

Crecimiento del callo de hacha *Atrina maura* (Sowerby, 1835) (Bivalvia: Pinnidae) cultivado a diferentes densidades

Growth of pen shell *Atrina maura* (Sowerby, 1835) (Bivalvia: Pinnidae) cultured at different stocking densities

Góngora-Gómez, A. M.;¹ García-Ulloa, M.;^{2*}
Domínguez-Orozco, A. L.¹ y
Hernández-Sepúlveda, J. A.¹

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Sinaloa, Instituto Politécnico Nacional, Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes No. 250, Guasave, Sinaloa, México.

²Laboratorio de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Guadalajara M. López de Legazpi No. 235, Barra de Navidad, Jal., México.

*Correspondencia: turbotuag@hotmail.com

Resumen

Se estudió el crecimiento de *Atrina maura* cultivado a diferentes densidades durante 15 meses en la Isla Los Redos, Navolato, Sinaloa, México. El experimento se realizó utilizando el sistema de canastas en suspensión para los primeros cuatro meses de cultivo ajustando la densidad a 50, 100 y 200 organismos/canasta; y la siembra en parques de arena durante los once meses restantes, a una densidad de 4.5, 9 y 18 pinas/m² (50/canasta-4.5/m², 100/canasta-9/m² y 200/canasta-18/m²). Los juveniles (16.19 ± 6.66 mm de longitud total y 0.3 ± 0.16 g de peso total de promedio inicial) se obtuvieron de un laboratorio comercial. Los parámetros físicos (oxígeno disuelto, salinidad, temperatura y pH) y químicos (amonio total, nitritos, fosfatos y clorofila "a") fueron obtenidos cada 15 días y cada mes, respectivamente; mientras que 50 organismos seleccionados al azar de cada densidad, fueron medidos y pesados mensualmente. No se observaron diferencias significativas (P < 0.05) para la longitud y el peso entre las

Abstract

The effect of different stocking densities on the growth of *Atrina maura* cultured at the Isla Los Redos, Navolato, Sinaloa, México, was evaluated. The rack suspension system was used during the first four culture months adjusting densities at 50, 100 y 200 pen shells/rack, then the animals were transferred to sand bottom lots during eleven culture months at densities of 4.5, 9 and 18 pen shells/m² (50/rack-4.5/m², 100/rack-9/m² and 200/rack-18/m²). Baby pen shells (initial mean of 16.19 ± 6.66 mm total length and 0.3 ± 0.16 g total weight) were obtained from a commercial hatchery. The physical (dissolved oxygen, salinity, temperature and pH) and chemicals (total ammonia, nitrites, phosphates and "a" chlorophyll) parameters were obtained every 15 days and every month respectively. Fifty pen shells from each density were selected at random, measured and weighed. There were no significant differences (P < 0.05) for the total length and weight among the groups during the

densidades en la etapa de canastas. Al final del cultivo, el grupo 200/canasta-18/m² presentó el mayor peso promedio (284.26 ± 54.45 g). La supervivencia final fluctuó desde 28.15% para el grupo 50/canasta-4.5/m², hasta 53.69% registrada para la mayor densidad (200/canasta-18/m²). Los resultados indican que es posible sembrar *A. maura* a una densidad de 200/canasta-18/m².

Palabras clave

Bivalvos, callo de hacha, cultivo en canastas, cultivo en parques de arena, crecimiento diario.

rack system culture. At the end of the trial, the 200/rack-18/m² group presented the highest mean weight value (284.26 ± 54.45 g, $P > 0.05$). Final survival fluctuated from 28.15% for the 50/rack-4.5/m² density, to 53.69% registered for the highest density (200/rack-18/m²). The results pointed out to the possibility of culturing *A. maura* at a density of 200/rack-18/m².

Key words

Bivalve, pen shell, rack culture, sand bottom culture, daily growth.

Introducción

La producción acuícola se ha incrementado de manera significativa en las últimas tres décadas como respuesta a las necesidades cada vez mayores de alimento para la población humana de más de 6.5 mil millones de personas que se mantiene en constante crecimiento (FAO, 2007). Frecuentemente, la acuicultura es citada como la mejor alternativa para incrementar la oferta de productos del mar, ya que debido a la sobrepesca de muchas especies, se considera poco probable que la industria pesquera pueda aportar mayores volúmenes de captura registrados desde hace varios años. En la actualidad, se considera a la acuicultura como una de las actividades económicas primarias de mayor importancia a nivel mundial. Su contribución al aporte global de alimentos se ha incrementado de manera extraordinaria en los últimos años, representando más del 25% de la producción total en el mundo (FAO, 2007). Y, precisamente, a esta producción acuícola mundial (entre peces, crustáceos, algas y otros), se suma el molusco bivalvo conocido como “callo de hacha”, *Atrina maura*. Almaraz-Salas (2008) indicó que este lamelibranquio es reconocido por su gusto y textura en los países costeros del Pacífico principalmente, siendo considerado como uno de los manjares más selectos de los mariscos.

El callo de hacha *A. maura* se encuentra en bahías desde Baja California hasta Perú (Keen, 1971), protegido entre suelos arenosos, de limo y arcilla; los ejemplares llegan a medir hasta 378 milímetros de longitud (Ahumada-Sempoal *et al.*, 2002). Las conchas presentan un aspecto trigonal, cuneiforme y son muy delgadas; las valvas permanecen enterradas por su extremo puntiagudo y perpendicular al fondo, encontrándose fijas a piedras, conchas, o algún otro sustrato rígido, el color de la concha fluctúa de ámbar-purpúreo a café oscuro (Rodríguez-Jaramillo, 2004). Este molusco es altamente cotizado en el mercado nacional e internacional. En la parte interna de cada organismo se encuentra la región blanda o visceral en la cual se localizan los holanes, los músculos retractores, el músculo abductor anterior y posterior, siendo este último el de mayor tamaño; estos músculos se conocen como “callo” y corresponden a la porción comestible.

La excesiva pesca de este recurso produjo la inversión e interés del sector productivo vinculado con la investigación y el sector gubernamental para desarrollar técnicas apropiadas de acuicultura que permitan no sólo su producción sostenible y controlada sino, también, el mantenimiento armónico de la especie en su medio natural (Robles-Mungaray, 2004).

En la acuicultura moderna, es prioritario el completo conocimiento y control de la biotecnología productiva de cualquier especie, desde el manejo de los reproductores, incluyendo la producción de crías, huevos o semillas, hasta los procesos de pre-engorda y engorda (García-Ulloa, 2000). El acertado dominio de los requerimientos físicos, químicos, sanitarios, nutricionales y de manejo tecnológico para cada una de las etapas de vida de los animales, constituye una herramienta ideal para optimizar su producción tanto en calidad como en cantidad. Por eso, uno de los problemas actuales que requiere de pronta solución en el cultivo de *A. maura*, es el establecimiento de un proceso específico de cultivo que implique la elaboración de un paquete de producción biotecnológica, que se ajuste a la demanda generada por parte del sector productivo.

A pesar de los esfuerzos desplegados hasta el momento en el manejo de reproductores y producción de semilla de este molusco bajo condiciones de laboratorio (González-Corona, 2003; Robles-Mungaray, 2004), existen todavía algunos aspectos biotecnológicos pendientes a fin de proponer su producción comercial sostenible; tales como la selección de sitios apropiados para su crecimiento y el ajuste de la densidad inicial; ambos, en conjunto con adecuadas técnicas de limpieza y manejo para reducir la mortalidad. El presente trabajo pretende contribuir con bases para el cultivo de *A. maura* evaluando el efecto de diferentes densidades de siembra sobre su crecimiento y supervivencia.

Materiales y métodos

El sitio de cultivo fue ubicado en la Isla Los Redos, perteneciente al municipio de Navolato, Sinaloa (México), en el paralelo 24°30' latitud N y 107°48' longitud O (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1979). Se obtuvieron 4,550 juveniles de *A. maura* (promedio inicial de 16.19 ± 6.66 mm para la longitud total y 0.3 ± 0.16 g para el peso total) del Laboratorio del Instituto de Acuicultura de Sonora, perteneciente al Centro de Reproducción de Especies Marinas del estado de Sonora, S. A. de C. V. (CREMES), situado en Bahía Kino, Sonora (México). Las semillas fueron transportadas durante 18 horas en una hielera en seco y a baja temperatura por la adición de hielo, hasta el lugar de cultivo. Después, los organismos fueron aclimatados siguiendo la metodología propuesta por Gallo-García *et al.* (2001) y repartidos dentro de bolsas de plástico mosquitero de dos mm de diámetro (20 X 20 cm), en densidades de 50, 100 y 200 organismos/bolsa; de esta manera, se formaron 13 bolsas por densidad. Las bolsas se colocaron en canastas ostrícolas con el fin de formar módulos o unidades de cultivo por densidad, que se amarraron a una línea madre para cultivarlos en suspensión; dichas unidades fueron limpiadas cada quince días para evitar la presencia de parásitos y contabilizar los animales muertos. Una vez que los moluscos alcanzaron la talla de 60

mm, fueron cultivados fuera de las bolsas (directamente en las canastas a la densidad correspondiente) durante cuatro meses.

Al quinto mes, cuando las pinas alcanzaron una talla de 100 mm de longitud total, se sembraron en la arena. Para continuar con esta segunda etapa del cultivo —11 meses más— los animales fueron extraídos de las canastas y sembrados o enterrados en el sustrato arenoso. Se construyeron cercos con un área de 78 m² (13 m de largo y 6 m de ancho) mediante un fardo de nylon de tres pulgadas como límite físico, el cual fue enterrado 20 cm en la arena y, al mismo tiempo, permaneció expuesto 40 cm encima del nivel de la arena, con el objetivo de proteger los animales de predadores y prevenir escapes; además, se utilizaron tres postes de concreto a lo ancho y cinco a lo largo (cada uno de 1.70 m de altura), a una distancia de 3.30 m entre ellos. Los cercos se dividieron en tres partes iguales (4.3 X 6 m) para alojar, en cada una de ellas, las pinas de las tres densidades ajustadas desde el inicio, con el objetivo de proseguir con la evaluación de su crecimiento y supervivencia hasta la cosecha. De esta manera, las densidades experimentales en esta etapa se ajustaron como sigue: 4.5, 9 y 18 animales/m². Los juveniles de *A. maura* fueron sembrados a una distancia mínima de 20 cm entre ellas. Para efectos de identificación de cada tratamiento se estableció el siguiente código de densidades: 50/canasta-4.5/m², 100/canasta-9/m² y 200/canasta-18/m². El sistema de cultivo, usando las canastas durante los primeros cuatro meses de engorda, y después en el fondo de arena hasta el final del estudio, se practicó conforme a tecnología previa reportada (Miranda-Baeza, 1994; Almaraz-Salas, 2008).

Para cada una de las etapas de cultivo, se registraron parámetros físicos y químicos al momento de la siembra y cada quince días. La temperatura del agua y la concentración de oxígeno disuelto fueron obtenidos con un oxímetro (YSI, 55/12FT, Ohio 4587); en el caso de la salinidad, se utilizó un refractómetro de precisión (Atago, S/Mill). El potencial de hidrógeno (pH) se midió con un potenciómetro (Hanna, HI 8314). Se tomaron muestras de agua cada mes para la determinación de amoníaco con la técnica descrita por Solórzano (1969), nitritos por medio del método de Shinn (1941) aplicado al agua de mar por Bendschneider y Robinson (1952) y fosfatos, utilizando la metodología de Murphy y Riley (1962). Todas las lecturas de los nutrientes se realizaron en un espectrofotómetro Termo Spectronic Genesys 2. Las muestras de agua para determinar clorofila "a" (Cla), fueron tratadas con filtros de fibra de vidrio Whatman (GF/F 0.7 μm), los cuales se congelaron a -20°C hasta efectuar la extracción del pigmento con acetona al 90% durante 24 horas, según lo recomendado por Strickland y Parsons (1972). Los cálculos de la concentración de Cla se realizaron de acuerdo a las ecuaciones de Jeffrey y Humphrey (1975). Para la obtención de la muestra a lo largo de la columna de agua, se utilizó un nucleador (constituido por un tubo de PVC de dos pulgadas de diámetro) con una longitud de tres m, al cual se le adaptó una válvula de cobre de dos pulgadas para retener el agua hasta su colecta dentro de la lancha. Las muestras fueron almacenadas en envases plásticos y transportadas en una hielera al Laboratorio de análisis ambiental del IPN-CIIDIR (Unidad Sinaloa) para su posterior análisis.

Cada mes se midieron y pesaron *in situ*, 50 organismos de *A. maura* por densidad. Las biometrías se realizaron con una regla Vernier digital (Mitutoyo, CD-8" CS) para determinar longitud total de la concha. Se utilizó una balanza granataria (OHAUS, Scout Pro SP 2001) para la obtención del peso húmedo total de cada organismo, previo secado con papel absorbente. Para comparar el incremento en porcentaje del peso ganado por día, se aplicó la fórmula de crecimiento a los animales muestreados cada 30 días, de acuerdo a Coutteau *et al.* (1994), donde el crecimiento diario (% ganancia en peso/d),

$CD = (n^{-1} \sqrt{\text{peso final/peso inicial} - 1}) \times 100$. El porcentaje de supervivencia se registró cuantificando mensualmente el número de organismos muertos en cada módulo y corral de cultivo hasta el término del estudio (Almaraz-Salas, 2008). Simultáneamente, se revisó el estado físico de los mismos para detectar la presencia de organismos competidores y depredadores.

Los datos fueron evaluados con pruebas de normalidad y homocedasticidad (Sokal y Rohlf, 2000) para proceder a la aplicación de un análisis de varianza a la longitud y peso total por mes. Las diferencias entre medias ($P < 0.05$) fueron comparadas mediante la prueba de rangos múltiples de Tukey (Bhujel, 2008). Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el programa Statgraphic Plus, Ver. 5 (Statistical Graphics Corp., Herndon, VA, USA).

Resultados

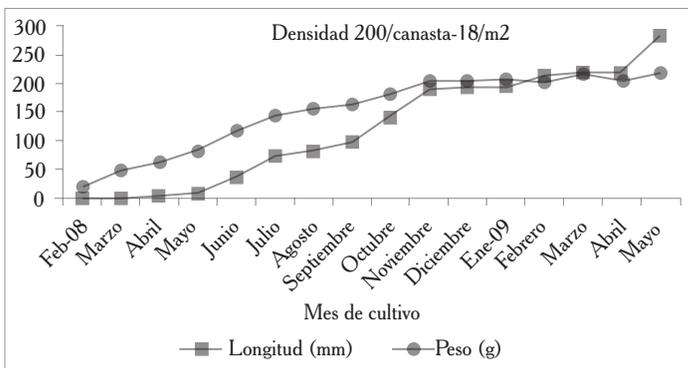
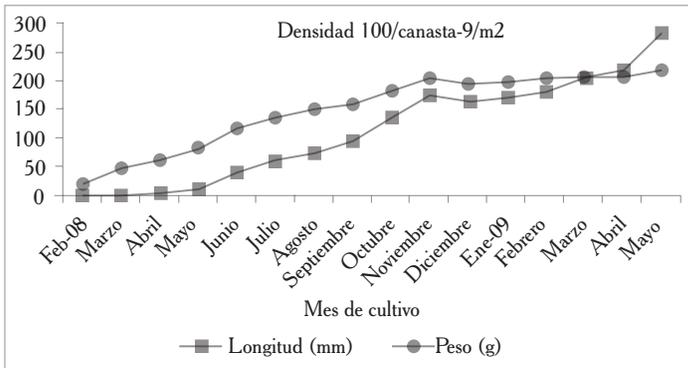
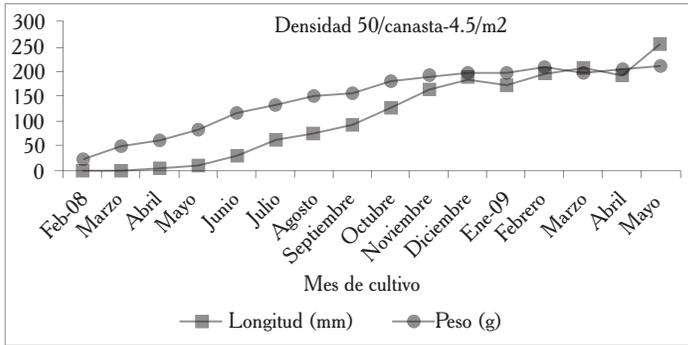
La temperatura promedio del agua registrada fue de 26.2°C, observando el valor máximo en el mes de mayo de 2009 (35°C), mientras que el valor mínimo (20.5°C) se obtuvo en la primera quincena del mes de febrero de 2008. El oxígeno disuelto registró una concentración promedio de 5.90 mg/l. El valor máximo (8.14 mg/l) se observó en el mes de marzo de 2009 y el mínimo (4.12 mg/l) en el mes de octubre de 2008. En el caso de la salinidad, se observó un promedio general de 33.9 ups. La mayor concentración (37 ups) se registró en los meses de agosto de 2008 y marzo de 2009; mientras que la mínima (30 ups) fue encontrada en varios meses (junio y septiembre de 2008, y agosto, septiembre y octubre de 2009). Se registró un pH promedio de 8.4. El máximo valor (8.9) se observó en febrero de 2009; mientras que el mínimo (7.6) se encontró en el mes de marzo de 2009.

El promedio de amoníaco ($\text{NH}_3\text{-NH}_4$) fue de 0.98 mg/l. La mayor concentración (2.16 mg/l) se registró en el mes de abril de 2008; mientras que la mínima (0.05 mg/l) fue encontrada en el mes de mayo de 2009. El valor promedio de nitritos (NO_2) fue de 0.16 mg/l. La máxima concentración (0.41 mg/l) se observó en febrero de 2008; mientras la mínima (0.02 mg/l) se encontró en el mes de mayo de 2009. La concentración promedio de fosfatos (PO_4) fue de 1.39 mg/l. La mayor concentración (2.25 mg/l) se observó en febrero de 2008; mientras que la menor (0.65 mg/l) se presentó en febrero de 2009. La concentración promedio de la clorofila "a" fue de 5.25 mg/l. El valor máximo (8.51 mg/l) se obtuvo en octubre de 2008; mientras que el mínimo de 2.92 mg/l, en el mes de junio de 2008.

La figura 1 muestra las curvas de crecimiento para la longitud y el peso total de *A. maura* cultivada a diferentes densidades, en los 15 meses de cultivo.

Figura 1

Curvas de crecimiento en longitud (mm) y peso (g) mensual de *A. maura* cultivado en canastas y cercos a diferentes densidades en Isla Los Redos, Navolato, Sinaloa.



Al final del cultivo en canastas, la longitud promedio varió desde 82.78 mm para la densidad 100/canasta-9/m², hasta 84.06 mm, para el grupo con menor densidad. En el caso del peso promedio, los animales más pesados se observaron en el grupo 100/canasta-9/m²; mientras que los menos pesados se obtuvieron en la mayor densidad. No se obtuvieron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los grupos. Después de 11 meses en los cercos de arena, las medidas finales de longitud y peso fueron, respectivamente: 212.98 mm y 255.58 g para la densidad de 50/canasta-4.5/m²; 220.50 mm y 283.40 g, para la densidad de 100/canasta-9/m²; y 220.48 mm y 284.26 g, para la densidad de 200/canasta-18/m². Se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la longitud o en el peso o en ambos entre las densidades, desde el primer mes que se transfirieron a la arena. El cuadro 1 muestra la longitud (mm) y peso (g) promedio (media \pm desviación estándar) de *A. maura* por mes en ambos sistemas de cultivo.

Cuadro 1

Longitud (mm) y peso (g) promedio de *A. maura* (media \pm desviación estándar) cultivado en canastas* y cercos** a diferentes densidades (50/canasta-4.5/m², 100/canasta-9/m² y 200/canasta-18/m²) de siembra, en Isla Los Redos, Navolato, Sinaloa.

Densidades

	50/canasta-4.5/m ²	100/canasta-9/m ²	200/canasta-18/m ²
<i>Febrero 2008*</i>			
Longitud (mm)	16.19 \pm 6.66	16.19 \pm 6.66	16.19 \pm 6.66
Peso (g)	0.3 \pm 0.16	0.3 \pm 0.16	0.3 \pm 0.16
<i>Marzo*</i>			
Longitud (mm)	49.64 \pm 5.86	50.02 \pm 5.88	50.99 \pm 4.86
Peso (g)	0.45 \pm 0.67	0.43 \pm 0.65	0.37 \pm 0.61
<i>Abril*</i>			
Longitud (mm)	61.40 \pm 7.58 ^{a§}	63.74 \pm 6.71 ^a	66.68 \pm 7.78 ^b
Peso (g)	4.71 \pm 1.98	4.92 \pm 1.64	5.02 \pm 1.79
<i>Mayo*</i>			
Longitud (mm)	84.06 \pm 11.22	82.78 \pm 12.98	83.76 \pm 8.41
Peso (g)	10.89 \pm 4.28	11.06 \pm 3.84	10.52 \pm 3.30

El cuadro continúa en la siguiente pág.

Continúa cuadro 1

Junio**

Longitud (mm)	117.17 ± 8.69	117.10 ± 11.67	119.65 ± 18.04
Peso (g)	31.13 ± 10.70 ^a	39.16 ± 15.47 ^b	38.68 ± 10.34 ^b

Julio**

Longitud (mm)	133.81 ± 14.93 ^a	136.71 ± 18.42 ^a	145.13 ± 12.86 ^b
Peso (g)	62.07 ± 16.74 ^a	61.75 ± 24.85 ^a	73.88 ± 20.59 ^b

Agosto**

Longitud (mm)	150.81 ± 12.58 ^a	151.93 ± 19.36 ^{ab}	157.15 ± 11.44 ^b
Peso (g)	75.76 ± 17.99 ^a	74.88 ± 26.65 ^{ab}	83.99 ± 19.04 ^b

Septiembre**

Longitud (mm)	157.45 ± 15.43 ^a	160.35 ± 17.71 ^{ab}	164.47 ± 14.37 ^b
Peso (g)	93.48 ± 26.80	94.90 ± 28.45	98.63 ± 26.46

Octubre**

Longitud (mm)	181.65 ± 11.09	184.48 ± 14.48	182.76 ± 12.96
Peso (g)	128.17 ± 25.67 ^a	133.96 ± 32.38 ^b	143.62 ± 28.75 ^b

Noviembre**

Longitud (mm)	189.99 ± 13.01 ^a	206.81 ± 14.16 ^b	207.15 ± 15.66 ^b
Peso (g)	165.81 ± 26.59 ^a	174.60 ± 25.37 ^a	194.19 ± 28.38 ^b

Diciembre**

Longitud (mm)	199.24 ± 14.84 ^a	197.06 ± 15.23 ^a	206.13 ± 11.90 ^b
Peso (g)	192.64 ± 20.03 ^b	165.40 ± 19.98 ^a	198.18 ± 21.23 ^b

Enero 2009**

Longitud (mm)	197.26 ± 16.96 ^a	199.62 ± 25.73 ^a	209.62 ± 21.08 ^b
Peso (g)	174.01 ± 25.03 ^a	169.27 ± 39.82 ^a	195.55 ± 31.66 ^b

El cuadro continúa en la siguiente pág.

Continúa cuadro 1

<i>Febrero**</i>			
Longitud (mm)	203.40 ± 26.45	202.94 ± 26.62	206.72 ± 15.41
Peso (g)	199.22 ± 36.84	180.74 ± 41.40	213.98 ± 43.32
<i>Marzo**</i>			
Longitud (mm)	205.24 ± 12.96 ^a	206.48 ± 7.85 ^a	218.16 ± 8.87 ^b
Peso (g)	208.27 ± 26.42 ^a	205.36 ± 40.93 ^{ab}	219.71 ± 19.97 ^b
<i>Abril**</i>			
Longitud (mm)	201.76 ± 9.93 ^a	210.88 ± 15.13 ^b	207.67 ± 6.76 ^b
Peso (g)	192.06 ± 29.61 ^a	217.04 ± 25.47 ^b	213.40 ± 28.34 ^b
<i>Mayo**</i>			
Longitud (mm)	212.98 ± 12.23 ^a	220.50 ± 20.37 ^b	220.48 ± 14.40 ^b
Peso (g)	255.58 ± 47.30 ^a	283.39 ± 54.62 ^b	284.26 ± 54.45 ^b

§Por línea en cada mes, letras diferentes representan diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre las medias de las densidades.

El crecimiento diario muestra los valores más altos cuando los animales se mantuvieron en las canastas (hasta 8.77% del peso corporal/d registrado en marzo de 2008, para el grupo de la mayor densidad). Después de sembrar los callos en la arena, la ganancia en peso se reduce hasta obtener valores negativos en algunos meses de cultivo. El porcentaje de crecimiento por día, total, no muestra diferencias significativas entre los tratamientos. En el cuadro 2 se muestra el porcentaje de crecimiento diario de *A. maura* a diferentes densidades en ambos sistemas de cultivo.

Cuadro 2

Crecimiento diario (% peso corporal/d) de *A. maura* cultivado en canastas* y cercos** a diferentes densidades de siembra (50/canasta-4.5/m², 100/canasta-9/m² y 200/canasta-18/m²), en Isla Los Redos, Navolato, Sinaloa.

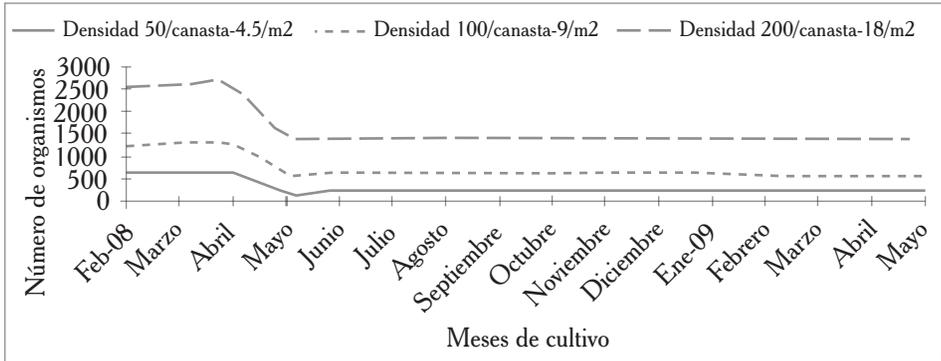
Densidades

	50/canasta-4.5/m ²	100/canasta-9/m ²	200/canasta-18/m ²
Febrero/Marzo 2008*	1.45	1.29	0.75
Marzo/Abril*	7.86	8.17	8.77
Abril/Mayo*	2.83	2.73	2.49
Mayo/Junio*	3.44	4.16	4.28
Junio/Julio**	2.32	1.52	2.18
Julio/Agosto**	0.64	0.62	0.41
Agosto/Septiembre**	0.68	0.76	0.51
Septiembre/Octubre**	1.05	1.15	1.26
Octubre/Noviembre**	0.83	0.85	0.97
Noviembre/Diciembre**	0.50	-0.18	0.06
Diciembre/Enero 2009**	-0.32	0.07	-0.04
Enero/Febrero**	0.43	0.21	0.29
Febrero/Marzo**	0.15	0.45	0.09
Marzo/Abril**	-0.21	0.17	-0.09
Abril/Mayo**	0.95	0.89	0.96
Total	1.49	1.52	1.52

En la figura 2 se muestra la mortalidad por mes, siendo el mes de mayo de 2008 cuando se presentó la mayor cantidad de organismos muertos: 448 para la densidad de 50/canasta-4.5/m², 669 para la densidad de 100/canasta-9/m² y 1,396 para la densidad de 200/canasta-18/m².

Figura 2

Mortalidad acumulada de *A. maura* cultivada en canastas y cercos a diferentes densidades (50/canasta-4.5/m², 100/canasta-9/m² y 200/canasta-18/m²), en la Isla Los Redos, Navolato, Sinaloa.



La supervivencia final para cada densidad fue de 28.15, 42.92 y 53.69% para las densidades de 50/canasta-4.5/m², 100/canasta-9/m² y 200/canasta-18/m², respectivamente.

Los principales grupos de organismos epibiontes o competidores encontrados (principalmente en la etapa de canastas) fueron crustáceos como balanos (*Pollicipes pollicipes*), poliuetos (*Polydora sp.*), esponjas (*Cliona californiana* y *C. mazatlanensis*), algas macroscópicas (*Gracilaria sp.* y *Enteromorpha intestinalis*), moluscos (*Mytella strigata* y *Crassostrea corteziensis*), crepidulas (*Crepidula rostrata* y *C. incurva*) y monoplacóforos (*Crucibulum spinosum*). También se observaron peces (*Lutjanus guttatus*). El principal depredador que se observó en ambas etapas del cultivo fue la jaiba *Callinectes sapidus*.

Discusión

El cultivo de cualquier especie acuática confinada en tanques o embalses implica estar sujeta a diferentes factores internos y externos que afectan su crecimiento. Uno de los principales relacionados a los últimos se refiere a la densidad de siembra, lo cual sustenta el objetivo de la acuicultura en el sentido de producir la mayor biomasa posible en el menor espacio (García-Ulloa, 2000; Fairchild y Howell, 2001). Normalmente, un incremento en la densidad de siembra afecta la producción de animales, el tamaño de los organismos a la cosecha, la calidad del agua, la incidencia a las enfermedades y los costos de producción (Glasser y Oswald, 2001). La escasa información disponible sobre el cultivo de *A. maura* se refiere a variaciones genéticas (Villanueva-Fonseca, 2009), fisiología reproductiva (Rodríguez-Jaramillo, 2004) y cultivos experimentales (Miranda-Baeza, 1994), en los que poco se trata su crecimiento con base a la densidad de siembra como factor externo para optimizar su producción.

Con respecto a los factores físicos y químicos muestreados en el presente trabajo, no impidieron el desarrollo del callo de hacha cultivado en la Isla Los Redos, Sinaloa, cuyas curvas de crecimiento se mantuvieron en ascenso para las tres densidades estudiadas, lo cual indica que fluctuaron dentro del intervalo apropiado para este bivalvo indicado por su distribución geográfica (Keen, 1971). Los valores de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nitrógenos, fosfato y clorofila "a" obtenidos en este trabajo, son comparables con los reportados por Miranda-Baeza (1994) en Sonora, Sicard *et al.* (2006) en Baja California Sur, y Almaraz-Salas (2008) y Corrales-Serna (2010) en Sinaloa, estudiando la misma especie, pero diferentes a las reportadas para callos de hacha del sur del Pacífico mexicano (Serrano-Guzmán, 2003; Ángel-Pérez *et al.*, 2007). Las variaciones entre estos trabajos se deben a las diferentes condiciones ambientales (temperatura ambiental y del agua, salinidad, etcétera) de los sitios de cultivo o estudio, y la respuesta fisiológica de los animales (crecimiento, reproducción, supervivencia, etcétera).

Para las tres densidades, el crecimiento de los organismos mostró una proporcionalidad entre el incremento de la longitud y el peso hasta el mes 10 de cultivo, en que las curvas indican un receso de algunos meses para ambos parámetros, el cual culmina en un punto de intersección y, finalmente, un mayor incremento en peso con relación a la longitud final del tiempo de engorda. Lo anterior pudiera explicarse debido a que esta especie alcanza su madurez sexual desde los 100 mm de longitud (Ahumada-Sempoal *et al.*, 2002) y un evento reproductivo pudo haberse presentado durante el tiempo de engorda experimental. De hecho, Ángel-Pérez *et al.* (2007) realizaron un estudio acerca del ciclo reproductivo de las poblaciones de *A. maura* en lagunas estuarinas de Oaxaca, concluyendo en la presencia de dos periodos de desove al año (abril a julio, y octubre a noviembre). El mayor incremento en peso con relación a la longitud al final del ciclo de engorda sugiere el crecimiento gonadal almacenando energía para el desove (Bromage, 1995). Para su corroboración, es recomendable la realización de estudios en que el crecimiento del callo de hacha sea complementado con la observación mensual de su índice de condición fisiológica.

El manejo de los animales como rutina de limpieza y toma de medidas, es una estrategia necesaria en el control del cultivo (García-Ulloa, 2000). Sin embargo, puede afectar el crecimiento de los moluscos debido al rompimiento de velos de crecimiento (frágiles en sus primeros estadios), debido a la manipulación (Gallo-García *et al.*, 2001). En este trabajo no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en la longitud y peso de los animales entre las densidades estudiadas durante los meses de engorda usando canastas ostrícolas, y la transferencia de los mismos a los corrales de arena no alteró las curvas de crecimiento, aunque diferencias estadísticas ($P < 0.05$) fueron detectadas en ambos parámetros desde el segundo mes de haber sido sembrados en la arena, hasta el final del cultivo. El crecimiento promedio final de las tres densidades (13.42 mm/mes y 17.5 g/mes), es menor al obtenido por Miranda-Baeza (1994), pero mayor al reportado por Almaraz-Salas (2008) utilizando el sistema de cultivo combinado de canastas y siembra en arena. Las diferencias con esos trabajos pueden explicarse por los diferentes tiempos de engorda. El cambio en el sistema de cultivo produjo drásticas mortalidades en los tres grupos, por lo que es posible asumir que tanto el manejo de limpieza y biometrías como el cambio a nuevas condiciones de cultivo, afectaron directamente en el desarrollo de este bivalvo, específicamente en la supervivencia.

De manera normal, el efecto del incremento en la densidad se refleja en condiciones de estrés entre los organismos que se basan en la disminución de su tasa de crecimiento y aumento en la mortalidad por efecto de competencia por espacio y alimento (Marques *et al.*, 2000; Enz *et al.*, 2001). En el presente estudio, las densidades 200/canasta-18/m² y 100/canasta-9/m², obtuvieron los callos de hacha más grandes y pesados estadísticamente, lo cual sugiere que *A. maura* puede ser sembrado a mayores densidades iniciales sin que su crecimiento sea afectado, siempre y cuando no se rebase la capacidad de carga del sitio de cultivo y las condiciones naturales del lugar sean comparables a las obtenidas (Deksheniaks *et al.*, 2000).

A pesar de la presencia de depredadores a lo largo de la engorda, la mortalidad más significativa fue debida al manejo de los animales de todas las densidades después del cambio en el sistema de cultivo de canastas al fondo arenoso. La rutina de limpieza impuesta quincenalmente desde el inicio de la engorda hasta la cosecha, redujo la posibilidad de mayor mortalidad por predadores, parásitos y competidores, pero es importante evaluar el procedimiento para no someter a factores de estrés a los animales que impidan su crecimiento óptimo (Gallo-García *et al.*, 2001).

El porcentaje de crecimiento por día (cuadro 2) muestra los valores más altos para los callos de hacha de las tres densidades cultivados en canastas. Lo anterior puede explicarse por el mayor metabolismo que presentan los organismos acuáticos a menor edad (Ricker, 1979), pero en especial para esta especie, porque cuando es mantenido en suspensión (sin posibilidades de asentarse en algún sustrato), no desarrolla el órgano de sujeción conocido como biso (Coronel, 1981), derivando la energía para su formación hacia el crecimiento general de su concha y órganos internos. Ya colocado en la arena, el organismo debe formar dicha estructura, además de la trama en su concha que le permite mayor sujeción al fondo (Barnes, 1977) lo que, aunado a la reducción de su metabolismo

fisiológico conforme crece en edad, provoca la disminución de la ganancia en peso diaria.

Cuando se cultivan organismos que para su crecimiento dependen de los efectos aislados o combinados del medio ambiente (como el caso del callo de hacha) una leve variación en alguno de ellos podría desencadenar procesos fisiológicos que impidan su pleno desarrollo en tiempo y forma. Deksheniaks *et al.* (2000) hacen hincapié en la imperiosa necesidad de elaborar modelos de predicción para el entendimiento de factores como la temperatura y la salinidad del agua, que son vitales en la distribución y asentamiento de larvas de moluscos en poblaciones estuarinas, debido al efecto que el calentamiento global ejerce sobre ellos. Por lo anterior, se recomienda la realización de más ensayos con *A. maura* en el mismo sitio de cultivo y densidades mayores de 200/canasta-18/m², a fin de valorar su potencial de crecimiento a la par del posible cambio en los promedios de los parámetros físicos y químicos durante un ciclo de engorda.

Conclusiones

Los resultados indican que es posible sembrar *A. maura* a una densidad de 200/canasta-18/m²; sin embargo, se recomienda la realización de estudios interanuales similares para evaluar el crecimiento y supervivencia de esta especie cultivada en el sitio usado en el presente trabajo.

Agradecimientos

Al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología-Sinaloa (CECYT-Sinaloa) a través de los proyectos 2008, 2009 y 2010, al Instituto Politécnico Nacional-Unidad Sinaloa (IPN-CII-DIR-Sinaloa) con registro SIP: 20080374, SIP: 20090453 y SIP: 20100618.

Literatura citada

- Ahumada-Sempoal, M. A.; Serrano-Guzmán, S. J. y Ruíz-García, N. (2002). Abundancia, estructura poblacional y crecimiento de *Atrina maura* (Bivalvia: Pinnidae) en la laguna costera tropical del Pacífico mexicano. *Revista de Biología Tropical* 50(3-4):1091-1100.
- Almaraz-Salas, J. C. (2008). *Primer cultivo experimental de callo de hacha Atrina maura (Sowerby, 1835) en la ensenada La Palmita, Navolato, Sinaloa*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Occidente Unidad Guasave, Guasave, Sinaloa, México, 74 pp.
- Ángel-Pérez, C.; Serrano-Guzmán, S. J. y Ahumada-Sempoal, M. A. (2007). Ciclo reproductivo del molusco *Atrina maura* (Pterioidea: Pinnidae) en un sistema laguniar costero, al sur del Pacífico tropical mexicano. *Revista de Biología Tropical* 55(3-4):839-852.
- Barnes, R. D. (1977). *Zoología de los invertebrados*. Nueva Editorial Interamericana, México, D. F., México. 770 pp.
- Bendschneider, K. y Robinson, R. J. (1952). A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea-water. *Journal of Marine Resources* 11:87-96.
- Bhujel, R. C. (2008). *Statistics for aquaculture*. 1st edition. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa, USA. 222 pp.
- Bromage, N. R. (1995). Broodstock management and seed quality. General Considerations. Pages 1-24. En: N. R. Bromage y Roberts, R. J. (editores). *Broodstock management and egg and larval quality*. Blackwell Science, Oxford, UK. 312 pp.
- Coronel, J. S. (1981). *Estudio gonadal de Pinna rugosa (Sowerby, 1835) Pinnidae, Mollusca, en el periodo comprendido entre agosto de 1979 y diciembre de 1980 en la Bahía de La Paz*. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B. C. S. México. 45 pp.

- Corrales-Serna, I. E. (2010). *Crecimiento y supervivencia del callo de hacha Atrina maura en la Isla Los Redos, Navolato, Sinaloa*. Tesis de Maestría. Universidad de Occidente, Unidad Guasave, Guasave, Sinaloa, México, 63 pp.
- Coutteau, P.; Curé, K. y Sorgeloos, P. (1994). Effect of algal ration and feeding and growth of juvenile manila clam *Tapes philippinarum* (Adams and Reeve). *Journal of Shellfish Research* 13:47-55.
- Deksheniaks, M. M.; Hoffman, E. E. y Powell, E. N. (2000). Quantifying the effects of environmental change on an oyster population: A modeling study. *Estuaries* 23(5):593-610.
- Enz, C. A.; Schaffer, E. y Muller, R. (2001). Importance of diet type, food particle size and tank circulation for culture of Lake Hallwil whitefish larvae. *North American Journal of Aquaculture* 63:321-327.
- Fairchild, E. A. y Howell, W. H. (2001). Optimal stocking density for winter flounder *Pseudopleuronectes americanus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 32:300-308.
- FAO (2007). *The status of world fisheries and aquaculture 2006*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Electronic Publishing Policy and Support Branch, Communication Division, Rome, Italy. 180 pp.
- Gallo-García, M. C.; García-Ulloa, M.; Godínez-Siordia, D. y Rivera-Gómez, K. (2001). Estudio preliminar sobre el crecimiento y supervivencia del ostión del Pacífico *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1873) en Barra de Navidad, Jalisco, México. *Universidad y Ciencia* 17:83-91.
- García-Ulloa, M. (2000). *Fundamentos de nutrición acuícola*. Editorial Folia, Universidad Autónoma de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México. 212 pp.
- Glasser, F. y Oswald, M. (2001). High stocking densities reduce *Oreochromis niloticus* yield: model building to aid optimization of production. *Aquatic Living Resources* 14:319-326.
- González-Corona, J. (2003). *Estudio de la fisiología reproductiva y gametogénesis del callo de hacha Atrina maura (Sowerby, 1835)*. Tesis de Maestría, Universidad de Sonora, Guaymas, Sonora, México. 92 pp.
- Jeffrey, S. W. y Humphrey, G. F. (1975). New spectrophotometric equation for determining chlorophyll a, b, c1 and c2. *Biochemical and Physiological Plant* 167:194-204.
- Keen, A. M. (1971). *Sea Shells of Tropical West America*. 2nd edition, Stanford Universe Press, Stanford, California, USA. 402 pp.
- Marques, H. L. A.; Lombardi, J. V. y Boock, M. V. (2000). Stocking densities for nursery phase culture of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* in cages. *Aquaculture* 187:127-132.
- Miranda-Baeza, M. (1994). *Cultivo experimental de callo de hacha Atrina maura (Pelecypoda: Pinnidae), en la laguna de Agiabampo, Sonora*. Centro de Estudios Superiores de Sonora, Unidad Académica Navojoa, Sonora, México, 11 pp.
- Murphy, J. y Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphates in natural waters. *Anal. Chemical Acta* 27:31-36.
- Ricker, W. E. (1979). Growth rates and models. Pages 599-675. En: *Fish Physiology*, Vol. VIII. Hoar, W. S.; Randall, D. J. y Brett, J. R. (Eds.), Academic Press, New Cork, USA.
- Robles-Mungaray, M. (2004). *Desarrollo de la biotecnología para la producción de semilla en laboratorio, diploide y triploide, de callo de hacha Atrina maura (Sowerby, 1835)*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Baja California Sur, México, 66 pp.
- Rodríguez-Jaramillo, M. C. (2004). *Efecto de la temperatura sobre la gametogénesis en el callo de hacha Atrina maura (Sowerby, 1835) (Bivalvia: Pinnidae)*. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional, CICIMAR-La Paz, Baja California Sur, México, 92 pp.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1979). *Atlas geológico de uso de suelo. Mapa de tipos de vegetación y su distribución*. SARH, México, D. F. 450 pp.
- Serrano-Guzmán, S. J. (2003). Análisis prospectivo de las relaciones morfométricas de *Pinna rugosa* Sowerby, 1835 (Bivalvia: Pinnidae) en Corralero-Atolengo, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar* 22:31-39.
- Shinn, N. B. (1941). A colorimetric method for the determination of nitrite. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 13:33-35.
- Sicard, M. T.; Maeda-Martínez, A. N.; Lluch-Cota, S. E.; Lodeiros, C.; Roldán-Carrillo, L. M. y Mendoza-Alfaro, R. (2006). Frequent monitoring of temperature: an essential requirement for site selection in bivalve aquaculture in tropical-temperate transition zones. *Aquaculture Research* 37:1040-1049.

- Sokal, R. R. y Rohlf, F. J. (2000). *Biometry*. The principles and practice of statistics in biological research, 3rd edition, Freeman and Company, New York, New York, USA. 658 pp.
- Solórzano, L. (1969). Determination of ammonia in natural water by the phenol-hypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.* 14:799-801.
- Strickland, J. y Parsons, T. (1972). *A practical handbook of seawater analysis*. Fisheries Research Board of Canada. Bulletin 167 (2nd edition). Ottawa, Canada. 310 pp.
- Villanueva-Fonseca, L. (2009). *Variación genética y fenotípica en poblaciones de callo de hacha Atrina maura en la costa de Sinaloa*. Tesis de licenciatura, Universidad de Occidente Unidad Guasave, Guasave, Sinaloa, México. 89 pp.

Recibido: Marzo 01, 2011

Aceptado: Mayo 20, 2011