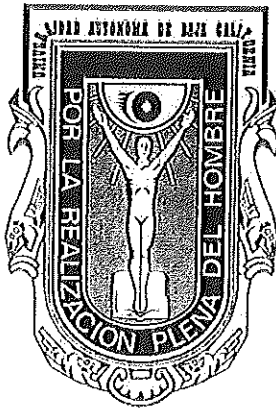
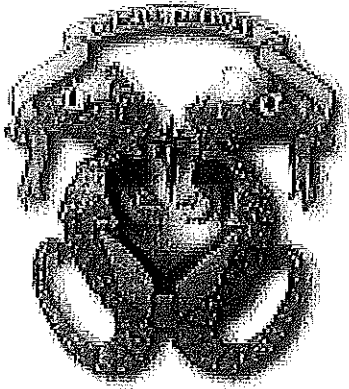


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**"SOBREVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE POSLARVAS DE ABULON
ROJO *Haliotis rufescens* EN UNA GRANJA COMERCIAL"**



TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
OCEANÓLOGO
PRESENTA
ESTEBAN PÉREZ SÁNCHEZ

ENSENADA, B. C., NOVIEMBRE DE 2005.

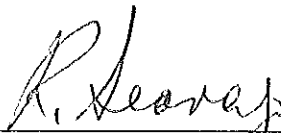
RESUMEN

Fue evaluada la sobrevivencia y crecimiento de poslarvas de abulón rojo, *Haliotis rufescens*, en un laboratorio comercial de producción de semilla. Se realizaron siete muestreos entre febrero y junio del 2004 en ocho tanques de la empresa Abulones Cultivados (Eréndira, B.C., México), ubicados en los niveles superior e inferior de un módulo de cultivo. Se determinó el éxito de la metamorfosis larval, inducida con ácido gamma-aminobutírico (GABA), y la sobrevivencia inicial mediante el conteo de conchas muertas en distintos estadios de desarrollo, colectadas durante la primera semana de cultivo después del asentamiento. Fue estimada la sobrevivencia a los 45 días con base en la evaluación que realiza la empresa con fines de inventario. El crecimiento poslarval se determinó con videgrabaciones y análisis digital de imágenes de organismos colectados en cada muestreo. Los mayores promedios de sobrevivencia inicial y metamorfosis se registraron en el nivel inferior con 73.3% y 76.0% respectivamente, a diferencia del 46.5% y 53.7% obtenido en el nivel superior. Se detectó una relación lineal significativa entre el porcentaje de metamorfosis y la sobrevivencia inicial de las poslarvas. La sobrevivencia a los 45 días fue de 14.32% y 11.32% en los niveles inferior y superior, respectivamente. La mayor sobrevivencia en los tanques del nivel inferior, está posiblemente asociada a una menor intensidad luminosa en esos tanques. La mayor tasa de crecimiento promedio de 60 $\mu\text{m}/\text{d}$, se obtuvo en los tanques del nivel superior mientras que en el nivel inferior fue de 52 $\mu\text{m}/\text{d}$. Se detectó una relación lineal significativa entre la temperatura y el crecimiento de poslarvas durante el periodo de estudio.

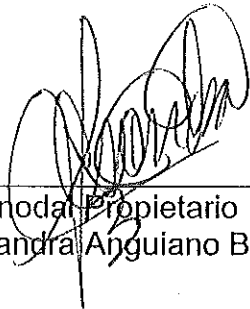
"SOBREVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE POSLARVAS DE ABULÓN ROJO
Haliotis rufescens EN UNA GRANJA COMERCIAL"

TESIS
QUE PRESENTA
ESTEBAN PÉREZ SÁNCHEZ

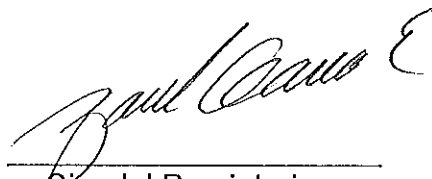
Aprobado por:



Presidente del Jurado
Dr. Ricardo Searcy Bernal



Sinodal Propietario
M. C. Casandra Anguiano Beltrán



Sinodal Propietario
Dr. Zaúl García Esquivel

EL PRESENTE TRABAJO ESTÁ DEDICADO A LAS DOS PERSONAS
QUE MÁS QUIERO, ADMIRO Y RESPETO:

PARA MIS A MIS PADRES

MIGUEL, ÁNGEL, PÉREZ, SOTO.

Y

EVELIA, SÁNCHEZ, RAMÍREZ.

Por la confianza y el apoyo incondicional que
me brindaron en todas las etapas de mis estudios.

AGRADECIMIENTOS

AL TODO PODEROSO QUE ME PERMITO TEMINAR MI CARRERA.

A LA FAMILIA:

INIGUEZ PEREZ:

R-A-N-I-T-A (Hermana)

J-A-M-A-I-Q-U-I-N-A (Sobrina)

Y AL PANCHO-PANTERA (CUÑADO)

A MI ABUELA QUE ME APOYO DURANTE SU ESTANCIA Y

POR SUS RICAS TORTILLAS HECHAS A MANO.

A LA M.C. SILVIA POR SU CRÍTICA DE ÚLTIMO MOMENTO.

A IRIS CORDERO QUE GRACIAS A ELLA ESTOY
PRESENTANDO EL PRESENTE TRABAJO.

A MI DIRECTOR DE TESIS, Dr. RICARDO SEARCY BERNAL POR
SU "GRAN, GRAN PACIENCIA" y APOYO EN LA REALIZACION
DEL PRESENTE TRABAJO.

A MI SINODAL, Dr. ZAUL GARCÍA ESQUIVEL POR SUS
COMENTARIOS PARA LA ELABORACION DE ESTE TRABAJO.

QUIERO AGRADECER INFINITAMENTE A TRES PERSONAS:

A la investigadora, gracias por permitirme colaborar en los diversos trabajos de investigación: a la estudiante por compartir y transmitirme sus conocimientos y a la esposa y madre de familia por compartir su rica sopa de lentejas, y por brindarme una visión mas amplia acerca de esta vida y los múltiples consejos que me dio durante el tiempo que estuvimos "trabajando". Tambien a su familia por abrirme las puertas de su casa. Muchas, pero muchas gracias!.

M. C. CASANDRA ANGUIANO BELTRAN.

A MIS AMIGAS ORGULLOSAS DE SER HIDROBIOLOGAS Y
SOBRE TODO POR SER DEL BARRIO DE TEPITO ¡CHILANGAS!
ELIZABETH ROMERO HERNANDEZ Y ROSARIO MARTINEZ
OLVERA.

A LA DRA. CUQUITA POR COMPARTIR SUS CONOCIMIENTOS.

A BARBARA, Z. T., UNA AMIGA MUY QUERIDA QUE ME
APOYÓ CUANDO ESTUVE EN UN MOMENTO CRÍTICO EN MI
CARRERA.

A TODOS MIS FAMILIARES AMIGOS Y AMIGAS, QUE ME
BRINDARON SU APOYO Y A LOS QUE NO TAMBIÉN.

MUCHAS GRACIAS.

Índice

1	INTRODUCCIÓN.	1
1.1	Antecedentes.	4
1.2	Objetivo.	6
2	MATERIALES Y MÉTODOS.	7
2.1	Descripción y protocolo de campo.	7
2.2	Protocolo de laboratorio.	11
2.2.1	Conteo de poslarvas muertas.	11
2.2.2	Estimación de metamorfosis total, sobrevivencia inicial y crecimiento de poslarvas.	13
2.2.3	Análisis estadístico.	15
3	RESULTADOS.	17
3.1	Parámetros físicos.	17
3.2	Metamorfosis.	20
3.3	Sobrevivencia inicial y metamorfosis total.	22
3.4	Sobrevivencia a 45 días.	25
3.5	Sobrevivencia general en los 160 tanques de cultivo a los 45 días.	28
3.6	Longitud de poslarvas de abulón rojo <i>H. rufescens</i> .	33
3.7	Tasa de crecimiento poslarval.	36
4.	DISCUSIÓN.	46
4.1	Parámetros físicos.	46
4.2	Metamorfosis tota.	47
4.3	Sobrevivencia 7 días después del asentamiento.	49

4.4	Sobrevivencia después de 45 días en los ocho tanques muestreados.	52
4.5	Sobrevivencia general a los 45 días de cultivo poslarval.	53
4.6	Crecimiento.	54
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	56
6	LITERATURA CITADA.	57

Lista de tablas

Tabla I.	Temperatura (°C) registrada por tanque en los siete periodos de muestreo durante el año de 2004.	18
Tabla II.	Intensidad luminosa (luxes) registrada por tanque en los siete periodos de muestreo durante el año de 2004.	18
Tabla III.	Análisis de varianza de la temperatura promedio (arriba) e intensidad luminosa (abajo) promedio, registradas en los niveles superior e inferior de un cultivo de poslarvas de abulón rojo.	19
Tabla IV.	Número y estadio de conchas colectadas por tanque de los niveles superior (N. S.) e inferior (N. I.), y sobrevivencia a los 7 d (S-7d) y metamorfosis total (MT) de poslarvas de abulón rojo <i>H. rufescens</i> .	23
Tabla V.	Análisis de varianza de la sobrevivencia a los siete días (arriba), y metamorfosis total (abajo) entre los niveles superior e inferior.	23
Tabla VI.	VI. Sobrevivencia de poslarvas de abulón rojo <i>H. rufescens</i> a los 45 días en los tanques de los dos niveles.	26
Tabla VII.	Análisis de varianza de sobrevivencia de poslarvas de abulón rojo <i>H. rufescens</i> a 45 días entre los niveles superior e inferior.	26
Tabla VIII.	Porcentajes de sobrevivencia poslarval a los 45 días en los 160 tanques de los cuatro módulos y niveles (datos proporcionados por la empresa).	29

Tabla IX.	Tabla IX. Medias y error estándar de la sobrevivencia en los 160 tanques de cultivo a 45 días después del asentamiento en cuatro módulos y niveles.	30
Tabla X.	Análisis de varianza de dos vías, de la sobrevivencia a 45 días entre módulos y niveles.	30
Tabla XI	Prueba Tukey para la sobrevivencia 45 días después del asentamiento entre los cuatro módulos y niveles de cultivo poslarval.	31
Tabla XII.	Tasas de crecimiento ($\mu\text{m/d}$) durante los siete periodos de muestreo en poslarvas de abulón rojo.	37
Tabla XIII.	Análisis de varianza del crecimiento de 0 a 111 días entre tanques de los niveles superior e inferior del cultivo poslarval.	37

Lista de figuras

- Figura 1.** Diagrama del sistema de cultivo poslarval en la granja de Abulones Cultivados S. A., de C. V., indicando los tanques muestreados en este estudio. 9
- Figura 2.** Estadios de poslarvas de abulón. 1= sin concha peristomal (SP); 2= con concha peristomal inicial (CP); 3= midasimétrica (M); 4= circular (C). (El esquema no está a escala; modificado de Leighton, 1974). 12
- Figura 3.** Equipo utilizado para el análisis de conteo, digitalización y medición de las conchas de poslarvas muertas. 16
- Figura 4.** Porcentaje de poslarvas muertas por tanque en diferentes estadios de desarrollo (ver figura 2) durante la primera semana post-asentamiento de abulón rojo *H. rufescens*. 21
- Figura 5.** Relación de la sobrevivencia a los 7 días (%S-7d) y la sobrevivencia de poslarvas (%S-Met) con la metamorfosis total de abulón rojo. Cada punto corresponde a un tanque. 24
- Figura 6.** Relación entre la sobrevivencia a 7 días y 45 días después del asentamiento de poslarvas de abulón rojo *H. rufescens*. Cada punto corresponde a un tanque. 27
- Figura 7.** Diferencia entre la sobrevivencia poslarval registrada en los cuatro módulos y niveles 45 días después del asentamiento de larvas de abulón rojo. 32
- Figura 8.** Longitud poslarval obtenida en los ocho tanques de cultivo durante los siete periodos de muestreo. 34

Figura 9.	Formación del primer poro respiratorio en una poslarva de abulón rojo a los 48 días después del asentamiento.	35
Figura 10.	Tasas de crecimiento de poslarvas de abulón rojo <i>H. rufescens</i> por tanque, en los periodos de muestreo.	39
Figura 11.	Relación de la sobrevivencia inicial con la tasa de crecimiento de los ocho tanques de cultivo poslarval.	40
Figura 12.	Relación de la sobrevivencia a los 45 días con la tasa de crecimiento de los ocho tanques de cultivo poslarval a los 48 días.	41
Figura 13.	Fig. 13. Tasa de crecimiento poslarval promedio en relación con la temperatura registrada durante el periodo de estudio	42
Figura 14.	Tasa de crecimiento de poslarvas y juveniles de abulón rojo <i>H. rufescens</i> , en relación con la intensidad luminosa registrada en los periodos de muestreo.	40
Figura 15.	Tasa de crecimiento de poslarvas y juveniles de abulón rojo <i>H. rufescens</i> en relación con la temperatura. Cada punto corresponde a un tanque en un periodo de muestreo.	44
Figura 16.	Tasa de crecimiento de poslarvas y juveniles de abulón rojo <i>H. rufescens</i> en relación con la intensidad luminosa. Cada punto corresponde a un tanque en un periodo de muestreo.	45

1. INTRODUCCIÓN.

El abulón (*Haliotis* spp) es el molusco marino de mayor importancia comercial en la costa occidental de Baja California. La producción pesquera de este recurso ha disminuido drásticamente durante las últimas tres décadas, forzando la implementación de severas medidas de administración (Guzmán del Proó, 1992; Ponce-Díaz *et al.*, 2000). Dentro de estas destaca el decidido impulso a la acuacultura del recurso (Pérez-Muñoz, 1995).

El cultivo de este molusco en nuestro país ha alcanzado su mayor desarrollo en los últimos quince años, contando con el apoyo académico de la UABC y de otras instituciones. Actualmente operan a ni granjas privadas en Baja California: Abulones Cultivados, Productores Marinos Baja (ambas en Eréndira, B. C.) y Aqua Farming International (Colonia Vicente Guerrero, B. C.). El sector cooperativo opera varios laboratorios de producción de larva y semilla de abulón azul (*Haliotis rufescens*) que son destinadas principalmente al repoblamiento (Pérez-Muñoz, 1995).

La etapa de producción de semilla en laboratorio, inicia con el desove artificial de abulones maduros, la combinación de gametos y la obtención de larvas. Las larvas son inducidas a la metamorfosis con distintos métodos y después de este proceso los abulones reciben el nombre de poslarvas, hasta

que desarrollan el primer poro respiratorio (entre uno y dos meses) cuando reciben el nombre de juveniles.

El periodo larval dura aproximadamente una semana y no se requiere proporcionar alimento ya que las larvas son lecitotróficas. Hasta este punto, las técnicas convencionales de cultivo son muy eficientes y la sobrevivencia larval es normalmente superior al 80%. Sin embargo, durante la inducción de la metamorfosis (fijación) y los primeros meses de vida bentónica de las poslarvas y juveniles iniciales, es frecuente una mortalidad masiva que resulta en una sobrevivencia menor al 5% (Hahn, 1989; Searcy-Bernal *et al.*, 1992).

Las larvas de abulón requieren un estímulo externo para la metamorfosis que en el medio natural es proporcionada por algas incrustantes coralinas (Morse *et al.*, 1979). Durante la metamorfosis las larvas pierden el velum, secretan una nueva concha peristomal y desarrollan su sistema digestivo para permitir la alimentación exógena a base de bacterias, diatomeas y otros microorganismos (Hahn, 1989, Kawamura *et al.*, 1998).

Los métodos tradicionales para la inducción de la metamorfosis larval utilizan películas de diatomeas bentónicas y bacterias, que producen resultados poco eficientes y muy variables (Searcy-Bernal *et al.*, 1992). Recientemente, las investigaciones sobre la metamorfosis larval de abulón han permitido el

desarrollo de técnicas de inducción, como el uso del ácido gamma-aminobutírico (GABA), que permiten una alta eficiencia en esta etapa (Morse, 1992; Searcy-Bernal *et al.*, 1992; Searcy-Bernal y Anguiano-Beltrán, 1998). Sin embargo, el cultivo poslarval sigue siendo una etapa crítica que recibe un creciente esfuerzo de investigadores de distintos países, que apuntan hacia la optimización de la sobrevivencia y crecimiento.

Las poslarvas se cultivan normalmente en los mismos recipientes donde se fijaron, con flujo constante de agua de mar e iluminación adecuada para promover el crecimiento de una película microbiana, formada principalmente por bacterias y diatomeas bentónicas que constituyen su alimento (Hahn, 1989). Por otro lado, se pueden agregar diatomeas cultivadas como alimento y existen granjas que dan prioridad a esta alternativa. En particular, la diatomea *Navicula incerta*, aislada en el laboratorio de microalgas del Instituto de Investigaciones Oceanológicas, ha probado ser una excelente opción y es utilizada rutinariamente por granjas de Baja California, Sudáfrica y Chile (Rojo-Salazar, 2000). Después de 3-4 meses se inicia la dieta adulta con macroalgas; aunque las microalgas bentónicas siguen representando una contribución alimenticia importante (Kawamura *et al.*, 1998).

1.1 Antecedentes.

Dos factores ambientales importantes en el crecimiento poslarval del abulón, son la temperatura e intensidad luminosa. El efecto del primero ha sido estudiado por diversos autores (Hahn, 1989). Para *H. rufescens* de California, EE. UU., se reporta una tolerancia termal de 10 a 19.5 °C (Leighton, 1974; Hanh, 1989) con condiciones óptimas alrededor de 15 °C (Hooker y Morse, 1985). Sin embargo, pueden existir diferencias intraespecíficas debidas probablemente a características locales. En el Instituto de Investigaciones Oceanológicas se ha observado una alta sobrevivencia y un mejor crecimiento poslarval de *H. rufescens* a 16-18 °C que a 13-15 °C (Martínez-Ponce y Searcy-Bernal, 1998), lo cual concuerda con Díaz *et al.* (2000) quienes reportaron una temperatura preferida de 18 °C para juveniles de esta especie.

La irradiancia es un factor crucial que controla el desarrollo de las asociaciones de diatomeas de las que se alimentan las poslarvas de abulón; sin embargo, son pocos los estudios al respecto. McBride (1990) encontró un mejor crecimiento de *H. rufescens* a 50-60 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$. En algunas granjas de California y Baja California prefieren utilizar mallas sobre los tanques de cultivo poslarval para producir irradiancias menores a 30 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ (datos no publicados). Searcy-Bernal *et al.*, (2003) obtuvieron una mejor sobrevivencia del 89% a los 30 días

y un crecimiento poslarval de 37 $\mu\text{m}/\text{d}$ a 6 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}/\text{d}$ en poslarvas de abulón azul *H. fulgens*, que son significativamente mayores que las sobrevivencias del 3.5 al 21% y los crecimientos de 21 a 25 $\mu\text{m}/\text{d}$ correspondientes a las irradiancias mayores (24 a 75 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$). Este patrón se asocia a una mayor persistencia de la diatomea *N. incerta* (inoculada inicialmente), respecto a la colonización por otras especies de diatomeas, en la menor irradiancia. Gorrostieta-Hurtado y Searcy-Bernal (2005) reportan una mayor sobrevivencia y crecimiento de poslarvas de *H. rufescens* en condiciones de completa oscuridad en relación con la iluminación constante (19-33 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$).

En este trabajo se determinó la sobrevivencia y crecimiento de poslarvas de abulón rojo *Haliotis rufescens*, durante un periodo de cuatro meses en el laboratorio de producción de semillas de la empresa Abulones Cultivados, y se estudió la relación de estas variables con algunos parámetros ambientales.

Esta es la primera vez que se realiza una investigación de esta índole en una granja comercial de abulón en el país, por lo que este trabajo podrá otorgar información a las actuales y futuras granjas de abulón acerca del efecto de algunos parámetros ambientales sobre el cultivo poslarval de abulón.

1.2 Objetivo.

Determinar la sobrevivencia y crecimiento de poslarvas de abulón rojo *H. rufescens* en una granja de cultivo comercial de Baja California y su posible asociación con variaciones de la temperatura e intensidad luminosa.

2. MATERIALES Y METODOS.

2.1 Descripción y protocolo de campo.

Entre el 7 de febrero y 1^{ro} de junio del 2004, se realizaron siete muestreos en la Granja de Abulones Cultivados de S. A. de C. V, localizada 85 km al sur del Puerto de Ensenada, B. C.

En esta granja se realiza el cultivo de poslarvas de abulón en un laboratorio con 200 tanques redondos de 250 L, divididos en cinco módulos y cuatro niveles, e iluminación constante con lámparas fluorescentes, en los cuales se induce el asentamiento de larvas de abulón (entre 30 y 40 mil por cada tanque) con el ácido gamma-aminobutírico (GABA) a una concentración final 1 μ M. Un día después se agregan diatomeas bentónicas (*Navicula incerta*) como alimento principal de las poslarvas y al siguiente día se abre el flujo constante de 5-10 L/min., con agua de mar filtrada e irradiada con UV. Después de 45 días se combina la dieta de microalgas con alimento artificial y tres meses post-asentamiento el alimento artificial es sustituido gradualmente por macroalgas (principalmente *Macrocystis pyrifera*).

Esta investigación se realizó con un lote de poslarvas cuyo desove fue el día 3 de febrero de 2004. Siete días después se realizó la fijación de 38 000 larvas aproximadamente por cada tanque. De los 160 tanques sembrados (cuatro módulos), se seleccionaron ocho tanques del módulo dos; cuatro del nivel superior (tanques 65, 69, 73, 77) y cuatro del inferior (tanques, 68, 72, 76, 80), (Fig. 1) para ser muestreados durante este estudio. La siguiente nomenclatura se utilizará en el presente trabajo: nivel superior (N. S) y nivel inferior (N. I).

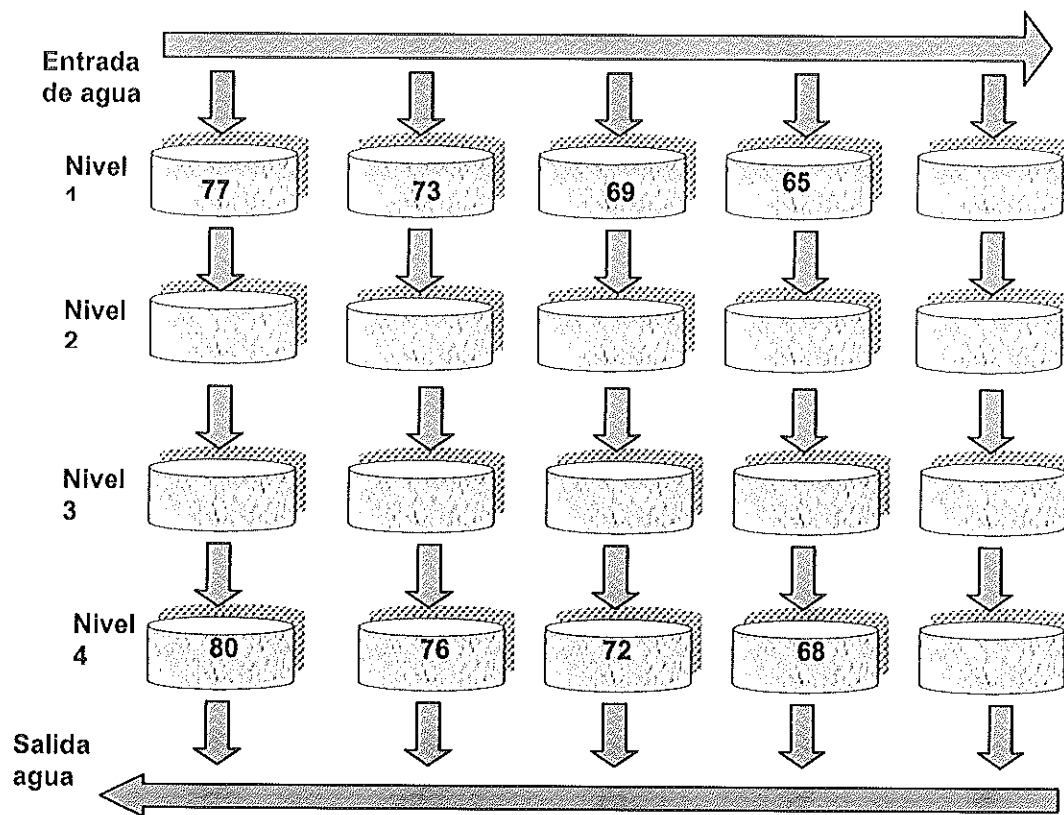


Fig. 1. Diagrama del sistema de cultivo poslarval en la granja de Abulones Cultivados S. A., de C. V., indicando los tanques muestreados en este estudio.

En cada muestreo se registró la temperatura (°C) del agua de los tanques con un termómetro digital y la intensidad luminosa (luxes) con un medidor Dx-200 digital ILLUMINATION de sensor plano, que se colocó en la parte central de los tanques.

En la primera semana de asentamiento, el personal de la granja realizó la colecta de conchas de poslarvas muertas en los ocho tanques de cultivo y éstas se preservaron en formol al 10% para su posterior conteo y análisis en laboratorio.

Después de 45 días el personal de la empresa realizó un conteo de poslarvas vivas en los 160 tanques de cultivo con fines de inventario. Con estos datos se determinó la diferencia de sobrevivencia entre los módulos y niveles.

En cada muestreo se colectaron entre 10 y 20 poslarvas vivas por cada tanque con un pincel de pelo de camello número nueve y se preservaron en formol al 10% hasta su análisis en laboratorio.

2.2 Protocolo de laboratorio.

2.2.1 Conteo de poslarvas muertas.

Las muestras obtenidas fueron filtradas y enjuagadas con agua de mar para eliminar el excedente de formol y detritus. Después de la limpieza, cada muestra se vació en un vaso de precipitados y de éste se tomaron submuestras para el conteo e identificación de los estadios de desarrollo de poslarvas de abulón (Leighton, 1974) (Fig. 2).

DESARROLLO DE LOS ESTADIOS POSLARVALES DE ABULON

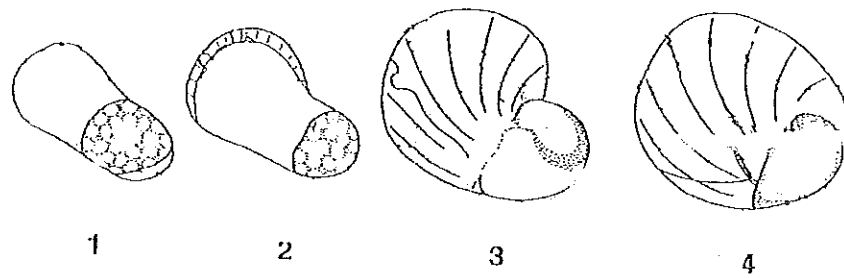


Fig. 2. Estadios de poslarvas de abulón. 1= sin concha peristomal (SP); 2= con concha peristomal inicial (CP); 3= midasimétrica (M); 4= circular (C). (El esquema no está a escala; modificado de Leighton, 1974).

2.2.2 Estimación de metamorfosis total, sobrevivencia inicial y crecimiento de poslarvas.

Se estimó la metamorfosis total mediante la relación:

$$\text{Metamorfosis total} = 100 - ((Y * 100) / X)$$

donde Y es el número de larvas muertas en cada tanque; y X es el número de larvas inducidas al asentamiento (38,000 por tanque).

La sobrevivencia inicial se determinó con el número total de organismos muertos por cada tanque de cultivo y se relacionó con el número inicial de larvas sembradas mediante la relación:

$$\text{Sobrevivencia inicial} = 100 - ((Y * 100) / X)$$

Donde Y, es el número total de organismos muertos; X es el número de organismos sembrados (38,000).

El porcentaje de sobrevivencia de poslarvas metamorfizadas se determinó mediante la relación:

$$\text{Sobrevivencia de poslarvas metamorfozadas} = ((Y/X)*100)$$

donde Y es el porcentaje de sobrevivencia a los siete días; y X metamorfosis total.

El porcentaje de poslarvas muertas en los cuatro estadios de desarrollo del organismo, se determinó mediante la relación:

$$\text{Porcentaje de poslarvas muertas por estadio} = ((Y/X)*100)$$

donde Y es el número de larvas muertas por estadio de cada tanque; X número total de organismos muertos en cada tanque de cultivo.

El porcentaje de sobrevivencia a los 45 días después del asentamiento se determinó:

$$\text{Porcentaje de sobrevivencia 45d} = ((Y/X)*100)$$

Donde Y, es el número de organismos vivos (inventariados); X es el número total de organismos sembrados.

La longitud de las poslarvas se determinó mediante videograbaciones con una cámara SONY (modelo SSC-C374 CCD) y un monitor de 12", adaptado

a un microscopio invertido (marca MEIJI) (Fig.3). Las imágenes capturadas se digitalizaron con un programa de computadora Hauppauge Win TV 2000, y las mediciones se realizaron con el programa Scion Image ver. Beta 4.0.2.

2.2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Los datos de factores ambientales, metamorfosis, sobrevivencia inicial y crecimiento, se procesaron con análisis de varianza de una vía para determinar diferencias entre los tanques de los niveles superior e inferior. Para comparar la sobrevivencia a los 45 días entre módulos y niveles, se utilizó un análisis de varianza de dos vías y pruebas de comparaciones de Tukey. Los datos de porcentaje de sobrevivencia fueron transformados antes de los análisis mediante la relación:

$$(Y = \arcsen \sqrt{P/100})$$

donde P es el porcentaje de sobrevivencia.

Para determinar la posible relación de la sobrevivencia y crecimiento de los abulones con la temperatura e intensidad luminosa, se aplicaron regresiones lineales. Los análisis se realizaron con el programa de STATISTICA ver 6.1 y Excel. Ver. 11.5.

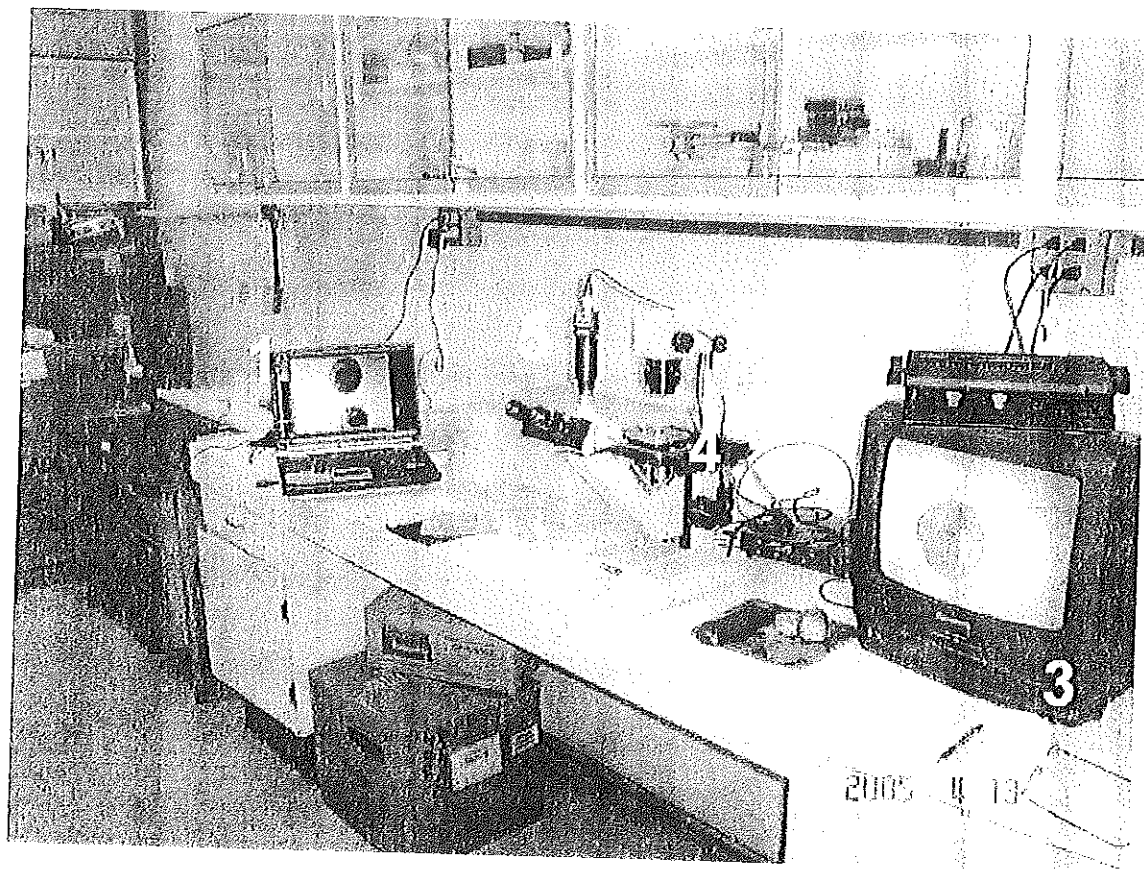


Fig. 3. Equipo utilizado para el análisis de conteo, digitalización y medición de las conchas de poslarvas muertas 1) computadora; 2) Contador manual; 3) Monitor; 4) Microscópio invertida: 5) Cámara de video.

3. RESULTADOS.

3.1 Parámetros físicos

Durante los siete muestreos se registró una temperatura promedio más alta en el nivel superior con 15 °C a diferencia de 14.5 °C del nivel inferior. La mayor intensidad luminosa promedio correspondió al nivel superior con 735 luxes y 217.6 luxes del nivel inferior (Tabla I II). El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre niveles para ambos factores (Tabla III).

Tabla I. Temperatura (°C) registrada por tanque en los siete periodos de muestreo durante el año de 2004.

FECHA	17-Feb	23-Feb	9-Mzo	31-Mzo	20-Abr	11-May	1-Jul	
Día	7	13	27	48	69	90	111	
N.S								
65	14.7	13.5	16.7	13.8	13.4	15.6	18.1	media
69	14.4	13.7	16.7	14.1	13.5	15.6	17.4	15.1
73	14.5	13.7	16.7	14.0	13.4	16.0	16.0	15.1
77	14.4	13.8	16.7	13.9	13.4	17.6	15.7	14.9
								15.1
media	14.5	13.7	16.7	14.0	13.4	16.2	16.8	15.0
N. I								
68	13.4	13.0	16.2	13.9	13.6	15.5	15.5	14.4
72	13.6	13.0	16.2	14.6	13.5	15.5	15.5	14.6
76	13.4	13.1	16.2	14.4	13.4	15.5	15.5	14.5
80	13.6	13.1	16.2	14.2	13.3	15.6	15.5	14.5
media	13.5	13.0	16.2	14.3	13.4	15.5	15.5	14.5

Tabla II. Intensidad luminosa (luxes) registrada por tanque en los siete periodos de muestreo durante el año de 2004.

FECHA	17-Feb	23-Feb	9-Mzo	31-Mzo	20-Abr	11-May	1-Jul	
Día	7	13	27	48	69	90	111	
N.S								
65	530	515	483	442	591	338	580	media
69	668	1008	799	752	844	558	471	497.0
73	480	508	479	396	520	537	580	728.6
77	1080	1750	1245	805	710	1335	1576	500.0
								1214.4
media	689.5	945.3	751.5	598.8	666.3	692.0	801.8	735.0
N. I								
68	190	255	137	130	204	158.3	223	185.3
72	390	370	70	320	362	420	466	342.6
76	233	260	127	140	120	165	135	168.6
80	160	202	124	182	150	230	170	174.0
media	243.2	271.7	114.5	193	209	243.3	248.5	217.6

Tabla III. Análisis de varianza de la temperatura promedio (arriba) e intensidad luminosa (abajo) promedio, registradas en los niveles superior e inferior de un cultivo de poslarvas de abulón rojo.

F. Variación	gl	SC	CM	F	P
Nivel	1	0.574	0.574	104.814	5.06E-5
Error	6	0.033	0.005		
Total	7	0.607			

F. Variación	gl	SC	CM	F	P
Nivel	1	535368.6	535369	8.85575	0.0247
Error	6	362727.1	60454		
Total	7	898094.7			

3.2 Metamorfosis.

La figura 4 muestra el porcentaje de organismos muertos en los diferentes estadios del desarrollo postlarval de abulón durante la primera semana después del asentamiento, y se observa una mayor mortalidad de larvas no metamorfozadas (estadio SP).

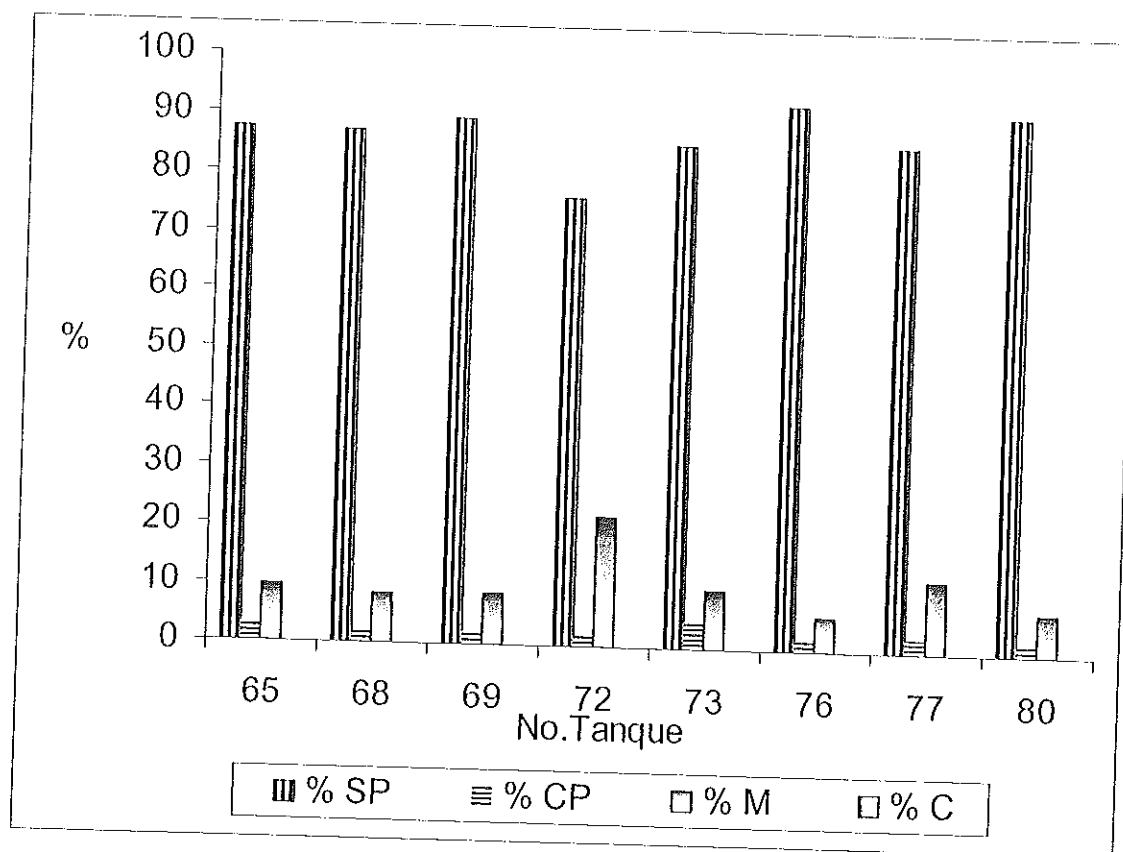


Fig. 4. Porcentaje de poslarvas muertas por tanque en diferentes estadios de desarrollo (ver figura 2) durante la primera semana post-asentamiento de abulón rojo *H. rufescens*.

3.3 Sobrevivencia inicial y metamorfosis total.

Los mayores promedios de sobrevivencia a los siete días y metamorfosis se registraron en el nivel inferior con 73.3% y 76.0% respectivamente, a diferencia del 46.5% y 53.7% obtenido en el nivel superior (Tabla IV). Sin embargo, los análisis de varianza no arrojaron diferencias significativas de estas variables entre ambos niveles (Tabla V).

La sobrevivencia inicial depende del éxito de la metamorfosis; adicionalmente a mayor metamorfosis también se observa una mayor sobrevivencia de las poslarvas (larvas metamorfizadas). Ambas regresiones lineales son significativas ($P < 0.05$) (Fig. 5).

Tabla IV. Número y estadio de conchas colectadas por tanque de los niveles superior (N. S.) e inferior (N. I.), y sobrevivencia a los 7 d (S-7d) y metamorfosis total (MT) de poslarvas de abulón rojo *H. rufescens*.

N.S.	SP	CP	M	C	Total	% S-7d	% MT
65	7201	257	974	0	8256	78.3	81.1
69	18089	454	1750	0	20293	46.6	52.4
73	23984	1350	2735	0	28069	26.1	36.9
77	21078	602	2952	1	24632	35.2	44.5
Media						46.5	53.7
N. I.							
68	14428	300	1362	0	16566	56.4	62.0
72	323	8	93	0	424	98.9	99.2
76	14647	304	903	1	15854	58.3	61.5
80	7067	148	536	2	7753	79.6	81.4
Media						73.3	76.0

Tabla V. Análisis de varianza de la sobrevivencia a los siete días (arriba), y metamorfosis total (abajo) entre los niveles superior e inferior.

F. Variación	gl	SC	CM	F	P
Nivel	1	0.203	0.203	2.925	0.1380
Error	6	0.417	0.069		
Total	7	0.621			

F. Variación	gl	SC	CM	F	P
Nivel	1	0.150	0.150	2.608	0.1574
Error	6	0.346	0.057		
Total	7	0.497			

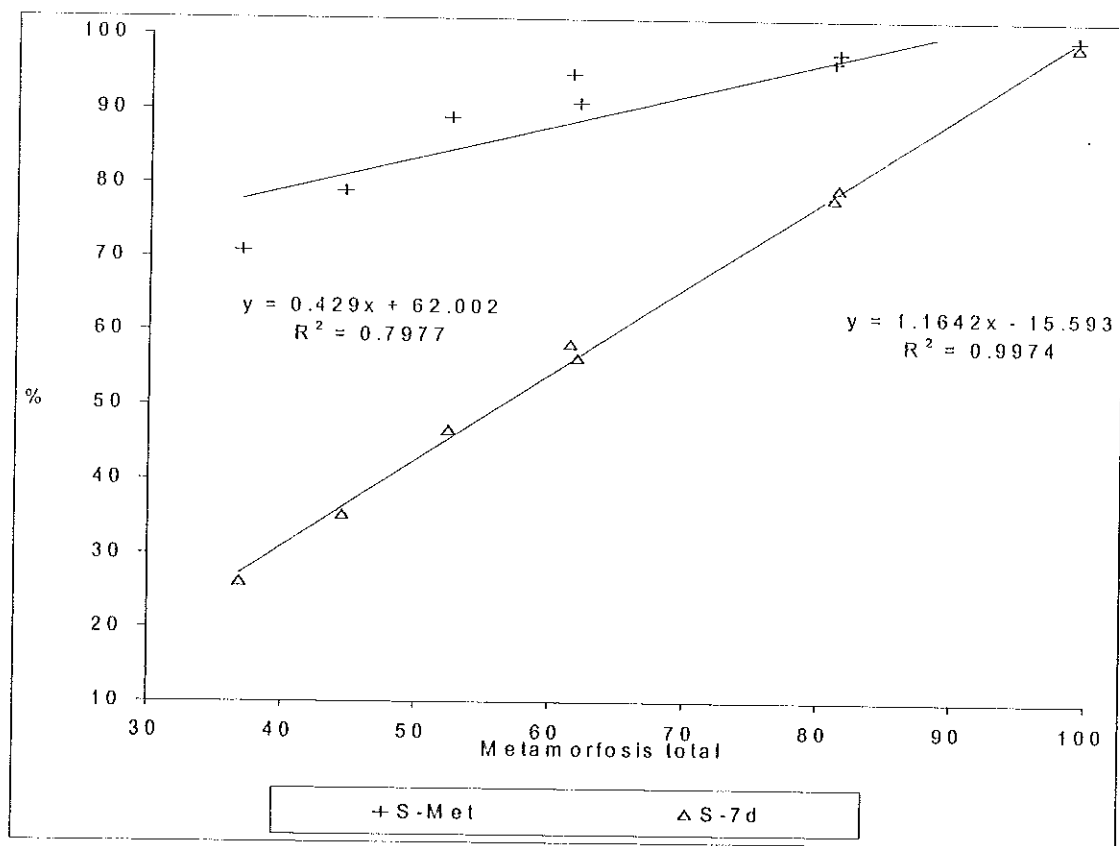


Fig. 5. Relación de la sobrevivencia a los 7 días (%S-7d) y la sobrevivencia de poslarvas (%S-Met) con la metamorfosis total de abulón rojo. Cada punto corresponde a un tanque.

3.4 Supervivencia a 45 días.

La supervivencia menor se encontró en el nivel superior con 11.75%, a diferencia del 14.32% obtenido en el nivel inferior (Tabla VI). El análisis de varianza no mostró diferencias significativas de la supervivencia poslarval después de 45 días entre los tanques de los niveles superior e inferior (Tabla VII).

La figura 6 muestra la relación de la supervivencia a los 7 y 45 días después del asentamiento, en la cual no se observa una relación significativa entre estas variables.

Tabla VI. Supervivencia de poslarvas de abulón rojo *H. rufescens* a los 45 días en los tanques de los dos niveles.

N. S.	N. de organismos vivos	% S
65	3136	8.25
69	6400	16.84
73	4800	12.63
77	3520	9.26
Media		11.75
N. I.		
68	6208	16.34
72	6304	16.59
76	5056	13.31
80	4192	11.03
Media		14.32

Tabla VII. Análisis de varianza de supervivencia de poslarvas de abulón rojo *H. rufescens* a 45 días entre los niveles superior e inferior.

F. Variación	gl	SC	CM	F	P
Nivel	1	0.003	0.0032	1.292	0.2989
Error	6	0.015	0.0025		
Total	7	0.018			

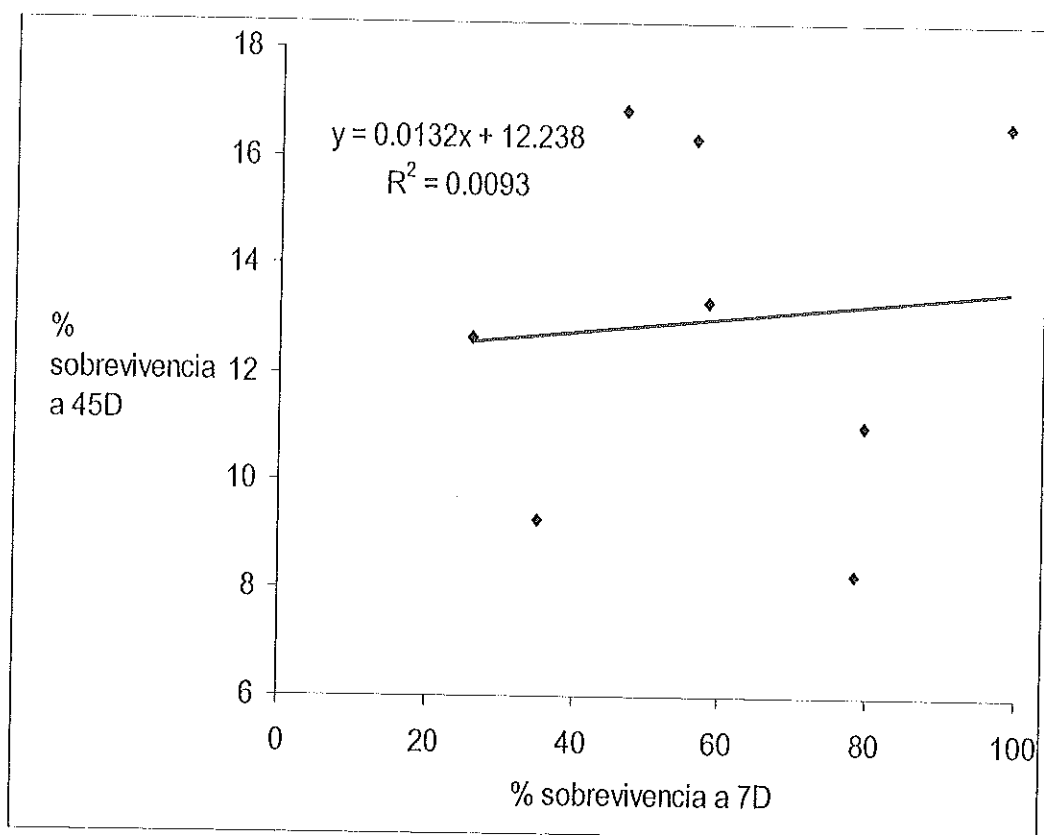


Fig. 6. Relación entre la sobrevivencia a 7 días y 45 días después del asentamiento de poslarvas de abulón rojo *H. rufescens*. Cada punto corresponde a un tanque.

3.5 Supervivencia general en los 160 tanques de cultivo a los 45 días.

La tabla VIII muestra la supervivencia obtenida en los cuatro módulos y niveles. La mayor supervivencia poslarval se registró en el módulo dos y nivel dos (12.57% y 8.91% respectivamente); en cambio la menor supervivencia se observó en el módulo cuatro y nivel uno (5.47% y 6.49%) (Tabla IX).

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en la supervivencia a los 45 días entre módulos y niveles así como su interacción (Tabla X).

El análisis de comparaciones de Tukey indicó que el nivel y módulo 2 fueron diferentes a los demás (Tabla XI).

La supervivencia en niveles y módulos después de 45 días se puede observar en la figura 7. Posiblemente la interacción significativa se deba a la diferencia de patrones entre los módulos respecto a los niveles. Por ejemplo, la importante disminución de la supervivencia del módulo 3 entre los niveles 2 y 3, no se observa en los otros módulos.

Tabla VIII. Porcentajes de sobrevivencia poslarval a los 45 días en los 160 tanques de los cuatro módulos y niveles (datos proporcionados por la empresa).

Nivel	Tanque	Modulo 1	Tanque	Modulo 2	Tanque	Modulo 3	Tanque	Modulo 4
1	1	6.57	41	11.62	81	15.16	121	8.08
1	2	1.43	42	14.99	82	10.53	122	8.08
1	3	2.19	43	9.26	83	6.65	123	1.26
1	4	7.33	44	8.59	84	12.88	124	4.46
1	5	0.93	45	0.00	85	0.00	125	11.45
1	6	0.25	46	15.07	86	8.93	126	2.69
1	7	0.26	47	8.25	87	6.40	127	8.93
1	8	0.26	48	16.84	88	4.88	128	8.76
1	9	0.26	49	12.63	89	6.15	129	4.97
1	10	0.24	50	9.26	90	3.45	130	0.00
2	11	1.43	51	14.91	91	8.08	131	12.46
2	12	4.80	52	15.24	92	8.51	132	6.40
2	13	6.99	53	10.11	93	11.45	133	4.80
2	14	2.02	54	8.34	94	3.79	134	4.46
2	15	1.09	55	5.73	95	20.04	135	8.67
2	16	6.23	56	10.53	96	9.94	136	3.71
2	17	5.31	57	11.79	97	8.08	137	4.55
2	18	6.74	58	17.60	98	19.12	138	9.09
2	19	14.32	59	18.11	99	9.60	139	3.03
2	20	10.78	60	18.44	100	6.48	140	3.71
3	21	1.52	61	7.92	101	3.03	141	3.87
3	22	2.86	62	8.42	102	7.92	142	5.47
3	23	3.96	63	12.38	103	10.02	143	6.15
3	24	1.26	64	10.19	104	7.83	144	4.55
3	25	5.05	65	17.85	105	6.65	145	5.22
3	26	9.18	66	6.74	106	5.98	146	5.31
3	27	9.09	67	13.56	107	1.77	147	4.29
3	28	10.44	68	25.01	108	3.87	148	3.28
3	29	15.33	69	17.35	109	8.59	149	5.22
3	30	13.73	70	19.12	110	5.47	150	6.40
4	31	0.76	71	3.03	111	3.54	151	2.19
4	32	2.36	72	11.37	112	4.13	152	7.66
4	33	9.68	73	21.81	113	5.81	153	3.20
4	34	3.71	74	11.20	114	6.23	154	5.89
4	35	5.73	75	9.85	115	5.73	155	5.64
4	36	6.48	76	12.63	116	9.18	156	4.80
4	37	17.85	77	16.34	117	4.04	157	3.96
4	38	10.02	78	16.59	118	2.19	158	5.81
4	39	3.28	79	13.31	119	6.06	159	6.91
4	40	8.51	80	11.03	120	3.71	160	3.28

Tabla IX. Medias y error estándar de la sobrevivencia en los 160 tanques de cultivo a 45 días después del asentamiento en cuatro módulos y niveles.

Módulo	Media	E. Estándar
1	5.51	0.74
2	12.57	0.79
3	7.30	0.67
4	5.47	0.41
Nivel	Media	E. Estándar
nivel 1	6.49	0.79
nivel 2	8.91	0.81
nivel 3	8.04	0.83
nivel 4	7.38	0.76

Tabla X. Análisis de varianza de dos vías, de la sobrevivencia a 45 días entre módulos y niveles.

Efectos	gl	SC	CM	F	P
Módulo	3	0.472	0.157	22.576	0.0000
Nivel	3	0.086	0.029	4.131	0.0076
Interacción	9	0.124	0.014	1.986	0.0448
Error	144	1.003	0.007		
Total	159	1.685			

Tabla XI. Prueba Tukey para la sobrevivencia 45 días después del asentamiento entre los cuatro módulos y niveles de cultivo poslarval.

Módulo	1	2	3	4
1		0.000008	0.0442	0.8536
2	8×10^{-6}		14×10^{-4}	8×10^{-6}
3	0.0442	0.000014		0.2670
4	0.8536	8×10^{-6}	0.2671	
Nivel	1	2	3	4
1		0.0039	0.0577	0.2404
2	0.0039		0.8181	0.4270
3	0.0577	0.8181		0.9181
4	0.2404	0.4270	0.9180	

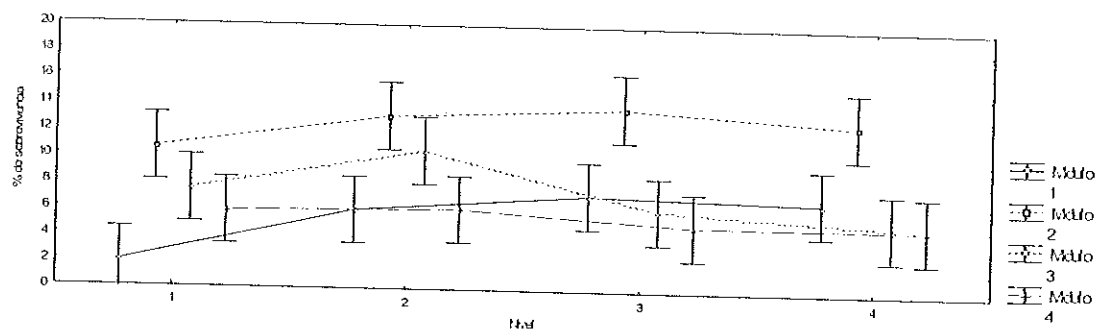


Fig. 7. Diferencia entre la sobrevivencia postlarval registrada en los cuatro módulos y niveles 45 días después del asentamiento de larvas de abulón rojo.

3.6. Longitud de poslarvas de abulón rojo *H. rufescens*.

Las longitudes poslarvales durante los muestreos se muestran en la figura 8. Se pueden observar tres fases de crecimiento; la primera se dio durante los primeros 27 días, en la cual la longitud poslarval fue menor de 500 μm ; entre los 27 y 69 días las poslarvas alcanzaron longitudes de unas 2000 μm y posteriormente se disparó el crecimiento lo cual está posiblemente asociado a la formación del primer poro respiratorio que se empezó a observar a los 48 días (Fig. 9).

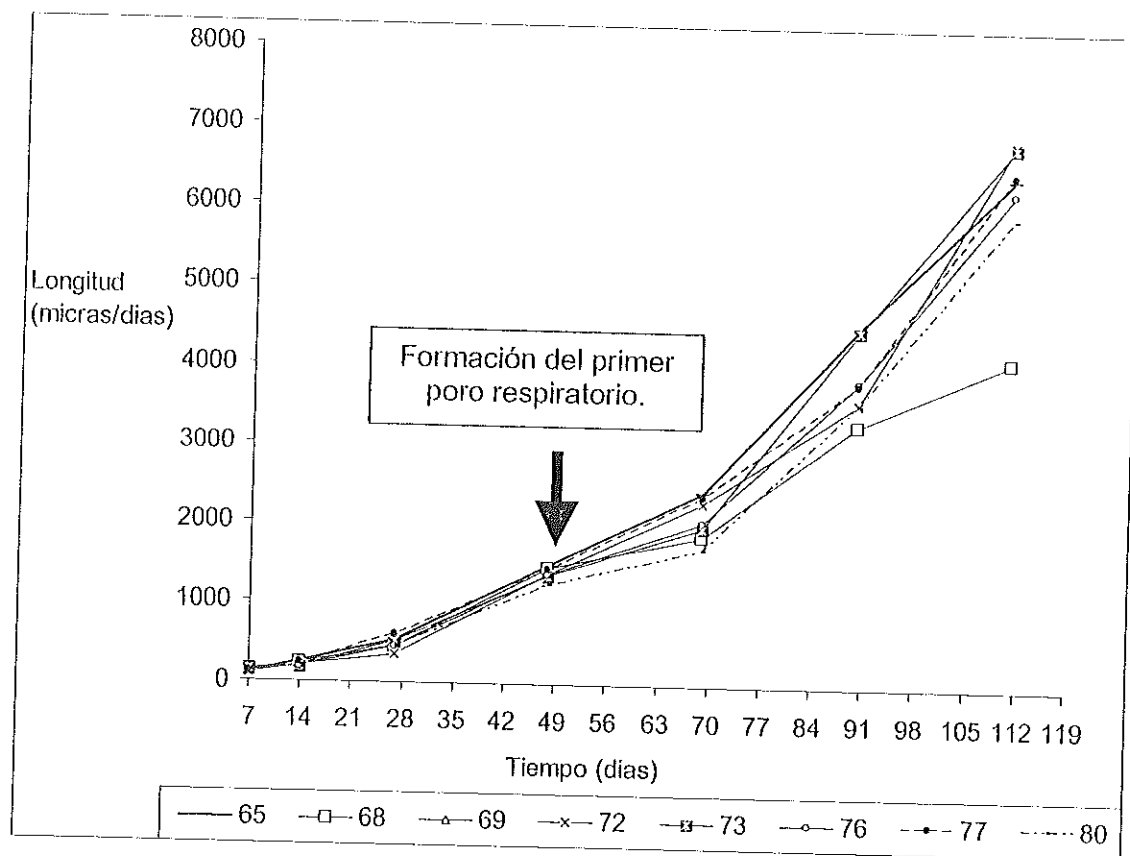


Fig. 8. Longitud poslarval obtenida en los ocho tanques de cultivo durante los siete muestreos.

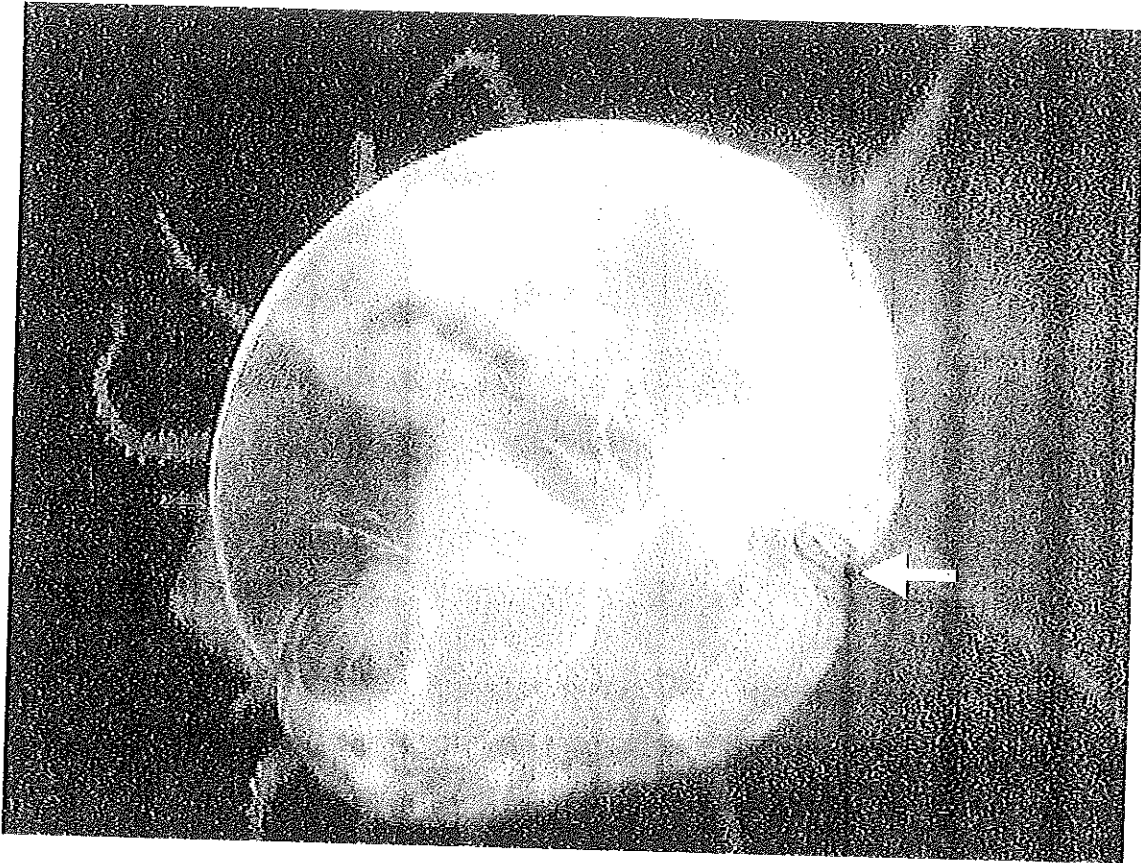


Fig.9. Formación del primer poro respiratorio en una postlarva de abulón rojo a los 48 días después del asentamiento.

3.7 Tasa de crecimiento poslarval.

Las tasas de crecimiento se muestran en la tabla XII y figura 10. El crecimiento promedio de las poslarvas durante el periodo de estudio fue mayor en el nivel superior ($60.04 \mu\text{m/d}$) que el inferior ($51.96 \mu\text{m/d}$), aunque esta diferencia no fue significativa (Tabla XIII).

Es interesante observar el aumento en la variabilidad entre tanques de la tasa de crecimiento al aumentar el tiempo de cultivo (Fig. 10) y el notable incremento de esta variable durante los últimos muestreos en todos los tanques con excepción del 68, en el cual el crecimiento disminuyó en el último periodo a menos de la mitad respecto a los demás (Tabla XIII).

En la figura 11 se muestra la relación entre la sobrevivencia y crecimiento a los 7 días post-asentamiento y se observa que a mayor sobrevivencia corresponde menor crecimiento. La regresión lineal es significativa ($P < 0.05$). Esta relación no se observó a los 45 días (Fig. 12).

Tabla XII. Tasas de crecimiento ($\mu\text{m/d}$) durante los siete periodos de muestreo en poslarvas de abulón rojo.

FECHA	17-Feb	23-Feb	9-Mzo	31-Mzo	20-Abr	11-May	1-Jul	
Día	7	13	27	48	69	90	111	
N.S								
65	14.30	24.05	20.49	45.13	44.31	100.20	89.87	media
69	18.39	16.28	20.87	36.88	38.77	95.45	137.77	57.67
73	19.94	7.90	23.35	39.27	30.10	119.50	110.96	63.11
77	16.37	20.06	24.78	40.32	43.85	68.75	126.16	61.62
Media	17.25	17.07	22.37	40.40	39.26	95.98	116.19	56.04
N. Inferior								60..04
68	19.35	15.28	15.02	48.07	18.80	68.55	39.34	37.00
72	12.89	16.69	10.82	48.11	44.18	60.99	156.13	61.62
76	16.31	11.03	18.56	44.03	31.70	85.87	113.65	56.04
80	16.01	15.08	16.86	37.29	22.01	89.22	111.60	53.16
Media	16.14	14.52	15.31	44.37	29.17	76.16	105.18	51.96

Tabla XIII. Análisis de varianza del crecimiento de 0 a 111 días entre tanques de los niveles superior e inferior del cultivo poslarval.

F. Varianza	gl	SC	CM	F	P
Nivel	1	130.803	130.803	2.206	0.1880
Error	6	355.808	59.301		
Total	7	486.612			

La figura 13 muestra la tasa de crecimiento poslarval y la temperatura promedio a lo largo del periodo de estudio, en la cual se observa que fluctuaciones similares en el tiempo. Sin embargo este comportamiento no se observa respecto a la intensidad de luz (Fig. 14). En ambos casos los datos de los factores ambientales para cada periodo se estimaron promediando los de los dos muestreos correspondientes.

En la figura 15 se presentan las tasas de crecimiento de poslarvas (0-48 días) y juveniles (48-111 días) en relación con las temperaturas por periodo. En ambos casos se observa un incremento significativo del crecimiento con la temperatura ($P < 0.05$), aunque el efecto es más marcado en los juveniles. Esta relación no se observa con la intensidad luminosa (Fig. 16).

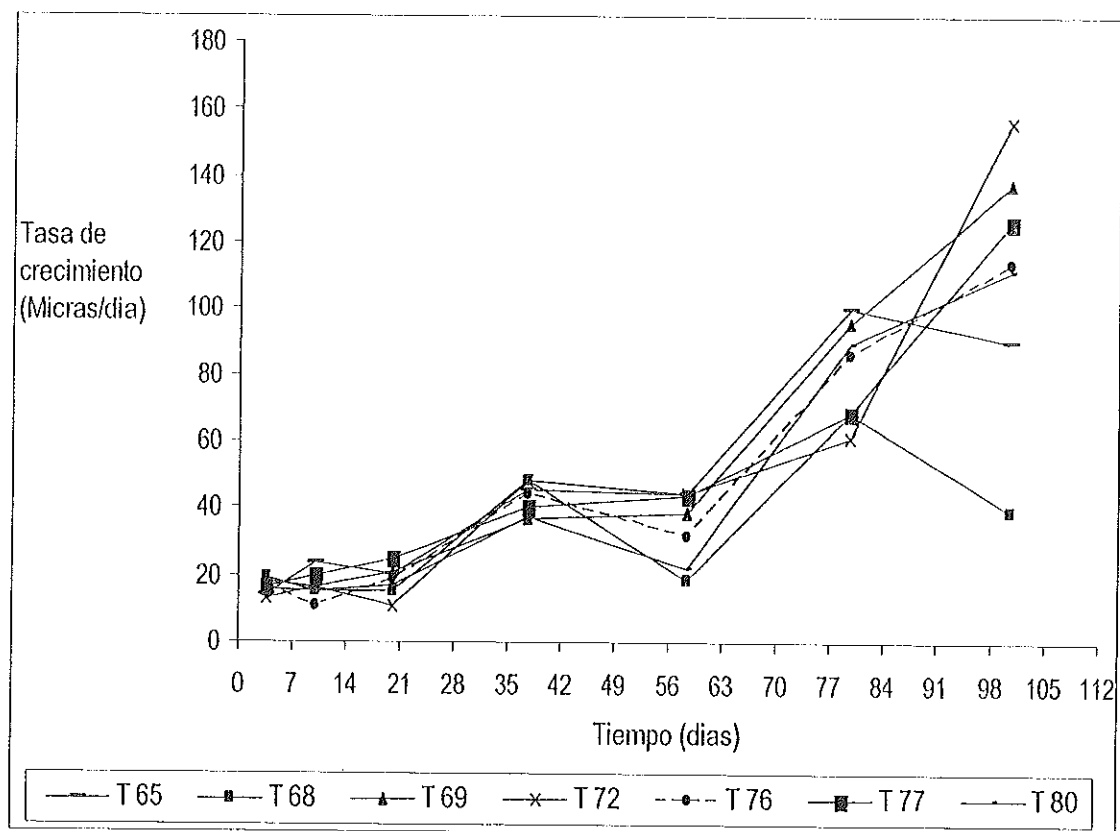


Fig. 10. Tasas de crecimiento de poslarvas de abulón rojo *H. rufescens* por tanque, en los periodos de muestreo.

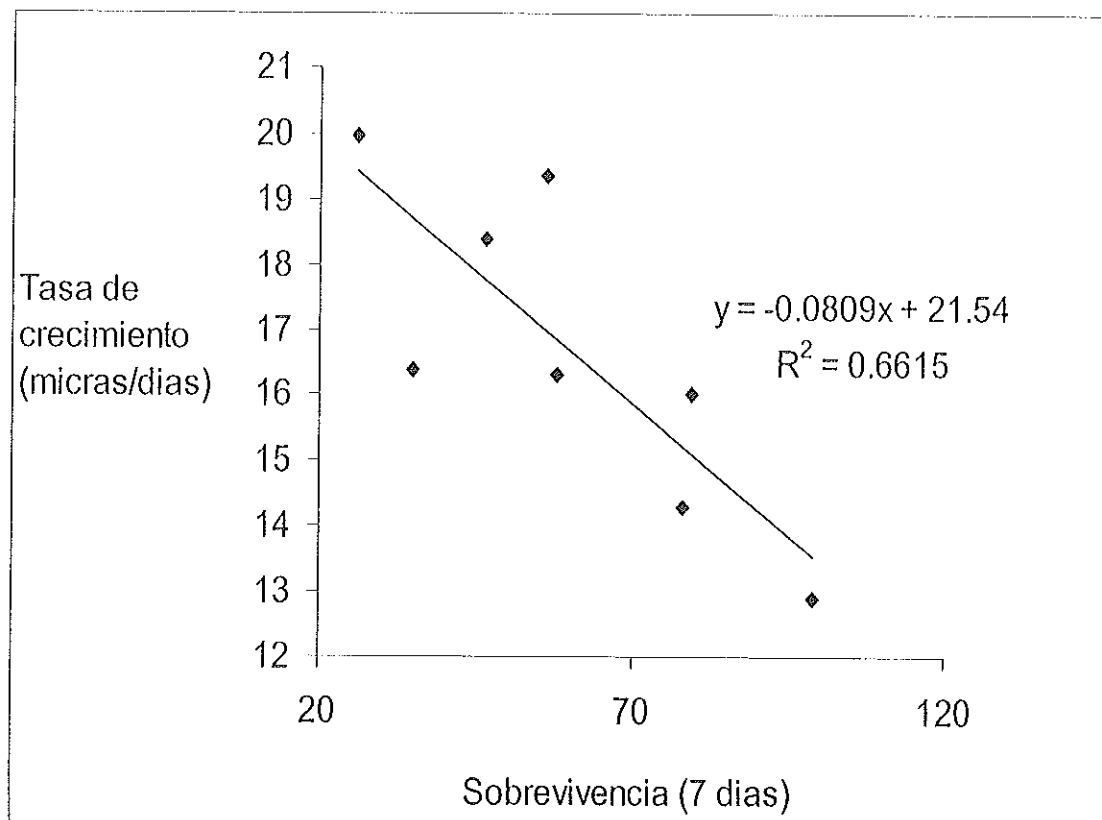


Fig.11. Relación de la sobrevivencia inicial con la tasa de crecimiento de los ocho tanques de cultivo poslarval.

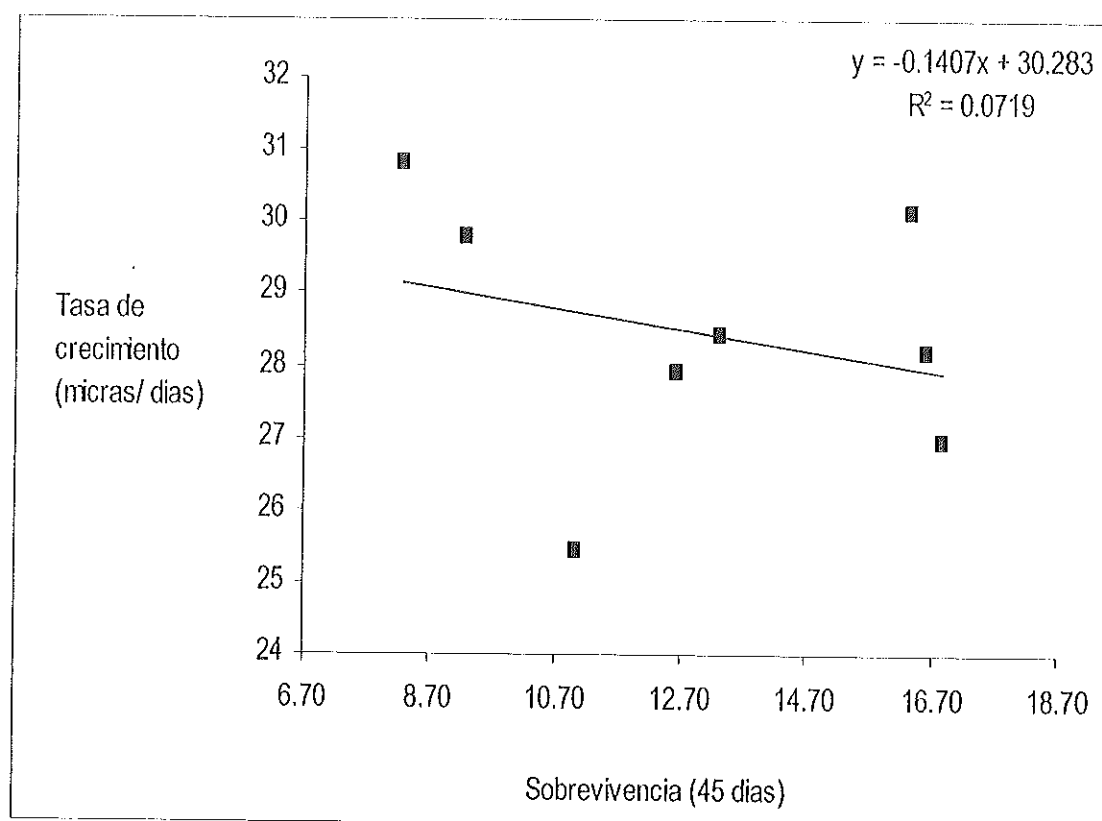


Fig.12. Relación de la sobrevivencia a los 45 días con la tasa de crecimiento de los ocho tanques de cultivo poslarval a los 48 días.

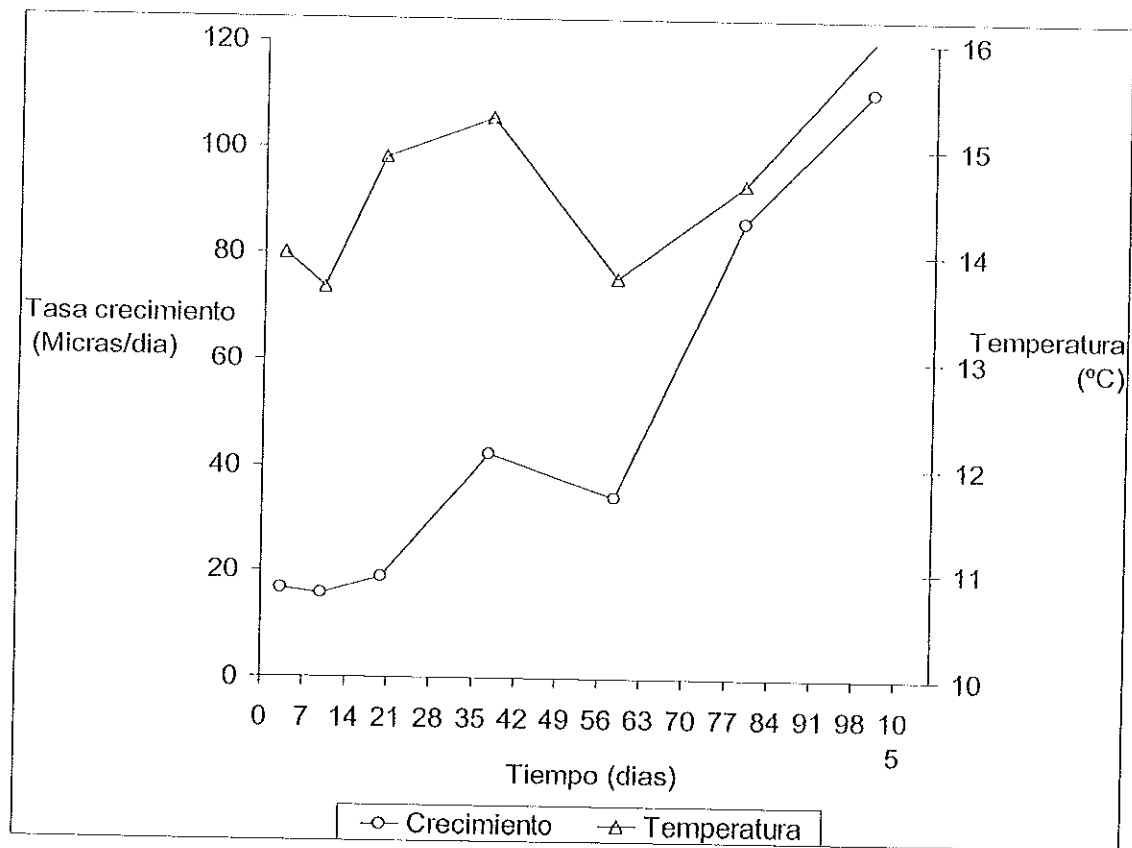


Fig. 13. Tasa de crecimiento poslarval promedio en relación con la temperatura registrada durante el periodo de estudio.

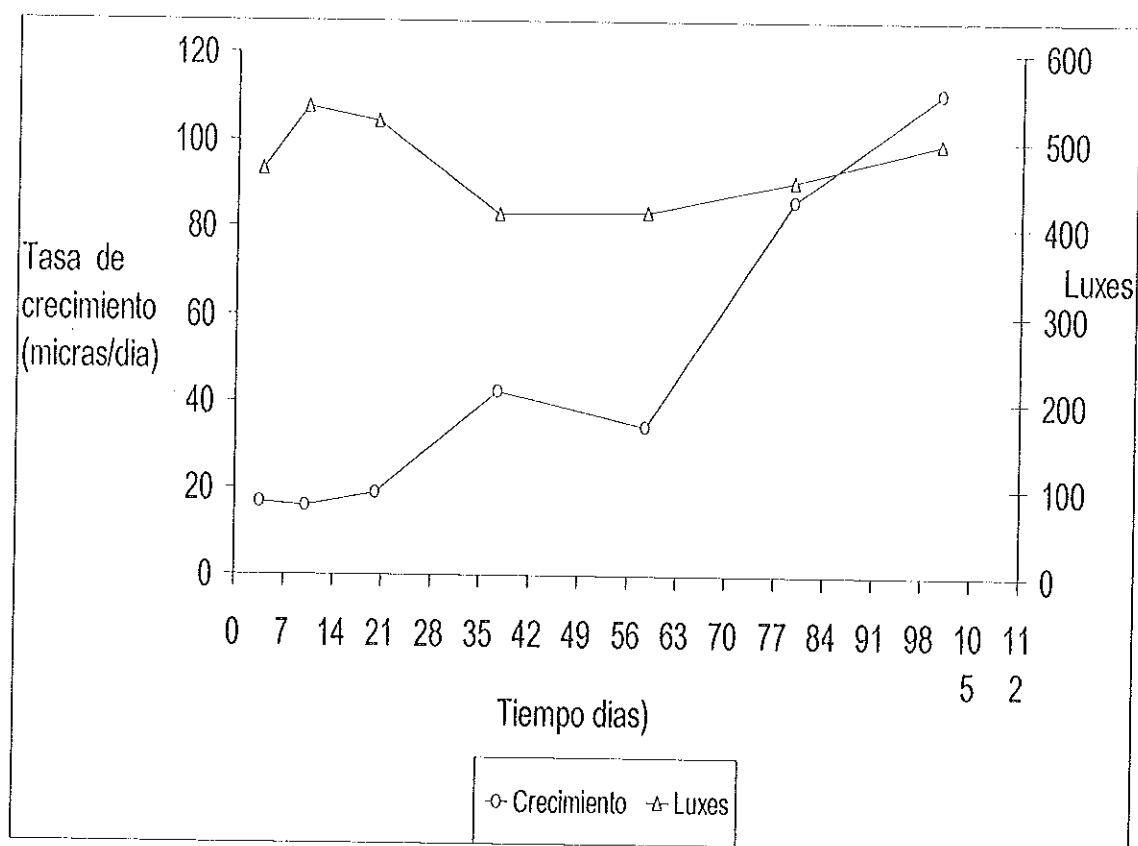


Fig. 14. Tasa de crecimiento postlarval promedio en relación con la intensidad luminosa registrada durante el periodo de estudio.

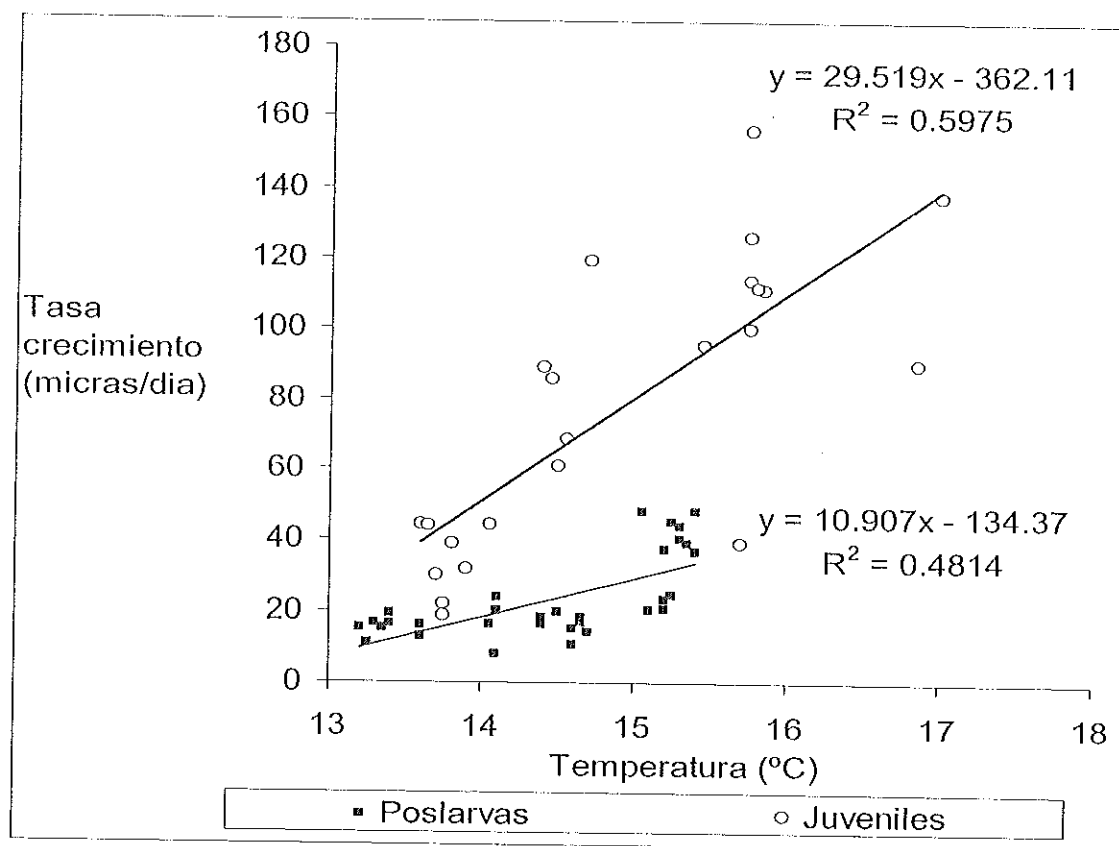


Fig.15. Tasa de crecimiento de poslarvas y juveniles de abulón rojo *H. rufescens* en relación con la temperatura. Cada punto corresponde a un tanque en un periodo de muestreo.

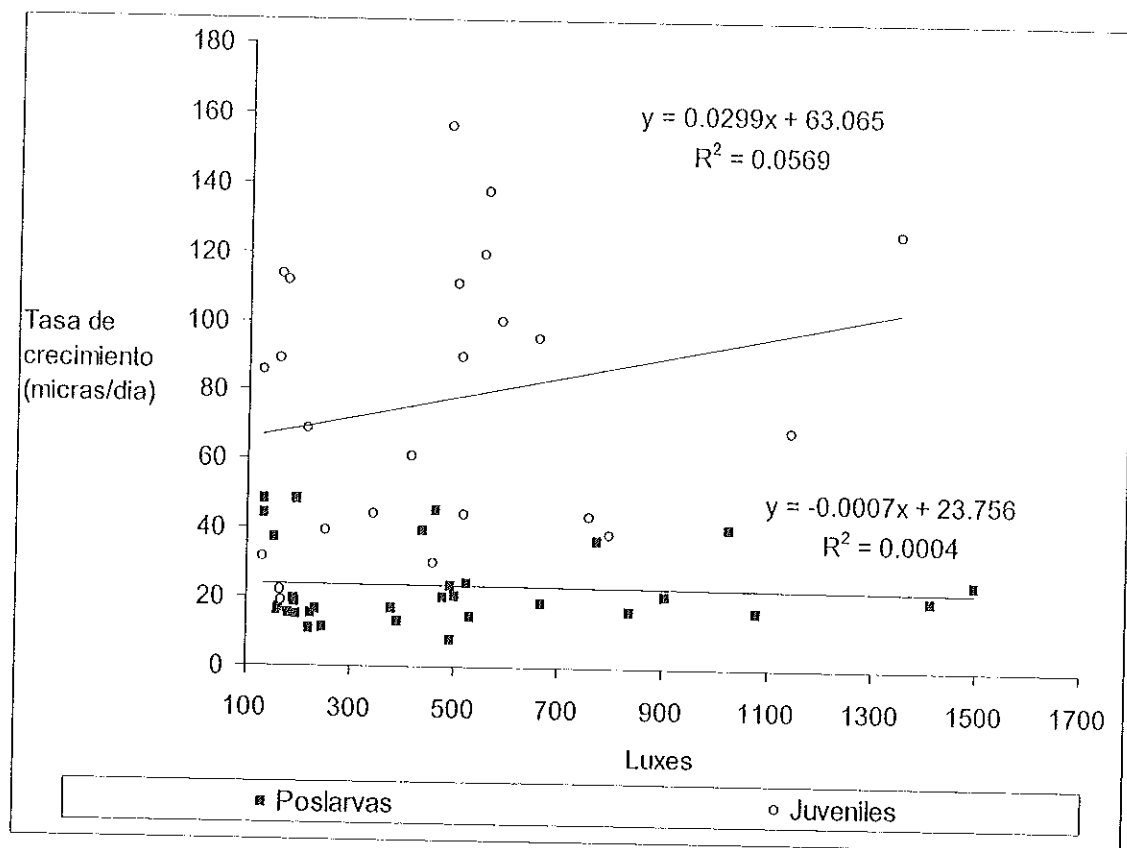


Fig. 16. Tasa de crecimiento de poslarvas y juveniles de abulón rojo *H. rufescens* en relación con la intensidad luminosa. Cada punto corresponde a un tanque en un periodo de muestreo

4. DISCUSIÓN.

4.1 Parámetros físicos.

En promedio, las mayores temperaturas se registraron en los tanques del nivel superior (15°C) con respecto al nivel inferior (14.5°C. El análisis de varianza denota diferencias significativas en la temperatura entre niveles (Tabla I, III). Ambas temperaturas están en los rangos óptimos de cultivo larval de abulón (Leighton, 1974; Hahn, 1989).

Una de las posibles causas en la diferencia de temperaturas entre los niveles pudo ser la temperatura ambiente que prevalecía en el laboratorio de cultivo, la cual pudo haber influido en la ganancia o pérdida de la temperatura en el agua al pasar de los tanques superiores a los inferiores.

Los tanques del nivel superior presentaron una mayor intensidad luminosa en relación al nivel inferior, el análisis de varianza denota diferencias significativas en la intensidad luminosa en ambos niveles (Tabla II, III). Esta diferencia quizá se deba a que los tanques del nivel superior, reciben una mayor cantidad de luz natural por estar al mismo nivel de las ventanas, las cuales no obstaculizan la entrada de luz solar, a diferencia del nivel inferior, ya

que los niveles intermedios obstaculizan la entrada de luz natural, por lo que estos tanques dependen principalmente de la iluminación artificial proporcionada.

4.2 Metamorfosis total.

En la actualidad existen varios métodos para inducir a la metamorfosis. Uno que proporciona excelentes resultados es el GABA; sin embargo, no todas las granjas utilizan este método (Searcy-Bernal *et al.*, 1992).

En Abulones Cultivados se utiliza rutinariamente este inductor y en este lote larval se estimó en promedio una metamorfosis total del 64.9%, con un 76.0% el nivel inferior y 53.7% del nivel superior, aunque el análisis de varianza no mostró diferencia significativa entre niveles. Sin embargo, se observó una alta variabilidad desde un máximo de 99.2%, en el tanque 72, hasta un mínimo de 36.9% en el tanque 73 (Tablas IV y V). Estos valores promedios son inferiores a los reportados por otros autores que han utilizado esta misma concentración de GABA (1 μM) en experimentos a una escala menor (Morse *et al.*, 1979; Morse, 1992; Searcy-Bernal *et al.*, 1992; Searcy-Bernal y Anguiano-Beltrán, 1998). Esto se puede explicar por diferencias en el control de las condiciones experimentales.

Uno de los posibles factores que afectaron la variabilidad observada en la inducción de la metamorfosis, pudo haber sido un mal conteo de las larvas en los sistemas de cultivo, lo cual influiría en la estimación del éxito de la inducción. Por otro lado, pudo afectar el estado de salud de las larvas, que posiblemente murieron durante el cultivo ó que no estaban en condiciones apropiadas para completar la metamorfosis satisfactoriamente.

Es posible que la concentración de GABA de 1.0 μM utilizada en esta empresa nos sea la óptima para sistemas comerciales, en los cuales el consumo bacteriano podría reducir el aminoácido por debajo del umbral mínimo efectivo (Searcy-Bernal *et al.*, 1992). Investigaciones recientes han demostrado que se puede aumentar la concentración del GABA hasta 2-3 μM sin efectos adversos sobre las poslarvas de abulón y en algunos laboratorios ya se utilizan niveles entre 1.5 y 2 μM con resultados satisfactorios (Searcy-Bernal y Anguiano-Beltrán, 1998; Roberts, 2001). Es posible que un incremento en la concentración del GABA que se utiliza en la granja estudiada pudiera repercutir en una inducción de la metamorfosis más eficiente y homogénea.

4.3 Supervivencia 7 días después del asentamiento.

En general la supervivencia inicial después de siete días del asentamiento fue de 59.9%. Los mayores valores se encontraron en el nivel inferior (Tabla IV), sin embargo, el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre los niveles.

La supervivencia inicial está determinada en gran medida por el éxito de la metamorfosis (Fig. 5), lo cual es consecuencia directa de la mortalidad de larvas que no completaron la metamorfosis (estadio SP, Fig. 4). Es interesante observar que también a un mayor porcentaje de metamorfosis corresponde una mayor supervivencia de las poslarvas ya asentadas, lo que podría deberse a que una alta mortalidad de larvas que no metamorfixaron se puede traducir en una alta concentración de bacterias y otros patógenos, que podrían reducir la supervivencia de los siguientes estadios poslarvales.

La concentración de alimento juega un papel importante en la supervivencia inicial, pero esta variable posiblemente no haya sido un factor crucial en la supervivencia de estos organismos. Por observaciones en los diferentes muestreos realizados y por el análisis de muestras colectadas, no se observó una deficiencia de alimento (datos no publicados). Por otro lado, las poslarvas recién asentadas pueden sobrevivir sin alimentarse de diatomeas

bentónicas por varios días después del asentamiento porque aún presentan reservas vitelinas o bien asimilan materia orgánica disuelta (Shilling *et al.*, 1996).

La temperatura es un parámetro que puede afectar la sobrevivencia poslarval; sin embargo, no se considera que esta variable haya sido un factor importante en la diferencia de la sobrevivencia inicial entre los tanques de cultivo de distintos niveles, debido a que éstos presentaron temperaturas similares (aunque significativamente distintas) que están dentro del rango óptimo para el cultivo poslarval (Leighton, 1974 y Hahn, 1989).

Las poslarvas en su hábitat natural viven y se desarrollan en condiciones en las que la intensidad de luz es baja (Hahn, 1989). Por lo tanto, este factor pudo haber influido en la alta sobrevivencia obtenida en el nivel inferior, el cual presentó menor intensidad de luz con respecto al nivel superior (Tabla II).

En estudios a pequeña escala es frecuente obtener sobrevivencias más altas que las aquí reportadas. Slattery (1992) realizó un estudio acerca del asentamiento y larvas de abulón rojo con diferentes inductores (diatomeas/mucus, diatomeas, diatomeas/GABA) en unidades experimentales de 12 cm diámetro; y obtuvo sobrevivencias después de 13 días de 65%, 90% y 95%, respectivamente. Searcy-Bernal y Anguiano-Beltrán (1998) evaluaron la

metamorfosis de larvas de esta misma especie en cajas de cultivo de (34.6 mm de diámetro) con diferentes concentraciones de GABA y obtuvieron una sobrevivencia mayor al 90%, después de 10 días. Estas diferencias se pueden deber a que en los estudios realizados en laboratorio, las condiciones ambientales son controladas lo cual puede beneficiar el desarrollo poslarval. Existen muchos trabajos acerca de la sobrevivencia en poslarvas de abulón; sin embargo, no se han publicados estudios de sobrevivencia inicial en sistemas de cultivo comerciales, con los que se pudieran comparar más adecuadamente los resultados de este estudio.

4.4 Sobrevivencia después de 45 días en los ocho tanques muestreados.

También, después de 45 días se observó la menor sobrevivencia poslarval en el nivel superior (Tabla VI), aunque esta diferencia no es significativa (Tabla VII). Sin embargo, esta no parece ser consecuencia directa de la sobrevivencia inicial en cada tanque (Fig. 6).

Durante este tiempo se presentaron diferencias significativas de la temperatura e intensidad de luz entre los niveles (Tabla III). Una mayor sobrevivencia de poslarvas de abulón a menor intensidad de luz, ha sido reportada por diversos autores:

Gorrostieta-Hurtado y Searcy-Bernal., (2005) encontraron una mejor sobrevivencia de *H. rufescens* en intensidades bajas o condiciones de oscuridad. Searcy-Bernal *et al.*, 2003, reporta una mayor sobrevivencia de *H. fulgens* a una intensidad de 6 μ E/m²/s que a 24, 47 y 75 μ E/m²/s.

Durante los diferentes muestreos se observaron biofilms bien desarrollados en las superficies de los tanques, por lo que no lo que probablemente la deficiencia de alimento no fue un factor determinante que explique la diferencia en la sobrevivencia entre niveles. Sin embargo, es posible que el tipo de microorganismos presentes en los biofilms tuviera algún impacto.

4.5 Sobrevivencia general a los 45 días de cultivo poslarval.

La sobrevivencia evaluada en los cuatro módulos y cuatro niveles fue mayor en el módulo dos y nivel dos, en tanto la menor sobrevivencia se registró en el módulo 4 y nivel 1 (Tabla IX). Asimismo, la sobrevivencia fue afectada por la interacción entre módulos y niveles.

El estado de salud larval es factor importante, que posiblemente influyó en esta investigación ya que en esta corrida en partícula, la mejor larva se asignó en el módulo dos en el que se observó la mayor sobrevivencia.

La limpieza de los tanques de cultivo pudo también haber afectado la sobrevivencia, ya que en este proceso, el agua pasa de los tanques de arriba hacia los de abajo y puede arrastrar poslarvas vivas que se acumularían en los tanques inferiores, alterando la evaluación de la sobrevivencia.

Al tener una alta sobrevivencia poslarval, la tasa de pastoreo de los organismos será alta, por lo que es necesario mantener una película de diátomeas en los tanques de cultivo para que los organismos tengan una buena alimentación.

Sería recomendable realizar un estudio en todos los módulos del sistema de cultivo poslarval de esta empresa, incluyendo el registro continuo de parámetros ambientales, para estimar la variabilidad de la sobrevivencia y el efecto de esos factores de una manera más adecuada.

4.6 Crecimiento.

Las tasas de crecimiento observadas en este estudio son similares a las reportadas por otros autores (Kawamura *et al.*, 1998). En promedio, en los 111 días de cultivo, se obtuvo una tasa de crecimiento de 49.79 $\mu\text{m/d}$. Badillo-Sotelo (2002) reporta las siguientes tasas de crecimiento en varios lotes de producción

de semillas de abulón en la misma empresa (Abulones Cultivados) a diferentes tiempos de cultivo: 121 días, 59 $\mu\text{m}/\text{d}$; 131 días, 40 $\mu\text{m}/\text{d}$; 140 días, 49 $\mu\text{m}/\text{d}$; 145 días 49 $\mu\text{m}/\text{d}$ y 161 días, 69 $\mu\text{m}/\text{d}$. Estas tasas de crecimiento son similares a las obtenidas en este trabajo, lo cual indica que este lote tuvo un comportamiento normal.

El incremento en el crecimiento al final del estudio (69-11 días) que concuerda con la formación del primer poro respiratorio (Fig. 8), posiblemente se deba a los correspondientes cambios fisiológicos asociados a una mayor eficiencia respiratoria (Searcy-Bernal *et al.*, 1988; Hahn, 1989) y a una mayor eficiencia digestiva (Kawamura *et al.*, 1998). Por otro lado, en este periodo se registró un importante aumento de la temperatura (Fig. 13), lo cual sugiere que el incremento en la tasa de crecimiento mencionada, podría deberse a una combinación de factores fisiológicos y ambientales.

El crecimiento durante la primera semana pudo ser afectado por la densidad de los organismos, que a su vez es el reflejo de la sobrevivencia inicial (Fig. 11). Sin embargo, esta relación no se observó en la tasa de crecimiento registrada después de los 45 días (Fig. 12). El efecto de la densidad de cultivo sobre el crecimiento de abulón es documentada por Hahn (1989), entre otros autores (García-Mendoza, 1991; Castro-Gálvez, 1999).

En general, la tasa de crecimiento fue mayor en los tanques del nivel superior con respecto al inferior (Tabla XII). Esto posiblemente se deba a diferencias en el crecimiento de la película de diatomeas en los tanques de cultivo, ya que la mayor cantidad de luz en los tanques superiores posiblemente propició un buen desarrollo de la película de diatomeas lo que originó mejores condiciones de alimento y un mejor crecimiento poslarval.

5. Conclusiones y recomendaciones

La mayor sobrevivencia de poslarvas de *H. rufescens* se observó en los tanques del nivel inferior, en tanto que el mayor crecimiento se registró en el nivel superior. Esto posiblemente se asocia a una mayor temperatura e intensidad luminosa en los tanques superiores.

A lo largo del periodo de estudio, la temperatura tuvo un mayor efecto sobre el crecimiento poslarval, en comparación con el efecto de la intensidad luminosa.

Se sugiere a la empresa Abulones Cultivados que aumente la concentración de GABA a 1.5 μM , lo cual podría mejorar la eficiencia y homogeneidad de la inducción de la metamorfosis larval.

6. LITERATURA CITADA.

- Badillo-Sotelo, L.M. 2002. Comparación de metodologías para la fijación y cultivo del abulón. Documento recepcional para obtener la licenciatura en Oceanología con la opción de experiencia profesional. Facultad de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada B.C., 20 pp.
- Díaz, F., M.A. del Rio Portilla, M. Aguilar, E. Sierra and A. D. Re Araujo., 2000. Preferred temperature and critical thermal maxima of red abalone *Haliotis rufescens*. p.67 in: Fourth International Abalone Symposium Handbook, Cape Town, South Africa.
- Gorrostieta-Hurtado., E y Searcy-Bernal, R. 2004. Combined effects of Light condition (constant illumination or darkness) and diatom density on postlarval survival and growth of the abalone *Haliotis rufescens*. Journal of Shellfish Research, Vol. 23, No. 4, 1001-1008 pp.
- Guzman del Proó, S. A., 1992 A review of the biology of abalone and its fishery in México.p. 341-360 in: S.A. Shepherd, M.J. Tegner and S.A Guzmán del Proó (ed.). Abalone of the world. Biology, Fisheries and Culture. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Hahn, K. O., 1989. Handbook of Culture of Abalone and other Marine Gasteropods. CRC. Press, Boca Raton, Florida. 349 pp.

- Hooker, N. and D.E. Morse., 1985. Abalone: The emerging development of commercial cultivation in the United States. P. 365-413 in: Hunter, J. V. and E. E. Brown (eds.). Crustacean and mollusc culture in the United States, AVI Publisheres, Westport, USA.
- Kawamura., T., Rodney, D., R and Takami, H., 1998. A review of the feeding and growth of poslarval abalone. Journal of Shellfish Research. Vol. 17. No. 3, 615-625 pp.
- Leighton, D.L., 1974. The influence of temperature on larval and juvenile growth in three species of southern California abalones. Fish. Bull., 72 (4): 1137-1145.
- Martínez-Ponce, D.R. and Searcy-Bernal, R., 1998. Grazing rates of red abalone (*Haliotis rufescens*) poslarvae feeding on the benthic diatom *Navicula incerta*. J. Shellfish Res. 17:627-630.
- McBride, C.S., 1990. The relative effects of diet and irradiance on the growth and survival of poslarval red abalone *Haliotis rufescens*. MS Thesis, San Jose State University. 45 pp.

- Morse, D.E., Duncan, H., Hooker, N. and Morse, A., 1979. Induction of larval abalone settling and metamorphosis by γ -aminobutyric acid and its congeners from crustose red algae: II: Application to cultivation, seed-production and bioassays causes of mortality and interference. *Proc. World Maricul. Soc.* 10:81-91.
- Morse, D.E. 1992. Molecular mechanisms controlling metamorphosis and recruitment in abalone larvae. pages 107-119 *in* S. A. Shepherd, M. J. Tegner and S. A. Guzmán del Proó, editors. *Abalone of the world. Biology fisheries and culture.* Fishing News Books, Oxford, England.
- 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, UABC., 121 pp.
- Ponce-Díaz, G., E. A. Chávez y M. Ramade-Villanueva. 2000. Evaluación de la pesquería del abulón azul *Haliotis fulgens* en Bahía Asunción, Baja California, México. *Ciencias Marinas.* 26:393-412.
- Rojo-Salazar., G. 2002. Supervivencia y crecimiento de poslarvas y juveniles de *Haliotis rufescens* (Swainson, 1822) alimentadas con diatomeas bentónicas. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Marinas. UABC. 103 pp.

- Shilling, F. M., Hoegh-Guldberg, O. and Manahan, T. D. 1996. Sources of Energy for Increased Metabolic Demand During Metamorphosis of the Abalone *Haliotis rufescens* (Mollusca). Biol.Bull. 191: 402-412 pp.
- 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 pp.
- Searcy-Bernal R., y Anguiano-Beltrán. C. 1998. Optimizing the concentration of gamma-aminobutyric acid (GABA) for inducing larval metamorphosis in the red abalone *Haliotis rufescens* (Mollusca: Gastropoda): J. World Aquaculture Soc. 29:463-470 pp.
- Slattery, M., 1992. Larvae settlement and juvenile survival in the red abalone(*Haliotis rufescens*): an examination of inductive cues and substrate selection. Aquaculture, 102:143-153 pp.
- Rodney, R., 2001. A review of settlement cues for larval abalone (*Haliotis* spp). Journal of Shellfish Research 20, 2: 571