Resources Laboratory. En: Hahn, K. O. [ed] 1989. Handbook of culture of Abalone and other Marine Gasteropods. CRC Press. Inc. Florida. 239 - 254.

Esparza-Hernández, A., 1999. Efecto de diferentes irradiancias sobre la sobrevivencia y crecimiento de poslarvas de abulón azul *Haliotis fulgens*

(Mollusca-Gastrópoda), alimentadas con la diatomea *Navicula incerta*.

Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México. 75 pp.

Flores-Aguilar, R. A., 1989. Estudio de factibilidad técnico-económico para un cultivo de abulón en Baja California. Tesis de Especialidad en Administración de Recursos Marinos. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México. 75 pp.

Genade, A. B., A. L. Hirst y C. J. Smit, 1988. Observations on spawning, development and rearing of the South African abalone *Haliotis midae* Linnaeus. S. Afr. J. Mar. Sci. (6): 3-12.

Greenier, J. L., 1991. The effects of light, rearing density and formulated feeds on growth in the juvenile red abalone (*Haliotis rufescens*). M. in Sci. Thesis. San Jose State University. 72 pp.

Greenier, J. L. y J. Y. Takekawa, 1992. Growth models and food conversion of cultured red abalone (*Haliotis rufescens*). En: Shepherd, S. A., M. J. Tegner y S. A. Guzmán del Prío [Ed.]. Abalone of the World, Biology, Fisheries and Culture. Fishing News Books. Oxford. 527-537.

- Hahn, K. O., 1989. Handbook of Culture of Abalone and Other Marine Gasteropods. CRC Press. Inc. Boca Raton, Florida. 348 pp.
- Higham, J., P. Hone, S. Clarke, R. Baudinette y M. Geddes, 1998. The effect of flow on growth in juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevigata* (Donovan). Proceedings of the 5th Annual Abalone Aquaculture Workshop, Julio de 1998. Hobart, Australia.
- Hooker, N. y D. E. Morse, 1985. Abalone: The emerging Development of commercial cultivation in the United States. En: Hunter, J. V. y E. E. Brown [Ed.]. Crustacean and Mollusc Aquaculture in the United States. A.V.I. Publishers. Westport, CT. 356- 413.
- Kan-no, H., 1975. Recent advances in abalone culture in Japan. Proceedings of the First International Conference on Aquaculture Nutrition. October, 1975: 195-211.
- Koike, Y., J. Flassch, J. Mazurier, 1979. Biological and ecological studies on the propagation of the ormer, *Haliotis tuberculata* (Linnaeus.). II. Influence of food and density on the growth of juveniles. La Mer. (17): 43-52.

Leighton, D. L., 1972. Laboratory observations on the early growth of the abalone *Haliotis sorenseni*, and the effect of temperature on larval development and settling success. Fish. Bull. 70: 313-381.

Leighton, D.L.. 1974. The influence of temperature on larval and juvenile growth in three species of southern california abalones. Fishery Bulletin. 72 (4): 1137- 1145.

Leighton, D. L. y R. A. Boolootian, 1963. Diet and growth in the black abalone, *Haliotis cracherodii*. Ecology. (44): 227-238.

Leighton, D. L., M. J. Byhower, J. C. Kelly, G. N. Hooker, y D.E. Moss, D.E. , 1981. Acceleration of development and growth in young green abalone (*Haliotis fulgens*) using warmed effluent seawater. World Mar. Soc. (12) : 170- 180.

Leitman, A., 1992. The effects of gas supersaturation on the behaviour, growth and mortality of red abalone, *Haliotis rufescens* (Swainson). En: Shepherd, S. A., M. J. Tegner y S. A. Guzmán del Prío [Ed.]. Abalone of the World , Biology, Fisheries and Culture. Fishing News Books. Oxford. 75-85.

Martínez-Ponce, D. R., 1998. Intensidad de pastoreo de postlarvas de abulón rojo *Haliotis rufescens* (Mollusca: Gastrópoda) en condiciones de cultivo. Tesis de Maestría en Oceanografía Costera. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. México. 57 pp.

McMullen, J. y T. Thompson, 1989. Abalone culture in an urban environment. p.227-238. En: Hahn, K. O., [ed.] 1989. Handbook of culture of Abalone and other Marine Gasteropods. CRC Press. Inc. Boca Raton, Florida. 227-238.

Mgaya, Y. D. y J. P. Mercer, 1995. The effects of size grading and stocking density on growth performance of juvenile abalone, *Haliotis tuberculata* Linnaeus. Aquaculture. (136): 297-312.

Moss, G. A., 1997. Early juvenile growth of abalone *Haliotis australis* in culture. Moll. Res. (18): 153-159.

Peck, L. S., M. M. Culley y M. Helm, 1987. A laboratory energy budget for the ormer *Haliotis tuberculata*. L. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. (106): 103 - 123.

Pérez-Muñoz, G.E., 1995. El cultivo de Abulón en México: Desarrollo histórico, estado actual y sus perspectivas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. México. 114 pp.

Salas-Garza, A. E. y R. Searcy-Bernal, 1992. Desarrollo y estado actual del cultivo de abulón en México. En: Shepherd, S. A., M. J. Tegner y S. A. Guzmán del Prío [Ed.] Abalone of the World, Biology, Fisheries and Culture. Fishing News Books. Oxford. 538-546.

Searcy-Bernal, R., A. Salas-Garza, y R. A. Flores-Aguilar, 1988. Crecimiento de postlarvas y juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) en un laboratorio en México. Ciencias Marinas. 14 (4): 57-72.

Searcy-Bernal, R., Salas-Garza, A. E., Flores-Aguilar, R. A. e Hinojosa-Rivera, P. R., 1992. Simultaneous comparison of methods for settlement and metamorphosis induction in the red abalone (*Haliotis rufescens*). Aquaculture. (105): 241-250.

Searcy-Bernal, R., 1994. Statistical power and aquacultural research. Aquaculture. (127): 371-388.

- Searcy-Bernal, R., y C. Anguiano-Beltrán, 1998. Aplicación del análisis digital de imágenes digital al estudio de la biología y cultivo de abulón *Haliotis spp.* XI Congreso Nacional de Oceanografía. 26-30 de Abril. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada. México.
- Steel, R. G. D. y J. H. Torrie, 1980. Principles and Procedures of Statistic. A Biometrical Approach. Mc Graw Hill Book Co. New York. 633 pp.
- Uki, N., 1989. Abalone seeding production and it's theory (2). Int. J. Aq. Fish. Technol. (1): 125-132.
- Vélez-Espino, L. A., 1999. Determinación de tsas de pastoreo y de crecimiento de poslarvas de abulón azul, *Haliotis fulgens*, en distintas densidades de la diatomea bentónica *Navicula incerta*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada. México. 79 pp.
- Vilchis-Guajardo, L. I., 1998. Image analysis applied to abalone standing crop assessment in an ocean based abalone farm. J. Shellfish Res. (17) 3:679-682.

Yoo, S. K., 1989. Abalone farming in Korea. En: Hahn, K. O. [ed] 1989. Handbook of culture of Abalone and other Marine Gasteropods. CRC Press. Inc. Florida. 225-263.

Young, J. J., S. K. Yoo, R. H. O. Sum y H. K. Seung, 1988. The stocking density and growth of young abalone *Haliotis Discus Hannai* Ino cultured in the hanging net cage. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency. (42): 59-69.