

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

CULTIVO EXPERIMENTAL DEL CALLO DE HACHA,
Atrina maura (SOWERBY, 1835) EN DOS AMBIENTES
ECOLÓGICOS DE LA COSTA DE SONORA, MÉXICO.



TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA
CON OPCIÓN EN ACUACULTURA

Presenta:

SERGIO DAVID LEAL SOTO

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

APROBACIÓN

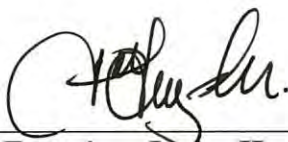
Los miembros del Jurado designado para revisar la Tesis Profesional de **Sergio David Leal Soto**, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el Título de Biólogo, con Opción en Acuicultura.



M. en C. Ramón Héctor Barraza Guardado
Director de Tesis



M. en C. José Carlos Aguirre Rosas
Secretario



M. en C. Francisco Javier Hoyos Cháirez
Vocal



Dra. Reina Castro Longoria
Suplente

DEDICATORIA

A **mi Querida Familia**, con todo mi corazón, esfuerzo y dedicación, aunque nunca va ser suficiente, porque podemos para más... les dedico este trabajo dirigido por ellos desde hace 23 años:

A mis padres **Rosa María Soto Sánchez Sánchez y Sergio David Leal Cota** a quienes admiro por su inteligencia, su fortaleza y sus principios. Quienes nunca me han dejado de apoyar, quienes me dieron educación y formación con sus valores y sus consejos. Les agradezco por ser unos buenos padres para mí, que me brindaron todo su cariño y esfuerzo para llegar hasta esta etapa de mi vida. Por todo lo que han luchado, hecho y formado en mí les agradezco con todo mi corazón. **LOS AMO.**

A mis hermanas y sobrino **Rosa Alejandra, Dalicia Ángeles**, y en especial a **Viridiana** por ser una buena amiga y por estar a mi lado en los momentos más difíciles de mi profesión. Y a **David Humberto**. Les dedico este trabajo por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, por estar en los momentos mas importantes de mi vida, por estar siempre cuando las necesite, por ser pacientes hasta el final de mí trabajo, por su cariño, por sus consejos y por su comprensión.

A mí querida profesora **Dra. Reina Castro Longoria** con mucho cariño y admiración. Le dedico este trabajo por gestionar esta investigación con el CREMES para realizar mi tesis, que de no ser por ella no estaría aquí. También por brindarme su tiempo y asesorarme para terminar mi tesis. Por darme dirección y formación a lo largo de la carrera, por apoyarme en los congresos, en la investigación, en los muestreos. Por darme su confianza, por su gran amistad y por creer en mí para seguir adelante.

Con mucho cariño y todo mi amor para mi buena amiga **Edith López Yocupicio** por formar parte de una etapa muy bonita de mi vida y por estar a mi lado durante la mayor parte de este trabajo.

“No llores porque ya se terminó, sonríe porque sucedió.”

Gabriel José de la Concordia García Márquez.

AGRADECIMIENTOS

Sobre todas las cosas agradezco a **Dios** por permitirme llegar a esta etapa de mi vida, por darme una buena y bonita familia, por tener un comité de buenas personas. Además quiero agradecer por mi existencia, por darme paciencia, fortaleza, sabiduría, sencillez y alegría. Por hacerme creer en mí y por ser de mí una persona de bien, con ganas de crecer, desarrollarme y producir nuevo conocimiento. **Gracias Dios mío.**

A la **Universidad de Sonora**, por darme la oportunidad de aceptarme como alumno en la **Carrera de Biología... Por siempre Búho !!!**

Al Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS), por darme el apoyo y el respaldo a lo largo de la carrera. Por contar con Profesores-Investigadores que me dieron la formación académica, me impusieron carácter, responsabilidad y disciplina en mi profesión, a todos ellos gracias.

Al Instituto de Acuicultura del Estado de Sonora O.P.D. (IAES), por brindarnos todas las facilidades para llevar a cabo esta investigación y apoyarme con sus instalaciones, además de su asesoría.

A Fundación Produce Sonora, A. C. por financiar el proyecto: Producción piloto comercial de crías de callo de hacha *Atrina maura* y *Atrina tuberculosa*, para producir semilla para el presente trabajo.

A la Subdelegación de Pesca, Oficina Federal de Pesca de Bahía de Kino, en particular a la secretaria **C. María Guadalupe Castro Zazueta**, por proporcionarme los archivos de arrivos de pesca de callo de hacha (2004-2009).

A mi comité de tesis, **M. en C. Ramón Héctor Barraza Guardado, M. en C. José Carlos Aguirre Rosas, M. en C. Francisco Javier Hoyos Cháirez, Dra. Reina Castro Longoria**; por brindarme su tiempo, su apoyo, su conocimiento, su esfuerzo y dedicación durante la elaboración de este documento. Gracias.

En especial, a mi director de tesis **M. en C. Ramón Héctor Barraza Guardado**, a quien admiro y aprecio mucho, le agradezco por ser un buen maestro para mí en la investigación, por enseñarme gran parte de lo que se, por apoyarme en el cultivo del callo de hacha, por dirigirme a lo largo de este estudio, por ayudarme a interpretar y escribir este trabajo con el fin de concluir mi tesis y por ser un buen amigo, muchas gracias.

Al Coordinador del Centro Reprodutor de Especies Marinas del Estado de Sonora (CREMES) a **Francisco Hoyos** por su gran amistad, además de brindarme las bases y herramientas necesarias para llevar a cabo el cultivo del callo de hacha, así mismo al personal técnico, **Francisco (panchi), Pedro, Jorge L., Servando (chevo), José R. (guanaco), Artemisa (micha), Eduardo (balo), Aarón, Víctor, Eduardo (lalo), Leobardo, Jorge N., José Luis Niebla (volador) y a Don Armando**, por el apoyo en el laboratorio, en los muestreos y por su asesoría. Gracias.

Al personal técnico de **DICTUS-UEK, Leopoldo (polo), Fulgencio, Ulises, Jesús, (chuyito), Isidro (shiro), Oscar, Doña Lupita y a Daniel**; por su apoyo en la Unidad y brindarme todas las facilidades en los muestreos.

A la **M. en C. Maria del Refugio López Tapia** y a **Biol. Josué Valenzuela Díaz** por apoyarme en los análisis de clorofila, además de brindarme de su tiempo en asesorarme en los análisis de calidad de agua en el CIBNOR. Gracias.

A mis amigos de la carrera de Biología: **Sergio David Moreno Velásquez, Martha María Del Rio Salas, Martín Rodrigo Acedo Valdez, Ángel Martínez Durazo, Jorge Alfonso Arvayo Zatarain y Christian Minjarez Osorio**; de igual manera a mis amigos acuacultores: **Diana, Martín, Teresita, Iraís, Gaby, Faby, Caro y Leoncito**. Agradezco también, a mi querida amiga **Gissel Sánchez Sánchez**, por su cariño, su apoyo y por sus consejos. Sin olvidarme también de mis buenos amigos **César Hinojo Hinojo y Anahit Rentaría Mayorquín**. A todos ellos agradezco porque siempre estuvieron conmigo y me apoyaron en casi todos los momentos y en la mayor parte de esta etapa “**Mi carrera**”, además de ser justos, críticos y por no darme la espalda... Gracias.

Al **Ing. Manuel Juárez García** por su apoyo en el análisis de datos, además aconsejarme durante el escrito de este trabajo, por ser un buen compañero y amigo de trabajo.

Al **C. José Mario Antonio Loredó Almedariz** por brindarme las facilidades en los monitoreos en el Estero La Cruz, durante el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos de la vida: **Alán de Jesús Apodaca Cota, Luis Felipe González Gil, José Ramón Valdéz Patila, Guillian Itzel Navarro Pérez y Miriam Iraidez Rentaría Gastélum**, Les agradezco por brindarme su cariño, su amistad y sobre todas las cosas por estar a mi lado. Por ser unos buenos amigos gracias.

Por último pero no menos importante y sin importar el orden, a mis amigos de Bahía de Kino: **Rosa Gladys Zazueta, Doña Guadalupe López, María Elena Zazueta, Rosario Castro, Jessica Castro, Francisco Castro, José Roberto Rivera y a Servando Hernández**. Les agradezco por brindarme su hospitalidad, de su apoyo en los muestreos durante el desarrollo de este trabajo, porque estuvieron siempre que los necesite y sobre todo por su valiosa amistad. Muchas gracias amigos.

Agradezco a todas aquellas personas que no se mencionan, pero que de alguna forma contribuyeron para la culminación de mi tesis.

A TODOS ELLOS MUCHAS GRACIAS...!!!

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	i
ÍNDICE DE TABLAS	iv
RESUMEN	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	7
II.1. Cultivo de callo de hacha <i>Atrina maura</i> , en México.	7
II.2. Importancia económica del cultivo de <i>Atrina maura</i> .	8
II.3. Biología del callo de hacha <i>Atrina maura</i> .	9
II.3.1. Anatomía de <i>Atrina maura</i> .	9
II.3.2. Ecología y distribución de <i>Atrina maura</i> .	10
II.3.3. Depredadores de moluscos bivalvos.	11
II.3.4. Clasificación de <i>Atrina maura</i> .	13
II.4. La hidrología en los cultivos de moluscos bivalvos.	16
II.4.1. Calidad del agua en los cultivos de moluscos bivalvos.	17
II.4.1.1. Temperatura y luz.	18
II.4.1.2. Oxígeno disuelto en el agua (OD).	18
II.4.1.3. Salinidad.	19
II.4.1.4. Potencial de hidrógeno (pH).	20
II.4.1.5. Turbiedad, sólidos y color.	21
II.4.1.6. Nutrientes.	22
II.4.1.7. Alimento natural.	25
II.4.1.8. Productividad primaria (PP).	26
II.4.1.9. Fitoplancton.	27
II.4.1.10. Clorofila <i>a</i> .	27
II.4.1.11. Séston.	28
II.5. Cultivo de <i>Atrina maura</i> .	29
III. HIPÓTESIS	31
IV. OBJETIVO GENERAL	32

	Página
IV.1. Objetivos particulares.	32
V. METODOLOGÍA	33
V.1. Descripción de los sitios de estudio.	33
V.1.1. Estero La Cruz.	33
V.1.2. Bahía Kunkaak.	34
V.2. Sistema de cultivo.	37
V.2.1. Diseño del experimento.	37
V.2.1.1. Pre-engorda.	38
V.2.1.2. Engorda.	38
V.2.1.2.1. Estero La Cruz.	39
V.2.1.2.2. Bahía de Kunkaak.	39
V.3. Variables ambientales.	41
V.3.1. Variaciones diurnas.	41
V.3.2. Medición <i>in situ</i> de parámetros fisicoquímicos y colecta de muestras.	41
V.3.3. Sólidos suspendidos y materia orgánica.	41
V.3.4. Determinación de clorofila <i>a</i> .	42
V.4. Crecimiento.	42
V.5. Análisis estadísticos.	46
VI. RESULTADOS	47
VI.1. Variables fisicoquímicas del Estero La Cruz y la Bahía Kunkaak.	47
VI.1.1. Temperatura.	47
VI.1.2. Oxígeno disuelto (OD).	49
VI.1.3. Saturación del oxígeno disuelto (SOD).	51
VI.1.4. Salinidad.	53
VI.1.5. Potencial de hidrógeno (pH).	55
VI.2. Parámetros físicos y biológicos en el Estero La Cruz y la Bahía Kunkaak.	56
VI.2.1. Sólidos suspendidos totales (SST).	56
VI.2.2. Materia orgánica particulada (MOP).	58
VI.2.3. Materia inorgánica particulada (MIP).	60

VI.2.4. Relación: materia inorgánica particulada entre orgánica particulada (MIP/MOP).	62
VI.2.5. Clorofila <i>a</i> .	63
VI.3. Crecimiento de <i>Atrina maura</i> en el área de la Bahía Kunkaak.	64
VI.3.1. Crecimiento en longitud total (LT) y ancho total (AT) de la concha.	64
VI.3.2. Crecimiento del peso fresco total (PFT).	66
VI.3.3. Crecimiento del peso fresco de la concha (PFC).	67
VI.3.4. Crecimiento del peso fresco del cuerpo blando (PFCB).	69
VI.3.5. Crecimiento del peso fresco del músculo aductor (PFM).	71
VI.3.6. Índice del rendimiento muscular (IRM).	72
VI.3.7. Desarrollo gonádico.	74
VI.3.8. Relaciones morfométricas.	76
VI.3.8.1. Relación entre el peso fresco total (PFT) y la longitud total (LT) de <i>Atrina maura</i> .	76
VI.3.8.2. Relación entre el peso fresco total (PFT) y el ancho total (AT).	77
VI.3.8.3. Relación entre la longitud total (LT) y el ancho total (AT) de <i>Atrina maura</i> .	78
VI.3.8.4. Supervivencia de <i>Atrina maura</i> en la Bahía Kunkaak.	79
VI.4. Crecimiento de <i>Atrina maura</i> en el área del Estero La Cruz.	79
VII. DISCUSIONES	80
VIII. CONCLUSIONES	95
IX. RECOMENDACIONES	97
X. LITERATURA CITADA	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Tendencias de la producción del recurso callo de hacha en Bahía de Kino (1992-2009). Fuente: Estadísticas de los avisos de arribo de la Oficina de Pesca y Moreno <i>et al.</i> (2005).	5
2	Zona de pesca de callo de hacha en el área de Bahía de Kino. Mapa tomado de Moreno <i>et al.</i> , 2005 (Los límites de las zonas de pesca de callo de hacha son aproximados y no se encuentran georeferenciados).	8
3	Esquema de la morfología interna de un callo de hacha, con la descripción de sus órganos y músculos que lo componen (Tomado de Coronel, 1981).	12
4	Especies de callo de hacha explotadas en el área de Bahía Kino, Sonora. De izquierda a derecha: <i>Pinna rugosa</i> callo redondo, <i>Atrina maura</i> callo media luna, <i>Atrina tuberculosa</i> callo riñón y <i>Atrina oldroydii</i> callo hacha negra.	14
5	Distribución geográfica de <i>Atrina maura</i> , en el litoral del Océano Pacífico (Tomado de Fischer <i>et al.</i> , 1995).	15
6	Localización geográfica del área de estudio y ubicación de las zonas de cultivo de <i>Atrina maura</i> . A: Bahía Kunkaak. B: Estero La Cruz.	36
7	Cultivo en suspensión durante la etapa de pre-engorda en la Bahía Kunkaak (arriba). Encierro permanente tipo corral, utilizado para la engorda de <i>Atrina maura</i> en el Estero La Cruz (abajo).	40
8	Registro biométrico del callo de hacha, <i>Atrina maura</i> , durante su cultivo.	42
9	Ejemplar macho maduro (A) y hembra madura (B). Organismo hermafrodita de <i>Atrina maura</i> (abajo).	44
10	Organismo indiferenciado (arriba) y ejemplares de <i>Atrina maura</i> (abajo).	45
11	Comportamiento promedio (\pm desviación estándar) mensual en dos años de monitoreo, de temperatura del agua, en los dos ambientes durante la engorda de <i>Atrina maura</i> . Nota: la barra indica la desviación estándar.	48

Figura		Página
12	Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) del oxígeno disuelto, en los dos ambientes durante la engorda de <i>Atrina maura</i> . Nota: la barra indica la desviación estándar.	50
13	Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) de la saturación del oxígeno disuelto, para los dos ambientes durante la engorda de <i>Atrina maura</i> . Nota: la barra indica la desviación estándar.	52
14	Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) de la salinidad del agua, en los dos ambientes durante la engorda de <i>Atrina maura</i> . Nota: la barra indica la desviación estándar.	54
15	Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) del pH del agua, en los dos ambientes durante la engorda de <i>Atrina maura</i> . Nota: la barra indica la desviación estándar.	55
16	Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) de los sólidos suspendidos totales (SST), en los dos ambientes durante la engorda de <i>Atrina maura</i> . Nota: la barra indica la desviación estándar.	57
17	Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) de la materia orgánica particulada (MOP), en los dos ambientes durante la engorda de <i>Atrina maura</i> . Nota: la barra indica la desviación estándar.	59
18	Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) de la materia inorgánica particulada (MIP), en los dos ambientes durante la engorda de <i>Atrina maura</i> . Nota: la barra indica la desviación estándar.	61
19	Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) de la relación materia inorgánica particulada entre materia orgánica particulada (MIP/MOP), en los dos ambientes durante la engorda de <i>Atrina maura</i> . Nota: la barra indica la desviación estándar.	62
20	Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) de clorofila <i>a</i> , en los dos ambientes durante la engorda de <i>Atrina maura</i> . Nota: la barra indica la desviación estándar.	63
21	Crecimiento promedio mensual (\pm desviación estándar) en longitud total (LT) y ancho total (AT) de la concha de <i>Atrina maura</i> en el área de la Bahía Kunkaak, durante la etapa de engorda de marzo 2008 a noviembre 2009. Nota: la barra indica la desviación estándar.	65

Figura	Página	
22	Crecimiento promedio mensual (\pm desviación estándar) del peso fresco total (PFT) de <i>Atrina maura</i> en el área de la Bahía Kunkaak, durante la etapa de engorda de marzo 2008 a noviembre 2009. Nota: la barra indica la desviación estándar.	66
23	Crecimiento promedio mensual (\pm desviación estándar) del peso fresco de la concha (PFC) de <i>Atrina maura</i> en el área de la Bahía Kunkaak, durante la etapa de engorda de marzo 2008 a noviembre 2009. Nota: la barra indica la desviación estándar.	68
24	Crecimiento promedio mensual (\pm desviación estándar) del peso fresco del cuerpo blando (PFCB) de <i>Atrina maura</i> en el área de la Bahía Kunkaak, durante la etapa de engorda de marzo 2008 a noviembre 2009. Nota: la barra indica la desviación estándar.	70
25	Crecimiento promedio mensual (\pm desviación estándar) del peso fresco del músculo aductor (PFM) de <i>Atrina maura</i> en el área de la Bahía Kunkaak, durante la etapa de engorda de julio 2008 a noviembre 2009. Nota: la barra indica la desviación estándar.	71
26	Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) del índice de rendimiento muscular (IRM) de <i>Atrina maura</i> en el área de la Bahía Kunkaak, durante la etapa de engorda en el fondo marino. Nota: la barra indica la desviación estándar.	73
27	Representación porcentual de la madurez gonádica de <i>Atrina maura</i> en el área de la Bahía Kunkaak, durante su engorda. La escala fue determinada por observación visual del desarrollo de la madurez sexual de los organismos al momento de las biometrías.	75
28	Curva teórica de crecimiento (línea continua) de la relación peso fresco total (PFT) y longitud total (LT) de <i>Atrina maura</i> en el área de la Bahía Kunkaak, durante la etapa de engorda de marzo 2008 a noviembre 2009.	76
29	Curva teórica de crecimiento (línea continua) de la relación peso fresco total (PFT) y ancho total (AT) de <i>Atrina maura</i> en el área de la Bahía Kunkaak, durante la etapa de engorda de marzo 2008 a noviembre 2009.	77
30	Relación del ancho total (AT) y longitud total (LT) de la concha de <i>Atrina maura</i> y recta promedio calculada, obtenida durante el período de cultivo en la Bahía Kunkaak. Intervalos de confianza (media) 95% e intervalos de confianza (observados) 95%.	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Producción de semilla de callo de hacha <i>Atrina maura</i> en el laboratorio del CREMES. Datos tomados hasta 1995 de Niebla-Larreta (2006) y por Hoyos-Cháirez, 2009 (com. pers.) ¹ para el año 2008-2010.	7
2	Clasificación taxonómica de <i>Atrina maura</i> de acuerdo con Brusca y Brusca (2003).	13
3	Diferentes etapas, sitios y períodos durante el cultivo de <i>Atrina maura</i> en Bahía de Kino, Sonora.	37
4	Tratamientos probados durante el experimento del cultivo de engorda de <i>Atrina maura</i> .	38

RESUMEN

El cultivo de moluscos bivalvos es una actividad poco desarrollada en especies nativas del Golfo de California. El objetivo de este trabajo fue realizar el cultivo experimental comparativo del callo de hacha, *Atrina maura*, entre el Estero La Cruz y la Bahía Kunkaak, Sonora, México. Esta investigación duró 22 meses. El cultivo consideró una fase de pre-engorda y de engorda. Se realizaron mensualmente variaciones diurnas de los parámetros fisicoquímicos y biológicos de la calidad del agua. En los organismos se midieron mensualmente (n=30) las variables morfométricas. La temperatura presentó un comportamiento estacional y no hubo diferencias entre un ambiente. En cambio la salinidad del Estero La Cruz presentó amplias fluctuaciones (36.8 ± 0.28 a 39.2 ± 0.2 ‰) comparado con la Bahía Kunkaak (35.3 ± 0.14 a 37.0 ± 0.2 ‰). No hubo diferencias significativas de pH entre la Bahía Kunkaak (7.8 ± 0.1 a 8.39 ± 0.07) y el Estero La Cruz (7.6 ± 0.1 a 8.38 ± 0.15). Amplias variaciones de oxígeno disuelto (OD) se presentaron en el Estero La Cruz (4.48 ± 1.87 a 11.59 ± 0.58) con respecto a la Bahía Kunkaak (5.25 ± 0.6 a 12.1 ± 0.59 mg/L). Los niveles de OD fueron significativamente más altos en la Bahía Kunkaak. Los sólidos suspendidos totales (SST) y la materia inorgánica particulada (MIP) en el Estero La Cruz (SST: 34.69 ± 6.83 a 97.48 ± 14.32 mg/L; MIP: 29.56 ± 6.2 a 84.86 ± 12.51) presentaron amplias variaciones con valores significativamente más altos que en la Bahía Kunkaak (SST: 20.36 ± 1.25 a 60.75 ± 5.48 mg/L; MIP: 16.6 ± 1.07 a 51.46 ± 5.56). La materia orgánica particulada (MOP) en el Estero La Cruz presentó concentraciones más elevadas respecto a la Bahía Kunkaak. La relación MIP/MOP en el Estero La Cruz presentó valores arriba de 5.0 y mayores que la Bahía, la cual registró valores alrededor de 4.0, lo que indicó una mejor disponibilidad de materia orgánica como alimento natural. El alimento natural como

biomasa fitoplanctónica (Cl *a*), presentó concentraciones significativamente más altas en el Estero La Cruz. En la Bahía, *A. maura* obtuvo una longitud total (LT) en 22 meses de 194.60 ± 10.23 mm y para el ancho total (AT) de 114 ± 4.90 mm. El incremento mensual en LT fue 20.76 mm y de AT fue de 10.58 mm. El peso máximo obtenido para el peso fresco del músculo aductor (PFM) fue de 21.44 ± 3.1 g a los 17 meses de engorda con un incremento mensual de 2.6 g. La supervivencia en la Bahía Kunkaak fue de 70 %. El experimento en el Estero La Cruz sólo permaneció dos meses, ya que presentó una mortalidad del 95 %. El mejor desempeño fue en la Bahía Kunkaak y puede explicarse por las condiciones ambientales que prevalecieron. En general los análisis del séston indicaron una mejor disponibilidad en la Bahía. Se concluye que el cultivo de *Atrina maura* en la Bahía Kunkaak se realizó con éxito, en donde presentó un mejor desempeño con respecto a la engorda del Estero La Cruz. Por lo tanto, la Bahía Kunkaak fue un sitio adecuado para el cultivo de *A. maura*.

I. INTRODUCCIÓN

En 2005 la producción mundial de organismos acuáticos (crustáceos, molusco y peces) fue de alrededor de 141.6 millones de toneladas con un valor superior a los 70 mil millones de dólares. De esta producción, poco más de 60 millones de toneladas provinieron de la acuicultura, lo que significó una contribución de alrededor del 42 %. Asia es la región con el mayor desarrollo acuícola y China es ampliamente el país líder con una producción en 2005 de 32.5 millones de toneladas (alrededor del 67 % de la producción mundial total) (FAO, 2006).

Del total de la producción de organismos acuáticos aproximadamente el 70 % son utilizados directamente para consumo humano y el resto para otros propósitos tales como: alimentos para otros animales (avicultura, ganadería, acuicultura, animales domésticos, entre otros) fertilizantes, cosméticos, medicinas, entre otros. Una de las principales críticas de que es objeto la actividad acuícola, es la de ser una actividad poco sustentable, que ocasiona importantes impactos ambientales. Entre los principales impactos al medio se encuentran: destrucción de bosques de manglar y marismas, la contaminación de fuentes de agua, la eutrofización de cuerpos de las descargas, entre otros (FAO, 2006).

A nivel mundial se reconoce a la acuicultura como una estrategia importante para lograr el desarrollo de las poblaciones menos favorecidas y se exhorta a los estados a considerarla, incluyendo las pesquerías basadas en el cultivo, como una forma de promover una diversificación en el ingreso y la dieta. Aunque al hacerlo, los estados también deben velar porque los recursos sean usados de forma responsable y que los impactos adversos sobre el ambiente y las comunidades locales sean minimizados. Inclusive a nivel de escenarios futuros en materia de tecnología se considera que en el año 2014 el desarrollo de

la acuicultura en el mundo será una de las fuentes de proteína más importantes (FAO, 2006).

La producción mundial de la acuicultura ha crecido notablemente durante los últimos cincuenta años, pasando de menos de 1 millón de toneladas a comienzos de 1950, a 59.4 millones para el 2004, con un valor de 70,300 millones de dólares. Entre los diez principales países en cuanto a la producción acuícola en 2004 se encuentran: China, India, Vietnam, Indonesia, Tailandia, Bangladesh, Japón, Chile, Noruega y Filipinas. Las cantidades declaradas por China representan el 69.6 % del volumen total y el 51.2 % del valor total de la producción de la acuicultura.

La mayor parte de la producción acuícola de peces, crustáceos y moluscos continúa procediendo de masas de agua dulce con el 56.6 % en cantidad y el 50.1 % en valor. La maricultura aporta el 36.0 % de la producción en cantidad y el 33.6 % del valor total. Si bien gran parte de la producción marina consiste en peces de valor elevado, incluye también una gran cantidad de mejillones y ostras de bajo precio. La producción en aguas salobres, aunque representó sólo el 7.4 % del total producido en 2004, aportó el 16.3 % del valor total, debido a que predominan en ella los crustáceos y peces de valor elevado. De tal forma que la mayor producción para el 2004 por grupos la tienen los peces de agua dulce con un volumen de 23.8 millones de toneladas, seguido de la plantas acuáticas con un volumen de 13.9 millones de toneladas, ocupando el tercer sitio los moluscos con 13.2 millones de toneladas y en cuarto lugar los crustáceos con 3.6 millones de toneladas. Los moluscos en particular generan un valor a nivel mundial de 9, 834 millones de dólares (FAO, 2006).

La acuicultura en México, particularmente para el Estado de Sonora en las últimas décadas se ha dedicado a cultivos comerciales principalmente de crustáceos como el

camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei*, peces como la tilapia *Oreochromis niloticus* y desde hace 25 años se tiene una experiencia con respecto al cultivo de moluscos bivalvos, principalmente del ostión japonés del Pacífico, *Crassostrea gigas*. En México el volumen de producción de ostión asciende a 45,894 toneladas de las cuales 42,594 provienen de las entidades federativas ubicadas en el litoral del Golfo de México y Caribe, mientras que del litoral del Pacífico provienen 3,300 toneladas. El Estado de Veracruz se posiciona como el mayor productor de ostión (*Crassostrea virginica*) en el país con 24,382 toneladas, en tanto que en el litoral del Pacífico, los estados de Baja California, Baja California Sur y Nayarit mantienen entre ellos producciones muy similares y en total cercanas a las 900 toneladas anuales de *Crassostrea gigas* (CNP, 2004).

La zona costera del Estado de Sonora cuenta con una enorme riqueza de organismos marinos, entre ellos los moluscos bivalvos, muchos con un alto valor económico como las almejas, el callo de hacha, el ostión, entre otros. Éstos constituyen pesquerías establecidas a lo largo del litoral sonorense. Por otra parte Sonora es el estado que más callo de hacha produce por captura debido a que tiene una gran aceptación por los consumidores y una alta demanda en el mercado; razón por la que se ha incrementado la presión pesquera que junto con perturbaciones naturales (ciclones, tormentas tropicales, entre otros), las alteraciones antropogénicas de drenes de descarga de las granjas camaroneras tienen un impacto sobre los bancos naturales, disminuyen la producción de este recurso y ponen en riesgo la existencia de estas especies en varias zonas del Mar de Cortés, lo cual ha causado una explotación permanente (Ángel-Pérez, *et al.*, 2007).

Para el cultivo de moluscos bivalvos a escala comercial se requiere del desarrollo y estandarización de metodologías que garanticen el suministro adecuado de semillas de buena calidad, ya que este es el insumo biológico básico e indispensable para la actividad.

Es de suma importancia el desarrollo de nuevas técnicas de cultivo durante las fases de pre-engorda y engorda, ya que al utilizar estos sistemas de cultivo permitirá que las especies se adapten mejor a condiciones de cautiverio, para garantizar que la mayor parte de la producción llegue hasta su talla comercial.

En Sonora, el sistema más empleado para el cultivo de bivalvos es el de líneas largas o “*Long-line*” al cual se fijan módulos flotantes de canasta ostrícolas. Esto requiere constante mantenimiento ya que se incrustan organismos en las artes de cultivo, lo cual impide la circulación de agua, además de disminuir la disponibilidad de alimento y oxígeno. También algunos productores utilizan las camas flotantes y estantes con camas fijadas al sustrato, que consisten en estructuras de hierro, son colocadas en la zona intermareal de baja profundidad y quedan al descubierto solamente durante las mareas más bajas en el caso de los esteros.

En la región sur del Estado de Sonora los sistemas son mixtos con camas flotantes y bolsa ostrícola (bolsas de nylon colocados sobre mesas metálicas fijas al sustrato). Otro tipo de sistemas utilizados de manera experimental en México, son las linternas para el cultivo de ostión *C. gigas*; sistema empleado en las costas de Oaxaca y el Golfo de México (Serrano-Guzmán, *et al.*, 2004). En Sonora se emplean estas linternas para el cultivo de las ostras perleras *Pinctada mazatlanica* y *Pteria sterna* en Guaymas, Sonora.

Particularmente, la producción pesquera de callo de hacha por estado es la siguiente: Sonora contribuye con el 54.46%; Baja California Sur con un 19.61%; Sinaloa con 16.42%; Jalisco, Nayarit con un 3.88% y Guerrero con 1.67%; Baja California y Colima en conjunto capturan el 0.44% (Vélez-Barajas y Fajardo-León, 1996). En algunos de estos estados las especies de callo de hacha se encuentran bajo una fuerte presión pesquera donde sus poblaciones naturales se han reducido significativamente en los últimos 15 años. Es

importante realizar investigaciones sobre el cultivo en su medio natural, ya que se tienen pocos avances que permitan establecer con certeza su cultivo de manera sostenible (Niebla-Larreta, 2006). Los registros de captura de callo de hacha de *Atrina maura*, *A. tuberculosa* y *Pinna rugosa* para la región de Bahía de Kino en el período 1992 a 2009 (Fig. 1) indican una extracción máxima alrededor de 165 toneladas. A partir de 1993 la tendencia ha sido a la baja, llegando a una mínima extracción de menos de 5 toneladas aproximadamente en 1998 y en los años posteriores ha mejorado su producción pero no más de las 40 toneladas.

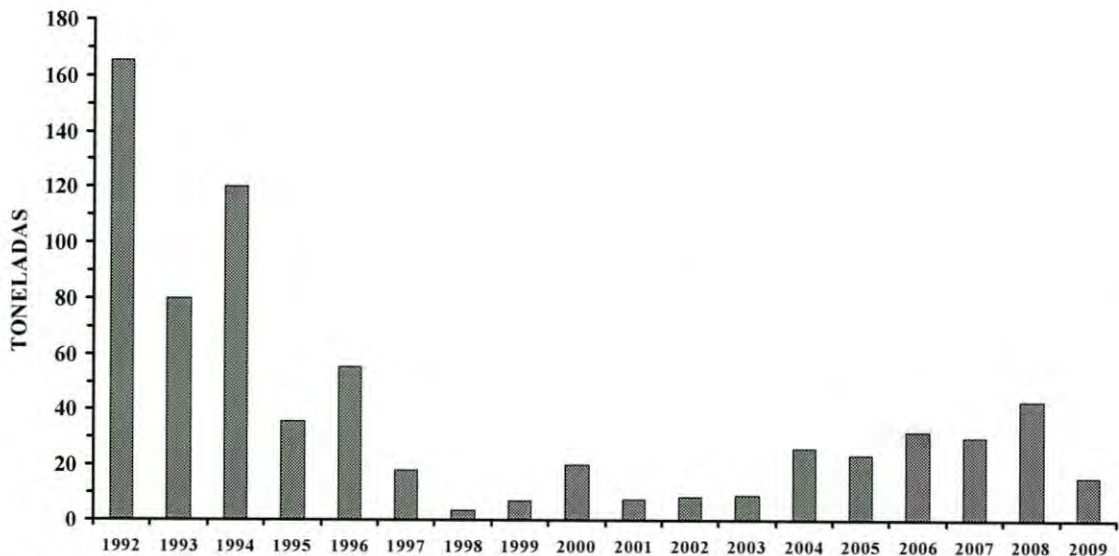


Figura 1. Tendencias de la producción del recurso callo de hacha en Bahía de Kino (1992-2009). Fuente: Estadísticas de los avisos de arribo de la Oficina de Pesca y Moreno *et al.* 2005.

En la costa central del Golfo de California, el Estado de Sonora cuenta con tres especies de callo de hacha que son potencialmente cultivables: *Atrina maura* conocido también como callo de media luna, *Atrina tuberculosa* como callo de riñón y *Pinna rugosa* como callo redondo. Particularmente para la especie *A. maura*, se han realizado prácticas de cultivo de forma integral y estudios de la biología reproductiva desde el acondicionamiento

de reproductores, producción de larva y semilla hasta la engorda en el campo (Cardoza-Velasco y Maeda-Martínez, 1997; Cardoza-Velasco, 2002). Para las especies de *A. tuberculosa* y *P. rugosa* se cuenta con pocos estudios sobre los ciclos reproductivos y producción de semilla (Niebla-Larreta, 2006).

El cultivo del callo de hacha se presenta como una nueva alternativa de producción. Los antecedentes de cultivo con *A. maura* son pocos y se requieren estudios completos sobre su engorda a escala semicomercial que permitan aportar información que sirva para la implementación de cultivos a mayor escala. En cuanto a su investigación, en los últimos cinco años se ha trabajado con *A. maura* por parte del Centro Reproductor de Especies Marinas del Estado de Sonora (CREMES).

Existe un creciente interés por la investigación con respecto al estudio del desempeño biológico de esta especie, con la finalidad de lograr protocolos de producción sostenibles tanto para semilla como para la engorda y lograr un mejor manejo de este recurso. Por lo tanto en el presente trabajo se pretende desarrollar un cultivo experimental en el Estero La Cruz y en la Bahía Kunkaak, Bahía de Kino, Sonora, con la finalidad de contribuir al conocimiento y manejo del cultivo de esta importante especie.

II.- ANTECEDENTES

II. 1. Cultivo del callo de hacha *Atrina maura*, en México.

La acuacultura del callo de hacha se ha desarrollado con éxito en otros países como en China y Corea, entre otros. Con lo que respecta al cultivo de callo de hacha, en México se tiene muy poca información que permita impulsar esta actividad con éxito. Los experimentos realizados para producir semilla de *A. maura* en el laboratorio, datan a finales del año de 1970, en San Blas, Nayarit, cuando la Secretaria de Pesca y Acuacultura (SEPESCA) logró la etapa de desove de esta especie, aunque en ese momento no se logró producir semilla (González-Corona, 2003).

Niebla-Larreta (2006) menciona que en el CREMES se logró por primera vez la producir semilla de callo de hacha en el año de 1993 (Tabla 1), lo que permitió que se efectuaran las primeras pruebas de cultivo de callo de hacha, *A. maura* en sitios ostrícolas de las costas de Sonora. En el año de 1996 se lograron mejoras en la afinación de las técnicas de cultivo para Bahía Topolobampo, Sinaloa, donde se alcanzó el éxito deseado y se logró llevar a tallas comerciales con una cosecha de 300 Kg del callo de hacha.

Tabla 1. Producción de semilla de callo de hacha *Atrina maura* en el laboratorio del CREMES. Datos tomados hasta 1995 de Niebla-Larreta, 2006 y por Hoyos-Cháirez, 2009 (com. pers.)¹ para el año 2008-2010.

AÑO	PRODUCCIÓN (número de semillas)
1993	20,000
1994	40,000
1995	70,000
2008	60,000
2009	80,000
2010	50,000

¹Hoyos-Cháirez F. Instituto de Acuacultura del Estado de Sonora.

II. 2. Importancia económica del cultivo de *Atrina maura*.

El callo de hacha *A. maura* es de gran importancia comercial debido a que el producto presenta características de textura, sabor únicas de su músculo aductor, además presenta resistencia para su manejo y exportación por lo que presentan buen valor en el mercado y aceptación por los consumidores; se comercializa en estado fresco o enhielado y se consume a nivel local, regional o nacional (González-Corona, 2003). Además el callo de hacha es preferido porque es de mayor tamaño y tiene un precio alto, actualmente su valor en playa es de \$200.00 (IAES, 2009) con los pescadores locales de Bahía Kino, Sonora.

De acuerdo con Moreno *et al.* (2005), la captura del callo de hacha, en Bahía de Kino, se realiza en tres áreas principales, zona norte, centro y sur (Figura 2).

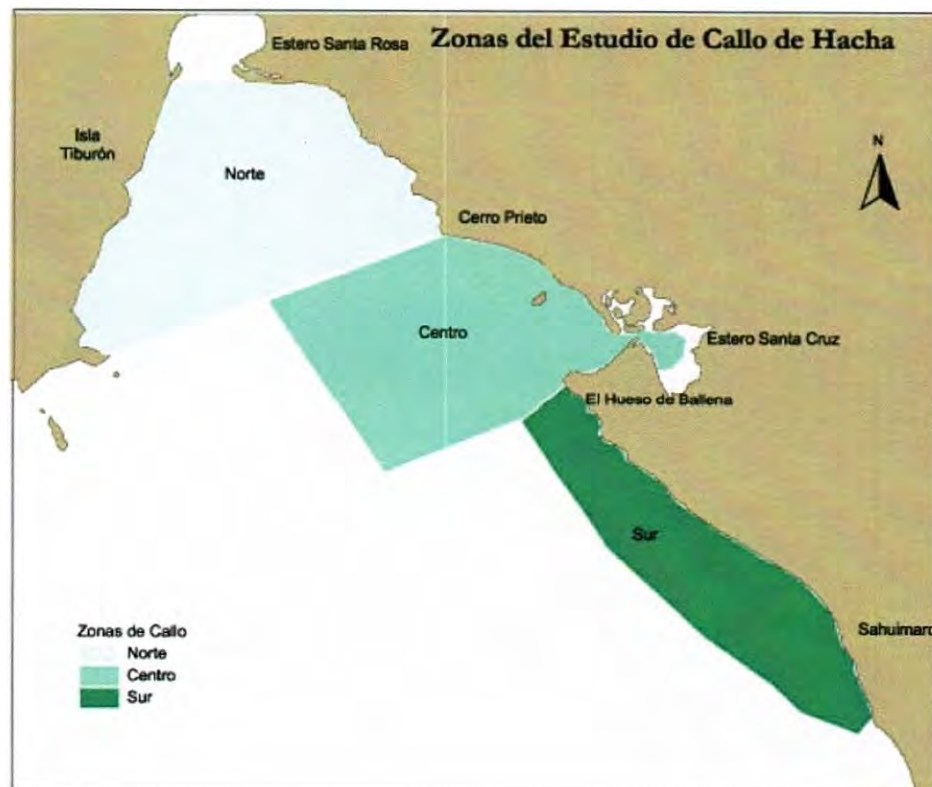


Figura 2. Zona de pesca de callo de hacha en el área de Bahía de Kino. Mapa tomado de Moreno *et al.* (2005) (Los límites de las zonas de pesca de callo de hacha son aproximados y no se encuentran Geo-referenciados).

II. 3. Biología del callo de hacha, *Atrina maura*.

Con lo que respecta a la biología del callo de hacha, al igual que la mayoría de los moluscos bivalvos, se caracterizan por presentar sexos separados, una vez maduros sexualmente el desove se realiza al liberar los gametos y la fecundación es externa. No presentan dimorfismo sexual externo pero en los organismos maduros es posible diferenciarlos por la coloración de la gónada, para la hembra es de color naranja a roja y en el macho es de color blanca, presentan hermafroditismo pero es muy raro (Barnes y Ruppert, 1996)

Se conoce que la época de maduración de estos organismos comprenden los meses de abril, mayo y junio, con una segunda época de madurez sexual con menor cantidad en los meses de noviembre a diciembre (Niebla-Larreta, 2006). De acuerdo a las experiencias generadas en el CREMES una sola hembra puede producir más de 100 millones de óvulos de buena calidad y consecuentemente un macho puede liberar una inmensa cantidad mayor de gametos.

II. 3.1. Anatomía de *Atrina maura*.

La mayor parte de estos organismos presentan un cuerpo blando, no segmentado lateralmente comprimido, cubierto por el manto; carecen de cabeza y de rádula. Presentan dos sifones, a través de los cuales se alimentan de plancton o de materia orgánica suspendida en el agua. Tienen un pie, el cual permite desplazarse y excavar. Presenta biso que sirve para adherirse a sustratos duros por medio de filamentos elásticos (Fig. 3) (Barnes y Ruppert, 1996).

II. 3.2. Ecología y distribución de *Atrina maura*.

Atrina maura, frecuentemente habita fondos con arena de grano grueso, sobre los pastos marinos, en zonas de manglar y bancos de lodo. Esta especie se encuentra desde el nivel de los bajos de marea hasta 10 m de profundidad y se distribuye en climas cálidos. Como una característica propia, del callo de hacha *A. maura*, presenta una concha alargada y aplanada, semejante a un amplio abanico de borde posterior redondeado. La superficie presenta surcos concéntricos con 12 costillas radiales provistas de espinas delgadas. Su color en la superficie externa es purpúreo a café oscura; en la superficie interna está coloreada tal como la externa pero más brillante, nacarada. Alcanza tallas máximas hasta 45 cm y comúnmente es de 20 cm.

Las poblaciones naturales de callo de hacha para la región de Bahía de Kino se encuentran distribuidas en una zona muy extensa que va desde El Sahuímaro hasta el Canal del Infiernillo. Los principales tipos de sustrato o sedimento donde se encuentran las poblaciones son en su mayoría: arena gruesa, conchal, arena fina, sustrato con riscos y coral blando, arena con presencia de caracol espiral (*Turritella* spp) y en menor medida sedimento fangoso.

La profundidad donde se encuentran los bancos van desde lo somero (2.6 a 8.0 m.) hasta lo relativamente profundo (9.0 a 14.0 m.). En términos generales las poblaciones se encuentran distribuidas muy cercanas a la costa. Sin embargo, algunos buzos han colectado callo de hacha mar adentro y ellos saben que existen poblaciones a profundidades mayores (Moreno *et al.*, 2007).

En las costas de Sonora, se encuentran cuatro especies de callo de hacha: *Pinna rugosa*, *Atrina maura*, *Atrina tuberculosa* y *Atrina oldroydii* (Fig. 4). Esta última especie ha sido recientemente reportada para el área de estudio (Leal-Soto *et al.*, 2010). La

distribución para *A. maura* va desde Baja California, incluyendo el Golfo de California hasta el sur de Perú como se muestra en la Figura 6 (Fischer *et al.*, 1995).

II. 3.3. Depredadores de moluscos bivalvos.

Los depredadores más comunes de los moluscos bivalvos incluyendo los callos de hacha son algunos crustáceos como jaiba, *Callinectes* spp y peces como el botete diana, *Sphoeroides* spp que atacan principalmente a los juveniles. En su fase larvaria, el callo de hacha forma parte del plancton y sirve de alimento a muchos organismos. Es común encontrar en la cavidad paleal de las hachas un decápodo simbiote llamado *Pontonia pinnae*, el cual se puede encontrar ocasionalmente en parejas (hembras y machos) (González-Corona, 2003).

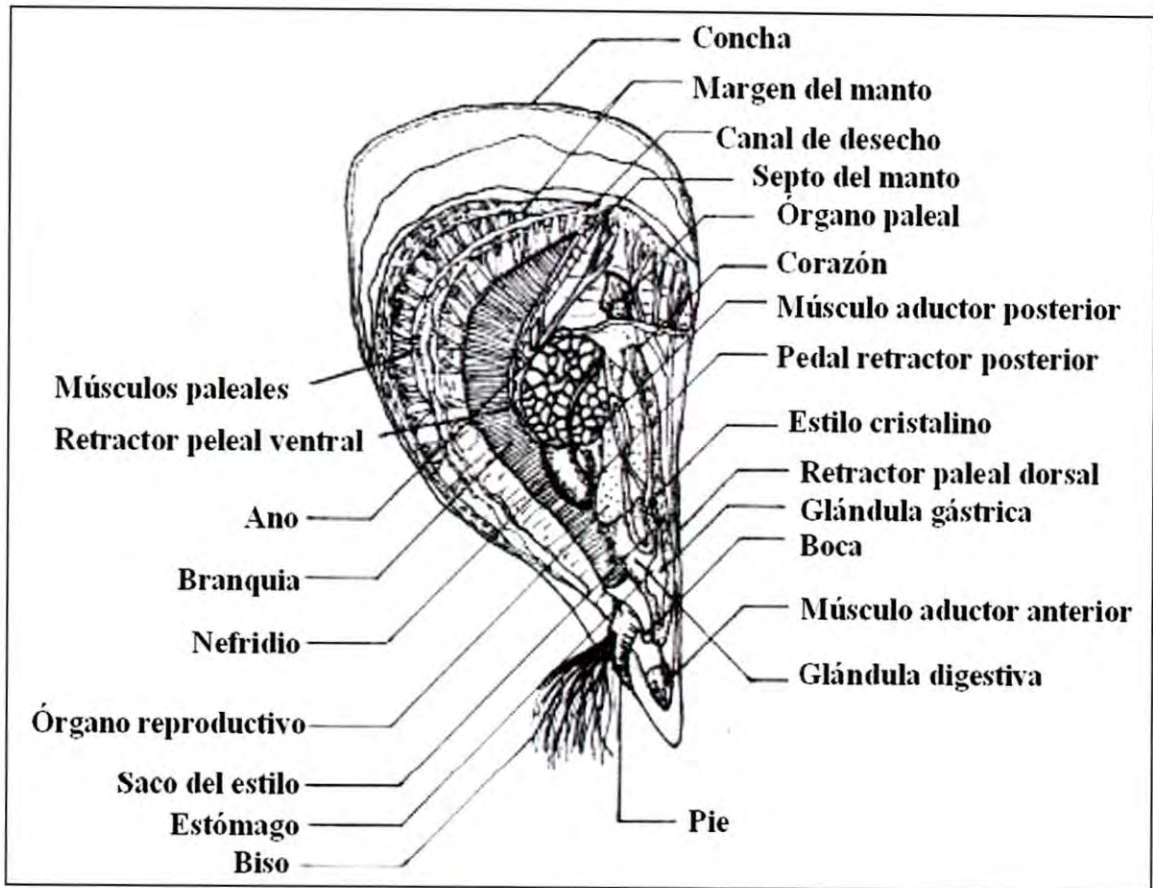


Figura 3. Esquema de la morfología interna de un callo de hacha, con la descripción de sus órganos y músculos que lo componen (Tomado de Coronel, 1981).

II. 3.4. Clasificación de *Atrina maura*.

Se presenta la clasificación taxonómica de *Atrina maura* (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación taxonómica de *Atrina maura* de acuerdo con Brusca y Brusca (2003).

Phyllum:	Mollusca
Clase:	Bivalvia
Subclase:	Lamelibranquia
Superorden:	Filibranquia
Orden:	Pterioidea
Suborden:	Pinnina
Superfamilia:	Pinnacea
Familia:	Pinnidae
Género:	<i>Atrina</i>
Especie:	<i>maura</i>






Figura 4. Especies de callo de hacha explotadas en el área de Bahía Kino, Sonora. De izquierda a derecha: *Pinna rugosa* callo redondo, *Atrina mauro* callo media luna, *Atrina tuberculosa* callo riñón y *Atrina oldroydii* callo hacha negra.

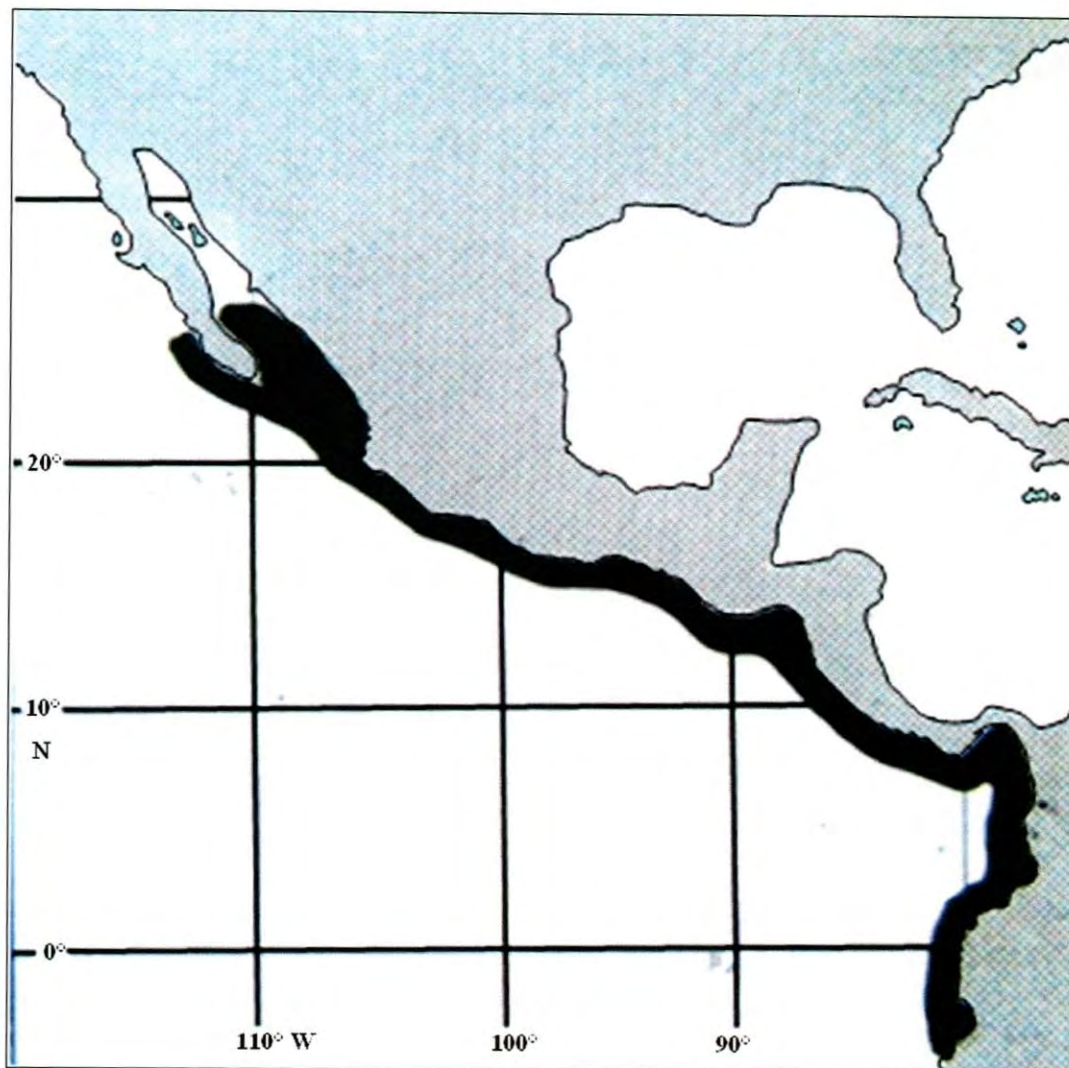


Figura 5. Distribución geográfica de *Atrina maura*, en el litoral del Océano Pacífico (Tomado de Fischer *et al.*, 1995).

II.4. La hidrología en los cultivos de moluscos bivalvos.

El concepto de hidrología lo podemos definir como el estudio de un cuerpo de agua ya sea lago, laguna, estero, bahía, estuario, mar, entre otros. Desde el punto de vista del comportamiento e interacciones de los diferentes componentes del medio acuático. Estos componentes incluyen principalmente aspectos físicos, químicos y biológicos del agua y su relación con todos los seres vivos que habitan en el cuerpo de agua (Barraza-Guardado, 2010).

El estudio de la hidrología de un cuerpo de agua en particular como la Bahía Kunkaak y el Estero La Cruz, puede ser usado para el desarrollo e implementación de prácticas de cultivo de moluscos bivalvos, por lo que este estudio deberá estar enfocado sobre dos propósitos fundamentales:

1. Estudiar el comportamiento de la calidad de agua, espacial y temporal, mediante monitoreos, debido a los requerimientos y desempeño del cultivo del ostión, callo de hacha o almeja que se encuentre en desarrollo (De la Lanza, 1994).

Esto permite obtener una enorme cantidad de información hidrológica, la cual se usará para explicar el comportamiento del cultivo como su crecimiento, supervivencia, mortalidad y producción, así como conocer y mejorar el manejo de la especie que se encuentre en cultivo. Son todavía más importantes estos monitoreos cuando se trata de la domesticación de una especie nueva como el callo de hacha (De la Lanza, 1990).

2. Realizar los monitoreos del agua y de los organismos en cultivo ya que se trata de un producto para consumo humano. Por lo tanto, aparte de realizar las mediciones rutinarias de hidrología se deberán realizar otras mediciones de parámetros que son obligatorios por parte de la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996).

Para ello, se consideran las técnicas de análisis aprobadas por dicha Norma. Los contaminantes son aquellos que pueden causar un daño a la salud al consumir dichos mariscos, normalmente se refieren a organismos patógenos para el hombre como las bacterias coliformes totales y fecales; bacterias tipo *Vibrio* y algunas toxinas generadas por el fitoplancton; además de metales pesados y cianuros. Dichos contaminantes deberán encontrarse dentro o por abajo de los límites máximos permisibles por la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996) (De la Lanza, 1990).

II.4.1. Calidad del agua en los cultivos de moluscos bivalvos.

En acuicultura, la calidad del agua se refiere al conjunto de variables fisicoquímicas y biológicas que garantiza el óptimo crecimiento de las especies cultivadas, así como para proteger su calidad para el consumo humano; ya que muchas veces, los cultivos contaminados por una mala calidad de agua puede ser el detonador de desastres inesperados, tales como enfermedades, florecimientos algales tóxicos, anoxias que causan bajas de oxígeno entre otros.

De acuerdo con De La Lanza-Espino (1990) y Barraza-Guardado (2010), los principales componentes fisicoquímicos y biológicos del agua de mar, tienen gran importancia en los cultivos de moluscos bivalvos. Estos componentes son la temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, potencial de hidrógeno (pH), transparencia, turbiedad, sólidos, diferentes formas de nitrógeno como nitratos, nitritos y amonio, ortofosfatos y metales pesados. Estos sirven de nutrientes para la productividad primaria. También es importante tomar en cuenta el análisis de la calidad biológica del agua como el fitoplancton, clorofila *a* y séston ya que son principales indicadores de la disponibilidad y calidad del alimento natural para los moluscos bivalvos.

II.4.1.1. Temperatura y luz.

La temperatura y la luz son factores que determinan los procesos de fotosíntesis en las plantas. La fotosíntesis es el proceso mediante el cual las plantas producen sus propios alimentos a partir de la luz. Las plantas sintetizan la luz mediante pigmentos llamados clorofilas y producen la energía para crecer y reproducirse, en el proceso se genera oxígeno útil para todo ser viviente. Mediante la luz se genera fitoplancton que es la base del inicio de la cadena alimenticia en el medio acuático. Los moluscos bivalvos son consumidores primarios del fitoplancton (Barraza-Guardado, 2010).

La temperatura es un factor que determina el crecimiento de las plantas y de los animales, esta presenta amplias variaciones a través del año y se debe principalmente a la radiación solar. Existe una estrecha relación en cuanto a la variación de la temperatura del aire y la temperatura del agua ya que aumentan y disminuyen estrechamente (De la Lanza, 1994).

Todos los organismos, incluyendo los moluscos bivalvos, se encuentran perfectamente sincronizados con la temperatura del agua para crecer y reproducirse. (Barraza-Guardado, 2010). Cuando la temperatura del agua aumenta, posiblemente arriba de los 20°C los organismos incrementan su actividad metabólica, aceleran su actividad interna y por lo tanto se alimentan más frecuentemente. Esto permite su crecimiento y posteriormente se da inicio a la reproducción.

II.4.1.2. Oxígeno disuelto en el agua (OD).

En la acuicultura, así como en el medio ambiente el OD es uno de los parámetros más importantes para el crecimiento y supervivencia de los organismos, ya que son dependientes de este gas para realizar una de sus principales funciones como la respiración

(De la Lanza, 1994). En los cuerpos de aguas costeros donde se cultivan moluscos bivalvos, el OD es el factor más importante; se requiere de su disponibilidad para todos los organismos que habitan en la columna de agua y en el sedimento. Es fácil entender que el proceso de respiración y la fotosíntesis, son los principales aspectos que influyen en la variación y disponibilidad del OD en el agua.

El oxígeno entra al agua por dos rutas principales: a través de la atmósfera (interfase atmósfera-agua) y por la fotosíntesis de las plantas acuáticas que contribuyen significativamente a elevar o mantener el OD en las corrientes de marea y los vientos. Influye mucho también la tasa de renovación del agua que tenga el cuerpo de agua, en particular, la cantidad de materia orgánica viva o no viva y los tipos de sedimentos que posea. Sedimentos arenosos típicos de la zona marina generalmente poseen una baja cantidad de materia orgánica en descomposición por lo que existe menos respiración, en cambio en los sedimentos lodosos de los esteros existe una cantidad alta de materia orgánica, la cual demanda más oxígeno durante el proceso de degradación llevado a cabo por las bacterias (De la Lanza, 1994).

II.4.1.3. Salinidad.

El término salinidad se refiere a la cantidad de sales inorgánicas, elementos mayores que contiene el agua de mar y el agua salobre. Estos son: cloruro de sodio, cloruro de potasio, sulfato de magnesio y carbonato de calcio. El cloruro de sodio es el compuesto más abundante en el agua de mar. La salinidad promedio del agua de mar varía entre los 35 y 37 partes por mil (equivale de 35 a 37 gramos de sal por litro de agua de mar) (De la Lanza, 1994). La variación de este parámetro influye fuertemente en los procesos de osmoregulación. Normalmente las especies nativas que habitan en ambientes de transición

como los esteros y lagunas con intercambio de agua dulce y agua de mar, toleran amplias variaciones de salinidad desde cero hasta valores muy superiores a los del agua de mar.

La especie de callo de hacha *Atrina maura* y/o el ostión de placer *Crassostrea corteziensis* son ejemplos de organismos que toleran amplios intervalos de salinidad. Otras especies introducidas que pertenecen a otros ambientes como *Crassostrea gigas* tal vez no toleren amplias variaciones de salinidad y temperatura, en consecuencia caen en un estrés permanente afectándoles el desempeño de su crecimiento y se vuelven más susceptibles a enfermedades (Castillo-Durán, 2007).

II.4.1.4. Potencial de hidrógeno (pH).

El pH se puede definir como la característica iónica del agua, que le permite mantenerse en equilibrio o neutra, ni ácida ni básica. Las plantas y los animales logran también una autorregulación interna a nivel celular por medio de un adecuado balance de iones durante el proceso de la respiración, por lo tanto se puede decir que regulan su pH interno. La química de la vida es sensible a las condiciones de acidez.

Thurston *et al.* (1979) define el siguiente criterio: valores de 5 a 9, es agua para fines domésticos; de 6.5 a 9 para la vida dulceacuícola y de 6.5 a 9 para la vida marina. Los límites letales son considerados por debajo de 4 y arriba de 10, es posible que los organismos puedan tolerar estos niveles, sin embargo la toxicidad de algunos compuestos del agua puede verse incrementada como amoníaco y metales y por lo tanto ser dañino para los organismos. El pH requerido para los moluscos bivalvos se puede establecer entre 7 y 9 unidades, éste dependerá del cuerpo de agua donde se mantenga el cultivo.

En los cuerpos de agua naturales como esteros y bahías generalmente la fotosíntesis tiene un efecto muy definido sobre la variación del pH en el agua. Las plantas acuáticas,

incluso los animales, liberan bióxido de carbono cuando respiran, el cual tiende a acumularse, sobre todo durante la noche y por consecuencia el pH disminuye. Esto indica también que este varía durante el día y se debe a los procesos de respiración cuando hablamos de cuerpos de agua naturales sin contaminación (Barraza-Guardado, 2010).

II.4.1.5. Turbiedad, sólidos y color.

La turbiedad del agua se debe a tres aspectos principales: cantidad de fitoplancton presente, sólidos terrígenos y materia orgánica en suspensión. El monitoreo de estos parámetros o factores son de rutina ya que son indicativos, de una manera gruesa, de la calidad alimenticia del agua para los moluscos bivalvos. La turbiedad se puede medir de acuerdo con la cantidad de luz que penetra al agua, midiendo la transparencia de la misma se puede medir lo turbio del agua. Esto se logra por medio de un disco de Sechii (De la Lanza, 1994).

Por lo general la transparencia en aguas marinas es alta, con valores arriba de 2 metros cuando el mar está en calma. Sin embargo, en aguas protegidas como los esteros y lagunas costeras, la transparencia disminuye considerablemente y por lo general se registran valores menores a un metro. En los esteros y lagunas, la transparencia del agua puede estar más asociada a terrígenos en suspensión, por el contrario, en el mar la transparencia del agua es causada por fitoplancton. Por consecuencia, la cantidad de sólidos suspendidos estará muy relacionada con la transparencia del agua. Valores de 30 mg/L de SST, sólidos suspendidos totales, pueden ser frecuentes en el agua del mar (Barraza-Guardado, 2010). En cambio en los esteros varían ampliamente dependiendo de la marea, es posible que en marea alta los sólidos suspendidos totales (SST) se encuentren diluidos a

valores cercanos a los mencionados para el agua del mar, en cambio en marea baja pueden alcanzar valores arriba de los 100 mg/L (De la Lanza, 1994).

Esta variación en la composición del agua por fitoplancton y sólidos es lo que hace la diferencia en la calidad del alimento para los organismos filtradores como los moluscos bivalvos. Es de esperarse que un tipo de agua con más fitoplancton que sólidos sea la más adecuada para los cultivos de moluscos.

El color del agua dependerá del tipo de componente del agua que predomine. Por lo general cuando existe una cantidad alta de sólidos, el agua adquiere una coloración rojiza por la arcilla presente. En aguas muy productivas con mucho fitoplancton la coloración varía, la cual puede ser verde o café dependiendo de la especie de fitoplancton que domine (De la Lanza, 1994 y Barraza-Guardado, 2010).

II.4.1.6. Nutrientes.

Los nutrientes son sales inorgánicas, cuya presencia depende de los aportes alóctonos que recibe el cuerpo de agua, por ejemplo el arrastre de tierra originado por los ríos hacia lagunas costeras y de la velocidad e intensidad del reciclamiento. Como fuentes de nitrógeno, se encuentra los nitratos (NO_3), nitritos: (NO_2) y amonio ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$). El amonio procede tanto de la excreción de animales marinos, como de los restos de alimento, plantas y organismos muertos. La forma no disociada del amonio es el amoniaco NH_3 que produce irritación en las branquias de los organismos acuáticos, cuyas láminas se pegan provocándoles la asfixia (De la Lanza, 1994).

Por su parte el amonio NH_4^+ es 100 veces menos tóxico que el NH_3 y su presencia depende en gran medida del pH y la temperatura del agua, mientras más bajo sea el pH y la temperatura, la forma preferente de este compuesto en el agua será NH_4^+ (Harvey, 1955).

El amonio debe entenderse como la suma de amonio y amoniaco, los cuales permanecen en equilibrio dependiendo del pH. La asimilación del nitrógeno en el fitoplancton, es principalmente por medio del amonio, que es el compuesto que aparece primero en los procesos de descomposición de los organismos y de su metabolismo, y es considerado como un índice de actividad biológica.

El fósforo, según Riley y Chester (1973) a un pH de 8.0 y 20°C, predomina en el agua en forma de PO_4 (12%), fosfato monobásico H_2PO_4 (1%) y fosfato dibásico HPO_4 , (87%). El 99.6% de PO_4 y el 44% de HPO_4 se encuentran en forma de pares iónicos, presumiblemente con calcio y magnesio (Contreras, 1984).

El nitrógeno y el fósforo son los nutrientes básicos limitantes que utilizan las plantas para su desarrollo. Los productores primarios, como las plantas acuáticas, requieren compuestos inorgánicos denominados micronutrientes. Estos son básicamente iones del nitrógeno como nitratos, nitritos y amonio, así como fósforo, necesarios para la formación de proteínas entre otros. Junto con la temperatura y la luz son los responsables de la productividad biológica que constituye el alimento para los moluscos bivalvos en todo el sistema acuático. Esta es la razón por la cual son componentes de medición rutinaria en hidrología (De la Lanza, 1994).

El nitrógeno ingresa a los cuerpos de agua por varias rutas: equilibrio con la atmósfera, y por aporte continental de los desechos urbanos, industriales, acuaculturales, lluvia, ríos, escurrimientos, así como por la degradación de la materia orgánica vegetal como fitoplancton muerto, hojas de mangles, entre otros. En esteros y bahías, el aporte principal de materia orgánica y por consecuencia de nitrógeno proviene fundamentalmente de los manglares, macroalgas y fanerógamas acuáticas.

La degradación de esta materia orgánica es significativa y constante por lo que la concentración de amonio (NH_4 : una forma o especie del nitrógeno) puede sobrepasar los límites de calidad para los cultivos de moluscos bivalvos, a pesar que desde el punto de vista ecológico representa una fuente de nitrógeno para las plantas acuáticas. Sin embargo, las condiciones de confinamiento, estratificación y escasa circulación pueden llegar a ser perjudiciales a la biota acuática. La especie ionizada de amonio (NH_4^+) es considerada como no tóxica o relativamente menos tóxica. La fracción no ionizada (NH_3) ha sido considerada como tóxica para los organismos acuáticos entre ellos los moluscos bivalvos.

El nitrógeno después de ser asimilado por las plantas, éstas son consumidas por los organismos de manera directa o indirecta como moluscos bivalvos, peces y crustáceos. De esta manera el nitrógeno viaja a través de la cadena alimenticia y finalmente cuando mueren los organismos, las bacterias los degradan convirtiendo de nuevo la materia orgánica descompuesta en nitrógeno disponible para las plantas (ciclo biológico del nitrógeno) y se repite constantemente el proceso (De la Lanza-Espino, 1994).

Cuando las bacterias descomponen la materia orgánica mediante la desnitrificación, se va reduciendo el nitrógeno de NH_3 a NH_2 y finalmente a NH_4 . Por esta razón la forma de nitratos es más abundante (<1.0 mg/L: pero puede llegar hasta 10 mg/L)) que la de nitritos (0.2 mg/L) y la de nitritos es más abundante que la de amonio (< 0.01 mg/L) (De la Lanza, 1994). Los nitritos son considerados tóxicos para los organismos acuáticos incluyendo a los moluscos bivalvos.

Lo anterior es un esquema general del ciclo natural del nitrógeno y sus concentraciones. Sin embargo, cuando las descargas de nutrientes de nitrógeno y fósforo se incrementan sobre los cuerpos de agua donde se cultivan moluscos bivalvos pueden generarse condiciones muy desfavorables para los cultivos que pueden provocar altas

mortalidades de los mismos (De la Lanza, 1994). Actualmente las descargas con alto contenido de materia orgánica y nutrientes, provenientes incluso algunas de la actividad acuícola, generan una sobrefertilización de las aguas por la acumulación excesiva de nitrógeno y fósforo. Esto trae como consecuencia:

1. Florecimientos masivos de fitoplancton severamente tóxicos en muchas áreas costeras del mundo. La diversidad de especies tóxicas es mucho mayor y su presencia puede provocar impactos significativos sobre el valor comercial y de calidad de los mariscos para el consumo humano entre ellos los moluscos (Barraza-Guardado *et al.*, 2004).

2. Florecimientos anormales macroalgales, algas que viven en el fondo en esteros y bahías someros.

3. Desarrollo de anoxia a muy bajo nivel de oxígeno en la columna de agua en algunas regiones costeras.

4. Efectos adversos sobre peces e invertebrados como ostiones, almejas y callos de hacha, a consecuencia de la disminución del oxígeno disuelto, la fauna que tiene capacidad migra en busca de condiciones adecuadas. Sin embargo, los organismos sésiles no y frecuentemente son eliminados.

Por lo comentado arriba es importante monitorear el nitrógeno en las aguas donde se engordan moluscos bivalvos por su importancia ecológica y por efectos relativos a la contaminación.

II.4.1.7. Alimento natural.

El alimento generado naturalmente en la columna de agua donde se cultivan los moluscos bivalvos, se puede medir mediante el monitoreo de diferentes aspectos. Estos

son: la estimación de la productividad primaria, la cuantificación de la biomasa fitoplanctónica por medio del análisis de clorofilas, análisis cualitativos y cuantitativos del fitoplancton y por medio del análisis del séston. Todos estos aspectos involucran principalmente a los productores primarios que son los encargados de generar materia orgánica nueva.

Si se desea priorizar estas mediciones, se deberá tomar en cuenta o definir qué tan específica se desea la información con respecto a la composición, abundancia y calidad del alimento natural. Por lo tanto se proponen los monitoreos de la siguiente manera:

1. Estimación de la productividad primaria.
2. Determinación de la biomasa fitoplanctónica.
3. Análisis de séston.
4. Identificación y conteo de fitoplancton.

II.4.1.8. Productividad primaria (PP).

La productividad primaria se define como la cantidad de materia nueva que es capaz de generar un cuerpo de agua. Esta se genera durante el proceso de la fotosíntesis donde se produce alimento para los filtradores principalmente plantas y fitoplancton. La metodología para el análisis se basa en la medición del oxígeno disuelto que se genera en una botella clara y que se consume en una botella oscura, durante un determinado tiempo (Strickland y Parsons, 1972). Se colecta una muestra de agua en botellas claras y oscuras, las cuales simulan la noche y el día y se colocan en la columna de agua durante un periodo de tiempo de seis horas. Al final del mismo se les mide el oxígeno. Se utilizan fórmulas para el cálculo y la PP se expresa en miligramos de carbono por metro cúbico por hora ($\text{mgC}/\text{m}^3/\text{hr}$). En los cuerpos de agua la PP varía estacionalmente, por lo tanto

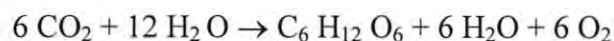
monitoreando este parámetro se determina la abundancia temporal del alimento en cierta área. Es un parámetro que se debe medir sobre todo si los cultivos de moluscos se encuentran cercanos a descargas de agua.

II.4.1.9. Fitoplancton.

Plancton significa “a la deriva” y dentro de este término ecológico se agrupan a todos aquellos organismos que son incapaces de contrarrestar las corrientes del agua. El término fitoplancton significa plantas a la deriva. El fitoplancton es el conjunto de plantas microscópicas, generalmente de una sola célula (unicelulares) que habitan en la columna de agua. Al fitoplancton también se le denomina “los productores primarios” ya que son los que producen el alimento que sirve de base para el inicio de la cadena alimenticia en cualquier ambiente acuático. También se le engloba dentro del término productividad primaria. El fitoplancton es el alimento para todos los organismos que se alimentan por filtración. Desde el punto de vista nutricional, representa una fuente energética muy importante para todos aquellos animales que se alimentan de él (De la Lanza, 1994).

II.4.1.10. Clorofila *a*.

La concentración de pigmentos fotosintéticos se utiliza ampliamente para calcular la biomasa del fitoplancton. La productividad fitoplanctónica representa la mayor síntesis de materia orgánica de los sistemas acuáticos, la cual puede ser simplificada en la ecuación universalmente conocida como:



La fotosíntesis es la función metabólica por la cual el carbono celular se obtiene a partir de la reducción del CO_2 actuando el agua como reductor inorgánico, la cual a su vez es oxidada por el oxígeno. Por tal motivo, la mayoría de las algas son autotróficas obligadas ya que requieren de energía luminosa para efectuar estas transformaciones y de un pigmento adecuado que actúe como receptor. Según Contreras (1984) dicho pigmento es la clorofila.

La clorofila *a* es el pigmento fotosintético primario de todos los organismos fotosintetizadores que desprenden oxígeno y está presente en todas las algas. La clorofila *b* funciona como un acumulador de luz, transfiriendo la energía luminosa absorbida a la clorofila *a* para la quimiosíntesis primaria. La clorofila *c*, funciona probablemente como un pigmento accesorio del fotosistema (Contreras, 1984).

La tasa fotosintética está directamente relacionada con la intensidad de luz. Sin embargo, la respuesta a ella varía según la especie y, en muchas se da un grado considerable de adaptación a los cambios de intensidad luminosa. En términos generales, la clorofila se ha utilizado como un indicador de diversas características del ecosistema y de la comunidad fitoplanctónica.

II.4.1.11. Séston.

El séston se refiere a la cantidad de compuestos particulados presentes en el agua, por lo general arriba de 0.5 micras. Estos compuestos son el alimento principal de todos los organismos que se alimentan por filtración como los moluscos bivalvos. Por lo general el séston está compuesto por una fracción orgánica viva (fitoplancton principalmente) y no viva (detritus: materia orgánica de plantas y animales muertos). Se consideran también

dentro del séston los terrígenos en suspensión (De la Lanza, 1994 y Barraza-Guardado, 2010).

El análisis del séston es una manera gruesa de estudiar la calidad y disponibilidad temporal del alimento natural en la columna de agua para los organismos filtradores que allí se cultivan. El monitoreo rutinario de este parámetro en los cultivos de moluscos bivalvos debe ser prioritario ya que permite relacionar su desempeño con la disponibilidad y calidad del alimento natural durante la etapa de engorda. El séston se clasifica en séston total (ambas fracciones más terrígenos), séston orgánico (fracción orgánica medida por pérdida a la ignición) y séston inorgánico (terrígenos en suspensión).

El séston al igual que otros componentes biológicos de la calidad del agua varía dependiendo del cuerpo de agua. Generalmente en cuerpos de agua marinos o con influencia marina muy marcada, los valores de séston total son bajos (30 a 40 mg/L). En cambio, en esteros y lagunas, el séston es más alto 50 a 100 mg/L (Barraza-Guardado, *et. al.*, 2009) debido a la mayor cantidad de terrígenos suspendidos y a la mayor productividad. En los esteros puede variar ampliamente en el mismo día, esto debido principalmente a los movimientos de la marea. Sin embargo valores altos de séston no necesariamente significan una mejor calidad del mismo. Lo importante es que se mantenga una buena relación de séston inorgánico con respecto al séston orgánico, donde predomine preferentemente la fracción orgánica que representa el alimento potencial para los moluscos bivalvos.

II.5. Cultivo de *Atrina maura*.

En las costas de Sonora se encuentran varias especies de bivalvos con una alta demanda en el mercado, razón por la cual en los últimos años han sido sometidos a una fuerte presión por pesca, que junto con perturbaciones naturales y las alteraciones

antropogénicas sobre las poblaciones silvestres, tienen un impacto sobre los bancos naturales, provocando que las especies en particular, el de callo de hacha enfrenten una baja producción por captura (Ángel-Pérez, *et al.*, 2007).

Por otra parte, con lo que respecta al cultivo del callo de hacha, en México se tiene poco desarrollada esta actividad para fines comerciales, debido a que no se tiene el suficiente abastecimiento de semilla, no se tiene bien establecidos los protocolos de cultivo en las etapas larvarias; generando altas mortalidades y obteniendo producciones menos del 1 % de semillas en el laboratorio. Así mismo se tienen pocos estudios sobre la acuicultura de esta especie, no se tienen bien dominadas las técnicas de cultivo de pre-engorda y engorda en su medio natural, así como también no hay investigaciones que evalúen los sitios más propicios que permitan establecer con certeza su cultivo de manera sostenible.

Por todo lo anterior, dada la importancia de contribuir en el conocimiento de su biología y manejo de estas especies, se planteó en este trabajo realizar experimentalmente el cultivo de *Atrina maura*. Para ello se implementó un cultivo piloto para desarrollar la pre-engorda y engorda durante 22 meses cultivados en el fondo marino; con el propósito de contribuir así a un mejor manejo de este recurso y ofrecer una nueva alternativa de producción en la acuicultura de otros moluscos bivalvos nativos. Sin embargo la elección de sitios de cultivo es importante y éstos estarán en función de las características dadas de parámetros hidrológicos adecuados para las especies de prueba. Actualmente no existen estudios para el callo de hacha que incorporen los factores ambientales.

Por lo tanto se espera que el presente trabajo con *A. maura* en el estero La Cruz y la Bahía Kunkaak, sea exitoso y permita desarrollar las bases para lograr su escalamiento a nivel comercial en el Golfo de California.

III. HIPÓTESIS

Los moluscos bivalvos son organismos que dependen de características ambientales adecuadas para su desempeño biológico; un ambiente de estero y uno de bahía pueden influir sobre la respuesta de *Atrina maura* al cultivo experimental. Se espera establecer si las condiciones hidrológicas en ambos sistemas son propicias para cultivar este molusco de importancia comercial.

IV. OBJETIVO GENERAL

Realizar un cultivo experimental de callo de hacha *Atrina maura* para evaluar el crecimiento y supervivencia en dos sitios de cultivo: el Estero La Cruz y la Bahía Kunkaak.

IV. 1. Objetivos particulares.

Caracterizar las variables fisicoquímicas del agua de mar como: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno disuelto y pH durante la engorda de *Atrina maura*.

Evaluar el crecimiento y supervivencia del callo de hacha *Atrina maura* en el Estero La Cruz y la Bahía Kunkaak.

Determinar el crecimiento del músculo aductor de *Atrina maura*, durante el cultivo en fondo.

Determinar la concentración temporal del alimento natural como: clorofila *a* y séston durante el cultivo experimental de *Atrina maura*.

Relacionar los parámetros fisicoquímicos y la variación temporal del alimento natural con el crecimiento del callo de hacha durante su cultivo.

Relacionar el crecimiento de la longitud de la concha y del músculo aductor con las variables ambientales en los sitios de cultivo.

V. METODOLOGÍA

V.1. Descripción de los sitios de estudio.

V.1.1. Estero La Cruz.

El Estero La Cruz, se localiza entre las coordenadas geográficas 28° 47' 52" N y 111° 54' 51" O (Fig. 6). Lankford (1977) la clasifica por su origen en los tipos I-C y III-A, Carranza-Edwards *et al.* (1975) en la Unidad VII (Contreras, 1985). Este ambiente actualmente se comporta como un antiestuario, lo cual implica que se presenten condiciones extremas ambientales principalmente en relación a la calidad del agua.

Aspectos como la temperatura, el oxígeno disuelto y la salinidad, son parámetros que presentan variaciones amplias durante el día, principalmente en los meses cálidos. También por ser un estero, la dinámica de las mareas provoca un ambiente donde éstas afectan y contribuyen en el registro de niveles altos de sólidos suspendidos y un mayor incremento de la salinidad.

El Estero La Cruz, presenta una acumulación de sedimento con niveles altos de materia orgánica, lo cual es característico de estos ambientes (Barraza-Guardado *et al.*, 2009).

El Estero La Cruz tiene una superficie de 27 km² y en ella se encuentran dos especies de manglar: *Avicenia germinans* y *Rhizophora mangle*, las cuales forman una franja de bosque sobre los márgenes de la laguna, donde *Avicenia germinans* es la especie dominante. No hay ningún ambiente rocoso, todo el fondo es lodo y arena, el único sustrato duro en los canales son pequeñas zonas de guijarros, conocidas localmente como tepetates. La laguna es una zona importante como hábitat para diversas especies de aves marinas, mamíferos terrestres, peces, moluscos y crustáceos (Moreno *et al.*, 2005).

El Estero La Cruz tiene una importancia socioeconómica ya que tradicionalmente ha sido utilizada por diversos grupos de pescadores organizados y libres donde capturan diversas especies marinas (Barraza-Guardado *et al.*, 2009).

V.1.2. Bahía Kunkaak.

La Bahía de Kunkaak se encuentra localizada en las coordenadas geográficas 28° 52' 29" N y 112° 02' 02" O (Fig. 6). La Bahía Kunkaak, contrariamente al Estero de La Cruz, se trata de un ambiente más estable en relación a la dinámica en sus procesos litorales. Esto indica que por ser un ambiente marino, los parámetros como temperatura, salinidad y oxígeno disuelto se mantienen con poca variación. En relación a ello, en La Bahía Kunkaak se presentan niveles de transparencia del agua más altos que el Estero La Cruz, por lo tanto una menor cantidad de terrígenos en suspensión (Contreras, 1985).

En relación al tipo de sustrato que se encuentra en la Bahía Kunkaak es muy diferente a lo encontrado en el Estero La Cruz. La Bahía Kunkaak presenta sedimento tipo arenoso con un bajo contenido de materia orgánica. Este ambiente en general dadas estas características, presenta condiciones fisicoquímicas y biológicas de la calidad del agua, diferentes a las del Estero La Cruz.

La Bahía Kunkaak, es un cuerpo de agua muy pequeño (5 km²) y se considera como una prolongación de la Bahía de Kino. Por lo tanto se hace la descripción ambiental para la Bahía de Kino.

El clima de Bahía de Kino está clasificado como clima cálido muy seco, con temperatura mínima de 6 °C y una máxima de 20 °C en invierno, mientras que en el verano la temperatura mínima es de 24 °C y la máxima de 34 °C en agosto (Contreras, 1985) La mayor diferencia entre temperaturas máximas y mínimas se da en verano. Lankford (1977)

sitúa la Bahía de Kino por su origen en el tipo I-E, y es miembro de la unidad VII de las propuestas por Carranza-Edwards *et al.* (1975).

La precipitación en Bahía de Kino esta asociada a vientos de tipo monzón cargados de humedad que producen lluvias en las sierras al ascender el viento por sus laderas, esta condición genera condiciones áridas (< de 250 mm) para Bahía de Kino donde la precipitación anual apenas alcanza un promedio de 122 mm. La precipitación más alta ocurre en agosto con 30 mm, y la menor en mayo sin lluvia. Estos valores se ven modificados eventualmente cuando alguna tormenta tropical o huracán logra introducirse dentro del Golfo y alcanza la latitud de Bahía de Kino.

La evaporación en Bahía de Kino registra valores de 2.5 mm/día en diciembre, hasta 8 mm/día en junio, con un promedio anual de 5.6 mm/día. En total la evaporación anual suma alrededor de 1,900 mm (Moreno *et al.*, 2005). El ciclo anual dominante de vientos en la zona presenta fuertes vientos del sureste durante el verano (junio-agosto) que soplan noche y día, y fuertes vientos del noroeste en invierno (diciembre-febrero), que por lo regular soplan solo durante el día con duración de 2-5 días, durante marzo y abril se presenta calma relativa. Existen otros tipos de viento, que provienen del oeste y que son comunes de octubre a febrero.

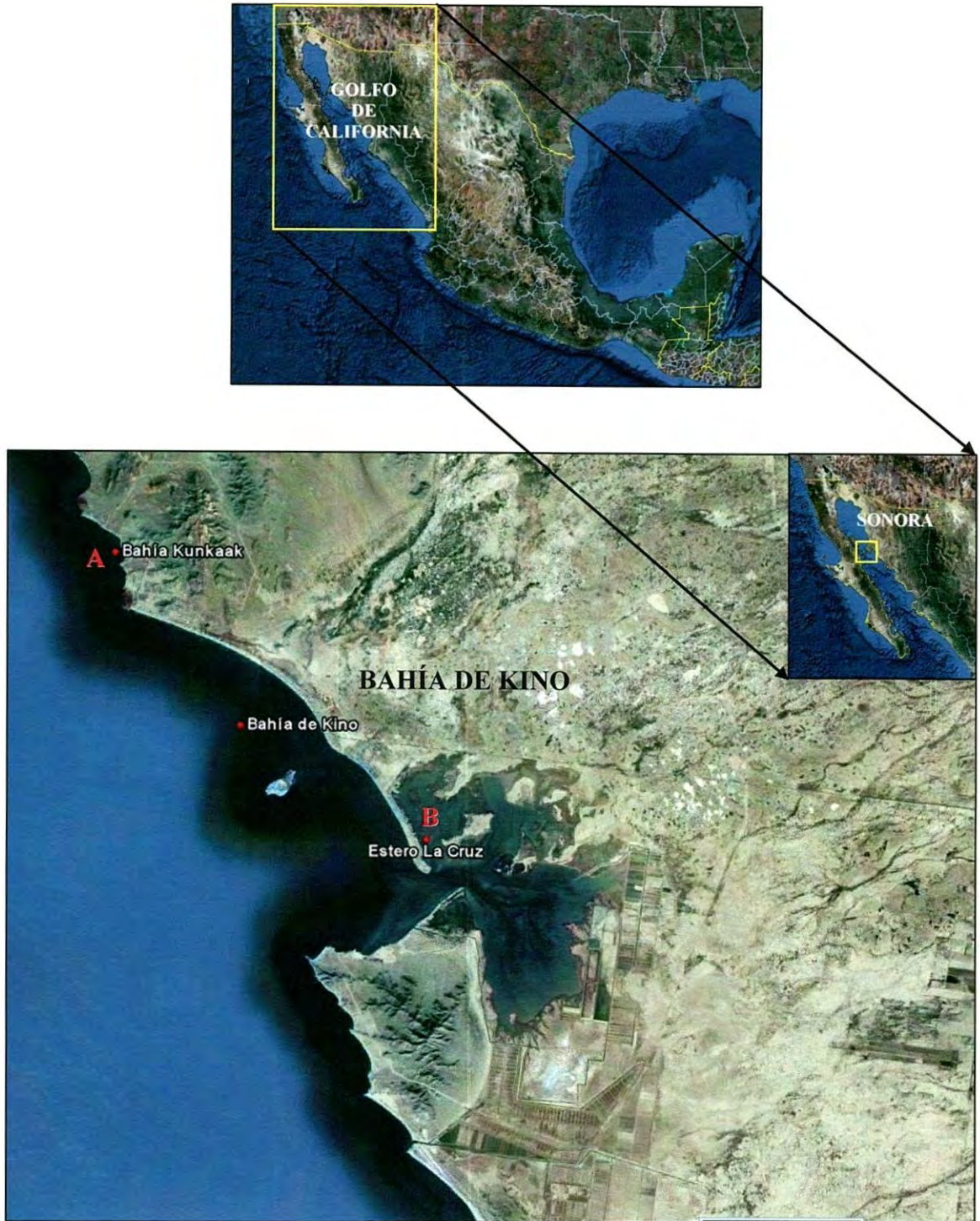


Figura 6. Localización geográfica del área de estudio y ubicación de las zonas de cultivo de *Atrina maura*. A: Bahía Kunkaak. B: Estero La Cruz.

V.2. Sistema de cultivo.

Esta investigación tuvo una duración de 22 meses. En el año 2007, se realizó la maduración y desove de reproductores de *Atrina maura* en el laboratorio del Centro Reproductor de Especies Marinas del Estado de Sonora (CREMES). Posteriormente se desarrolló el cultivo larvario en el mismo laboratorio hasta la obtención de la semilla. Un lote de esta semilla fue destinado para realizar el presente estudio (Tabla 3). El cultivo experimental de *A. maura* fue dividido en dos etapas: La primera fue la de pre-engorda y la segunda etapa fue de engorda.

Tabla 3. Diferentes etapas, sitios y períodos durante el cultivo de *Atrina maura* en Bahía de Kino, Sonora.

ETAPAS	PERÍODOS
Desove y cultivo larvario (CREMES)	Noviembre-Diciembre 2007 (1 mes).
Metamorfosis a semilla (CREMES).	Enero 2008 (1 mes).
Pre-engorda, cultivo en suspensión (Bahía).	Febrero-Marzo 2008 (2 meses).
Engorda, cultivo en fondo (Bahía y Estero).	Abril 2008-Noviembre 2009 (20 meses).

V.2.1. Diseño del experimento.

Se probaron dos tratamientos para realizar la engorda de *A. maura* en cada ambiente, de acuerdo a la siguiente distribución (Tabla 4).

Tabla 4. Tratamientos probados durante el experimento del cultivo de engorda de *Atrina maura*.

TRATAMIENTO	ENGORDA (Número de semillas)
I. Estero La Cruz	400
II. Bahía Kunkaak	900

V.2.1.1. Pre-engorda.

El lote de 1,300 semillas se pre-engordaron durante dos meses, de febrero a marzo del 2008 en la bahía de Kunkaak localizada frente al laboratorio del CREMES. Para ello se utilizó un sistema de cultivo en suspensión tipo “Long-line” que consistió en módulos de canastas ostrícolas tipo “nestier” (Fig. 7).

Las semillas permanecieron en pre-engorda con densidades de 200 orgs./canasta, hasta alcanzar una talla de 32.8 ± 6.7 mm de longitud total (LT), un ancho total (AT) de 12.5 ± 1.9 mm y un peso fresco total (PFT) de 0.315 ± 0.110 g. Al finalizar esta etapa, las semillas pre-engordadas se pasaron directamente a la engorda en la Bahía Kunkaak y en el Estero La Cruz.

V.2.1.2. Engorda.

La etapa de engorda de *Atrina maura*, considerada como la fase del organismo llevado al sustrato para su crecimiento natural hasta alcanzar la talla comercial, se realizó tanto en el Estero la Cruz como en la Bahía Kunkaak durante 20 meses, de abril del 2008 a noviembre de 2009.

V.2.1.2.1. Estero La Cruz.

En este sitio se sembraron 400 semillas, en un sistema de cultivo de fondo en el cual se instaló un encierro permanente tipo “corral” de 1.5 m de ancho X 2.0 m de largo X 0.15 m de alto (Fig. 7), con seis patas de 0.80 m de largo que se enterraron en el sedimento y sirvieron como anclaje de la jaula. La jaula abarco una superficie de 3 m² aproximadamente y se manejó una densidad de siembra de 140 semillas/m² dentro de ella.

V.2.1.2.2. Bahía de Kunkaak.

En este lugar se sembraron 900 semillas, distribuidas en dos jaulas permanentes con las mismas dimensiones descritas para el cultivo en el estero. En una jaula se sembraron 400 semillas a una densidad de 140 semillas/m² y en la otra con 500 semillas a una densidad de 170 semillas/m².



Figura 7. Cultivo en suspensión durante la etapa de pre-engorda en la Bahía Kunkaak (arriba). Encierro permanente tipo corral, utilizado para la engorda de *Atrina maura* en el Estero La Cruz (abajo).

V.3. Variables ambientales.

V.3.1. Variaciones diurnas.

Se hicieron muestreos mensuales desde enero de 2008 hasta noviembre de 2009, tanto en la Bahía como en el Estero bajo un esquema de mediciones de cada cuatro horas durante un ciclo de 24 horas. El horario de medición fue a las 08:00, 12:00, 16:00, 20:00, 24:00 y 04:00 horas.

V.3.2. Medición *in situ* de parámetros fisicoquímicos y colecta de muestras.

Los componentes principales de la calidad del agua que se consideraron fueron los siguientes: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, saturación del oxígeno disuelto y potencial de hidrógeno (pH). Los cuales se midieron directamente en cada sitio de estudio, para ello se utilizó un oxímetro de campo marca YSI modelo 85-10FT (YSI Incorporated Springs, Ohio 45387 USA) y un potenciómetro de campo marca Hanna, calibrado previamente con soluciones Buffer. Así mismo se colectaron muestras de agua en botellas de plástico de boca ancha de 1 litro de capacidad para análisis de séston y clorofila *a*. Las muestras se conservaron momentáneamente en hielo hasta su filtrado en el laboratorio.

V.3.3. Sólidos suspendidos y materia orgánica.

Para los análisis de sólidos suspendidos totales (SST), materia inorgánica particulada (MIP) y materia orgánica particulada (MOP), las muestras de agua colectadas, se filtraron a través de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/C (Whatman International Ltd.). Previo al uso de los filtros, estos fueron quemados a 400 °C durante ocho horas y posteriormente pesados. Los análisis se realizaron de acuerdo a la técnica de Strickland y Parsons (1972).

V.3.4. Determinación de clorofila *a*.

Las muestras de agua colectadas se filtraron mediante una bomba de vacío equipada con un sistema de filtración. Para ello se utilizaron filtros de fibra de vidrio Whatman GF/C (Whatman). Los filtros con la muestra retenida se envolvieron en papel aluminio y se congelaron hasta su análisis. La determinación de clorofila *a* se realizó de acuerdo a Parsons *et al.* (1984).

V.4. Crecimiento.

Mensualmente se realizaron muestreos de los organismos para determinar el ritmo de crecimiento de *Atrina maura*. Se midió la longitud total (LT) y el ancho total de la concha (AT), así mismo el peso fresco total del organismo (PFT), el cual incluyó la concha y el cuerpo blando. También se midieron el peso fresco de la concha (PFC) y peso fresco del cuerpo blando (PFCB) y peso fresco del músculo aductor (PFM) (Fig. 8).



Figura 8. Registro biométrico del callo de hacha, *Atrina maura*, durante su cultivo.

Durante el período de cultivo se colectaron 313 organismos para los análisis de crecimiento, considerando 30 organismos en cada medición. Estos fueron medidos mediante un vernier de plástico con una precisión de 0.01 mm y pesados en una balanza analítica marca Ohaus, con precisión de 0.001 g.

Se calculó el índice de rendimiento muscular (IRM) con la siguiente fórmula (Villalejo-Fuente *et al.*, 1996):

$$\text{IRM} = (\text{PM} / \text{PO})100$$

Donde:

IRM= Índice de rendimiento muscular.

PM (g) = Peso del músculo aductor.

PO (g) = Peso total del cuerpo blando después de extraerlo.

Así mismo, se realizó la determinación de la fase o etapa de la madurez gonadal de cada organismo. Para ello se empleó la técnica de visualización macroscópica de la gónada y dependiendo de la fase gonádica se realizó la diferenciación, morfocromática, que incorpora la coloración visual de la gónada.

Esta incluyó organismos indiferenciados, sin gónadas aparentes; hembras en maduración con la gónada anaranjada y sin ocupar toda el área del tejido, machos en maduración con la gónada blanca sin ocupar toda el área del tejido, hembras maduras con un color anaranjado rojizo, machos maduros con gónada lechosa de color beige cremoso y hembras desovadas con gónada color anaranjado marrón, machos desovados con gónada blanco cremoso y hermafroditas (Figs. 9 y 10).



Figura 9. Ejemplar macho maduro (A) y hembra madura (B) (arriba). Organismo hermafrodita de *Atrina maura* (abajo).



Figura 10. Organismo indiferenciado (arriba) y ejemplares de *Atrina maura* (abajo).

V.5. Análisis estadísticos.

Todos los datos generados durante la presente investigación, tanto de los parámetros de crecimiento como de calidad del agua, fueron ordenados en tablas y figuras utilizando para ello la hoja de cálculo Microsoft Excel, 2003. Para el análisis del crecimiento de *A. maura* se estableció mensualmente el promedio de las variables morfométricas y se determinó la curva de crecimiento teórica al modelo que mejor se ajustó mediante la hoja de cálculo Microsoft Excel 2003.

Se hicieron comparaciones para determinar diferencias de calidad de agua entre la Bahía Kunkaak y el Estero La Cruz, así como entre meses para cada ambiente. También se hicieron comparaciones entre meses para cada parámetro de crecimiento de *Atrina maura*.

Para ello, todos los datos obtenidos fueron sometidos a una prueba de normalidad de Shapiro Wilk y de igualdad de varianzas de Bartlett, respectivamente (Conover, 1980), con un nivel de significancia de 95 % de confiabilidad ($p = 0.05$) con ello se determinó si se aplicarían análisis paramétricos o no paramétricos. Posteriormente se aplicaron Análisis de Varianza (ANDEVA) de una vía, con su respectiva prueba a *posteriori* de Tukey (Zar, 1996).

Para realizar las pruebas estadísticas se utilizó el paquete estadístico Prostat versión 3.0.

VI. RESULTADOS

VI.1. Variables fisicoquímicas del Estero La Cruz y la Bahía Kunkaak.

VI.1.1. Temperatura.

Durante el período de pre-engorda y engorda, en la Bahía para el año de 2008, la temperatura promedio del agua más alta fue de 31.85 ± 0.48 °C registrada en el mes de julio y la más baja fue de 15.13 ± 0.67 °C en el mes de diciembre. Para el Estero La Cruz el promedio más alto fue de 32.45 ± 1.45 °C en julio y la más baja registrada en el mes de diciembre con 13.00 ± 1.66 °C (Fig.11). Los análisis de varianza para la Bahía ($F = 398.971$; $p \leq 0.0001$) y el Estero La Cruz, ($F = 71.197$; $p < 0.0001$) identificaron que hubo diferencias altamente significativas y que los menores valores de temperatura fueron en los meses fríos y los mayores en los meses cálidos.

Para el segundo año el comportamiento de la temperatura presentó valores máximos y mínimos similares tanto en la Bahía Kunkaak como en el Estero La Cruz (Fig. 10). En todos los meses, la temperatura fue similar entre las dos áreas de cultivo ($F = 0.089$; $p = 0.7661$).

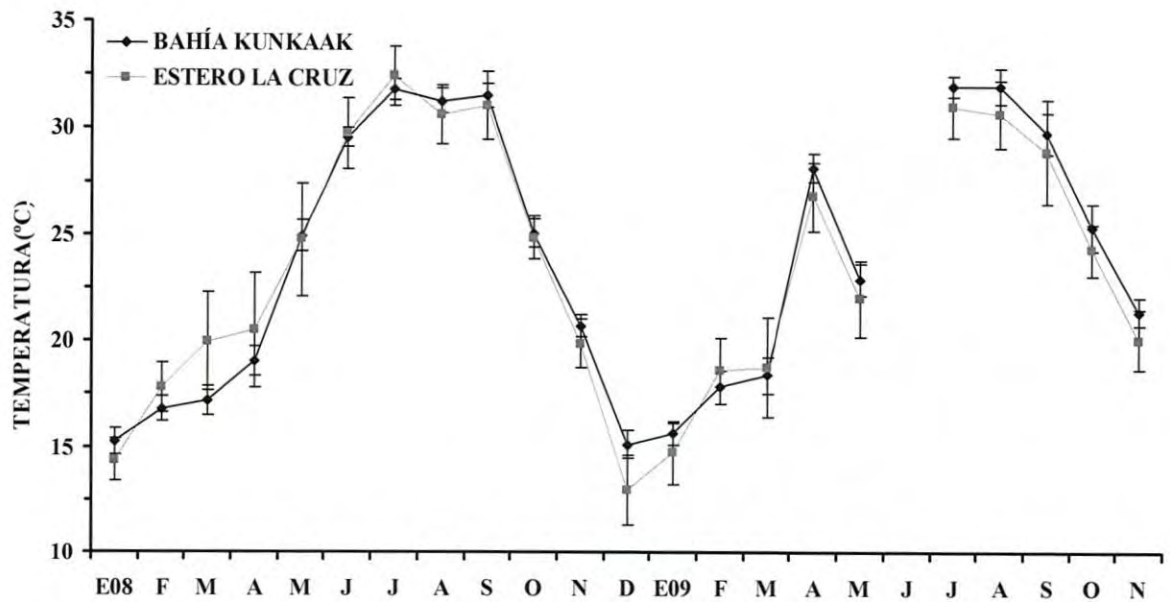


Figura. 11. Comportamiento promedio (\pm desviación estándar) mensual en dos años de monitoreo, de temperatura del agua, en los dos ambientes durante la engorda de *Atrina maura*. Nota: la barra indica la desviación estándar.

VI.1.2. Oxígeno disuelto (OD).

Para las dos áreas de cultivo el OD registró concentraciones más altas en los meses fríos y más bajas durante los meses cálidos. Se encontraron diferencias altamente significativas entre los meses de ambos años tanto en la Bahía Kunkaak como en el Estero La Cruz. Se observó también que en el Estero La Cruz se presentaron niveles de OD más bajos y con una mayor variación que en la Bahía Kunkaak (Fig. 11) ($F=22.58$; $p < 0.0001$). Durante la pre-engorda y engorda de *A. maura*, el OD promedio en la bahía osciló de 5.25 ± 0.60 (julio 2009) a 12.10 ± 0.59 mg/L (noviembre 2009) con diferencias altamente significativas entre los meses de cultivo ($F = 26.412$; $p < 0.0001$).

En el Estero La Cruz el OD varió de 4.48 ± 1.87 (julio) a 11.54 ± 0.58 mg/L (noviembre) (Fig. 12). Se observó que en el estero se presentaron valores extremos menores de 3.0 mg/L en los meses de verano para los dos años de cultivo (junio 2008 y julio 2009) con diferencias también altamente significativas ($F = 6.474$; $p < 0.0001$), estos valores se registraron en la madrugada (04:00 hrs) estando por lo general la marea baja. En cambio, en la Bahía Kunkaak no se registraron esos niveles manteniéndose el OD arriba de los 5 mg/L.

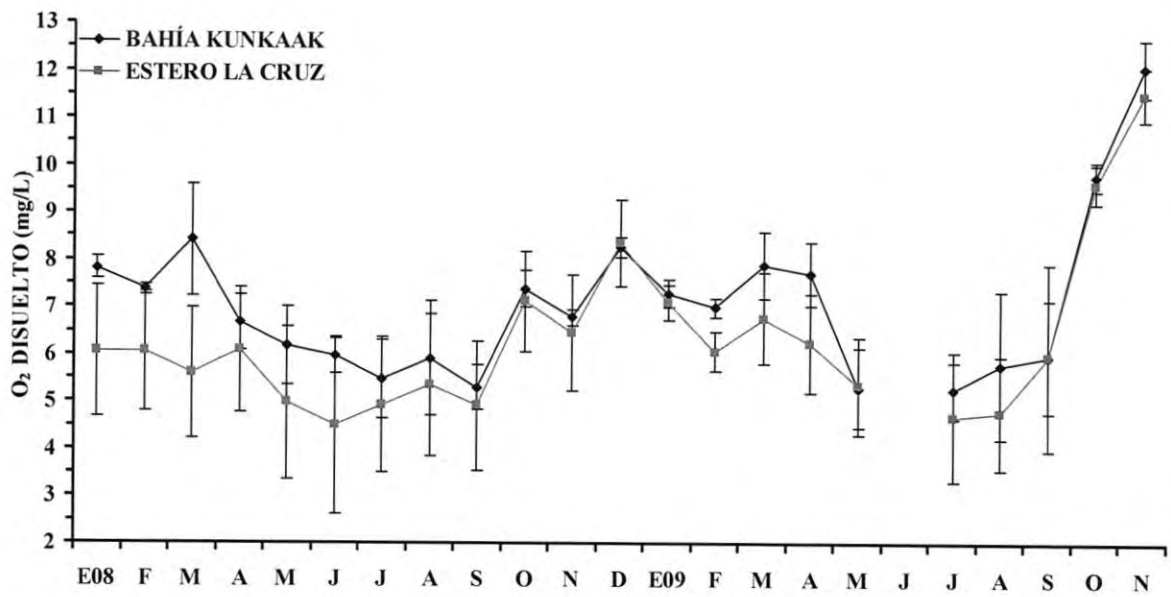


Figura. 12. Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) del oxígeno disuelto, en los dos ambientes durante la engorda de *Atrina maura*. Nota: la barra indica la desviación estándar.

VI. 1.3. Saturación del oxígeno disuelto (SOD).

La saturación promedio del oxígeno disuelto en la Bahía Kunkaak osciló de 76.02 ± 3.16 a 164.48 ± 3.38 % y en el estero varió de 65.92 ± 6.87 a 158.95 %, en ambos ambientes se registraron diferencias de saturación entre los meses de cultivo (Bahía Kunkaak: $F = 13.621$; $p < 0.0001$, Estero La Cruz: $F = 3.843$; $p < 0.0001$).

En el Estero La Cruz se observó que se presentaron valores extremos menores de 50 %, en los meses de verano por la madrugada y en la marea más baja. Sin embargo en la Bahía Kunkaak se observó valores más favorables ya que se mantuvieron siempre muy cercanos a la saturación e incluso con valores de sobresaturación del oxígeno (Fig. 13). Los análisis de varianza realizados entre los dos ambientes indicaron diferencias altamente significativas de saturación con un promedio mayor en la Bahía ($F = 22.580$; $p < 0.0001$).

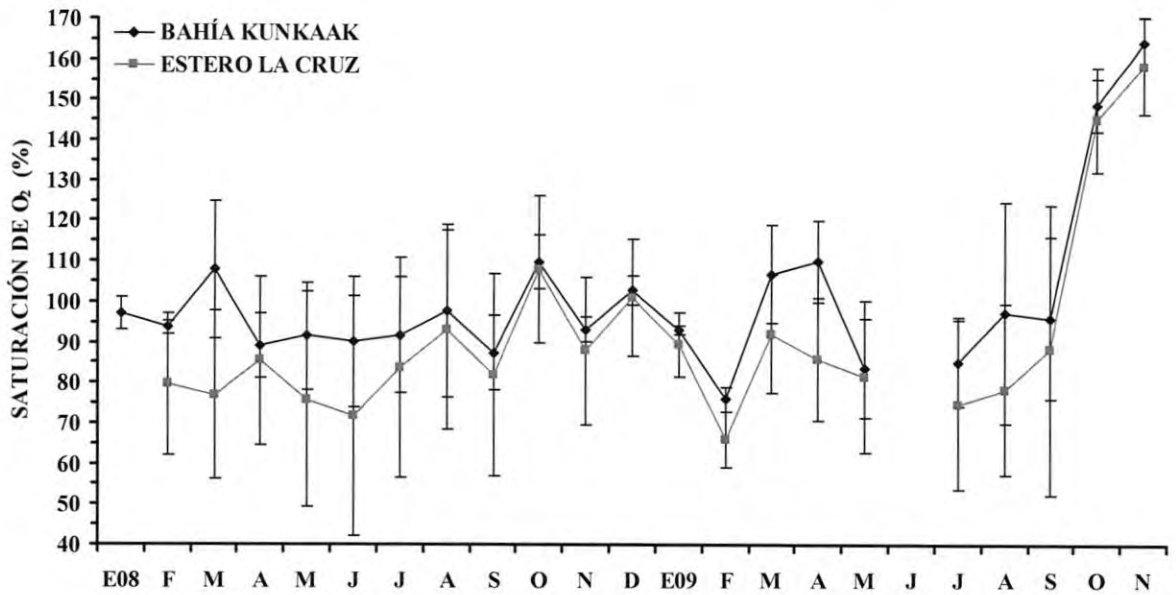


Figura 13. Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) de la saturación del oxígeno disuelto, para los dos ambientes durante la engorda de *Atrina maura*. Nota: la barra indica la desviación estándar.

VI.1.4. Salinidad.

Durante la etapa de cultivo de *A. maura*, la salinidad promedio en la Bahía Kunkaak fue de 35.50 a 36.5 ‰ con poca variación. En cambio en el estero la salinidad promedio osciló de 37.5 a 38.5 ‰ pero con amplias variaciones las cuales en el mismo día se registraron tanto valores observados bajos de 37 ‰ como valores altos superiores a 41 ‰ (Fig. 14). Se encontraron diferencias altamente significativas de salinidad entre el Estero La Cruz y la Bahía Kunkaak donde el Estero La Cruz presentó los niveles más altos ($F = 298.73$; $p < 0.0001$). Se observó que la altura de la marea influyó significativamente sobre la variación de la salinidad en el Estero La Cruz, ya que los niveles más bajos se registraron cuando la marea se encontraba alta, en cambio los valores más altos fueron medidos durante marea baja. En la Bahía Kunkaak prevalecieron condiciones más estables y marinas, y no se observó un efecto de la marea sobre la variación de la salinidad. Los cultivos de callo de hacha experimentaron condiciones de salinidad muy diferentes entre un ambiente y otro.

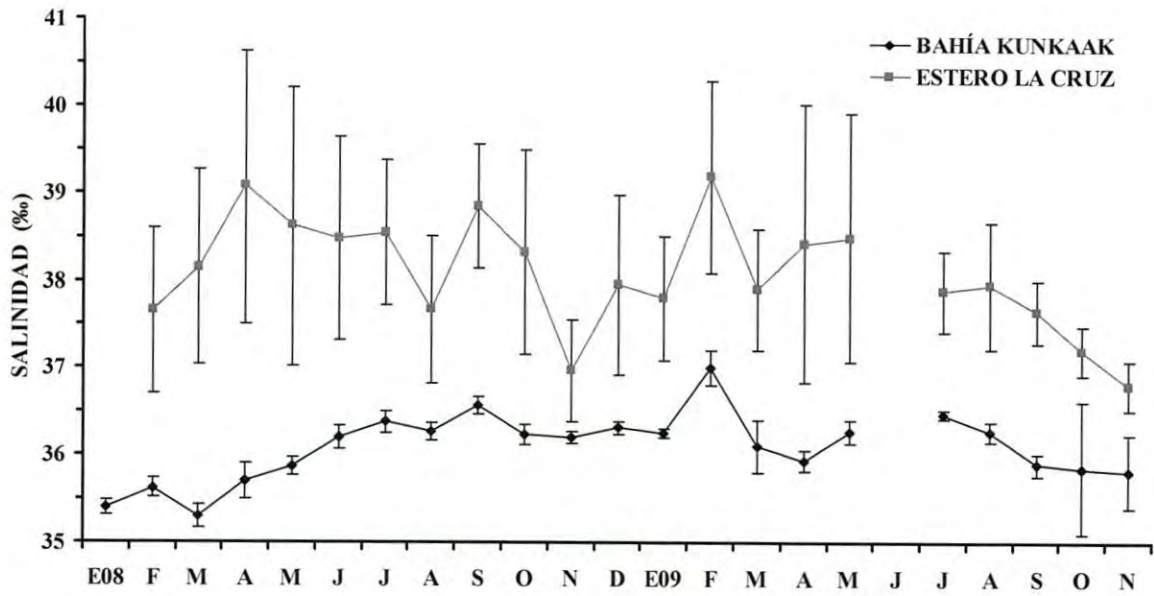


Figura 14. Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) de la salinidad del agua, en los dos ambientes durante la engorda de *Atrina maura*. Nota: la barra indica la desviación estándar.

VI.1.5. Potencial de hidrógeno (pH).

El pH durante el cultivo de *Atrina maura*, entre los dos ambientes presentó un comportamiento similar. Para la Bahía Kunkaak registró valores promedios de 7.1 a 8.3 unidades, mientras que en el Estero La Cruz obtuvo valores de 7.8 a 8.4 unidades. En términos generales se puede mencionar que el pH en los dos ambientes se mantuvo de 7.5 a 8.5 unidades. No se encontraron diferencias significativas de pH entre la Bahía Kunkaak y el Estero La Cruz ($F = 0.427$; $p = 0.5134$). En general la variación observada para los dos años fue de una unidad de pH, lo que indica condiciones muy estables de pH entre los dos ambientes (Fig. 15).

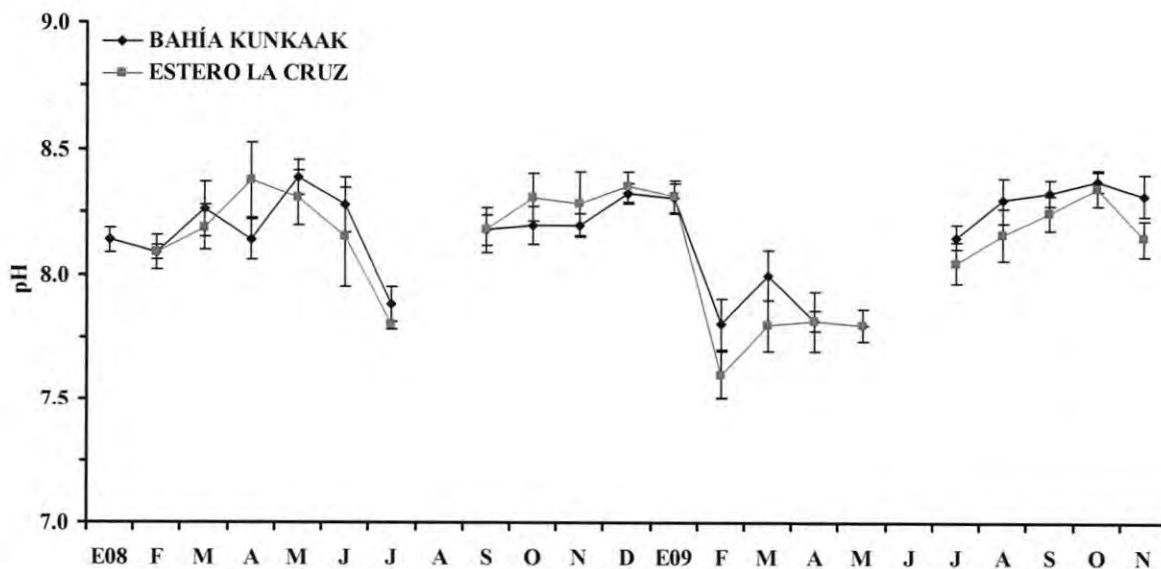


Figura 15. Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) del pH del agua, en los dos ambientes durante la engorda de *Atrina maura*. Nota: la barra indica la desviación estándar.

VI.2. Parámetros físicos y biológicos en el Estero La Cruz y la Bahía Kunkaak.

VI.2.1. Sólidos suspendidos totales (SST).

Durante el cultivo de *Atrina maura* en la Bahía Kunkaak, los sólidos suspendidos totales se mantuvieron estables durante la mayoría de los meses (enero del 2008 a mayo del 2009) que duró el cultivo, con un valor promedio para ese período de 28.26 ± 6.62 mg/L, en el resto de los meses (febrero 2008 y de julio a noviembre del 2009) los SST se registraron con un valor promedio alto de 47.8 ± 6.42 mg/L. En el Estero La Cruz los SST, presentaron amplias variaciones (durante el día) y con valores más altos que en la Bahía Kunkaak. Los SST en la mayoría de los meses (enero del 2008 a mayo del 2009) se mantuvieron con un valor promedio de 48.37 ± 9.20 mg/L, en el resto de los meses (julio a noviembre del 2009) concentraciones todavía más altas fueron registradas (89.04 ± 7.66 mg/L). Las comparaciones de SST entre Bahía Kunkaak y Estero La Cruz indicaron diferencias altamente significativas ($F = 80.920$; $p < 0.0001$), con las concentraciones más altas de sólidos en el Estero La Cruz (Fig. 16).

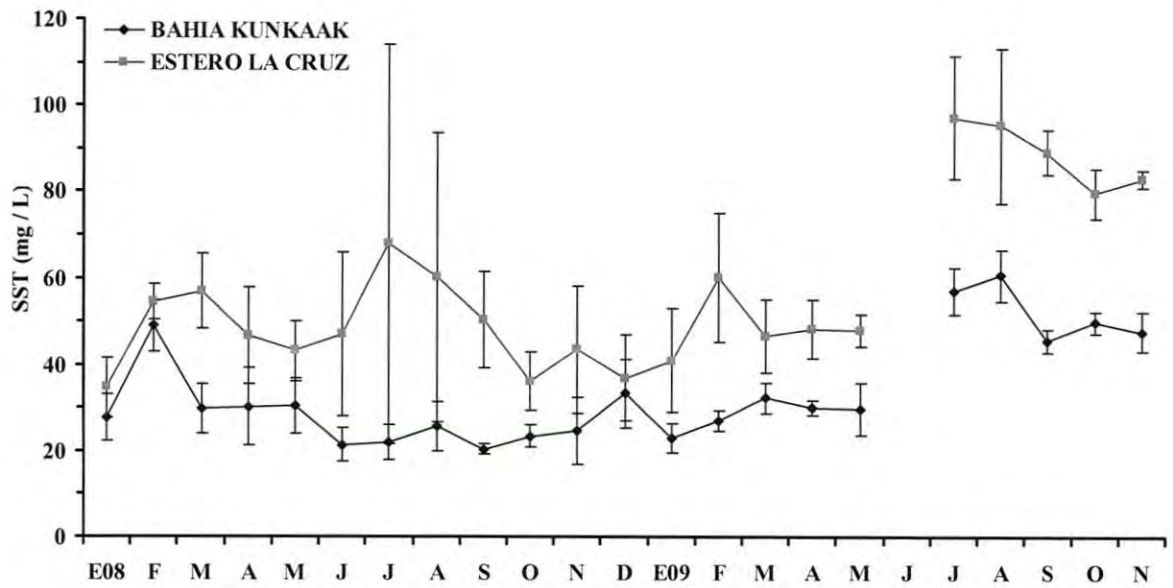


Figura 16. Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) de los sólidos suspendidos totales (SST), en los dos ambientes durante la engorda de *Atrina maura*. Nota: la barra indica la desviación estándar.

VI.2.2. Materia orgánica particulada (MOP).

Durante el cultivo de *Atrina maura*, la materia orgánica particulada en la Bahía Kunkaak presentó concentraciones estables en la mayoría de los meses (enero del 2008 a mayo del 2009; excepto febrero del 2008) período en el cual registró un valor promedio de 5.83 ± 1.86 mg/L, en el resto de los meses (febrero del 2008 y de julio a noviembre del 2009) la MOP se registró con un valor promedio alto de 8.55 ± 0.69 mg/L.

Sin embargo, en el Estero La Cruz la MOP registró valores promedios de 8.43 ± 2.91 mg/L de enero 2008 a mayo 2009 y en el resto de los meses de julio a noviembre del 2009, concentraciones todavía más altas fueron registradas con 13.19 ± 0.92 mg/L, con amplias variaciones durante el periodo de cultivo. Se observó, al igual que en los SST una variación más amplia de la MOP en el Estero La Cruz entre los meses de cultivo. Valores promedios significativamente más altos fueron registrados en el Estero La Cruz ($F = 39.360$; $p < 0.0001$) (Fig. 17).

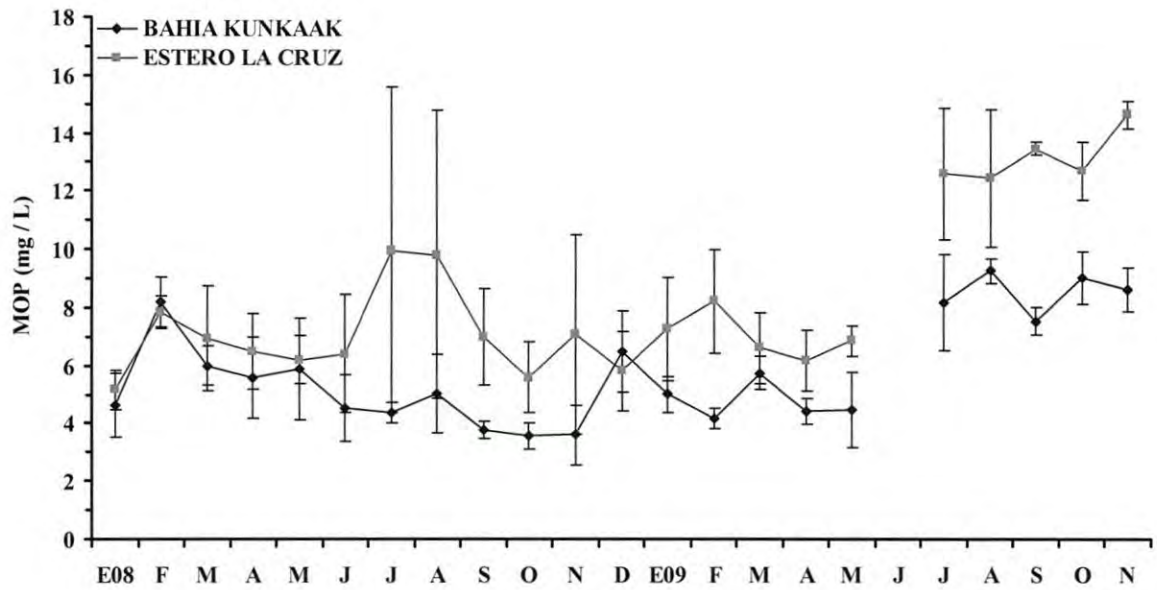


Figura 17. Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) de la materia orgánica particulada (MOP), en los dos ambientes durante la engorda de *Atrina maura*. Nota: la barra indica la desviación estándar.

VI.2.3. Materia inorgánica particulada (MIP).

Durante el cultivo de *Atrina maura* en la bahía, la concentración de materia inorgánica particulada se mantuvo estable durante la mayoría de los meses (enero del 2008 a mayo del 2009) que duró el cultivo, con un valor promedio para ese período de 23.23 ± 5.63 mg/L, en el resto de los meses (febrero del 2008 y de julio a noviembre del 2009) la MIP se mantuvo con un valor promedio más alto (43.72 ± 6.09 mg/L). En cambio en el Estero La Cruz la MIP, presentó amplias variaciones (durante el día) y con valores más altos que en la Bahía Kunkaak. La MIP en la mayoría de los meses (enero del 2008 a mayo del 2009) se mantuvo con un valor promedio de 41.34 ± 8.1 mg/L, en el resto de los meses (julio a noviembre del 2009) concentraciones todavía más altas fueron registradas (75.85 ± 8.15 mg/L). Los resultados indican que en el Estero La Cruz se encuentra una mayor concentración de materia inorgánica suspendida que en la Bahía Kunkaak ($F = 86.970$; $p < 0.0001$), además de coincidir con los resultados obtenidos para SST y MOP (Fig. 18).

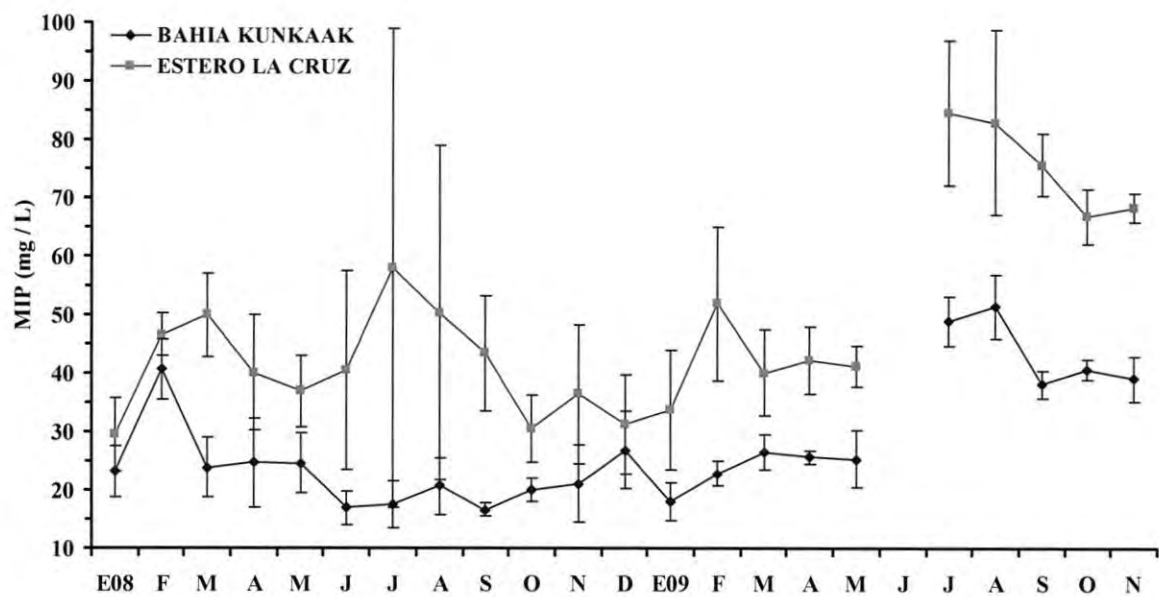


Figura 18. Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) de la materia inorgánica particulada (MIP), en los dos ambientes durante la engorda de *Atrina maura*. Nota: la barra indica la desviación estándar.

VI.2.4. Relación: materia inorgánica particulada entre orgánica particulada (MIP/MOP).

Durante el cultivo de *Atrina maura*, la relación de MIP/MOP para la Bahía Kunkaak registró un valor promedio para todo el cultivo de 4.81 ± 0.75 , con un promedio mínimo de 3.63 ± 0.64 en enero 2009 y máximo de 6.15 ± 1.64 en junio de 2009. En cambio en el Estero La Cruz la relación de MIP/MOP registró un valor promedio para todo el período de cultivo de 5.88 ± 0.70 , con un promedio mínimo de 4.59 ± 0.56 en enero de 2009 y un promedio máximo de 7.44 ± 1.15 en marzo de 2008 (Fig.17). Los resultados indican que en el Estero La Cruz se presentó una relación de MIP/MOP más elevada que en la Bahía Kunkaak, ya que se encontraron diferencias altamente significativas entre los dos ambientes ($F = 97.108$; $p < 0.0001$) (Fig. 19).

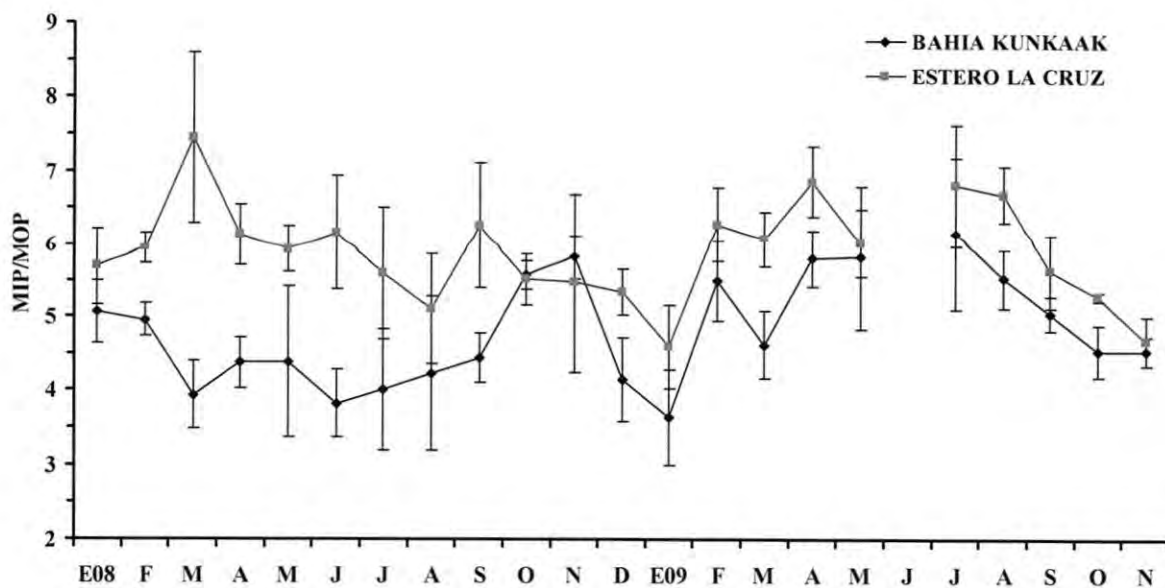


Figura 19. Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) de la relación materia inorgánica particulada entre materia orgánica particulada (MIP/MOP), en los dos ambientes durante la engorda de *Atrina maura*. Nota: la barra indica la desviación estándar.

VI.2.5. Clorofila *a*.

Durante el cultivo de *Atrina maura* en la Bahía Kunkaak, las concentraciones de la disponibilidad y variación del alimento natural (clorofila *a*) presentaron valores de 0.90 ± 0.5 (enero 2008) a $4.75 \pm 1.48 \text{ mg/m}^3$ en marzo de 2009, con un valor promedio de $2.37 \pm 1.03 \text{ mg/m}^3$, mientras que en el estero se registraron valores más amplios de 0.53 ± 0.4 en marzo de 2008 a $6.45 \pm 1.86 \text{ mg/m}^3$ en julio de 2009, con un valor promedio de $3.23 \pm 1.58 \text{ mg/m}^3$ (Fig. 18).

Los resultados indican que en el Estero La Cruz se encontró una concentración más elevada de clorofila *a* que en la bahía. Se encontraron diferencias altamente significativas entre los dos ambientes ($F = 12.901$; $p < 0.0001$) (Fig. 20).

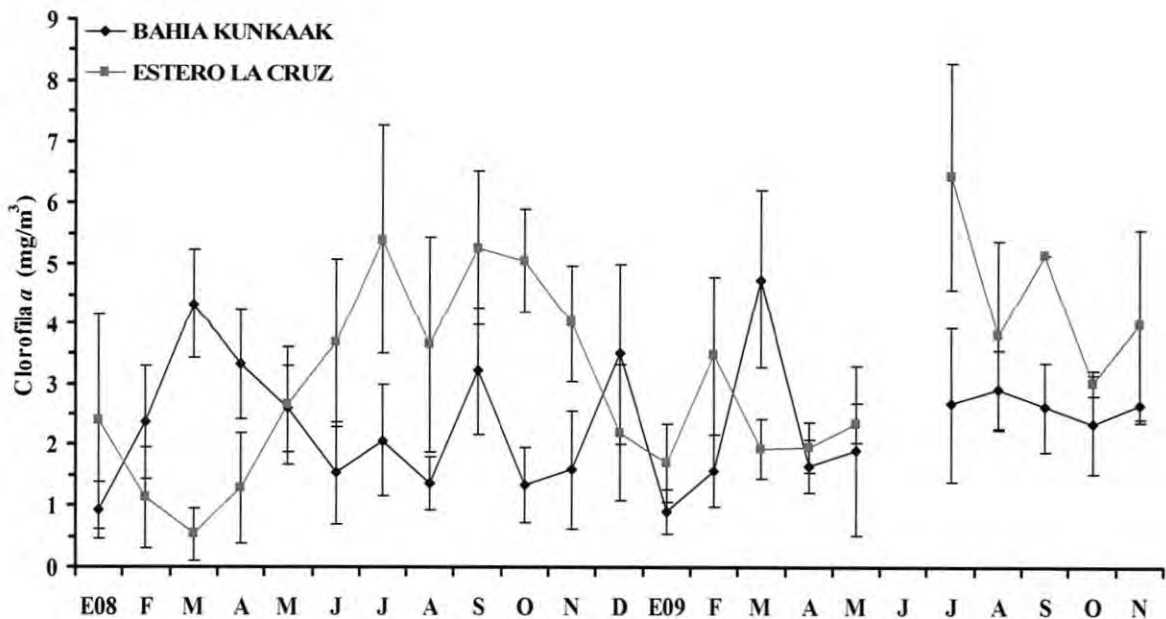


Figura 20. Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) de clorofila *a*, en los dos ambientes durante la engorda de *Atrina maura*. Nota: la barra indica la desviación estándar.

VI.3. Crecimiento de *Atrina maura* en el área de la Bahía Kunkaak.

VI.3.1. Crecimiento en longitud total (LT) y ancho total (AT) de la concha.

Durante el período de engorda en la Bahía Kunkaak, *Atrina maura* inició con una LT promedio de 32.81 ± 6.71 mm en marzo 2008 y al final del cultivo registró 194.60 ± 10.23 mm en noviembre 2009. El AT inicial fue de 12.49 ± 1.91 en marzo 2008 y final de 114.0 ± 4.90 mm en noviembre 2009 (Fig. 21). Se observó que *A. maura* presentó un rápido crecimiento durante el primer año, de marzo a octubre del 2008, en el cual alcanzó un incremento mensual de 20.76 mm para LT y de 10.58 mm para AT, el análisis de varianza realizado entre los meses del primer año determinó diferencias de crecimiento altamente significativas en LT ($F = 629.55$; $p < 0.0001$) y para AT ($F = 730.84$; $p < 0.05$).

Durante el segundo año (2009) el crecimiento de la concha registrado fue mínimo, ya que el análisis de varianza identificó para LT, que la diferencia en cuanto al incremento se dio solamente entre junio y julio ($F = 5.776$; $p < 0.05$) y en AT no hubo crecimiento ($F = 18.678$; $p > 0.05$).

Como se mencionó arriba, el crecimiento durante el segundo año fue mínimo para LT y nulo para AT, sin embargo el peso total de la concha, del cuerpo blando y del músculo aductor continuaron creciendo hasta la mitad del segundo año de cultivo (mayo a julio).

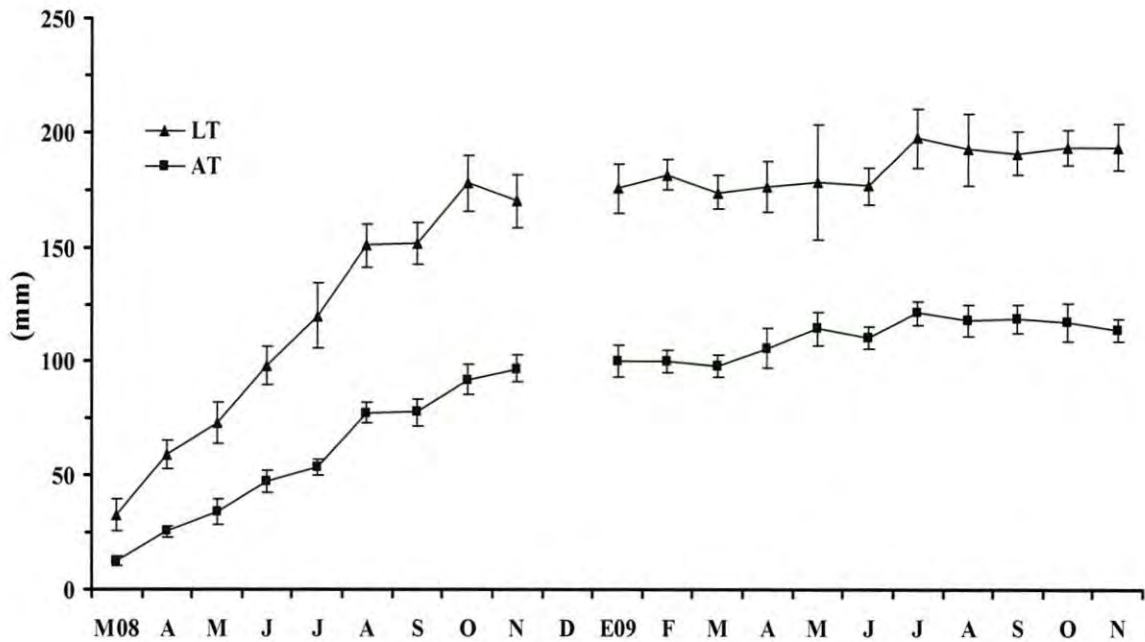


Figura 21. Crecimiento promedio mensual (\pm desviación estándar) en longitud total (LT) y ancho total (AT) de la concha de *Atrina maura* en el área de la Bahía Kunkaak, durante la etapa de engorda de marzo 2008 a noviembre 2009. Nota: la barra indica la desviación estándar.

VI.1.2. Crecimiento del peso fresco total (PFT).

Durante el período de engorda en la Bahía Kunkaak, *Atrina maura* inició con un PFT promedio de 0.311 ± 0.110 g en marzo de 2008 y al final del cultivo registró 223.0 ± 27.710 g en noviembre de 2009 (Fig. 22). Se observó que el PFT de *A. maura* continuó crecimiento hasta los 17 meses de edad (julio de 2009) donde se encontraron diferencias altamente significativas entre los meses ($F = 240.58$; $p < 0.0001$). En ese período alcanzó un incremento mensual de 35.27 g. En cambio, en los meses posteriores de agosto a noviembre de 2009, el PFT presentó un comportamiento con una tendencia donde se estabilizó su crecimiento durante ese período y no hubo diferencias significativas de PFT entre las medias de esos meses.

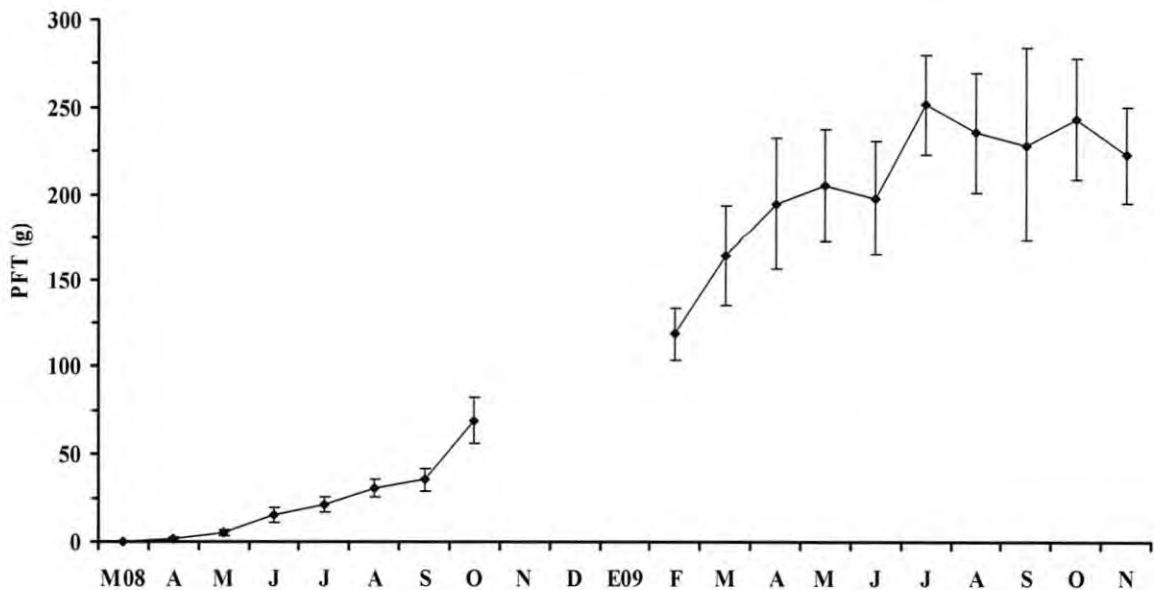


Figura 22. Crecimiento promedio mensual (\pm desviación estándar) del peso fresco total (PFT) de *Atrina maura* en el área de la Bahía Kunkaak, durante la etapa de engorda de marzo 2008 a noviembre 2009. Nota: la barra indica la desviación estándar.

VI.3.3. Crecimiento del peso fresco de la concha (PFC).

Durante el período de engorda en la Bahía Kunkaak, *Atrina maura* inició con un PFC promedio de 0.291 ± 0.138 g (marzo de 2008) y al final del cultivo obtuvo un peso de 109.94 ± 17.79 g (noviembre 2009) (Fig. 23). Se observó que *A. maura*, al igual que el PFT continuó crecimiento también hasta los 17 meses de edad del cultivo (julio del 2009), en el cuál alcanzó un incremento mensual de 10.64 g. El análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas entre los meses de ese período ($F = 89.10$; $p < 0.0001$). Sin embargo, en los meses posteriores (agosto a noviembre de 2009) el PFC se estabilizó y no hubo un crecimiento. Esto indica que la concha de *A. maura* continuó creciendo en grosor, aún cuando la LT y AT detienen su crecimiento en el primer año.

Tanto el PFT como el PFC detienen su crecimiento durante el período de agosto a noviembre.

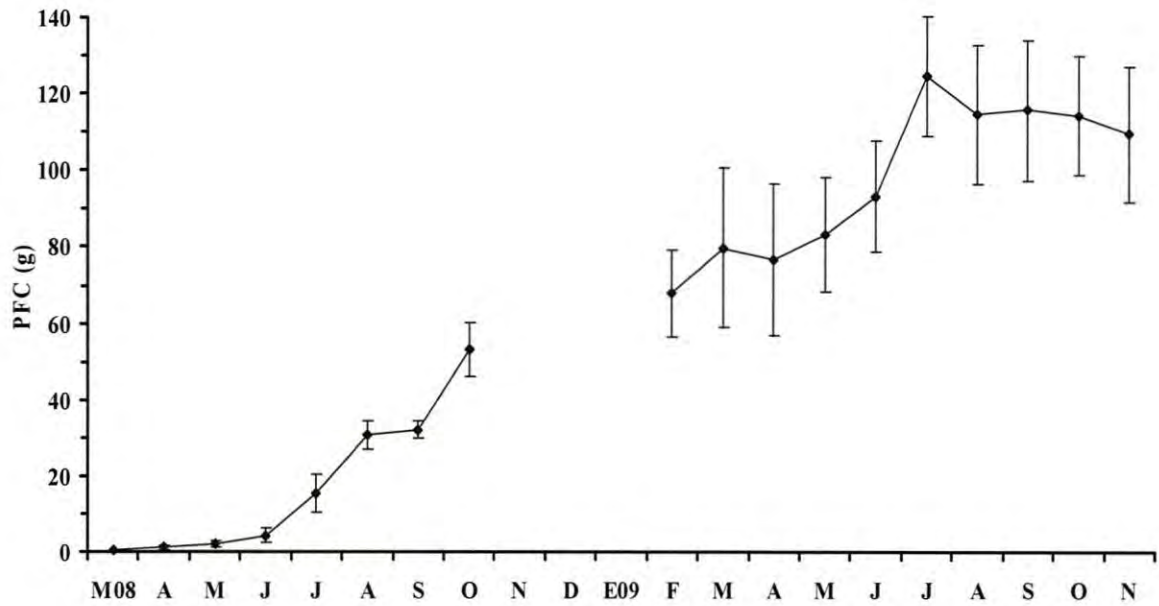


Figura 23. Crecimiento promedio mensual (\pm desviación estándar) del peso fresco de la concha (PFC) de *Atrina maura* en el área de la Bahía Kunkaak, durante la etapa de engorda de marzo 2008 a noviembre 2009. Nota: la barra indica la desviación estándar.

VI.3.4. Crecimiento del peso fresco del cuerpo blando (PFCB).

Atrina maura inició con un PFCB promedio de 0.167 ± 0.082 g en marzo de 2008 y al final de la engorda registró un peso promedio de 49.4 ± 7.87 g en noviembre de 2009 (Fig. 24). Aunque su peso máximo lo registró a los 15 meses de edad del cultivo en mayo de 2009. Durante ese período alcanzó un incremento mensual de 9.55 g, con diferencias altamente significativas entre los meses de ese período ($F = 103.014$; $p < 0.0001$). Se observó que marcadamente a partir de junio de 2009 y hasta noviembre del mismo año el PFCB disminuyó significativamente, ya que el valor promedio más alto se presentó al inicio de ese período (junio) y el más bajo al final del mismo (noviembre), lo que indicó una pérdida de peso del organismo.

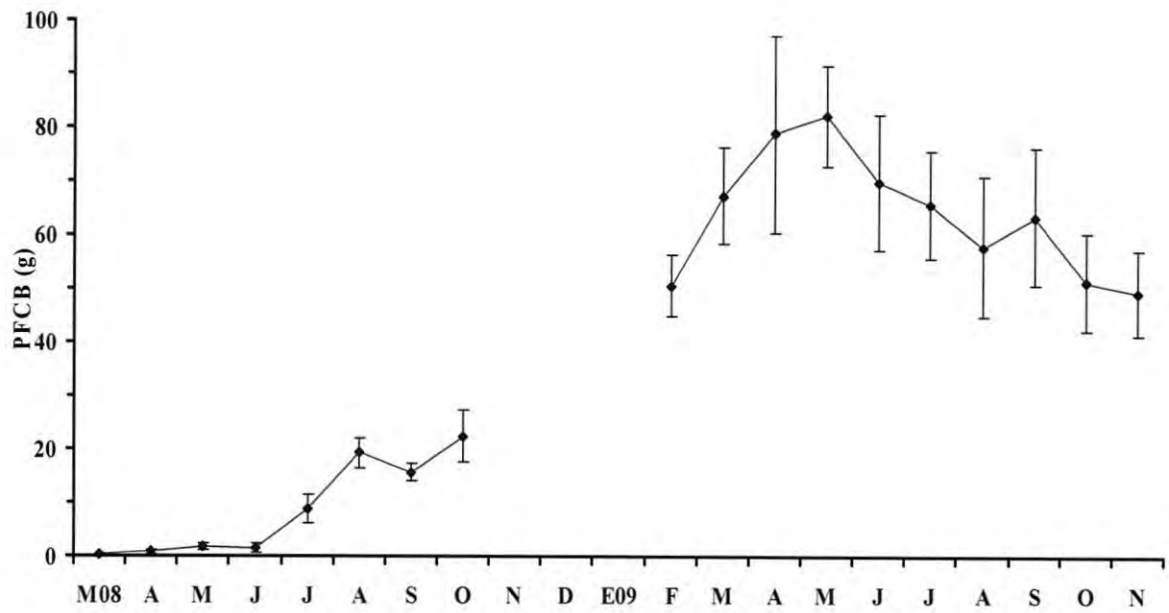


Figura 24. Crecimiento promedio mensual (\pm desviación estándar) del peso fresco del cuerpo blando (PFCB) de *Atrina maura* en el área de la Bahía Kunkaak, durante la etapa de engorda de marzo 2008 a noviembre 2009. Nota: la barra indica la desviación estándar.

VI.3.5. Crecimiento del peso fresco del músculo aductor (PFM).

Se inició con las mediciones del músculo aductor a partir del mes de julio 2008, en este mes se obtuvo un PFM inicial de 1.81 ± 0.55 g y al final del cultivo en noviembre de 2009, registró un peso promedio de 9.60 ± 2.10 g. El peso máximo fue de 21.44 ± 3.10 g a los 17 meses de edad del cultivo (julio del 2009), en ese tiempo *Atrina maura* obtuvo un incremento mensual del músculo aductor de 2.6 g. A partir del mes de julio el músculo aductor empezó a estabilizar su peso para posteriormente disminuirlo hasta noviembre con el valor promedio más bajo en el último mes ($F = 18.656$; $p < 0.0001$) (Fig. 25).

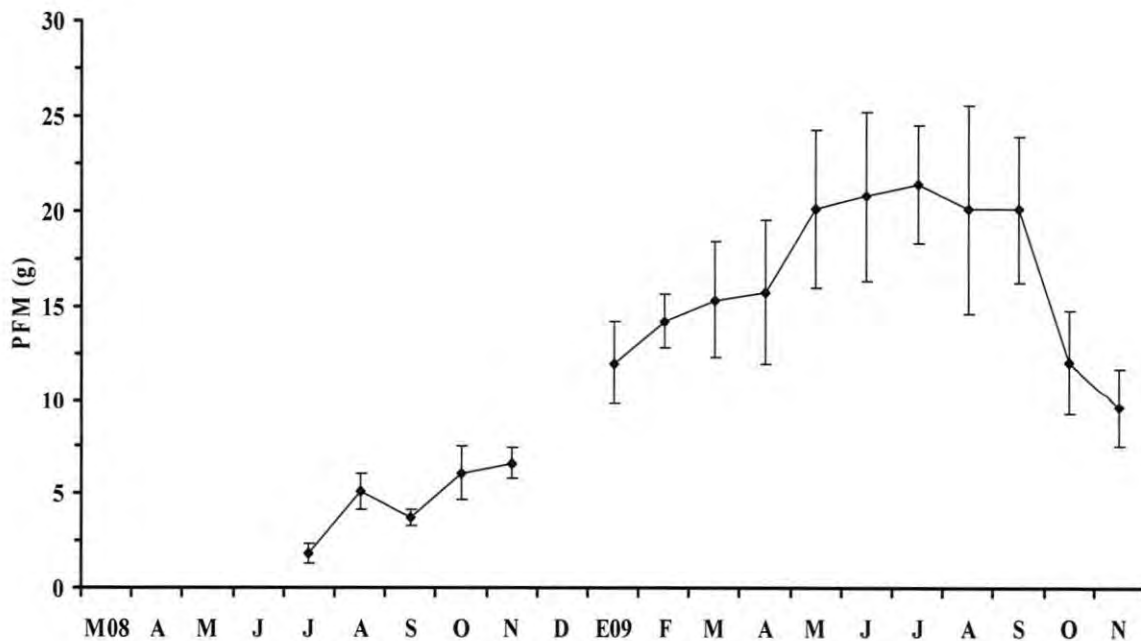


Figura 25. Crecimiento promedio mensual (\pm desviación estándar) del peso fresco del músculo aductor (PFM) de *Atrina maura* en el área de la Bahía Kunkaak, durante la etapa de engorda de julio 2008 a noviembre 2009. Nota: la barra indica la desviación estándar.

VI.3.6. Índice del rendimiento muscular (IRM).

Durante la etapa de engorda se observó que el IRM de *Atrina maura* presentó una marcada variación a través del cultivo y más acentuada durante el segundo año. Particularmente el comportamiento describe una variación donde el IRM presenta claramente los cambios fisiológicos que tiene *A. maura* durante su crecimiento en la bahía. Los datos indican que se registró un IRM inicial de 20.27 ± 1.74 % en julio de 2008, con un crecimiento de 26.81 ± 1.53 % en octubre de 2008 para el primer año de cultivo, período durante el cual presenta una tendencia a aumentar (Fig. 26). Para el segundo año (febrero a noviembre de 2009) el IRM inició con un valor alto en febrero con 28.28 ± 3.06 % y disminuyó hasta el valor más bajo en abril con un promedio de 20.0 ± 4.42 %. A partir de éste mes se incrementó hasta alcanzar el valor más alto del año (2009) en el mes de agosto con 34.18 ± 4.45 %, luego volvió a disminuir hasta registrar nuevamente el valor mas bajo 19.27 ± 2.37 en noviembre del 2009. El análisis de varianza realizado entre los meses de ambos años indicó diferencias altamente significativas del IRM ($F = 16.781$; $p < 0.0001$).

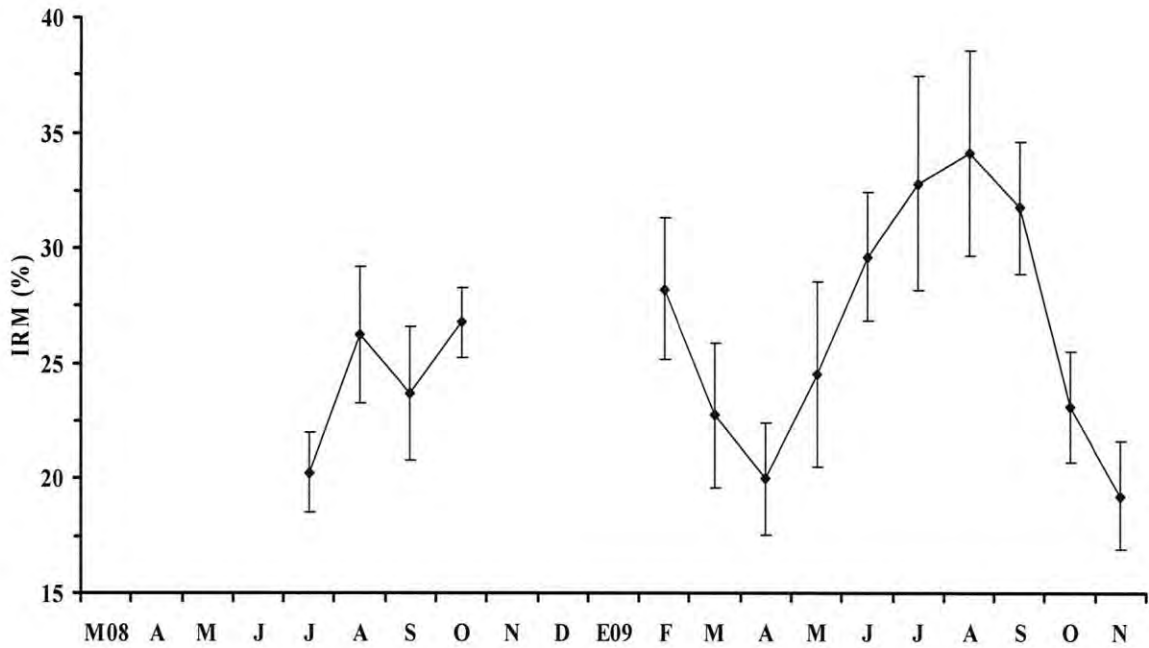


Figura 26. Comportamiento promedio mensual (\pm desviación estándar) del índice de rendimiento muscular (IRM) de *Atrina maura* en el área de la Bahía Kunkaak, durante la etapa de engorda en el fondo marino. Nota: la barra indica la desviación estándar.

VI.3.7. Desarrollo gonádico.

Los organismos fueron predominantemente indiferenciados de marzo a abril, con el 100% en esa condición (Fig. 27) y la madurez sexual dio inicio en el segundo mes de la engorda, a cuatro meses de edad, en abril del 2008, en una hembra, con presencia incipiente de coloración anaranjado de la gónada. A partir de ese mes se empezaron a diferenciar hembras y machos maduros con una mayor frecuencia, sumando el 100% los machos y las hembras, desde septiembre del 2008 a marzo del 2009. Posteriormente, fueron disminuyendo los organismos en fases de indiferenciados.

Posteriormente, durante los meses de abril a julio del 2009 se presentó una mayor frecuencia de organismos desovados, la cual fue máxima en junio y julio. En los meses de agosto a noviembre del 2009, se volvió a observar una frecuencia de organismos en maduración y para el mes de octubre se encontraron organismos maduros y finalmente para el mes de noviembre se encontraron desovados.

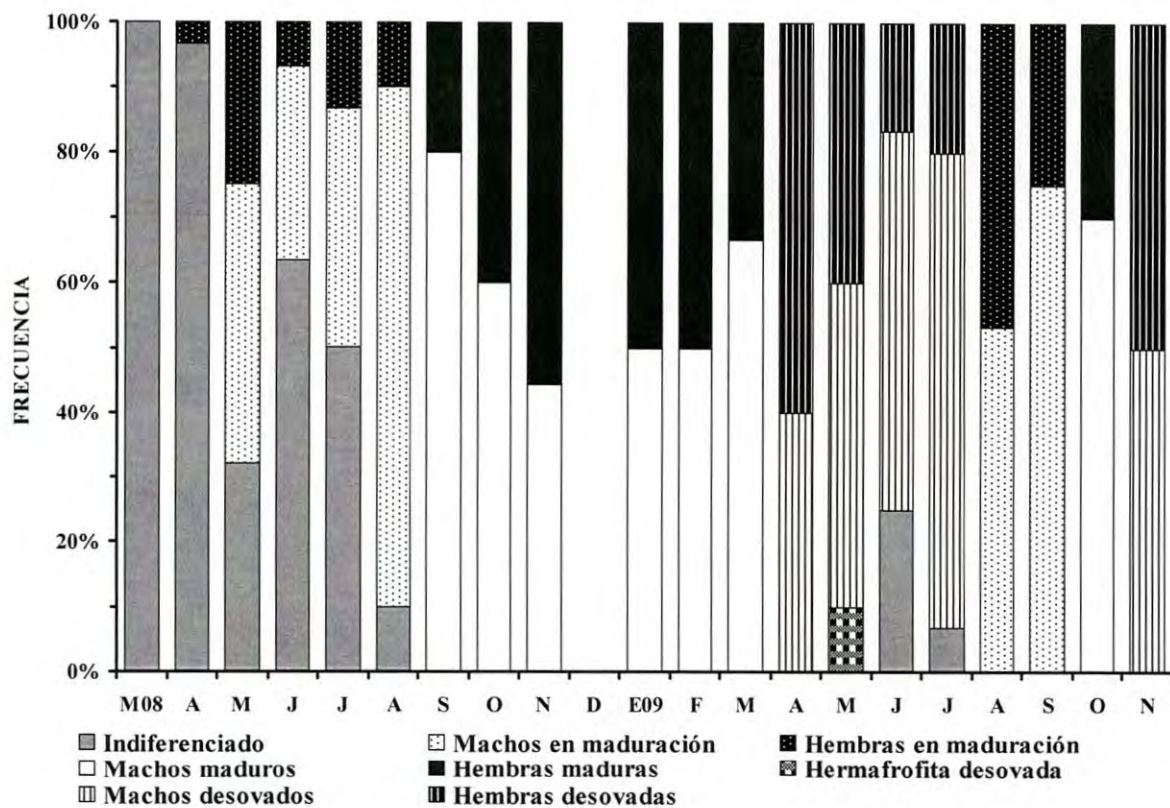


Figura 27. Representación porcentual de la madurez gonádica de *Atrina maura* en el área de la Bahía Kunkaak, durante su engorda. La escala fue determinada por observación visual del desarrollo de la madurez sexual de los organismos al momento de las biometrías.

VI.3.8. Relaciones morfométricas.

VI.3.8.1. Relación entre el peso fresco total (PFT) y la longitud total (LT) de *Atrina maura*.

Los organismos analizados (n =313), demostraron que la relación entre el PFT y la LT fue de tipo alométrico, observado por el exponente de 3.4144, de la ecuación: $PFT = 0.000002 (LT)^{3.4144}$. Esta ecuación demostró un coeficiente de correlación alto ($r = 0.97$, $p < 0.05$) (Fig. 28).

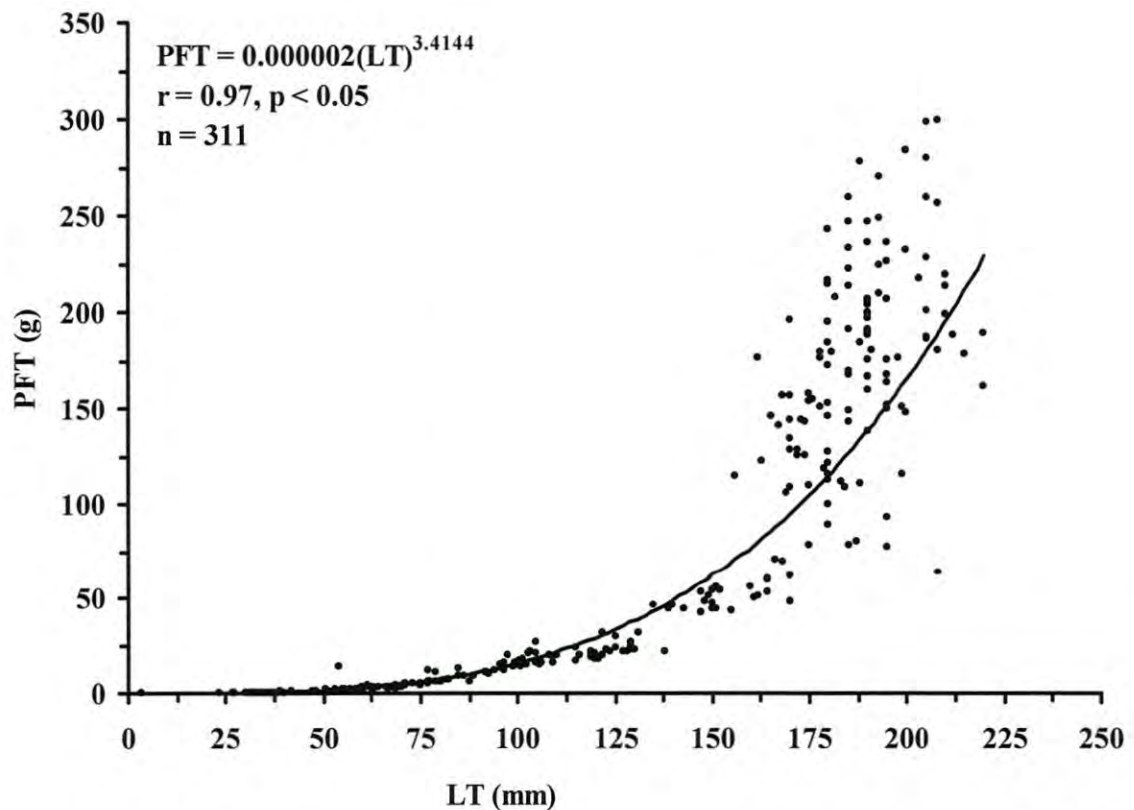


Figura 28. Curva teórica de crecimiento (línea continua) de la relación peso fresco total (PFT) y longitud total (LT) de *Atrina maura* en el área de la Bahía Kunkaak, durante la etapa de engorda de marzo 2008 a noviembre 2009.

VI.3.8.2. Relación entre el peso fresco total (PFT) y el ancho total (AT).

La relación entre PFT y AT de *A. maura* (n =313) durante su cultivo demostró que entre ambos fue de tipo alométrico, observado por el exponente de 2.912, de la ecuación: $PFT = 0.0002(AT)^{2.912}$. Esta ecuación obtuvo un coeficiente de correlación alto ($r = 0.99$, $p < 0.05$) (Fig. 29).

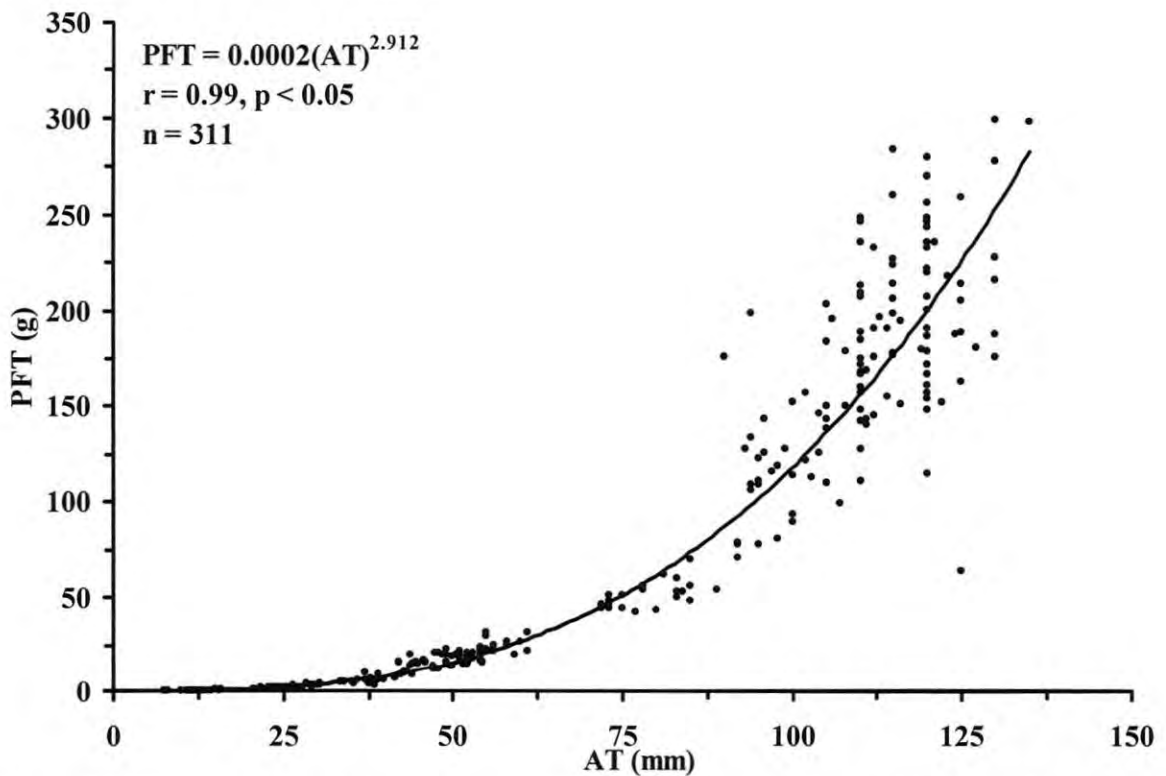


Figura 29. Curva teórica de crecimiento (línea continua) de la relación peso fresco total (PFT) y ancho total (AT) de *Atrina maura* en el área de la Bahía Kunkaak, durante la etapa de engorda de marzo 2008 a noviembre 2009.

VI.3.8.3. Relación entre la longitud total (LT) y el ancho total (AT) de *Atrina maura*.

La relación entre la longitud de la concha y el ancho de *A. maura* (n =313) fue de tipo lineal, por lo que el crecimiento en ambas mediciones se incrementó de forma simultánea, el crecimiento en esta relación se puede predecir mediante la ecuación mostrada en la gráfica (Fig. 30). El análisis de varianza de la regresión del ancho de la concha con la longitud denotó que el modelo es altamente significativo ($F = 6589.481$; $p < 0.0001$) y demostró que la varianza fue homogénea para el modelo.

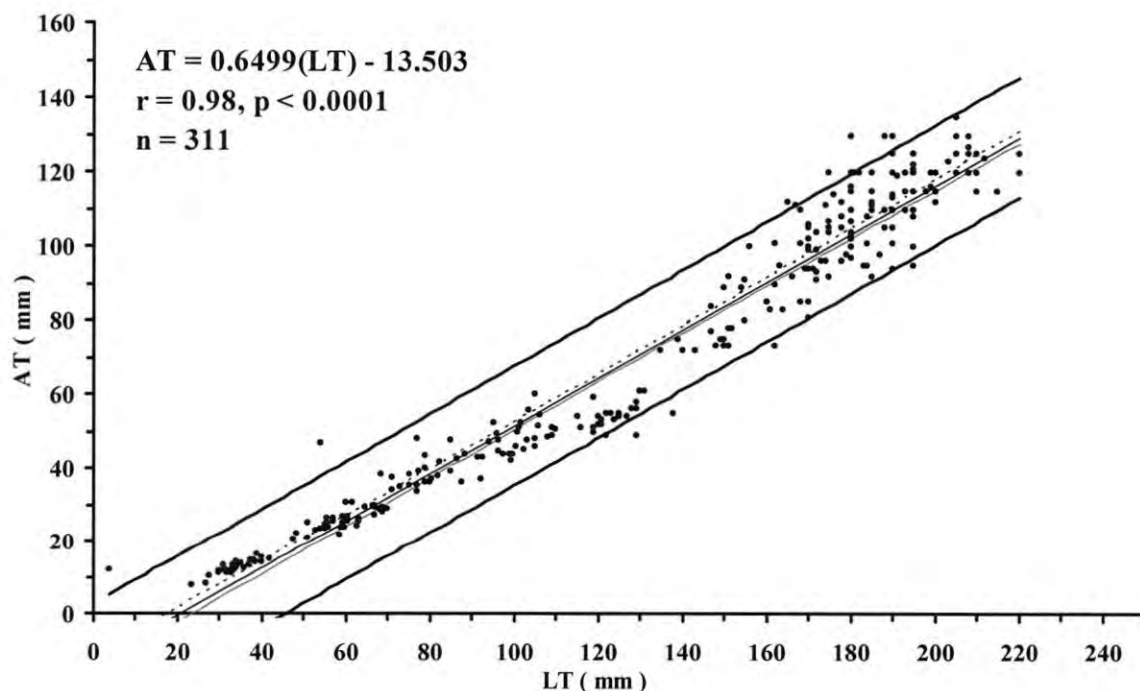


Figura 30. Relación del ancho total (AT) y longitud total (LT) de la concha de *Atrina maura* y recta promedio calculada, obtenida durante el período de cultivo en la Bahía Kunkaak. Intervalos de confianza (media) 95% e intervalos de confianza (observados) 95%.

VI.3.8.4. Supervivencia de *Atrina maura* en la Bahía Kunkaak.

De los 900 juveniles, la primera estimación de supervivencia se hizo a los 17 meses de edad (julio del 2009), una segunda al final de la engorda y se determinó una supervivencia alta del 70%. Esta estimación fue previa al evento atípico cuando se presentó el ciclón Ximena en septiembre de 2009. Después de este fenómeno meteorológico se registró una supervivencia baja debido a que desenterró a los organismos, de los sobrevivientes se colectaron para los muestreos de octubre y noviembre.

VI.4. Crecimiento de *Atrina maura* en el área del Estero La Cruz.

El cultivo de *Atrina maura* en el estero se inició en abril del 2008. Las mediciones morfométricas de los juveniles presentaron una longitud total de la concha (LT) de 59.24 ± 6.17 mm, ancho total (AT) de 25.51 ± 2.51 mm, un peso fresco total (PFT) de 1.90 ± 0.5 g, un peso fresco de la concha (PFC) de 1.25 ± 0.52 g y un peso fresco del cuerpo blando (PFCB) de 0.737 ± 0.37 g. El cultivo llegó solamente hasta el mes de mayo de 2008 debido a una mortalidad natural que se presentó en ese mes y que afectó al 95% de los juveniles de *A. maura*.

Los juveniles llegaron hasta una LT de 68.8 ± 6.7 mm, AT de 32.5 ± 3.8 mm, estas dos medidas solamente fue posible realizarlas ya que la muestra colectada fue de organismos muertos. Este último registro de crecimiento en el Estero La Cruz, indicó que *A. maura* en la Bahía Kunkaak para el mes de mayo del 2008 llevaba un mejor ritmo de crecimiento, debido a que la LT y la AT en ese mes registraron un promedio mayor en LT de 73.73 ± 9.2 mm y AT de 34.75 ± 5.5 mm que en el Estero La Cruz.

VII. DISCUSIONES

Éste es el primer trabajo realizado en el noroeste de México que estudia el desempeño de *Atrina maura* en condiciones de cultivos experimentales en dos cuerpos de agua. El cual relaciona el crecimiento con las variaciones de los parámetros ambientales que prevalecieron en los dos ambientes durante un período de dos años de cultivo.

La calidad del agua es uno de los factores más determinantes durante el desarrollo de los cultivos de bivalvos en los ambientes costeros, ya que influye directamente sobre el crecimiento y la reproducción. Durante el cultivo de *A. maura*, la temperatura del agua en las dos áreas de cultivo presentó un marcado comportamiento estacional en ambos ambientes, valores extremos fueron registrados en julio (verano) y diciembre (invierno). No hubo una marcada diferencia de temperatura entre un ambiente y otro durante los meses de cultivo aun cuando el Estero La Cruz es un cuerpo de agua más somero que la Bahía Kunkaak y esta última puede estabilizar y reducir la variación de la temperatura debido a su mayor profundidad. Esto indica que los cultivos que se desarrollaron en ambos ambientes no experimentaron niveles de temperatura muy diferentes. Es posible que los cultivos en el Estero La Cruz sí puedan experimentar condiciones adversas y diferentes a la Bahía Kunkaak debido a que el Estero La Cruz en bajamar se seca casi totalmente y los organismos quedan expuestos a la desecación, en cambio en la Bahía Kunkaak siempre se encuentran sumergidos.

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros más importantes de la calidad del agua en los cultivos de organismos acuáticos. Este parámetro se encuentra fuertemente relacionado con la temperatura ya que es un gas y su solubilidad en el agua puede aumentar o disminuir dependiendo de la temperatura que prevalezca. Esto también ha sido señalado

por Colt (1983), el cuál menciona que es común observar que valores bajos de oxígeno se registren en aguas cálidas y valores altos en aguas frías. Las condiciones de oxígeno disuelto (OD) que prevalecieron en la Bahía Kunkaak y el Estero La Cruz es un indicativo de lo anterior, ya que los niveles de OD más altos se registraron en los meses fríos y los más bajos durante los meses cálidos aspecto indicativo de su solubilidad. Es por ello que el OD en el presente trabajo tuvo un patrón inverso a la temperatura.

Los niveles de OD >5.0 mg/L y permanentemente cercanos a la saturación que prevalecieron en la Bahía Kunkaak pueden ser considerados altos, lo cuál es un indicativo de condiciones adecuadas en los cultivos de callo de hacha en esa zona y esto es debido a los procesos de mezcla derivados de la buena tasa de renovación del agua que presenta la Bahía Kunkaak. Sin embargo, el OD en el Estero La Cruz presentó variaciones más amplias que la Bahía Kunkaak, los niveles que predominaron durante el verano fueron más bajos y estos niveles frecuentemente estuvieron a <3.0 y cercanos a 2.0 mg/L y con valores bajos de saturación ($<60\%$) para ambos años, lo cuál puede ser considerado que bajo ciertas condiciones que prevalecieron en el Estero La Cruz como marea baja y temperaturas altas se presentaron condiciones de hipoxia. Estos niveles bajos de OD en el Estero La Cruz se registraron al amanecer y con marea baja, cuando el cuerpo de agua está en su fase final de respiración y el oxígeno disuelto por consecuencia se encuentra más abatido. Por lo tanto es posible que los cultivos de callo de hacha en el Estero La Cruz se encontraron sometidos a un estrés mayor que en la Bahía Kunkaak.

La salinidad del agua en la Bahía Kunkaak varió de 35.5 a 36.5 ‰, este reducido intervalo de variación está asociado por la influencia de masas de agua marinas con variaciones mínimas de 35 a 36 ‰ (Roden y Emilsson, 1980). Estas condiciones estables prevalecieron durante el cultivo en la Bahía Kunkaak. En cambio en el Estero La Cruz se

presentaron amplias variaciones que fluctuaron desde 37.5 a >41.0 ‰, esto es debido a los diferentes procesos que ocurren en este cuerpo de agua, los cuales favorecieron para que se presentaran condiciones hipersalinas. Las amplias variaciones de la salinidad estuvieron fuertemente influidas por la marea, temperatura y la evaporación. Los monitoreos de las variaciones diurnas y nocturnas permitieron observar que en el mismo día el Estero La Cruz experimentó condiciones totalmente marinas con marea alta e hipersalinas cuando la marea en el Estero La Cruz se encontraba baja. La variación puede ser todavía mayor si la temperatura ambiental es alta como en verano, favoreciendo la evaporación del agua y por lo tanto la precipitación y concentraciones de las sales.

La característica hipersalina del Estero La Cruz está asociada a que en esta región semi-árida las tasas anuales de evaporación (≈ 2900 mm) superan en aproximadamente diez veces a las tasas de precipitación (122 mm) y las escasas lluvias son la única fuente de agua dulce en el estero (Castillo-Durán, 2007 y Moreno, *et al.*, 2005).

El pH presentó un comportamiento muy similar entre los dos ambientes, los valores determinados durante todo el estudio fueron de 7.5 a 8.5 unidades. Esto indicó una diferencia de una unidad, la cual implica una baja variación. Esto puede indicar que el equilibrio del pH está determinado por la presencia de carbonatos en el agua, ya que se comportó siempre hacia condiciones de alcalinidad. La poca variación observada del pH en los cultivos tanto en la Bahía Kunkaak como en el Estero La Cruz durante los registros realizados durante las variaciones diurnas y nocturnas puede atribuirse a los procesos de respiración tanto de plantas como de animales en ambos ambientes, ya que por lo general valores bajos fueron registrados durante el amanecer.

Los rangos de los parámetros fisicoquímicos de T°C: 13.0 a 32.45; S‰: 37.0 a 41.0; OD: 4.48 a 11.54 mg/L y pH: 7.8 a 8.4 y biológicos de Clorofila *a*: 0.53 a 6.45 mg/L

registrados en el presente estudio durante los monitoreos realizados en el Estero La Cruz son coincidentes con lo reportado por otros autores que estudiaron este ambiente. Castro-Longoria y Grijalva-Chon (1991), en su estudio anual sobre calidad del agua en los principales canales del Estero La Cruz registraron un rango para temperatura de 15.9 a 31.9 °C y salinidad de 35.0 a 40.0 ‰. Barraza-Guardado *et al.* (1999 y 2009) estudiaron la calidad del agua durante un ciclo anual con mediciones semanales en el canal donde actualmente se engorda ostión y sitio donde se colocó la siembra de callo. Ellos encontraron rangos de temperatura de 13.0 a 33.0 °C, salinidad de 36 a 41 ‰, oxígeno disuelto de 2.0 a 8.3 mg/L y pH de 7.7 a 8.9. IAES (2007), reportó en su estudio sobre calidad del agua donde consideró las principales zonas de cultivo de bivalvos en el Estado de Sonora, entre ellos el Estero La Cruz. Los rangos para este ambiente fueron para temperatura de 13.2 a 32.4 °C, salinidad de 37.0 a 40.3, oxígeno disuelto de 3.2 a 8.3 mg/L y pH de 8.1 a 9.6. Condiciones similares de calidad del agua fueron registradas por Castillo-Durán, 2007 en la laguna Las Guásimas, Guaymas, Sonora. Ella realizó un cultivo experimental con dos especies de ostión (*Crassostrea gigas* y *C. corteziensis*) en esta laguna cercana al Estero La Cruz, la cuál reportó rangos promedios de temperatura de 13.3 a 32.6 °C, salinidad de 35.8 a 41.1‰, oxígeno disuelto de 4.2 a 8.8 mg/L y pH de 8.0 a 8.5.

Antecedentes de parámetros fisicoquímicos para la Bahía Kunkaak no existen. Se han realizado investigaciones en la Bahía de Kino, la cuál se encuentra localizada al sur de la Bahía Kunkaak delimitadas ambas solamente por una prolongación de la costa, esta prolongación hacia mar adentro se denomina Cerro Prieto. El primer estudio reportado para la Bahía de Kino fue el realizado por Pastén-Miranda y Barraza-Guardado (1987) donde se estudió el ciclo anual del plancton con estaciones de monitoreo en toda la Bahía de Kino y cerca de la boca del Estero La Cruz. Los autores reportaron rangos promedios de

temperatura de 14.44 a 32.2 °C, salinidad de 35.5 a 37.0 ‰ y oxígeno disuelto de 3.0 a 7.11 mg/L, valores muy similares a los registrados en la Bahía Kunkaak durante el cultivo. Posterior a este estudio, Grijalva-Chon y Barraza-Guardado (1992), en un estudio anual sobre la abundancia de las postlarvas de camarón reportaron para la Bahía de Kino valores promedios para temperatura de 15.6 a 32.2 °C y salinidad de 35.0 a 38.3‰. Barraza-Guardado *et al.* (2009), estudió la descarga de aguas residuales de un dren colector de granjas de camarón e incluyó una estación de monitoreo como testigo en la parte central de la Bahía de Kino, cerca de la isla Alcatraz. Los rangos que reportaron en ese estudio fueron para temperatura de 16.73 a 30.93 °C, salinidad de 36.78±0.36 ‰, oxígeno disuelto de 6.25±1.07 mg/L y pH de 8.30±0.07. Condiciones igualmente comparables con las registradas en la Bahía Kunkaak.

Amplias variaciones de SST, MIP y MOP fueron registradas en el Estero La Cruz, en cambio en la Bahía Kunkaak valores más bajos y con menor variación fueron registrados. Las amplias variaciones en el Estero La Cruz se debieron al efecto de las corrientes afectadas por la altura de la marea. Durante las variaciones diurnas y nocturnas se observó que los valores más bajos fueron medidos durante la marea alta y los más altos durante la marea baja, esto indicó también que en el mismo día fueron registrados niveles muy altos y bajos. En marea baja se concentraron y se resuspendieron los sólidos lo que provocó que se elevaran, por el contrario cuando subió la marea predominaron condiciones marinas con agua muy transparente y por lo tanto niveles bajos de sólidos fueron registrados. Los fondos predominantemente lodosos en el Estero La Cruz favorecen la resuspensión de los sólidos por efectos de corrientes de marea y del viento. El porcentaje o la fracción proporcional de la MIP de los SST fue mayor en el Estero La Cruz que en la

Bahía Kunkaak, ya que la MIP en el Estero La Cruz fue del 85 % y en la Bahía Kunkaak del 78 %, lo que indica una mayor presencia de sólidos inorgánicos en el Estero La Cruz.

Las menores concentraciones de sólidos en la Bahía Kunkaak obedecen a valores típicamente de ambientes marinos de aguas transparentes con bajos niveles de terrígenos en suspensión como lo observado con los sólidos inorgánicos suspendidos registrados en la Bahía Kunkaak. La poca variación observada de los sólidos suspendidos (SST, MOP y MIP) en la Bahía Kunkaak se debió al poco efecto de las corrientes de marea y al viento que no contribuyeron a resuspender los sedimentos arenosos a niveles tan altos como los registrados en el Estero La Cruz.

Los valores de séston en el Estero La Cruz son coincidentes con los reportados por Barraza-Guardado *et al.* (1999 y 2009) en este mismo Estero La Cruz con valores para los SST de 13.25 a 89.9 mg/L y para MOP de 1.88 a 12.86 mg/L. IAES (2007) registró un rango para SST en el Estero La Cruz de 100 a 200 mg/L, para MOP de 26.3 a 41.2 mg/L y para MIP de 133.7 a 197.1 mg/L. Para otros ambientes como la laguna Guásimas, donde se desarrollan cultivos de ostión Castillo-Durán *et al.* (2007) registraron un rango coincidente para MOP de 24.0 a 49.0 mg/L y de MIP de 134.0 a 198.0 mg/L.

Antecedentes de séston en la Bahía Kunkaak no se cuentan. Sin embargo, registros de este parámetro en otros ambientes similares donde actualmente se engorda ostión son los reportados por IAES, 2007 para el Estero Morúa, Puerto Peñasco, Sonora, con un promedio de 76.43 ± 4.83 mg/L de SST y para el Estero Santa Bárbara, Huatabampo, Sonora de 41.26 ± 2.58 mg/L de SST. En ambos ambientes predominan condiciones marinas y los niveles de séston bajos son coincidentes con los encontrados durante el cultivo de *A. maura* en la Bahía Kunkaak en el presente trabajo.

La relación MIP/MOP puede explicar mejor el efecto de los sólidos sobre el crecimiento y supervivencia de los moluscos bivalvos durante su engorda, ya que dentro de este componente se encuentra el alimento natural y su variación en cantidad y calidad puede afectar su ritmo de crecimiento. Se encontró que en el Estero La Cruz esta relación se registró más alta (5.88 ± 0.70 mg/L) que en la Bahía Kunkaak (4.81 ± 0.75 mg/L). La cantidad del material inorgánico particulado (MIP) en relación al material orgánico particulado (MOP) determina si los bivalvos pueden establecer un balance energético positivo (Wallace y Reinsnes, 1985). Cuando la MOP está presente en proporciones bajas comparadas con la MIP, la MOP es absorbida con menor eficiencia (Velasco y Navarro, 2003). Wallace y Reinsnes (1985), Bricelj y Shumway (1991) y Emerson *et al.* (1994), encontraron que no se absorbe MOP cuando el MIP abarca más del 80% del séston total (SST), lo que coincide con los valores arriba mencionados donde en el Estero La Cruz más del 80% del séston total corresponde a séston inorgánico (MIP), en cambio en la Bahía Kunkaak fue menor del 80%.

Vahl (1980), encontró que la escalopa *Chlamys islandica* presentó una mejor asimilación de la MOP y por lo tanto un balance energético positivo cuando la relación MIP/MOP fue igual o menor a 4. Castillo-Durán (2007), en un cultivo de ostión desarrollado en la laguna Las Guásimas, Sonora, encontró que la razón MIP/MOP fue > 4 , excepto en agosto y septiembre, lo que sugiere una reducción en el valor nutritivo del séston cuando la razón fue superior a 4. En el presente estudio la mejor razón fue registrada en el cultivo de *A. maura* en la Bahía Kunkaak lo que indica que este cuerpo de agua contiene un séston probablemente con una mejor calidad nutritiva que el Estero La Cruz. Se ha observado que *C. gigas* rechaza selectivamente MIP cuando las partículas de material orgánico son de mala calidad, pero la capacidad de clasificar disminuye severamente

cuando ocurren cargas de séston inorgánico altas ≥ 160 mg/L (Barillé *et al.*, 1997), por lo tanto deja de alimentarse.

En el estudio arriba referido, en la laguna Las Guásimas, tanto en verano como en invierno, las cargas de séston fueron > 150 mg/L y es una evidencia de que *C. gigas* se encontró la mayor parte del tiempo con concentraciones de séston que limitan su capacidad de seleccionar partículas nutritivas. Mientras que *C. corteziensis* al contrario, ya que Chávez-Villalba *et al.* (2005), mencionan que esta especie mantiene una alta capacidad para seleccionar alimento en concentraciones altas de séston, debido a que tiene como hábitat natural sitios donde el material particulado es abundante y está adaptada a seleccionar partículas alimenticias bajo estas condiciones. Esto último puede aplicarse para la especie *A. maura* objeto de estudio ya que sus poblaciones naturales se encuentran comúnmente en lagunas costeras donde predominan aguas más turbias. Desde este punto de vista se puede inferir que *A. maura* cultivada en el Estero La Cruz donde es abundante en forma natural, puede crecer bajo condiciones altas de sólidos, los cuales en este ambiente (SST y la MIP) se mantuvieron con niveles menores de los 100 mg/L durante la mayor parte del período de estudio, muy por debajo a lo reportado por Castillo-Durán (2007). Con base a esto último la mortalidad de *A. maura* en el Estero La Cruz no es posible que se debiera a la cantidad de sólidos presentes en este ambiente.

Las concentraciones de clorofila *a*, séston, así como en la razón MIP/MOP, de acuerdo con Broom y Mason (1978) y Wallace y Reinsnes (1985) representan indicadores de la disponibilidad de alimento para moluscos bivalvos. La concentración de clorofila *a* en ambos ambientes presentó fluctuaciones durante el período de cultivo de *A. maura*, sin embargo valores más amplios fueron registrados en el Estero La Cruz (0.53 a 6.45 mg/m³) y menos amplios en la Bahía Kunkaak (0.9 a 4.75 mg/m³). En general las mayores

concentraciones fueron registradas en el Estero La Cruz, indicando con ello una mayor disponibilidad de alimento en este ambiente.

El intervalo de valores de clorofila *a* observado en este estudio coincide con el intervalo anual registrado para este mismo Estero La Cruz por Barraza-Guardado, *et al.* (1999 y 2009) y para la laguna las Guásimas, Sonora por Paredes-Romero y López-Torres (1988); Arreola-Lizárraga (2003). Estas concentraciones de clorofila *a* en la escala de Wetzel (1983) ubican a estas lagunas con características oligotróficas. Para la Bahía Kunkaak no existen antecedentes, los más cercanos y coincidentes son los realizados por IAES (2007) para la Bahía de Kino (0.2 a 2.1 mg/m³), que es un cuerpo de agua contiguo a la Bahía Kunkaak.

El comportamiento de *Atrina maura* se caracterizó por presentar un crecimiento acelerado de la concha donde en el primer año registró un incremento mensual para LT de 20.76 mm y para AT de 10.58 m. En cambio para el segundo año el ritmo de crecimiento en la concha prácticamente se estabilizó con un incremento mensual de 1.5 mm para LT y de 2.0 mm para AT. Este comportamiento solamente se observó para la concha ya que los otros parámetros morfométricos continuaron creciendo durante el segundo año de cultivo.

El peso fresco total (PFT) registró un crecimiento acelerado hasta los 17 meses de edad (julio del 2009) del cultivo, con un IPM para ese período de 35.27 g, posteriormente, de agosto a noviembre el PFT de *A. maura* disminuyó. El peso fresco de la concha (PFC) fue otro de los parámetros que su ritmo de crecimiento sobrepasó el primer año de cultivo, en el cual registró un incremento mensual (IPM) de 10.64 g hasta los 17 meses de edad del cultivo, con un peso máximo de la concha de 125.07 g. Después de los 17 meses el PFC estabilizó su crecimiento. El peso fresco del cuerpo blando (PFCB) registró un crecimiento

acelerado, con un incremento mensual de 9.55 g hasta los 15 meses de cultivo en mayo de 2009 con un peso máximo de 82.33 g, posteriormente a partir de junio el PFCB disminuyó significativamente hasta los 49.4 g.

El peso fresco del músculo aductor (PFM), registró un crecimiento acelerado, con un incremento mensual de 2.6 g hasta los 17 meses de cultivo con un peso máximo de 21.44g en julio del 2009. Posteriormente el PFM disminuyó drásticamente hasta un peso de 9.6 g en noviembre de 2009.

El índice de rendimiento muscular (IRM) presentó una amplia variación en los dos años de cultivo, en el primer año en general se observó una tendencia a aumentar. Durante el segundo año registró un crecimiento definido, en el cuál inició con un valor alto en febrero, luego disminuyó en abril a $20.0 \pm 4.42 \%$, después de éste mes el IRM se incrementó hasta alcanzar su valor más alto en agosto de $34.18 \pm 4.45 \%$ y volviendo a disminuir hasta registrar de nuevo el valor más bajo en noviembre de $19.27 \pm 2.37 \%$.

Cultivos previos se han realizado al sur del estado en Bahía de Yavaros, Sonora por Miranda-Baeza (1995). Este autor realizó un cultivo experimental con *A. maura* durante 17 meses de engorda en fondo. Sembró alrededor de 500 organismos, con una LT inicial de 25.4 mm y al final del cultivo *A. maura* registró 208 mm. El incremento mensual obtenido para la LT fue de 12.24 mm. En ese período el músculo aductor alcanzó un peso promedio de 22.75 g, con un incremento mensual de 1.34 g. Estos resultados coinciden con el presente trabajo. El rendimiento obtenido en el presente trabajo indica que fueron necesarios 47 organismos adultos para obtener un kilogramo de músculo aductor (callo), lo cual es comparable con lo obtenido por Miranda-Baeza, 1995. Este autor obtuvo un rendimiento de un kilogramo de músculo aductor en 44 organismos adultos.

Miranda-Baeza (1995) implementó otro cultivo piloto y sembró 35,000 semillas de *A. maura*. Inició con una talla de 25 mm en LT y al final del cultivo obtuvo una talla de 175 mm durante 13 meses de engorda en fondo. El peso promedio del músculo aductor al momento de la cosecha fue de 12.8 g, con una supervivencia del 41.42 %. Estos datos concuerdan con los resultados obtenidos en esta investigación durante el mismo período de cultivo de 13 meses, ya que *A. maura* obtuvo una LT de 174.4 mm y un PFM de 15.38 g. Las poblaciones de *A. maura* que se capturan en el medio natural, registran tallas en LT alrededor de 300 mm y pesos del músculo aductor hasta 80 g para el sur de Sonora. Para fines de acuicultura de esta especie es importante considerar que no es rentable esperar alcanzar ese peso en condiciones de cultivo. Sin embargo a los 200 mm puede alcanzar un peso en el músculo aductor de 27 g en un tiempo de engorda de 22 meses (Miranda-Baeza, 1995). Un estudio más reciente realizado por Moreno *et al.* (2005) encontraron que para *A. tuberculosa* que se explota en la zona de Bahía de Kino el rendimiento que se obtiene por lo menos es diferente en dos épocas del año. Los autores mencionan que en la época de verano para obtener un kilogramo de músculo son necesarios 40 organismos, en cambio en invierno para obtener el mismo rendimiento son necesarios 20 organismos. Datos de rendimiento para *A. maura* en esta zona no se han obtenido.

El 30% de mortalidad registrada en la Bahía Kunkaak se le atribuye a la depredación por diferentes especies de peces como cabrilla (*Paralabrax* spp), cochito (*Balistes* spp), mojarra plateada (*Eugerres* spp) y botete (*Sphoeroides* spp) que se alimentaron de juveniles de *A. maura* durante el inicio de la engorda.

Góngora-Gómez (2010) realizó un cultivo experimental en la Bahía de Altata, Sinaloa, con 5,000 semillas de callo de hacha *A. maura*. Utilizó un cultivo en suspensión tipo “long-line” en canastas ostrícolas durante 12 meses. Al final del cultivo *A. maura*

registró una longitud total de 125 a 216 mm, con una tasa de crecimiento promedio mensual entre 10.41 a 18.0 mm y con un peso fresco total entre 64.4 y 196.2 g. Estos datos son coincidentes con nuestro trabajo, sin embargo los autores no incluyen información sobre el crecimiento del músculo aductor, aspecto muy importante ya que es posible que el músculo aductor no logre el mismo crecimiento en canasta comparado con el cultivo desarrollado en el sustrato.

En Bahía Magdalena, B.C.S., Cardoza-Velazco y Maeda-Martínez (1997) realizaron un cultivo con *A. maura*, donde evaluaron el crecimiento y la factibilidad del cultivo. El cultivo lo dividieron en dos fases. El primero consistió en un cultivo en suspensión tipo “long-line” en canastas de nestier durante nueve meses obteniendo un incremento mensual en longitud total de 10 mm. Para la segunda fase realizaron un cultivo en fondo durante 11 meses a densidades de 15 a 75 org/m², en el cual se obtuvo un incremento mensual de 11 mm. Estos resultados no son coincidentes con los obtenidos en el presente trabajo ya que *A. maura* en el cultivo de la Bahía Kunkaak creció el doble en los primeros doce meses.

Otros cultivos que se han realizado con otra especie de callo de hacha, es con *Pinna rugosa* (Arizpe y Felix, 1985; Arizpe, 1995) en Bahía La Paz B.C.S. El cultivo en suspensión tipo “long-line” en canastas de nestier por 12 meses, el cual obtuvo una longitud total de 120 a 150 mm. En este estudio *A. maura* registró durante los primeros 12 meses en cultivo una LT de 174.4 mm, por lo tanto *A. maura* crece más rápido que *P. rugosa*.

El mínimo crecimiento de *A. maura* en LT y AT durante el segundo año indica que esta especie para estas latitudes detiene prácticamente su crecimiento de la concha pero continua creciendo en otros aspectos como el cuerpo blando, músculo aductor y grosor de la concha.

El crecimiento observado en el peso fresco total, peso de la concha, cuerpo blando y en el músculo aductor donde estos parámetros crecieron continuamente hasta julio del segundo año se debe a aspectos ambientales combinados con aspectos de reproducción.

Durante el primer año de cultivo *A. maura* utilizó su energía canalizándola para su crecimiento principalmente hacia aspectos como crecimiento de la concha, cuerpo blando y músculo independientemente de la temperatura del agua, ya que se observó que durante el primer año los callos de hacha estuvieron sometidos a temperaturas extremas registradas en verano e invierno y aún así continuaron creciendo. Sí se observó un desarrollo gonádico de abril a agosto, pero la madurez sexual tanto de hembras como machos la alcanzaron hasta el período de septiembre de 2008 a marzo de 2009.

Para el segundo año el callo, en esos aspectos mencionados (cuerpo blando, músculo aductor y peso fresco total) continuaron creciendo hasta julio, excepto para el peso del cuerpo blando que lo hizo en mayo. Luego cuando se presentaron las temperaturas elevadas entre primavera y verano (abril a julio del 2009) se iniciaron los primeros desoves de acuerdo a la visualización macroscópica de la gónada durante los análisis en fresco que se realizaron. Esto ocasionó que tanto el peso del cuerpo blando, el peso fresco total, así como el peso del músculo aductor se estabilizaran y disminuyeran gradualmente hasta el mes de noviembre de 2009. Este comportamiento se observó más tempranamente en el cuerpo blando debido a que la pérdida de peso se ve reflejada en forma más inmediata en la masa corporal.

Ahumada-Sempual *et al.* (2002) realizaron un trabajo con *A. maura* en el medio natural con biología reproductiva durante un ciclo anual en Oaxaca. Encontró que los organismos de esta especie se reproducen casi todo el año, con dos periodos reproductivos importantes, uno de abril a julio y el otro de octubre a noviembre, además de pasar por un

periodo de reposo que comprende de agosto a septiembre. Nuestro estudio coincide con ambos períodos reproductivos mencionados.

El ciclo reproductivo tiene una relación directa con el índice gonadosomático e inverso con el índice de rendimiento muscular, es decir, en procesos reproductivos el IRM tiende a disminuir, por lo tanto disminuye el peso fresco del músculo aductor.

Singh y Michel (2002), realizaron un trabajo con *P. rugosa* en el medio natural con aspectos biológicos durante un ciclo anual en la Bahía Concepción en B.C.S. Mencionan que el índice de rendimiento muscular varía dependiendo la época del año en que lo capturen, con valores bajos de 12-16 % IRM en los meses de julio y octubre, en cambio en los meses de febrero y mayo registran índices mayores de 18-22 % IRM. Los índices de mayor y menor rendimiento coinciden con las fases previas y posteriores al desove respectivamente. Esto último coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Con respecto al índice de rendimiento muscular observado en el presente estudio coincide con lo mencionado por Singh y Michel (2002) y con Ahumada-Sempual *et al.* (2002) ya que en los meses que se detectaron el inicio de los primeros desoves de abril a junio del 2009), el IRM se encontraba con un valor bajo.

Blake (1972), encontró que bivalvos pectínidos, acumulan en el músculo aductor proteínas y glucógenos que intervienen en los procesos reproductivos, los cuales utilizan durante el desarrollo de la madurez sexual y el desove, lo que hace que disminuya el peso del músculo aductor. Crosby y Gale (1990) hicieron una revisión y evaluación del índice de condición en bivalvos y consideraron que el índice de rendimiento muscular para callo de hacha puede considerarse como una buena medida de condición, ya que presenta una amplia diferencia entre organismos sin reservas y con reservas de glucógeno, al ser el músculo aductor donde se acumula la mayor parte de su energía en forma de glucógeno, de

tal manera que al incrementar sus reservas el músculo incrementará su peso con relación al cuerpo blando.

Al respecto, se puede mencionar que los registros realizados tanto para el peso del músculo aductor como para el índice de rendimiento pueden ser usados con fines prácticos para el manejo en la acuicultura durante el proceso de acondicionamiento de los reproductores. Ahumada-Sempual *et al.* (2002) observó por única ocasión un ejemplar hermafrodita en la etapa de postdesove (septiembre) con gametos tanto masculinos como femeninos. En el presente estudio se encontró un organismo hermafrodita en el mes de mayo de 2009.

La mortalidad que se presentó en el Estero La Cruz puede explicarse o asociarse a movimientos de sedimentos por efecto de las corrientes de mareas, ya que se observó que los juveniles se encontraban cubiertos por sedimentos y en otras ocasiones desenterrados hasta la mitad del cuerpo de la concha. Ambas situaciones fueron adversas para los juveniles. Cuando se desentierran los callos es desfavorable para ellos ya que los depredadores oportunistas como jaibas y cangrejos aprovechan esta situación para alimentarse de ellos.

VIII. CONCLUSIONES

Con base a los resultados que fueron presentados en este trabajo se mencionan las siguientes conclusiones:

El cultivo de *Atrina maura* en la Bahía Kunkaak se realizó con éxito, en donde presentó un mejor desempeño con respecto a la engorda del Estero La Cruz. Este mejor desempeño en la Bahía Kunkaak puede explicarse debido a las condiciones ambientales y a los parámetros biológicos (alimento natural) que prevalecieron en ese ambiente. Sin embargo en el Estero La Cruz solamente permaneció durante dos meses de cultivo (abril y mayo del 2008).

Se encontró que el crecimiento de *Atrina maura* en la Bahía Kunkaak, en longitud total y ancho total de la concha para el primer año (11 meses) tuvo un crecimiento acelerado con un incremento promedio mensual de 20.76 mm (LT) y 10.58 mm (AT). Para el segundo año se estabilizó su crecimiento.

El músculo aductor de *Atrina maura* alcanzó a los 17 meses de engorda un peso máximo promedio de 21.44 g con un incremento promedio mensual de 2.6 g. Con ese crecimiento se obtuvo un rendimiento de 1 kg de músculo por 47 organismos con una longitud total de 194.6 ± 4.9 mm.

El índice de rendimiento muscular presentó amplias variaciones entre los meses de cada año, estas variaciones fueron asociadas a eventos de procesos reproductivos donde los

índices de mayor y menor rendimiento coinciden con las fases previas y posteriores al desove respectivamente. Esto también se observó en el comportamiento del músculo aductor, cuerpo blando y peso fresco total de *Atrina maura* los cuales crecieron sin detenerse hasta los 17 meses de cultivo y posteriormente disminuyeron, debido a aspectos ambientales combinados con procesos de reproducción.

La calidad del agua en la Bahía Kunkaak presentó condiciones más estables en las variables fisicoquímicas y con una mejor disponibilidad y calidad del alimento natural. Sin embargo, en el Estero La Cruz se presentaron condiciones más extremas que en la Bahía Kunkaak, el oxígeno disuelto, salinidad, sólidos suspendidos totales, materia orgánica, sólidos inorgánicos y clorofila *a*, fueron los parámetros que más amplitud de variación presentaron. El oxígeno disuelto en el Estero La Cruz llegó a niveles de hipoxia al amanecer en los meses cálidos. En ambos ambientes la temperatura y pH permanecieron similares.

IX. RECOMENDACIONES

Llevar a cabo más investigaciones sobre el cultivo de *Atrina maura* en diferentes ambientes costeros a escala semi-comercial para evaluar su viabilidad.

Realizar estudios sobre la biología reproductiva de *Atrina maura* en condiciones de cultivo, conjuntamente con la medición del índice de rendimiento muscular, ya que este último es un parámetro que registra más cercanamente los cambios fisiológicos de *A. maura* durante su crecimiento.

Realizar una primera pre-cosecha a los 17 meses de engorda ya que en ese período alcanza su talla comercial, que es cuando en el músculo aductor presenta su máximo crecimiento.

Se recomienda cultivar *Atrina maura* bajo un esquema de dos fases diferentes donde se considere una etapa de pre-engorda y otra de engorda.

Se recomienda que la etapa de pre-engorda de *Atrina maura* se lleve a cabo en un cultivo en suspensión, hasta que los juveniles alcancen una longitud total entre 70 y 80 mm para asegurar una mayor supervivencia.

Se recomienda que se realicen estudios sobre densidades de siembra de *Atrina maura* tanto para la fase de pre-engorda como para engorda.

Llevar a cabo estudios donde se consideren aspectos sobre la supervivencia relacionada con los depredadores de *Atrina maura*.

Se recomienda que las estructuras durante la etapa de engorda de *Atrina maura* incluyan protección contra los depredadores, para asegurar una mayor supervivencia. Asimismo antes de realizar la siembra en las estructuras, esperar un tiempo para que éstas permitan la estabilización del sedimento.

X. LITERATURA CITADA

- Ahumada-Sempoal, M. A., S. J. Serrano-Guzmán y N. Ruíz-García. 2002. Abundancia, estructura poblacional y crecimiento de *Atrina maura* (Bivalvia: Pinnidae) en una laguna costera tropical del Pacífico mexicano. *Rev. Biol. Trop.* 50 (3/4): 1091-1100.
- Ángel-Pérez, C., S. J. Serrano-Guzmán y M. A. Ahumada-Sempual. 2007. Ciclo reproductivo del molusco *Atrina maura* (Pterioidea:Pinnidae) en un sistema lagunar contero, al sur del Pacífico tropical mexicano. *Rev. Biol. Trop.*, Vol. 55 (3-4):839-852.
- Arreola-Lizárraga, J. A. 2003. Bases de manejo costero: Patrones ecológicos en la laguna costera Las Guásimas, Territorio Yaqui, México. Tesis de Doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, B.C.S., México, 60 pp.
- Arizpe C. O. y U. R. Félix. 1985. Crecimiento de *Pinna rugosa* (Sowerby, 1835) en la Bahía de la Paz, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B.C.S. México.* 13 (2):167-172.
- Arizpe, C. O. 1995. Mortality, growth and somatic secondary production of the bivalve, *Pinna rugosa* (Soverby), in supended and bottom culture in Bahia de La Paz, Mexico. *Aquaculture Research*, 26, 843-853.
- Barnes, R. D. y E. E. Ruppert. 1996. *Zoología de los invertebrados*. Sexta edición. McGraw-Hill Interamericana. pp. 365-370, 425-450.
- Barraza-Guardado, R. H. y H. M. Atilano-Silva. 1999. Estudio sobre la calidad biológica y fisicoquímica del agua de agua de mar utilizada para la pre-engorda de semilla comercial de moluscos bivalvos en el centro reproductor de especies marinas del estado de Sonora (CREMES) en Bahía de Kino, Sonora. *Informe Técnico Final*.

- Clave DICME96-04I. DICTUS-UNISON-Instituto de Acuicultura del Estado de Sonora OPD. pp 61.
- Barraza-Guardado, R.H., R. Cortés-Altamirano y A. Sierra-Beltrán .2004. Marine die-offs from *Chattonella marina* and *Ch. Cf. ovata* in Kun Kaak Bay, sonora in the Gulf of California. Harmful Algae News No. 25. An IOC Newsletter on toxic algae and algal blooms. The Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. 7-8 p.
- Barraza-Guardado, R. H., J. Chávez-Villalba, H. M. Atilano-Silva y F. J. Hoyos-Cháirez. 2009. Seasonal variation in the condition index of Pacific oyster postlarvae (*Crassostrea gigas*) in a land-based nursery in Sonora, Mexico. Aquaculture Research. 40:118-128.
- Barraza-Guardado, R. H., M. A. López-Torres, J. A. Cruz-Varela, A. Miranda-Baeza y A. Arreola-Lizárraga. 2009. Caracterización y dispersión de los componentes de la calidad del agua en un dren colector de aguas residuales de granjas camaronícolas en Bahía de Kino, Sonora. *Informe Técnico Final*. Clave: ICDSI0801I. Universidad de Sonora, DICTUS. Hermosillo, Sonora, México. 41 pp.
- Barraza-Guardado, R. H. 2010. Apuntes básicos para el: Curso introductorio al monitoreo de variables ambientales en los cuerpos de agua costeros destinados para el cultivo de moluscos bivalvos. Dictus Unison - IAES, Ocean Revolution y Comca'AC Native Aquaculture. Hermosillo, Sonora, México. 22 pp.
- Barillé, L., J. Prou., M. Héral y D. Razet. 1997. Effects of high natural seston concentration on the feeding selection, and absorption of the oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 212:149-172.
- Blake, N. J. 1972. Neurosecretion and reproductive activity in the bay scallops, *Aequipecten irradians* Lamarck. Ph.D. dissertation, University of Rhode Island, Kingston, Rhode Island. 161 pp.

- Bricelj, M. V. y S. Shumway. 1991. Physiology: energy acquisition and utilization. In: Shumway, S.E. (Ed.), *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. Elsevier, Amsterdam, pp. 305–376.
- Bricelj, M. V. y S. Shumway. 1991. Physiology: energy acquisition and utilization. In: Shumway, S.E. (Ed.), *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. Elsevier, Amsterdam, pp. 305–376.
- Broom, M. J. y J. Mason. 1978. Growth and spawning of the pectinid *Chlamys opercularis* in relation to temperature and phytoplankton concentration. *Mar. Biol.* 47:277-285.
- Brusca, R. C. y G. J. Brusca. 2003. *Invertebrates*. Second Edition. Sinauer Assoc. Inc. Publ. Sunderland, Massachussets. pp. 712.
- Carranza, A. M., E. Gutiérrez y R. Rodríguez. 1975. Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. *An. Cent. Cienc. Del Mar y Limnol.* UNAM 2 (1): 81-88.
- Cardoza-Velasco, F. 2002. Panshell aquaculture in Northwestern Mexico: the effect of tidal height and density on growth of *A. maura*, (Sowerby, 1835) cultured in bottom plots. <http://socrates.edsc.ulst.ac.uk/bull/bull31/cardoza.html>.
- Cardoza-Velasco, F. y A. N. Maeda-Martínez. 1997. An approach to aquacultural production of the panshell *Atrina maura* Sowerby, 1835 (Bivalvia: Pinnidae) in Northwest Mexico. *Journal of Shellfish*, 16: 311.
- Castro-Longoria, R. y J. M. Grijalva-Chon. 1992. Variabilidad espacio-temporal de nutrientes y séston en la laguna costera La Cruz, Sonora. *Ciencias Marinas*, 17 (2): 83-97.

- Castillo-Durán, J. A. 2007. Influencia de la variabilidad ambiental de una laguna costera semiárida subtropical en el desarrollo de los ostiones, *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) y *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951), bajo condiciones de cultivo. Tesis de Maestría. DICTUS, Universidad de Sonora. 51pp.
- Chávez-Villalba, J., M. R. López-Tapia, J. M. Mazón-Suástegui y M. Robles-Mungaray. 2005. Growth of the oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) in Sonora, México. *Aquaculture Research* 36:1337-1344.
- Chávez-Villalba, J., R. Villelas-Ávila y C. Cáceres-Martínez. 2007. Reproduction, condition and mortality of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) in Sonora, México. *Aquaculture Research* 38:268-278.
- CNP, 2004. Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Segunda sección. (http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_parte_1_)
- Colt, J. E. 1983. The computation of dissolved gas levels as a function of temperature, salinity, and pressure. *Water Res.* 17(8):841–849.
- Contreras, E. F. 1984. Manual de técnicas hidrobiológicas. UAM-IZTAPALAPA. 129 pp.
- Contreras, F. 1985. Las lagunas costeras mexicanas. Centro de Ecodesarrollo, secretaria de pesca .México D. F. 253 pp.
- Conover, W. J. 1980. *Practical Nonparametric Statistical*. 2ª Ed. John Wiley y Sons, New York. 493 pp.
- Coronel, J. S. 1981. Estudio gonadal de *Pinna rugosa* (Sowerby, 1835) Pinnidae, Mollusca, en el período comprendido entre agosto de 1979 y diciembre de 1980 en la Bahía de

- La Paz. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Baja California Sur, México. 36 p.
- Crosby, M.P. y L.D. Gale. 1990. A review and evaluation of bivalve condition index methodologies with a suggested standard method. *Journal of Shellfish Research* 9:233-237.
- De La Lanza-Espino, G. 1990. Algunos conceptos sobre hidrología y calidad del agua. En: *La acuicultura en México: de los conceptos a la producción*. Comps.: De La Lanza-Espino, G. y Arredondo-Figueroa, J. L. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 315 p.
- De La Lanza-Espino, G. 1994. Química de las lagunas costeras y del litoral mexicano. En: *Lagunas costeras y el Litoral mexicano*. Eds. De La Lanza-Espino G. y Cáceres-Martínez, C. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Baja California Sur. 525p.
- Emerson, C.W., J. Grant, A. Mallet y C. Carver. 1994. Growth and survival of sea scallops *Placopecten magellanicus*: effects of culture depth. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 108:119-132.
- FAO, 2006. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2004. Roma 179 pp.
- Fischer W., F. W. Krupp, C. Sommer, K. E. Carpenter y V. H. Niem. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Plantas e invertebrados. Roma FAO. Vol. I: 175 pp.
- Góngora-Gómez, A. M. 2010. Cultivo del hacha china *Atrina maura* (Sowerby, 1835) en un sistema de suspensión y parques e Bahía Ensenada de Pabellones, Navolato, Sinaloa. Resúmenes del XII Congreso de la Asociación del Mar de Cortés y VI Simposium Internacional sobre el Mar de Cortés. Guaymas, Sonora, México, del 2 al 5 de marzo. p 33.

- González-Corona, M. E. (2003). Estudio de la fisiología reproductiva y gametogénesis del Callo de Hacha, *Atrina maura*, (Sowerby, 1835). Tesis de maestría. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México. 98 pp.
- Grijalva-Chon, J. M. y R. H. Barraza-Guardado 1992. Distribución y abundancia de las postlarvas y juveniles de los camarones del género *Penaeus* en Bahía de Kino y laguna La Cruz, Sonora, México. *Ciencias Marinas*, 18(3): 153-169.
- Harvey, F. 1955. The chemistry and fertility of sea waters. Cambridge University Press. Londres, Inglaterra. 224 p.
- Instituto de Acuicultura del Estado de Sonora (IAES). 2007. Determinación de agentes causales de mortalidad en los cultivos del ostión japonés *Crassostrea gigas* de las costas de Sonora. Informe Técnico Final UNISON-CIBNOR-CIAD-CEDOCESUES-COSAES. 142 pp.
- Instituto de Acuicultura del Estado de Sonora (IAES). 2009. Estudio de la viabilidad productiva de otras especies de moluscos bivalvos para el estado. Programa de vinculación productiva 2008. SAGARPA-CONAPESCA. 59 pp.
- Lankford, R. R. 1977. Coastal lagoon of Mexico. They origen and classification . En: Wiley, M. (Ed.). *Estuarine Processes*. Academic Press Inc. 182-215.
- Leal-Soto, S. D., R. Castro-Longoria y R. H. Barraza-Guardado. 2010. Ampliación del nuevo registro geográfico del callo de hacha *Atrina oldroydii* (Dall, 1901) al Golfo de California. Resúmenes del XII Congreso de la Asociación de Investigadores del Mar de Cortés y VI Simposium Internacional sobre el Mar de Cortés. Guaymas, Sonora, México del 2 al 5 de marzo.

- Miranda-Baeza, A. 1995. El callo de hacha, un molusco con gran potencial en acuicultura. *Panorama Acuícola*, Vol. 1, No. 6.
- Moreno, C., J. Torre, L. Bourillón, M. Durazo, A. H. Weaver, R. Barraza y R. Castro. 2005. Estudio y evaluación de la pesquería de callo de hacha (*Atrina tuberculosa*) en la Región de Bahía de Kino, Sonora y Recomendaciones para su Manejo. *Comunidad y Biodiversidad*, A.C. Reporte interno. 27 pp.
- Moreno, C., A. Weaver, L. Bourillón, J. Torre, J. Egidio y M. Rojo. 2005. Diagnóstico ambiental y socioeconómico de la región marina-costera de bahía de Kino, Isla Tiburón, Sonora, México: Documento de trabajo y discusión para promover un desarrollo sustentable. *Comunidad y Biodiversidad*, A. C. Guaymas, Sonora, México. 88pp.
- Nieblas-Larreta, J. L. 2006. Maduración, desove y desarrollo larvario del callo de hacha, *Atrina tuberculosa*, (Sowerby, 1835) bajo condiciones de laboratorio. Tesis de maestría Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México. 2-15 p.
- Paredes-Romero, G. I. y M. A. López-Torres. 1988. Comportamiento de parámetros hidrobiológicos y de productividad orgánica primaria en un sistema lagunar del Estado de Sonora. Tesis profesional. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México. 165 pp.
- Parsons, T.R., Y. Maita y C. M. Lalli. 1984. *A Manual Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press. New York. 173pp.
- Pastén-Miranda, N. y R. H. Barraza-Guardado. 1987. Ciclo anual del plancton en bahía de Kino, Sonora. Informe Técnico Final. Clave: PCMABNA-020109. *Dictus*, Universidad de Sonora-Conacyt. Hermosillo, Sonora, México. 65 pp.

- Riley, J. P. y R. Chester. 1973. Introduction of Marine Chemistry. Academic Press Inc. Britain. p 446.
- Roden, G. I. y I. Emilsson 1980. Oceanografía física del Golfo de California. Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM Contribución No. 90, 67 pp.
- Serrano-Guzmán, S. L., M. N. Vite-García, A. Cuevas-Aguirre y D. Salinas-Ordaz. 2004. Adaptación tecnológica para el cultivo de ostión *C. gigas* en la costa del Pacífico tropical mexicano. Panorama Acuícola Magazine. p 45.
- Singh-Cabanillas, J. y E. Michel-Guerrero. 2002. Aspectos biológicos del callo de hacha, *Pinna rugosa* Sowerby, 1835, en Bahía Concepción, B.C.S. En: Mem. I Foro Científico de Pesca Ribereña. 17-18 de Octubre. INP CRIP Guaymas, Sonora, México.
- Strickland, J. D. H. y T. R. Parson. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Second Edition. Fish. Res. Board Canada Bulletin, Ottawa, Canada. 167 pp.
- Thurston, R. V., R. C. Russo, C. M. Jr. Felterolf, T. A. Edsall y M. Y. Jr. Barber, (Eds.). 1979. A review of the EPA Red Book: Quality criteria for water. Water Quality Section, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 313 pp.
- Vahl, O. 1980. Seasonal variations in seston and in the growth rate of the Iceland scallop, *Chlamys islandica* (O. F. Müller) from Balsfjord, 70°N. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 53:281-296.
- Vélez-Barajas, J. A. y M. Fajardo-León. 1996. Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur. Casas-Valdez, M. y G. Ponce-Díaz (Eds.). Secretaria de Pesca. 1994. Atlas pesquero de México. INP, pp. 101-110.

- Vélez-Barajas, J. A. y M. C. Fajardo-León. 1996. Pesquería de hacha. In: M. Casas-Valdez and G. Ponce-Díaz (Eds.). Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur. CIBNOR. La Paz, pp. 101-111.
- Velasco, L. A. y J. M. Navarro. 2003. Energetic balance of infaunal (*Mulinia edulis* King, 1831) and epifaunal (*Mytilus chilensis* Hupé, 1854) bivalves in response to wide variations in concentration and quality of seston. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 296:79-92.
- Villalejo-Fuente, M., B. P. Ceballos-Vázquez y F. García-Domínguez. 1996. Reproductive cycle of *Laevicardium alatum* (Sowerby, 1833) (Bivalvia: Cardiidae) in Bahía Concepción, Baja California Sur, Mexico. *Shellfish Res.* 15: 741-745.
- Wallace J.C. y T. G. Reinsnes. 1985. The significance of various environmental parameters for growth of the Iceland scallop, *Chlamys islandica* (Pectinidae), in hanging culture. *Aquaculture* 44:229-242.
- Wetzel R. G. 1983. *Limnology*. Saunders, Philadelphia, Pennsylvania, 456 pp.
- Zar, J. H. 1996. *Biostatistical Analysis*. 3^a Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J. 662 pp.