

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT

AREA DE CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT



SISTEMA DE ESCUELAS

Crecimiento y ciclo reproductivo de la concha nácar

Pteria sterna (Gould 1851), cultivada en la

Bahía de Acapulco, Guerrero, México

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta

MA. IRENE SERNA GALLO

Tepic, Nayarit, diciembre de 2011

Tepic, Nayarit. A 17 de Noviembre de 2011.

Dr. Juan Diego García Paredes
Coordinador del Posgrado CBAP-UAN
P R E S E N T E

Los que suscribimos, integrantes del Consejo Tutorial de la C. MA. Irene Serna Gallo, declaramos que hemos revisado la tesis titulada "Crecimiento y ciclo reproductivo de la concha nácar *Pteria sterna* (Gould, 1851) cultivada en la Bahía de Acapulco, Guerrero, México" y hemos determinado que la tesis puede ser presentada por la alumna para aspirar al grado de Maestría en ciencias Biológicas Agropecuarias con opción terminal en Ciencias Pesqueras.

Atentamente
EL CONSEJO TUTORIAL



Dr. Pedro Enrique Saucedo Lastra
Codirector

Dr. Emilio Peña Messina
Codirector

Dr. Javier Marcelo de Jesús Batz
Velasco Arce
Asesor

Dr. José Trinidad Nieto Navarro
Asesor



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
ÁREA DE CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS Y PESQUERA
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

CBAP/345/11

Xalisco, Nayarit., 05 de diciembre de 2011

Ing. Alfredo González Jáuregui
Director de Administración Escolar
Presente.

Con base al oficio de fecha 17 de noviembre de 2011, enviado por los CC. Dr. Pedro Enrique Saucedo Lastra, Dr. Emilio Peña Messina, Dr. Javier Marcial de Jesús Ruiz Velazco Arce, y Dr. José Trinidad Nieto Navarro, donde se nos indica que el trabajo de tesis titulado "Crecimiento y ciclo reproductivo de la concha nácar *Pteria sterna* (Gould, 1851) cultivada en la Bahía de Acapulco, Guerrero, México," cumple con lo establecido en forma y contenido, debido a que ha cumplido con los demás requisitos que pide el Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Nayarit, se autoriza a la C. Ma. Irene Serna Gallo, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado de Maestría.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente

"Por lo Nuestro a lo Universitario"

Dr. J. Diego García Paredes

Coordinador del Posgrado



C.c.p.-Minutario.
C.c.p.-Expediente.
ref.

AGRADECIMIENTOS

Quiero comenzar agradeciendo al Dr. J. Diego García Paredes, por todo el apoyo brindado desde el inicio de esta aventura, ya que sin su asesoría y apoyo incondicional no hubiera logrado integrarme al posgrado.

A las autoridades del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada que me permitió concluir con esta meta.

Al Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Guerrero, en su convocatoria 2008-01, apoyando el proyecto de investigación titulado "*Posibles Factores Físico Químicos y Biológicos que Influyen en el Crecimiento y Supervivencia de la ostra perlera *Pteria sterna* mantenida en cultivo extensivo en la Bahía de Acapulco, Guerrero*", del cual se derivó el presente proyecto de investigación.

Así mismo agradezco a la M.C. María Guadalupe Torres Zepeda, por permitirme ser parte del proyecto, y profa, muchas gracias por su apoyo, honestamente la aprecio mucho.

Al director de este trabajo Dr. Pedro E. Saucedo Lastra, por el apoyo, los consejos, la orientación y paciencia que tuvo conmigo, de verdad muchas gracias porque no solo fue el director de esta tesis si no un gran guía y amigo a quien admiro, respeto y quiero por ser una persona noble, comprensiva y protector. Gracias por confiar en mí, lo echare de menos doc.

A la generación 2006-2011, de la Unidad Académica de Ecología Marina (U.A.E.M.) Rondin, César, Omar, Aldo, Citlali y Oscar, chavos gracias por la gran ayuda al momento de realizar el registro de biometrías, y es un placer haberlos conocido y ahora ser amigos.

Al laboratorio de Histología e Histoquímica del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), por las facilidades para llevar a cabo el análisis histológico de este trabajo. Especialmente a la M. en C. María del Carmen Rodríguez Jaramillo y a la Sra. Eulalia, por el apoyo, asesoría, disponibilidad y paciencia.

A mis asesores:

Dr. Javier Marcial de Jesús Ruiz Velazco Arce, por las recomendaciones, apoyo y disponibilidad para enriquecer este trabajo.

Dr. Emilio Peña Messina, por las recomendaciones realizadas a este trabajo.

Dr. Leonardo Martínez Cárdenas, Por sus valiosas aportaciones y por tener siempre tiempo para responder mis dudas, así como a su esposa Edna, es un placer conocerlos y seguro extrañaré las salidas a pescar, las cocas y las paletas.

Dr. José Trinidad Nieto Navarro, por los comentarios acertados en cada revisión y seminario. Cada seminario me hacía sufrir pero de verdad gracias.

A mi gran amiga Norma, por tus consejos y tus palabras de aliento, amiga gracias por ser parte de esta aventura.

A mis amigos que radican en La Paz, B.C.S., Miguel Ángel y Elvira, por darme acilo cada que tenia que viajar a esa ciudad, eso siempre ha sido un gran apoyo moral y económico, los quiero mucho y gracias por hacerme sentir en casa cuando estoy tan lejos de ella.

A los amigos que conocí durante mis estancias en el CIBNOR, Fercho y Martha, increíble que en tan poco tiempo hicimos muy buena química y lo mejor creo que somos un buen equipo.

A todos los profesores de la U.A.E.M., porque en cada visita a esa escuela todos tenían un buen consejo para mí, disculpen que no escriba sus nombres pero si lo hago tengo el riesgo de omitir algún nombre y no quiero que eso suceda.

Al cuerpo académico del laboratorio de ecología costera y sustentabilidad, de la Unidad Académica de Ecología Marina (UAEM), Dr. Sergio; gracias por tus asesorías y disponibilidad de tiempo para orientarme, Dr. Pedro y Dr. Rafael.

A la gran familia Bautista Covarrubias, gracias por abrirme las puertas de su hogar, pero sobre todo gracias por abrirme sus corazones, especialmente a la matriarca de esta bella y gran familia Sra. María Eugenia (Mamá-Cuca) y su hijo Juan Carlos, ya que por ustedes comenzó mi integración a su preciosa familia. Gracias por hacerme sentir en casa y en familia. Así mismo a la Sra. Mary por quererme y permitirme ser su amiga; sinceramente, los llevo en el corazón y siempre los recordaré.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABLAS	vi
RESUMEN	vi
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
2.1. Clasificación taxonómica de <i>P. sterna</i>	2
2.2. Características generales de los bivalvos con énfasis en <i>P. sterna</i>	3
2.3. Estudios sobre crecimiento en ostras perleras	4
2.4. Estudios sobre reproducción de ostras perleras con énfasis en <i>P. sterna</i>	6
2.5. Modelos de crecimiento para organismos utilizados en acuicultura	8
III. HIPOTESIS	10
IV. OBJETIVO GENERAL	10
4.1. Objetivos específicos	11
V. MATERIALES Y MÉTODOS	12
5.1. Área de estudio	12
5.2. Obtención y manejo de organismos	14
5.3. Registro de temperatura y clorofila <i>a</i>	15
5.4. Biometrías	15
5.5. Crecimiento y modelos de crecimiento	17
5.5.1. Relaciones alométricas	17
5.5.2. Modelos de crecimiento	18
5.6. Actividad reproductiva	20
5.7. Tratamiento estadístico de los datos	23
VI. RESULTADOS	25
6.1. Normalidad y homocedasticidad de los datos	25
6.2. Variación en la temperatura y contenido de clorofila <i>a</i>	25
6.3. Crecimiento absoluto	26
6.4. Mortalidad	32
6.5. Tasa de crecimiento	33

6.6. Relaciones alométricas.....	37
6.7. Modelos de crecimiento.....	39
6.8. Reproducción	41
6.8.1. Índice de condición.....	50
6.8.2. Talla de primera madurez.....	52
6.8.3. Diámetro de los ovocitos	55
VII. DISCUSIÓN.....	58
7.1. Crecimiento	58
7.2. Modelos de crecimiento.....	61
7.3. Relaciones alométricas.....	63
7.4. Reproducción	64
VIII. CONCLUSIONES.....	68
8.1. Crecimiento	68
8.2. Reproducción	69
IX. RECOMENDACIONES	70
X. LITERATURA CITADA	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Microlocalización del área de estudio.....	13
Figura 2. Actividades realizadas en campo con los organismos de <i>P. sterna</i> . Foto tomada por: Serna-Gallo, 2010. A. Limpieza de organismos con agua a presión, B. Limpieza de canastas, C. Organismos en formol y D. Sistema de cultivo de línea en suspensión.....	15
Figura 3. Medidas morfométricas de <i>P. sterna</i> . Foto tomada por: Serna-Gallo, 2010. A. Altura, B. Longitud y C. Grosor.....	16
Figura 4. Proceso histológico para llevar a cabo el análisis cuantitativo del ciclo reproductivo de <i>P. sterna</i> . A Inclusión en parafina, B Corte, C Obtención de laminilla y D Organismo hermafrodita.....	23
Figura 5. Variación de la temperatura del agua y concentración de clorofila a en el área de cultivo de <i>P. sterna</i> en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.....	26
Figura 6. Incremento de la altura en la concha de <i>P. sterna</i> , en cultivo de suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual. Se muestran los valores promedio \pm de DS.....	27
Figura 7. Análisis de regresión entre altura de la concha de <i>P. sterna</i> con la temperatura del agua (a) y clorofila a (b), en la Bahía de Acapulco, Gro. a lo largo de un ciclo anual.....	28
Figura 8. Promedio anual del incremento en la longitud de la concha de <i>P. sterna</i> , mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro. a lo largo de un ciclo anual. Se muestran los valores promedio \pm de DS.....	29
Figura 9. Promedio anual del incremento en el grosor de la concha de <i>P. sterna</i> , mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual. Se muestran los valores promedio \pm de DS.....	30
Figura 10. Promedio anual del incremento en el peso húmedo de los tejidos de <i>P. sterna</i> , mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro. a lo largo de un ciclo anual. Se muestran los valores promedio \pm de DS.....	31
Figura 11. Relación entre el peso húmedo de <i>P. sterna</i> con la temperatura (a) y clorofila a (b), mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.....	32
Figura 12. Mortalidad de <i>P. sterna</i> , mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.....	33
Figura 13. Relación de la tasa de crecimiento en la altura de la concha de <i>P. sterna</i> , mantenida en cultivo en suspensión y la temperatura del agua de mar en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.....	34
Figura 14. Tasa de crecimiento en la longitud de la concha de <i>P. sterna</i> , mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.....	35

Figura 15. Tasa de crecimiento del grosor de la concha de <i>P. sterna</i> , mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.....	36
Figura 16. Tasa de crecimiento del peso de la concha de <i>P. sterna</i> , mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.....	37
Figura 17. Relación entre la altura y la longitud de la concha de <i>P. sterna</i> , en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.....	38
Figura 18. Relación entre la altura y el grosor de la concha de <i>P. sterna</i> , en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual....	38
Figura 19. Relación entre la altura de la concha y peso de los organismos de <i>P. sterna</i> , mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.....	39
Figura 20. Ajuste de los modelos de von Bertalanffy (a) y el modelo propuesto (b) para describir el crecimiento de <i>P. sterna</i> en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro.....	40
Figura 21. Ajuste del modelo de crecimiento en peso húmedo de <i>P. sterna</i> en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro.....	41
Figura 22. Ciclo reproductivo anual de la concha de <i>P. sterna</i> , mantenida en cultivo intensivo dentro de la Bahía de Acapulco, Gro.....	42
Figura 23. Microfotografía (10X) de una gónada de <i>P. sterna</i> en etapa de indiferenciación, (A) ovogénesis y (B) espermatogénesis.....	43
Figura 24. Microfotografía (10X) de una gónada femenina de <i>P. sterna</i> en etapa de desarrollo activo (ovogénesis).....	44
Figura 25. Microfotografía (10X) de una gónada masculina de <i>P. sterna</i> en etapa de desarrollo (espermatogénesis).....	45
Figura 26. Microfotografía (10X) de una gónada femenina de <i>P. sterna</i> en etapa de madurez.....	46
Figura 27. Microfotografía (10X) de una gónada masculina de <i>P. sterna</i> en etapa de madurez.....	47
Figura 28. Microfotografía (10X) de una gónada femenina de <i>P. sterna</i> en etapa de desove.....	48
Figura 29. Microfotografía (10X) de una gónada masculina de <i>P. sterna</i> en etapa de desove.....	48
Figura 30. Microfotografía (10X) de una gónada femenina <i>P. sterna</i> en etapa de post-desove.....	49
Figura 31. Microfotografía (10X) de una gónada masculina <i>P. sterna</i> en etapa de post-desove.....	50

Figura 32. Variación del índice de condición de <i>P. sterna</i> en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual y su relación con la temperatura del agua y concentración de clorofila <i>a</i> .	51
Figura 33. Variación del índice gonádico de <i>P. sterna</i> cultivada en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual y su relación con la concentración de clorofila <i>a</i> (a) y temperatura del agua (b).	52
Figura 34. Talla de primera madurez en hembras de <i>P. sterna</i> mantenida en cultivo en la Bahía de Acapulco, Gro.	53
Figura 35. Talla de primera madurez en machos de <i>P. sterna</i> mantenida en cultivo en la Bahía de Acapulco, Gro.	53
Figura 36. Proporción sexual anual de la concha nácar <i>P. sterna</i> , mantenida en cultivo en la Bahía de Acapulco, Gro.	54
Figura 37. Microfotografía (10X) de un organismo hermafrodita de <i>P. sterna</i> en el que se observan ovocitos residuales y espermatozoides en proceso de desarrollo.	55
Figura 38. Variación temporal del área de los ovocitos de <i>P. sterna</i> mantenida en cultivo en la Bahía de Acapulco, Gro. a lo largo de un ciclo anual. Se presentan valores promedio \pm error estándar (ES).	56
Figura 39. Variación temporal de la frecuencia de ocurrencia de los diferentes tipos de ovocitos de <i>P. sterna</i> mantenida en cultivo en la Bahía de Acapulco, Gro.	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de <i>P. sterna</i>	2
Tabla 2. Resultados de las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas de K-S y Levene, respectivamente para describir el crecimiento en altura, longitud, grosor y peso de organismos silvestres de <i>P. sterna</i>	25
Tabla 3. Variación de la temperatura y clorofila <i>a</i> del área de cultivo	25
Tabla 4. Valores de R y suma de cuadrados residual (SMR) de cada uno de los modelos	40

RESUMEN

En este estudio, se describe el crecimiento y ciclo reproductivo de la concha nácar (*Pteria sterna*), durante un ciclo anual, en condiciones de cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Guerrero. Para el análisis del ciclo reproductivo se analizaron mensualmente 20 muestras de gónadas, las cuales fueron procesadas histológicamente. Se describió el ciclo reproductivo anual de *P. sterna* y se analizó la variación de la proporción sexual con relación a la talla de los organismos y al tiempo. Posteriormente se analizó la talla de primera madurez y se determinó la proporción sexual y se analizó la variación del tamaño de los ovocitos. Mensualmente, se registró el crecimiento de los organismos, así como los factores ambientales (temperatura y la clorofila *a*); con la base de datos generada se calculó la tasa de incremento mensual, se realizaron análisis de regresión para saber si existe relación entre la temperatura del agua de mar y la clorofila *a* con el crecimiento de la concha y con el ciclo reproductivo de la especie. Se evaluó el tipo de crecimiento de la concha analizando las relaciones altura-longitud, altura-grosor y altura-peso; así mismo se realizaron análisis de regresión y se comparó el resultado con el modelo de von Bertalanffy con el modelo que se propone en este estudio, el cual es para ajustar mejor los patrones de crecimiento de *P. sterna* en condiciones de cultivo. La supervivencia fue alta durante el ciclo de cultivo (92.9%). Los resultados mostraron que después de un ciclo anual de cultivo *P. sterna* presenta un crecimiento exponencial en la altura y longitud de la concha de 4.7 cm, en un rango de tallas de 1.31 cm (inicial) y 6.22 cm (final). La variación en la temperatura promedio del agua en el sitio de estudio fue de 5-6 °C entre el pico del verano (30.5 °C) y el valor mínimo de invierno (25 °C). El análisis de crecimiento entre la altura de la concha y la temperatura del agua fue inversamente proporcional, mientras que para el caso de la clorofila *a* fue directamente proporcional. La tasa de crecimiento fue mayor (0.09 cm/mes) en los meses de marzo y mayo 2009, cuando la temperatura alcanzó los valores más bajos (25 °C) mientras que la más baja fue (0.01 cm/meses) en los meses de julio

a septiembre, cuando la temperatura del agua alcanzó los valores más altos (30.5 °C). Con el modelo propuesto se estimaron los valores de L_t y K para describir un caso típico de crecimiento exponencial, sin presencia de una asíntota que implique que los juveniles disminuyen su tasa de crecimiento, pues aún se encuentran en la fase de crecimiento activo. Se observó un crecimiento alométrico negativo entre altura-longitud (0.0345) y altura-peso (2.5882). El análisis histológico reveló que *P. sterna* presenta una actividad gonádica constante con una talla promedio en los animales de 4.9 cm de altura (machos) y 5.6 cm (hembras), tallas en las que se observó la primera madurez de los animales, la proporción sexual fue de 0.60:1 en promedio, con más machos (57%) que hembras (34%). Durante el inicio de la gametogénesis se observaron ovocitos pre-vitelogénicos (inmaduros), vitelogénicos (en desarrollo) y post-vitelogénicos (maduros), los valores más altos del área de ovocitos se registraron en diciembre 2009 y marzo 2010 (~240 μm^2), cuando la temperatura baja fue de (28 a 25 °C) y los niveles de clorofila *a* incrementan de 3.1 a 2.5 mg/L.

Palabras claves: Ostra perlera, crecimiento, ciclo reproductivo, cultivo en suspensión, Acapulco.

ABSTRACT

We studied the growth and reproduction of the winged pearl oyster *Pteria sterna* during an annual cycle in Bahía de Acapulco, Guerrero under suspension culturing conditions. Every month the oysters were measured for shell height and length to estimate their absolute growth (mm) and growth rates (mm/month) during the annual cycle. Additionally, gonad samples of 20 collected oysters were processed histologically to describe the reproductive cycle, sexual ratio, changes in the size of oocytes, and size to reach the first maturity. These data were correlated to changes in water temperature and concentrations of chlorophyll *a* at the study site. We as well established the relationships between shell height and shell length, shell height vs wet weight, and height vs width, as indicators of isometric or allometric growth of the soft and hard biomass. Growth was also analyzed through regression analysis and comparisons with the von Bertalanffy model, as well as with a second model proposed in this study to consider that *P. sterna* was maintained under cultivation conditions. At the end, survival was very high 92.9 %. Our data showed that from an initial size of 1.31 cm, *P. sterna* reached a final size of 6.22 cm after 12 months, yielding a total increase of 4.7 cm. During this time, we found an inverse relationship of growth with water temperature, while the relationship was direct with the content of chlorophyll *a* in the water. The growth rate was higher (0.09 cm/month) during March through May 2009, when water temperature was lowest (25 °C), and was lower (0.01 cm/month) during July through September when temperature was highest (30.5 °C). With the proposed model values of L_{∞} and K describe a typical case of exponential growth that suggests that oysters were still in the active growth phase because there was no evidence of an asymptote. We also determined an allometric growth relationship between height-length (0.0345) and height- weight (2.5882). The histological analysis of gonads revealed a mean male to female sex ratio of 0.60:1, which represented more males (57 %) than females (34 %) in the cultivated population. *P. sterna* reached the first sexual maturity at 4.9 cm (male) and 5.6 cm (female), and from these sizes, the oysters showed ripe gonads and all types of oocytes

(pre-vitellogenic, vitellogenic, and post-vitellogenic) throughout the study. The largest oocytes occurred in December 2009 ($\sim 240 \mu\text{m}^2$), when the temperature was decreasing (28 through 25 °C) and the levels of chlorophyll *a* were increasing (3.1 a 2.5 mg/L).

Key words: Pearl oyster, growth, reproduction, suspension conditions, Acapulco.

I. INTRODUCCIÓN

Para la acuicultura, los moluscos bivalvos representan uno de los grupos de mayor importancia económica y productiva. Son consumidores primarios de fácil manejo por sus hábitos sedentarios y alimentación a base de fitoplancton y detritus orgánico (Lucas y Southgate, 2005). Por tanto, el grupo de los bivalvos tienen especial importancia debido a que existen numerosas familias de interés comercial, como lo son las familias Pectinidae (almejas), Veneridae (almejas con sifón), Ostreidae (ostiones), Pinnidae (callo de hacha) y Pteriidae (ostras perleras).

El cultivo de ostras perleras (nacaricultura) y de perlas (perlicultura) están dentro de las actividades acuícolas económicamente más rentables en el mundo entero, al promover empleo y desarrollo socioeconómico en las regiones donde se practican (Southgate, 2008; Cariño y Monteforte, 1995; Monteforte, 1996; Saucedo, 2001).

En México, particularmente en la costa del Océano Pacífico, habitan dos especies de ostras que son susceptibles de producir perlas, la madreperla (*Pinctada mazatlanica*) (Hanley, 1856) y la concha nácar (*Pteria sterna*) (Gould, 1851, Keen, 1971). En el estado de Guerrero, el desarrollo de la nacaricultura y perlicultura es aún incipiente; pese a ello ambas actividades constituyen alternativas viables de desarrollo socioeconómico. En localidades como Acapulco, su implementación es compatible con el turismo, que es la principal fuente de ingresos de la región, con ello se puede contribuir de forma significativa y sustentable a incrementar el desarrollo socio-económico y cultural de las zonas marginadas. Lo cual, ha sido demostrado con la creación de empleos y la preservación de los recursos naturales (Cruz-Pérez, 2002; Torres y Soto, 2002; Cantu-Cantu, 2003; Mellado-Moreno, 2008).

En el puerto de Acapulco, se han realizado diversos estudios sobre la biología y ecología de *P. sterna*, con énfasis en la captación de semilla mediante colectores

artificiales, crecimiento y supervivencia de juveniles y adultos en condiciones de cultivo extensivo y análisis de la fauna que acompañan en dichos sistemas (Cruz-Pérez, 2002; Torres y Soto, 2002; Cantu-Cantu, 2003). De acuerdo a estos estudios la Bahía de Acapulco presenta condiciones adecuadas para cultivar esta especie a mayor escala. Para ello, es indispensable incrementar la investigación de otros aspectos de la biología de la especie, como la reproducción, que constituye una de las bases para optimizar los protocolos de manejo y cultivo de la especie, para asegurar su producción continua y controlada, tanto en su ambiente natural como en condiciones de laboratorio. Desafortunadamente, son escasos los estudios de este tipo en la Bahía de Acapulco, por lo que, la presente investigación está dirigida a evaluar el crecimiento y actividad reproductiva de la concha nácar *P. sterna* en condiciones de cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco. La meta final consiste en establecer las bases para el cultivo de la especie a escala comercial, con el posible uso para fines de perlicultura.

II. ANTECEDENTES

2.1. Clasificación taxonómica de *P. sterna*.

De acuerdo a Keen (1971), la concha nácar se clasifica taxonómicamente de la siguiente manera:

Tabla 1. Clasificación taxonómica de *P. sterna*

Phylum	Mollusca
Clase	Bivalvia (Pelecypoda)
Subclase	Pteriomorphia
Orden	<i>Pterioida</i>
Superfamilia	<i>Pteriacea</i>
Familia	<i>Pteriidae</i>
Género	<i>Pteria</i>
Especie	<i>sterna</i>
Nombre común	Concha nácar, callo de árbol

2.2. Características generales de los bivalvos con énfasis en *P. sterna*.

El exoesqueleto de los bivalvos está constituido por dos conchas o valvas, generalmente simétricas que forman un hueco en el interior (cavidad paleal), en la cual se encuentra la masa visceral del animal. La familia *Pteriidae* se distingue de otros bivalvos, porque su interior está recubierto por una capa de nácar blanquecino, dotado de un lustre y brillo muy especial que es muy valorado para la perlicultura (Monteforte, 1996; Kiefert et al., 2004). El cuerpo del organismo es relativamente simple en su anatomía, ya que está rodeado por dos lóbulos simétricos que forman el manto y se extienden en el interior de cada una de las valvas (Fougerouse-Tsing y Herbaut, 1994). El manto a su vez está dividido en tres lóbulos (interior, medio y superior) que se encargan de formar las diferentes capas de la concha, que son la externa (periostraco), media (prismática que le da grosor a la misma) e interna (nacarada) (Sarashina y Endo, 1998; Levy et al., 1998; Checa, 2000).

La concha de *P. sterna* es ovalada y posee una extensión en forma de ala, que en griego (*Pterion*) le da el nombre a la especie (Keen, 1971). La concha es color café oscuro, con algunas variaciones en su tono. La coloración de la capa del nácar presenta una tonalidad rosáceo-purpúrea, algunos casos presentan una iridiscencia de tonos azul-verdosos que le confieren un valor exótico a las perlas que forma (Kiefert et al., 1994). La longitud máxima reportada para adultos es de 120 mm (Pérez-Estrada, 2000) y la madurez sexual de esta especie en el área de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, se presenta desde los 70 a 80 mm (Saucedo y Monteforte, 1997).

La reproducción de las ostras perleras presenta un proceso simultáneo y continuo de la gónada, se desarrolla en tres fases fuertemente reguladas por la estacionalidad (Bayne, 1976; Giese y Pearse, 1979; Mackie, 1984; Román et al., 2002; Saucedo y Southgate, 2008):

1. Vegetativa: En esta se observan organismos que carecen de gametos y no presentan actividad sexual. Se presenta en periodos de alta productividad primaria que le permiten al animal almacenar grandes reservas de energía en sus tejidos somáticos para garantizar la gametogénesis.
2. Diferenciación y proliferación celular: Esta fase se inicia cuando las condiciones ambientales del agua son adecuadas (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila *a*), lo que favorece que las células germinales se diferencien en ovogonias o espermatogonias, y estas comienzan a multiplicarse por mitosis para formar gametos masculinos (espermatozoides) o femeninos (ovocitos).
3. Recuperación: Después del desove, comienza el proceso de degeneración de los gametos y reabsorción o reciclamiento de los nutrientes contenidos en éstos, los cuales son almacenados de nueva cuenta en los tejidos de reserva hasta el inicio del siguiente ciclo reproductivo.

2.3. Crecimiento en ostras perleras

Entre los primeros estudios relacionados con el crecimiento, supervivencia, mortalidad y relaciones alométricas en diferentes especies de ostras perleras, se encuentran los de:

Chellam (1978) estudió durante un periodo de 18 meses el crecimiento de *Pinctada fucata* bajo condiciones de cultivo en el Golfo de Mannar. El resultado fue que en los primeros meses el crecimiento de la concha fue positivo, posteriormente este incremento fue disminuyendo. Sin embargo el grosor y el peso incrementaron uniformemente durante todo el estudio. Sims (1984) estudió el crecimiento de *Pinctada margaritifera* en diferentes sistemas de cultivo en sitios en las Islas Cook, así como diferentes sistemas de cultivo.

En países como la Polinesia Francesa y Japón se han desarrollado estudios para determinar el mejor indicador de edad y crecimiento en Ptéridos (Sims, 1993). Katsuyuki (1994) realizó una investigación sobre las condiciones fisiológicas de algunas especies que producen perlas para relacionar el crecimiento con la cantidad y calidad del alimento. El autor concluyó que el efecto de las mareas rojas y la mortalidad por estrés causado por altas temperaturas (superiores a 28 °C) en verano en la especie *P. fucata martensii*, contribuyen al deterioro de las condiciones fisiológicas de la especie y debilidad para el desove.

En el noroeste de México, específicamente en La Paz Baja California Sur, se ha estudiado el crecimiento de *P. mazatlanica* y *P. sterna*, en condiciones de repoblamiento *in situ* (Saucedo y Monteforte, 1997a). Los resultados señalan que ambas especies presentaron un crecimiento exponencial para la altura de la concha que va de 36 a 72 mm, correspondientes a edades de 8 a 9 meses para *P. mazatlanica* y de 43 a 63 mm para *P. sterna* con edades de 17 a 28 meses. Otro estudio sobre las mismas especies tuvo como objetivo la determinación de un criterio para el implante de perlas mabé o medias perlas en función de las dimensiones de la concha durante el crecimiento. Los resultados indicaron que en *P. sterna* mostró un crecimiento isométrico hasta los 100 mm para la altura de la concha y crecimiento alométrico negativo después de 120-125 mm para *P. mazatlanica* (Saucedo *et al.*, 1998).

En Acapulco, Guerrero, se han realizado estudios con *P. mazatlanica* enfocados a evaluar el crecimiento de juveniles en la fase de pre-engorda a partir de semilla silvestre en diferentes sitios de la bahía (Torres y Soto, 2002). En la misma localidad se estudió el crecimiento y supervivencia de *P. sterna*, a diferentes densidades (50, 75 y 100 organismos por canasta), en fase de pre-engorda durante un periodo de siete meses para determinar los requerimientos ambientales para su desarrollo bajo cultivo intensivo. Los resultados mostraron que los organismos crecieron más en grosor a una densidad de 50 individuos por caja. No se encontraron diferencias entre la longitud y la altura con respecto a las

densidades de 75 y 100 individuos por caja. Se reportó en este estudio que el crecimiento de la concha es isométrico en la relación altura-longitud y altura-grosor, mientras que en la relación altura-peso es alométrico negativo. (Cantu-Cantu, 2003).

2.4. Estudios sobre reproducción de ostras perleras con énfasis en *P. sterna*

En materia de reproducción en ostras perleras han realizado estudios para describir el ciclo gonádico de *P. albina* en Australia, señalando que el desarrollo gonádico para machos y hembras se puede identificar a partir del color de la gónada (Tranter, 1958). Posteriormente se registró que esta especie alcanza la madurez sexual entre los 4 y 5 meses, con reproducción continua y dos picos de desove durante el año. El primero y más alto en abril-mayo y el segundo más bajo en noviembre.

En la India se reportó un patrón reproductivo continuo en la especie *P. fucata*, que presentó dos picos de desove en los meses marzo y noviembre (Desai, 1979). Al ser también una especie chica de ostra perlera, se reportó que alcanza la madurez sexual entre los 7 y 8 meses de vida. Adicionalmente se reportó que el sexo dominante en esta especie durante el ciclo gametogéncico fue el femenino, con desoves múltiples a lo largo del año (Chellam, 1987).

Otro estudio realizado sobre la especie *P. fucata* en Irán señala que el ciclo reproductivo de esta es bimodal, con picos de madurez-desove entre abril a julio y septiembre a diciembre (Behzadi *et al.*, 1997). Los autores reportaron un marcado comportamiento protándrico en la especie (maduración como macho), lo cual indica la ausencia de hermafroditismo. Jamili *et al.* (1999) analizaron la gametogénesis de *P. fucata* y reportaron que esta especie tuvo desoves entre primavera y verano, pero los más significativos se presentaron en los periodos de junio a julio y de noviembre a diciembre.

Se ha descrito la estructura de la gametogénesis en *P. margaritifera*, particularmente de las células participantes en el proceso, como las germinales (Thielley *et al.*, 1993 a). Pouvreau *et al.* (2000) determinaron que la madurez sexual en *P. margaritifera* ocurre en el primer año cuando alcanza una talla de 40 mm de altura de la concha. En esta especie se han reportado desoves continuos durante el año. Acosta y Southgate (2005) analizaron durante un ciclo anual los cambios histológicos en gónadas de *P. margaritifera*. Los resultados mostraron que esta especie se reproduce continuamente de agosto a febrero y fuera de este periodo se observaron desoves parciales.

En las especies *P. mazatlanica* y *P. sterna*, se ha reportado que la gametogénesis es continua a lo largo del año (Saucedo y Monteforte, 1997b). En el ciclo anual muestreado *P. mazatlanica* presentó un desove en el mes de septiembre, mientras que *P. sterna* desovó dos veces, el primer desove reportado en el mes de febrero y el segundo en el mes de mayo.

En la Bahía de Acapulco, Torres y Cruz (2002) estudiaron la reproducción de *P. mazatlanica* a lo largo de doce meses, encontrando que la gametogénesis y el desove fue continuo durante el periodo estudiado, así mismo se reportó que la especie desova a finales del mes de septiembre, cuando la temperatura del agua alcanza los 30 °C.

Vite-García y Saucedo (2008), analizaron el desarrollo y composición de la gónada y tejidos somáticos participantes en la reproducción de *P. sterna*, analizando particularmente la dinámica de movilización de reservas energéticas entre la gónada y tejidos de reserva durante el ciclo reproductivo anual. Se observó que esta especie se reproduce a lo largo de casi todo el año, particularmente de enero a abril, con picos de desove en el mes de julio y enero. El desarrollo de la gónada ocurre mayormente a expensas de la energía proveniente de la glándula digestiva (23%) y del músculo aductor (19%), en tanto que el manto tiene poca participación en este proceso (11%). De igual manera se observó que *P. sterna* utiliza una

combinación de estrategias conservadora y oportunista para garantizar la reproducción en invierno (a partir de la energía del alimento) y primavera (mediante la energía previamente almacenada en tejidos somáticos).

Gómez Robles y Saucedo (2009), realizaron una evaluación de indicadores de calidad de las gónadas masculina y femenina (índices gruesos vs. Índices finos) en *P. mazatlanica*, los cuales se calcularon mediante histoquímica y análisis digital de imágenes. Se observó que durante la reproducción, esta especie utilizó una estrategia conservadora en la cual la gametogénesis tuvo su sustento de las reservas energéticas almacenadas en tejidos somáticos. A partir de esta información, se encontró una concentración alta de lípidos en las gónadas femeninas durante el verano, mientras que en las gónadas masculinas se observó una alta concentración de glicógeno.

Cáceres-Puig *et al.* (2009), utilizaron herramientas de estereología y calorimetría para determinar el esfuerzo reproductivo de *P. sterna* durante la gametogénesis como un criterio para definir los tiempos para realización de injertos. Se confirmó que la glándula digestiva representa el sitio de mayor aporte de energía para la gametogénesis, seguida del músculo aductor. Los momentos ideales para la ejecución de injertos fueron de octubre a abril, mientras que durante los periodos de mayo a septiembre no se recomienda realizar injertos debido a que los organismos están energéticamente y fisiológicamente más débiles.

2.5. Modelos de crecimiento para organismos utilizados en acuicultura

De acuerdo con algunos autores, existen problemas con la estimación de los parámetros de L infinita y t subcero (L_{∞} y t_0) en la ecuación del modelo de von Bertalanffy. Roff (1980) señala que su uso debe abandonarse cuando no esté bien representado el comportamiento asintótico de la curva de crecimiento en el grupo de datos. El mismo autor hace referencia a la estimación del parámetro L_{∞} (talla máxima en relación a la longitud), cuyos valores frecuentemente son

desproporcionados y solo se alcanzan teóricamente, cuando la escala de tiempo se extiende al infinito.

Ratkowsky (1986) evaluó estadísticamente las parametrizaciones alternativas del modelo de von Bertalanffy y llegó a la conclusión de que la ecuación original de este modelo tiene deficiencias, debido a que sus parámetros muestran un sesgo significativo que los aparta de la normalidad requerida (ver sección de metodología para una descripción completa).

Hernández-Llamas y Ratkowsky (2004) compararon cuatro modelos de crecimiento convencionales para el estudio de organismos utilizados en acuicultura: el de von Bertalanffy, el modelo logístico, el de Gompertz y el de Richards, con un nuevo modelo para estimar el crecimiento en peso. En esta comparación los autores utilizaron datos de crecimiento de peces, moluscos y crustáceos para analizar las propiedades estadísticas de cada modelo en la estimación de los parámetros. Se utilizó el valor absoluto del índice de Hougaard (h) para evaluar el comportamiento estadístico de los modelos, y medir el sesgo en los parámetros. Los resultados indicaron que, de acuerdo a este índice, los cuatro modelos presentaron un sesgo marcado y una "no linealidad" considerable ($h > 1.5$), en tanto que el modelo propuesto por los autores presentó un sesgo despreciable ($h \leq 0.1$) y un comportamiento cercano a la tendencia lineal. Una de las ventajas del modelo propuesto en función del crecimiento en peso fue la facilidad con la cual se obtiene una convergencia del procedimiento de la regresión no lineal usada para ajustarlo. El modelo es el siguiente:

$$w_t = w_i + (w_f - w_i) \left(\frac{1 - k^{(n-t)}}{1 - k^{n-1}} \right)^2 \quad (1)$$

Donde, W_f y W_i son peso final y peso inicial del organismo respectivamente, k es velocidad a la cual la longitud cambia de su valor inicial a su valor final, n es

número de datos, m es estandarización del tiempo y 3 es valor de isometría para peso.

No obstante, este modelo fue modificado por Ruiz-Velazco et al. (2010), al incorporar la duración de cultivo:

$$w_t = w_i + (w_f - w_i) \left(\frac{1 - k^t}{1 - k^3} \right)^3 \quad (2)$$

Donde, w_i es peso inicial, w_f es peso final, k es velocidad a la cual la longitud cambia de su valor inicial a su valor final, y 3 es valor de isometría.

III. HIPOTESIS

Conocer los aspectos de crecimiento y reproducción de *P. sterna* en la Bahía de Acapulco, permitirá delinear estrategias para el manejo, cultivo y aprovechamiento de la especie para fines de perlicultura. Así mismo, se prevé que los patrones de crecimiento y reproducción de este organismo en ambiente tropical (Bahía de Acapulco) serán diferentes con los reportados en ambientes subtropicales y templados (Bahía de La Paz).

IV. OBJETIVO GENERAL

Analizar el crecimiento y ciclo reproductivo de la concha nácar *P. sterna* en condiciones de cultivo en la Bahía de Acapulco con fines de un futuro aprovechamiento en actividades de perlicultura.

4.1. *Objetivos específicos*

1. Evaluar el efecto de algunos factores abióticos (temperatura y contenido de clorofila *a*) sobre el crecimiento y desarrollo gonádico de *P. sterna* a lo largo de un ciclo anual de cultivo.
2. Analizar el crecimiento absoluto y tasa de crecimiento de *P. sterna* a lo largo de un ciclo anual de cultivo, así como las relaciones altura-longitud, altura-grosor y altura-peso.
3. Comparar el ajuste y la predicción de los modelos de Ratowsky (1986) y von Bertalanffy para proponer modificaciones con aplicaciones para cultivo extensivo, con base en el patrón de crecimiento observado en *P. sterna*.
4. Caracterizar el ciclo reproductivo de *P. sterna*, analizando el índice gonádico, la talla de la primera madurez sexual, variaciones en la proporción de sexos y el tamaño de ovocitos en condiciones de cultivo durante un ciclo anual en la Bahía de Acapulco.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El presente estudio se desarrolló a una profundidad de 10 m en la Bahía de Acapulco, Guerrero, la cual se encuentra ubicada en la latitud $16^{\circ} 50' 34.70''$ N y, longitud $99^{\circ} 54' 07.019''$ O (Figura 1).

La bahía está compuesta por una franja curvada que presenta fondos arenosos y rocosos. El límite terrestre consta de una extensa línea de playa con una pendiente pronunciada. El puerto de Acapulco tiene un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (aw, wi) de acuerdo al sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1973).

La bahía está influenciada por corrientes causadas principalmente por los vientos dominantes del Oeste; que unidos a la corriente entrante del canal "Boca Chica", producen una corriente principal de superficie en el interior. Esta corriente presenta una dirección Oeste-Este paralela a la costa (Aguirre y Calderón, 1981). La bahía está alimentada por corrientes de agua fría que ingresan de mar abierto por zonas profundas de 15 a 20 metros y afloran en la costa, generalmente en el puerto (Piana, 1980).



Figura 1. Microlocalización del área de estudio

5.2. Obtención y manejo de organismos

Para la realización de este estudio, se utilizó semilla silvestre de *P. sterna* recolectada en junio de 2009 en la embarcación UNICAP de la Unidad Académica de Ecología Marina (UAEM). Se inició con un total de 1,000 organismos con tallas que oscilaron entre 5 y 10 mm de altura de la concha (media = 3.99 ± 1.68 DS).

Los organismos recién separados de los colectores se colocaron dentro de una malla plástica tipo mosquitero dentro de canastas Nestier® (70 x 70 cm de ancho y 15 cm de altura aprox.), para evitar pérdidas y el ingreso de depredadores. No obstante, dicha malla fue retirada a los dos meses de la recolecta, tiempo en que los organismos alcanzaron la talla apropiada para el inicio del cultivo en canastas, libres de protección adicional a lo largo de un ciclo anual, que inicio en junio 2009 y termino en julio 2010. En esta etapa las densidades utilizadas fueron las recomendadas por Monteforte (2005); es decir, más de 100 organismos por canasta el primer mes (después de sacarlos de la malla), 100 en el tercer mes y 50 en el cuarto mes hasta alcanzar la talla de implante la cual se reporta a los 75 mm de altura de la concha (Rubio et al., 2006). La Figura 2 muestra el trabajo realizado mensualmente con los organismos de *P. sterna*.

El sistema de cultivo en suspensión, también llamado de línea de flotación consiste en colocar las canastas Nestier® una sobre otra desde una profundidad determinada. Este sistema fue colocado en la cercanía de la embarcación de pesca múltiple UNICAP, con el propósito de realizar las actividades de campo de la investigación. Este tipo de cultivo no genera impactos negativos dentro del área de estudio.

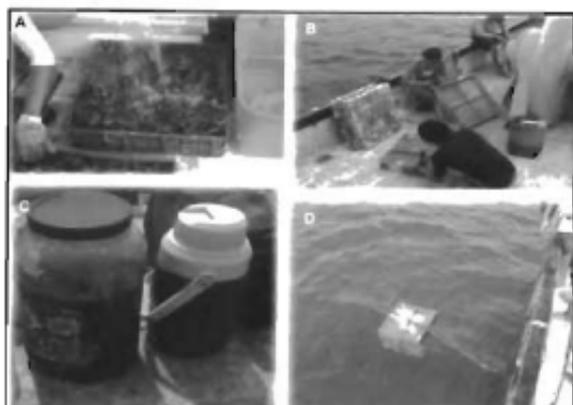


Figura 2. Actividades realizadas en campo con los organismos de *P. sterna*. Foto tomada por: Serna-Gallo, 2010. A. Limpieza de organismos con agua a presión, B. Limpieza de canastas, C. Organismos en formol y D. Sistema de cultivo de línea en suspensión.

5.3. Registro de temperatura y clorofila *a*

Durante un ciclo anual que equivale al tiempo de cultivo de los organismos en campo (agosto 2009 a junio 2010), se llevó a cabo el monitoreo continuo de la temperatura del agua (± 0.1 °C) y la concentración de clorofila *a* (± 0.1 mg/L) a la profundidad en la que se instaló el cultivo (10 m). La temperatura y clorofila *a* fueron medidos con ayuda de una sonda de campo YSI mod. 6920 (Multiparameter Water Quality Sonde, E.U.A.).

5.4. Biometrias

Mensualmente durante el ciclo anual, se recolectaron 20 organismos de las canastas Nestier[®], los cuales fueron preservados en una solución de formaldehído al 10% de la presentación comercial (Figura 2). Los organismos preservados fueron procesados en el Laboratorio de Acuicultura de la UAEM, donde se

extrajeron las gónadas a cada organismo (o la masa visceral donde se desarrolla la gónada cuando ésta no se encontró representada aún), las cuales fueron conservadas en una solución de etanol al 70% para el estudio del ciclo reproductivo (ver sección 5.6.). Posteriormente, se realizó un registro de las medidas morfométricas más representativas del crecimiento de los organismos, a saber: altura, longitud y grosor de la concha (mm). A su vez se registró el peso húmedo total con y sin concha (g) de los organismos, (0.01 g, Figura 3).



Figura 3. Medidas morfométricas de *P. sterna*. Foto tomada por: Serna-Gallo, 2010. A. Altura, B. Longitud y C. Grosor

Las biometrías se realizaron con un vernier y una balanza digital con precisión de 0.1 mm y 0.1 g respectivamente. Para ello se adoptaron las medidas propuestas para ostras perleras por Hynd (1955, apud Saucedo, 1995).

Un primer paso para conocer la condición en los organismos en cultivo fue mediante el índice de condición para lo cual se empleó la ecuación:

$$IC = PMV / PTA \times 100 \quad (3)$$

Dónde:

IC = Índice de condición

PMV = Peso masa visceral

PTA = Peso total del animal

5.5. Crecimiento y modelos de crecimiento

El análisis del crecimiento absoluto de *P. sterna* se realizó primeramente a partir de regresiones lineales de la altura de la concha (como medida más representativa) contra el tiempo, de acuerdo a Saucedo y Monteforte (1998).

En segundo lugar se calculó la tasa de crecimiento de cada organismo a través de la siguiente ecuación:

$$TC = (T \text{ final} - T \text{ inicial})/t \quad (4)$$

Dónde:

T = talla

t = tiempo

5.5.1. Relaciones alométricas

Se calcularon las relaciones: altura-longitud, altura-grosor de la concha y altura-peso de los organismos. Para la relación peso-talla se utilizó el modelo potencial propuesto por Ricker (1975):

$$W = a L^b \quad (5)$$

Dónde:

a = Factor de condición de la población

b = Parámetro de crecimiento de la especie

Lo anterior se hizo con los parámetros del modelo transformados por el logaritmo de la ecuación de regresión lineal (W o peso) = $\log(a) + \log(L)b$, donde a es una constante y b es la pendiente de la recta.

Para establecer si el tipo de crecimiento es alométrico o isométrico se utilizó una prueba t student comparando el valor de la pendiente encontrada producto de la regresión y el valor de 3, valor que indica crecimiento isométrico.

5.5.2. Modelos de crecimiento

El modelo que se propone para calcular la longitud en el tiempo (L_t) en este trabajo, parte del modelo desarrollado por Ratkoswsky (1986), ese modelo puede ser simplificado para la estimación del crecimiento de especies acuícolas, es decir, mantenidas en algún tipo de condición de cultivo, y en circunstancias donde los intervalos de tiempo sean iguales y el tiempo inicial sea igual a cero.

$$L_t = L_i + (L_r - L_i) \left(\frac{1 - k^{m-t}}{1 - k^{m-1}} \right) \quad (6)$$

Donde L_t es la longitud final, L_i es la longitud inicial y k es velocidad a la cual la longitud cambia de su valor inicial a su valor final, n es el número de datos y m es una estandarización del tiempo, para experimentos o muestreos en los que los intervalos de tiempo son diferentes, de acuerdo con:

$$m = 1 + (n - 1) \left(\frac{t - t_i}{t_f - t_i} \right) \quad (7)$$

Donde t es el tiempo, y t_f y t_i son el tiempo final y el tiempo inicial, respectivamente.

De acuerdo a los argumentos de modificación utilizados para especies acuícolas de Ruiz-Velazco et al. (2010), se propone utilizar y modificar para el crecimiento

en talla el modelo desarrollado por Hernández-Llamas y Ratkowsky (2004) para el crecimiento en peso. Para ello, se considera:

La existencia de un grupo de 13 datos de crecimiento en talla con tiempo $t_i=0$ y un tiempo final $t_f = 12$. Donde $n = 13$ y $t_f = n-1$. Al sustituir t_i por cero y t_f por $n-1$, la ecuación se transforma de la siguiente manera:

$$m = l + (t_f) \left(\frac{1}{t_f} \right) \quad (8)$$

Eliminando t_f , y despejando t , queda:

$$t = m - l \quad (9)$$

Sustituyendo esta igualdad y $n-1$ por t_f en la ecuación 1 queda:

$$L_t = L_i + (L_f - L_i) \left(\frac{1 - k^t}{1 - k^{n-1}} \right) \quad (10)$$

Además, para el caso de los acuicultivos, el tiempo final t_f corresponde a la duración del cultivo (c), por lo que una simplificación adicional consiste en sustituir t_f en la expresión anterior e incorporar la duración del cultivo, quedando:

$$L_t = L_i + (L_f - L_i) \left(\frac{1 - k^t}{1 - k^c} \right) \quad (11)$$

El modelo propuesto se comparó con el modelo de crecimiento de von Bertalanffy cuya ecuación es:

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad (12)$$

Dónde:

L_{∞} = Peso asintótico del organismo

k = Constante de crecimiento

t_0 = Tiempo cuando el peso inicial es igual a 0

La comparación consistió en evaluar el ajuste de ambos modelos considerando el valor de la suma de cuadrados residual (SCR) (Ratkowsky, 1990; Quinn y Keough, 2002; Hernandez-Llamas y Ratkowsky, 2004), así como la afinidad de convergencia de los modelos para el ajuste y la interpretación biológica de los parámetros.

Además, se describió el crecimiento en peso con la ecuación propuesta por Ruiz-Velazco et al. (2010) para especies acuícolas mediante:

$$w_t = w_i + (w_f - w_i) \left(\frac{1 - k^t}{1 - k^c} \right)^3 \quad (13)$$

Dónde:

W_i = Peso inicial

W_f = Peso final

k = Velocidad a la cual el peso cambia del valor inicial al final

c = Valor de la duración del cultivo.

En este caso se sustituyó la relación alométrica obtenida de la relación peso-talla por el valor de 3 de la ecuación anterior.

5.6 Actividad reproductiva

El estudio de reproducción se realizó de acuerdo a los protocolos de Howard y Smith (1983), a partir de la disección de una muestra de gónada de 0.1 g. Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Histología del Centro de

Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). Para ello, las muestras fueron deshidratadas en alcoholes de graduación ascendente (70 a 100%) e incluidas en Paraplast XT™. Posteriormente, se realizaron cortes del tejido en plano antero-posterior a 3–4 μm de grosor con la ayuda de un micrótomo de rotación. Los cortes fueron teñidos con la técnica de contraste de hematoxilina-eosina; las laminillas obtenidas se analizaron al microscopio óptico con magnificación de 10X.

Para la estimación del índice gonádico, se utilizó el método empleado por Seed (1976, apud en Villalejo-Fuerte 1992), el cual se obtiene con el número de organismos por estadio de madurez de cada muestreo mensual, de acuerdo con la interpretación histológica de las laminillas multiplicado por el nivel numérico del estadio. Los productos se suman entre sí y se divide entre el total de organismos en la muestra. La fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$I.G. = \frac{NI(1) + NII(2) + NIII(3) + NIV(4) + NV(5) + NVI(6)}{N} \quad (14)$$

Dónde:

I.G. = índice gonádico

NI = frecuencia obtenida para el estadio I

NII = frecuencia obtenida para el estadio II

NIII = frecuencia obtenida para el estadio III

NIV = frecuencia obtenida para el estadio IV

NV = frecuencia obtenida para el estadio V

NVI = frecuencia obtenida para el estadio VI

Para la clasificación del ciclo reproductivo, se adoptó el método propuesto por Tranter (1959) para ostras perleras, el cual fue modificado por Saucedo y Monteforte (1997) para *P. sterna*. Esta clasificación divide el ciclo reproductivo en

cinco estadios generales: (1) Indiferenciación, (2) Desarrollo, (3) Madurez, (4) Desove parcial, y (5) Post-desove.

Adicionalmente, se determinaron las variaciones en el diámetro de los ovocitos, de acuerdo al protocolo propuesto por Grant y Tyler (1983). Para ello, los ovocitos fueron clasificados de acuerdo a su grado de desarrollo vitelogénico en: (1) Ovocitos pre-vitelogénicos (aquellos de pequeño tamaño, inmaduros y que se encuentran anclados a la pared del folículo), (2) Ovocitos vitelogénicos (aquellos en rápido crecimiento por haber iniciado la formación del vitelo, de forma pedunculada y que pueden estar anclados todavía al folículo o comenzar el proceso de desprendimiento de éste) y (3) Ovocitos post-vitelogénicos (aquellos completamente maduros, de mayor tamaño y que se encuentran libres en el lumen del folículo).

En cada muestreo, se tomaron fotografías digitales a 30 ovocitos de cada hembra de tres diferentes áreas del ovario al azar y se calcularon las variaciones temporales en la frecuencia de aparición y en la talla de los tres diferentes tipos de ovocitos. Para ello se utilizó un sistema de análisis digital de imágenes (consistente en un microscopio óptico y una cámara digital Cool Snap™). Las variaciones en el área total (μm^2) de los ovocitos se interpretaron con el programa SigmaScan Pro 5, Systat software Inc, vers 5.

El proceso histológico que se realizó para obtener las laminillas y llevar a cabo el análisis cuantitativo de las gónadas de *P. sterna* se presenta en la Figura 4.

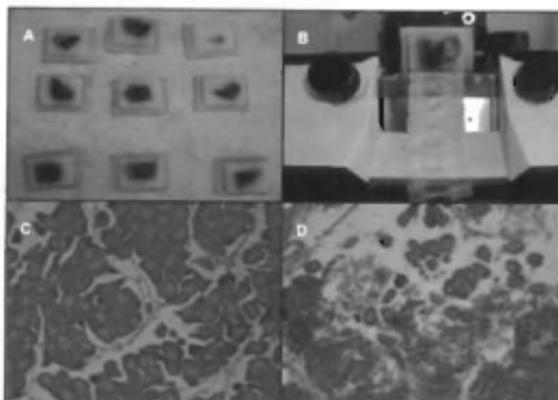


Figura 4. Proceso histológico para llevar a cabo el análisis cuantitativo del ciclo reproductivo de *P. sterna*. A Inclusión en parafina, B Corte, C Obtención de laminilla y D Organismo hermafrodita.

Además de las diferentes fases reproductivas y el análisis de las gónadas se determinó la talla de primera madurez, de acuerdo al criterio de Campbell y Ming (2003), quienes consideran el supuesto de que todas las ostras del estudio pertenecen a la misma cohorte, por lo que la talla/edad de primera madurez de la población experimental se define como el momento en que el 50% de los organismos alcanzan el estadio 3 (madurez) definido arriba, o cuando la suma de los organismos en estadio de madurez y desove parcial sea $\geq 50\%$. Este criterio se estableció para el momento en que los organismos se depositaron en las canastas Nestier®, después de los dos meses, que involucran el desarrollo larvario y fijación de la semilla en los colectores artificiales.

5.7. Tratamiento estadístico de los datos

Los datos de crecimiento y reproducción obtenidos durante el muestreo fueron procesados con ayuda del programa Excel® Microsoft Inc.™). Para el análisis estadístico se utilizó el programa Statistica® (Versión 7.0, StatSoft, Inc. E.U.A. El

análisis gráfico se realizó con el programa Slide Write Plus for Windows Versión 5.01, (Advanced Graphics software) E.U.A.

Para determinar la normalidad y la homogeneidad de varianza de los datos, se emplearon las pruebas de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y de Levene, respectivamente, con un nivel de significación de $P > 0.05$. Una vez comprobada la normalidad y homocedasticidad de los datos, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para evidenciar diferencias significativas de la reproducción (talla de ovocitos) en función del tiempo.

Por último, se utilizó un análisis de regresión para confirmar el nivel de relación o cambio entre la variable independiente más representativa del crecimiento (altura) y las variables dependientes (longitud, grosor y peso). Para todos los análisis se definió un nivel de significación de $P < 0.05$.

En relación al modelo de crecimiento, se desarrolló con los datos de las biometrías de *P. sterna*. Posteriormente se partió de la ecuación desarrollada por Ratkowsky (1986), y se modificó ésta para determinar el crecimiento en talla de las ostras. Para el análisis de este modelo se utilizó el Statistica®.

VI.RESULTADOS

6.1. Normalidad y homocedasticidad de los datos

Se comprobó que los datos morfométricos obtenidos al inicio del muestreo para analizar el crecimiento de *P. sterna* pasaron la prueba de normalidad y homocedasticidad ($P > 0.05$, Tabla 2).

Tabla 2. Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas de K-S y Levene

Variables de interés	Normalidad		Homogeneidad de varianza	
	K-S (d)	P	Levene	P
Altura (cm)	0.104	>.05	6.87	> 0.05
Longitud (cm)	0.104	>.05	6.18	> 0.05
Grosor (cm)	0.108	>.05	3.29	> 0.05
Peso (g)	0.149	>.05	21.22	> 0.05

6.2. Variación en la temperatura y contenido de clorofila a

Los datos registrados de la temperatura del agua y la concentración de clorofila a se presentan en la Tabla 3. Se puede observar que el mes de junio registró la mayor temperatura y la concentración más alta de clorofila a, en tanto que la menor temperatura y concentración de clorofila a se presentaron en marzo.

Tabla 3. Variación de la temperatura y clorofila a del área de cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro.

Meses 2009-2010	Temperatura (°C)	Clorofila a ((mg/L ⁻¹) ¹)
Dic	27,75	3,1
Ene	27,2	2,5
Feb	27,56	2,6
Mar	25,06	2,5
Abr	26,39	2,47
May	25,11	4,88
Jun	28,35	8,54

La variación de la temperatura y clorofila *a* a la profundidad en que se encontraban los organismos en cultivo se muestran en la Figura 5. En el caso de la temperatura, se aprecia un claro patrón estacional, no siendo así para la concentración de clorofila *a*. En los meses de julio a octubre el registro de la temperatura osciló entre los 30.1 °C a 30.6 °C, y el mes que presentó la concentración más alta de clorofila *a* fue junio (8.5 mg/L). Por el contrario el mes que presentó la temperatura más baja fue marzo (25.0 °C) y la concentración más baja de clorofila *a* se obtuvo en los meses de julio y octubre (0.5 y 0.90 mg/L⁻¹ respectivamente).



Figura 5. Variación de la temperatura del agua y concentración de clorofila *a* en el área de cultivo de *P. sterna* en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.

6.3. Crecimiento absoluto

El crecimiento absoluto en altura de la concha de *P. sterna* a lo largo del ciclo anual en la Bahía de Acapulco fue de 4.7 cm entre el inicio el mes de julio 2009 (1.31 cm) y final en junio 2010 (5.96 cm) del estudio (Figura 6).

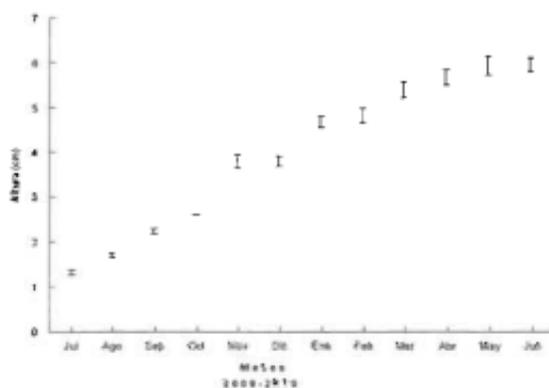


Figura 6. Incremento de la altura en la concha de *P. sterna*, en cultivo de suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual. Se muestran los valores promedio \pm de DS.

La relación entre el crecimiento en la altura de la concha y la temperatura del agua (Figura 7a) y el contenido de clorofila *a* (Figura 7b). Se observa que ambas variables se ajustaron a un modelo lineal ($r^2 = 0.7425$ y $r^2 = 0.438$; $P < 0.05$, respectivamente), lo que revela que los mayores incrementos se obtuvieron con la menor temperatura registrada en el cultivo (25.0 °C) en la concentración de clorofila *a*.

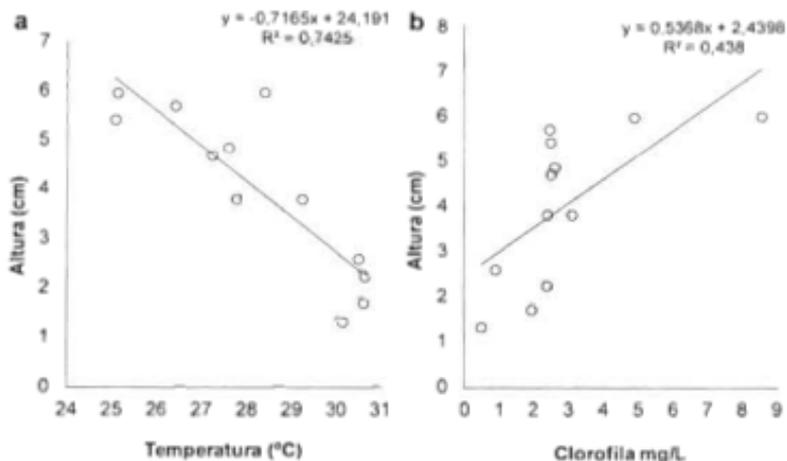


Figura 7. Análisis de regresión entre altura de la concha de *P. sterna* con la temperatura del agua (a) y clorofila a (b), en la Bahía de Acapulco, Gro a lo largo de un ciclo anual

El comportamiento registrado para el crecimiento en longitud de la concha (Figura 8) fue similar a la altura y muestra una variación en promedio de 4.8 cm entre el inicio mes de julio 2009 (1.42 cm) y final en junio 2010 (6.22 cm) del muestreo de campo.

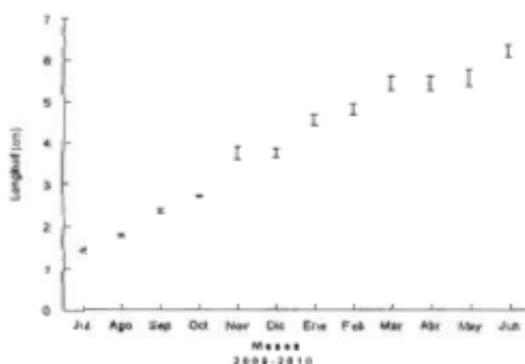


Figura 8. Promedio anual del incremento en la longitud de la concha de *P. sterna*, mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro. a lo largo de un ciclo anual. Se muestran los valores promedio \pm de DS.

A diferencia de los análisis anteriores, la tendencia del incremento en el grosor de la concha no pareció guardar ninguna relación al observado para altura y longitud de la misma (Figura 9). Los datos de grosor arrojan un incremento total promedio de 2.0 cm entre el inicio (0.66 cm) y final del experimento (2.70 cm).

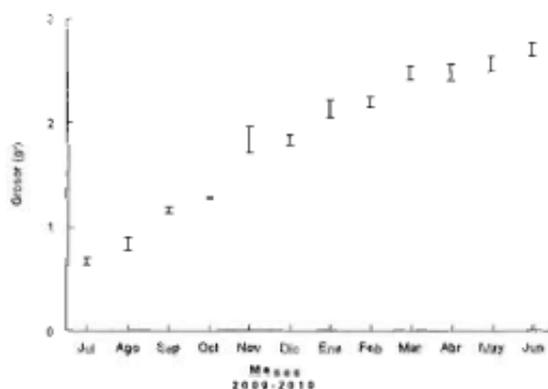


Figura 9. Promedio anual del incremento en el grosor de la concha de *P. sterna*, mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual. Se muestran los valores promedio \pm de DS.

El crecimiento en el peso húmedo de los organismos se presenta en la Figura 10 corresponden a un incremento total promedio de 37.2 g entre julio de 2009 (0.231 g) y junio de 2010 (53.47 g). Sin embargo, este incremento fue menos marcado en los primeros cuatro meses y se incrementó notablemente en los meses subsiguientes.

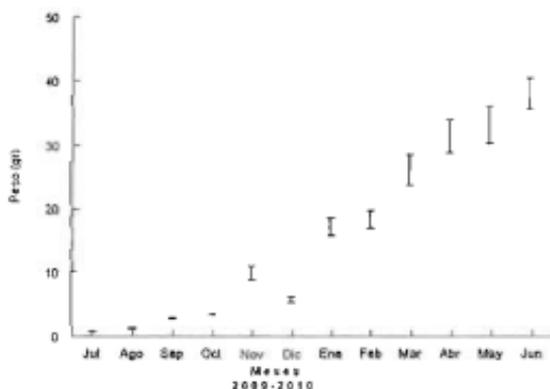


Figura 10. Promedio anual del incremento en el peso húmedo de los tejidos de *P. sterna*, mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro. a lo largo de un ciclo anual. Se muestran los valores promedio \pm de DS.

La relación entre el peso húmedo de *P. sterna* y la temperatura del agua (Figura 11a) fue inversamente proporcional, mientras que la clorofila *a* (Figura 11b), fue directamente proporcional.

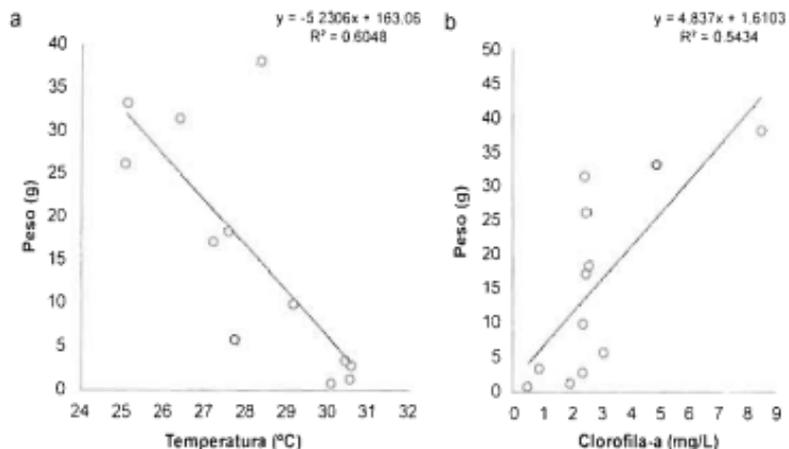


Figura 11. Relación entre el peso húmedo de *P. stema* con la temperatura (a) y clorofila a (b), mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.

6.4. Mortalidad

Durante el ciclo anual de cultivo en campo, la mortalidad más alta se presentó en el mes de octubre con 34 organismos, seguido de septiembre y noviembre (14 y 15 organismos, respectivamente). El resto del año solo murió un organismo por mes (Figura 12), lo que indica que en promedio la mortalidad durante el ciclo anual del cultivo fue de 7.1%.

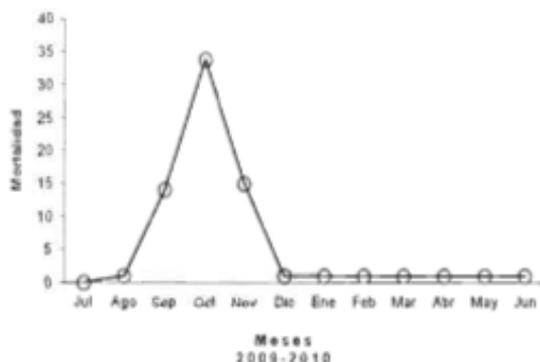


Figura 12. Mortalidad de *P. sterna*, mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.

6.5. Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento en la altura de la concha de los organismos muestra que el mayor incremento, se dio en el mes de octubre 2009 (0.03 cm/mes), mientras que en noviembre dicho incremento fue casi nulo (0.02 cm/mes). Así mismo, se observa que las variaciones de la temperatura no guardan relación con la tasa de crecimiento, ya que la temperatura más baja se registró en los meses de mayo y marzo (25.1 °C y 25.1 °C, respectivamente) mientras que la temperatura más alta se registró en los meses de agosto a octubre (30.4 °C a 30.6 °C) (Figura 13).

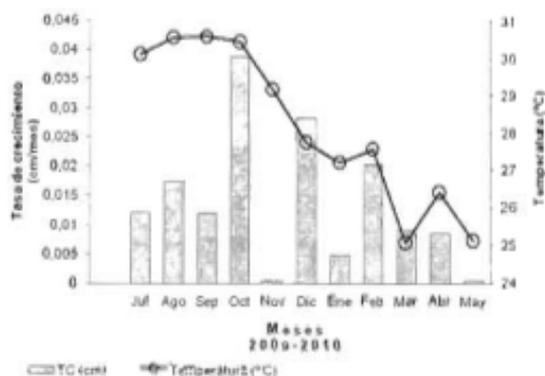


Figura 13. Relación de la tasa de crecimiento en la altura de la concha de *P. sterna*, mantenida en cultivo en suspensión y la temperatura del agua de mar en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.

Las variaciones en la tasa de crecimiento para la longitud de la concha, se muestran en la Figura 14, donde a diferencia del caso anterior, se observa que en marzo la concha presentó un incremento muy notable (0.18 cm/mes), seguido de noviembre (0.12 cm/mes), en tanto que el menor incremento se registró durante abril (4.0 cm/mes).

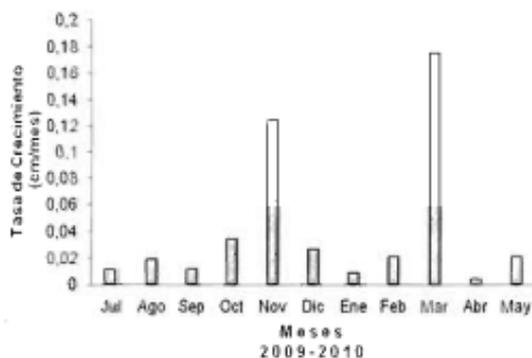


Figura 14. Tasa de crecimiento en la longitud de la concha de *P. sterna*, mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.

Con relación al grosor de la concha (Figura 15), los mayores y menores incrementos se observaron en octubre (0.18 cm/mes) y noviembre (0.19 cm/mes), respectivamente.

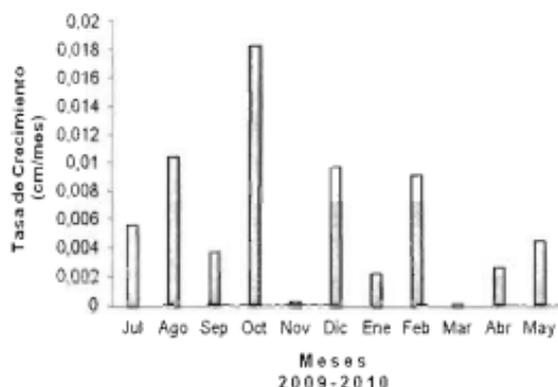


Figura 15. Tasa de crecimiento del grosor de la concha de *P. sterna*, mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.

Para la tasa de crecimiento en peso húmedo de los organismos (Figura 14), se observó que en febrero el incremento fue mayor (0.25 g/mes), mientras que en noviembre dicho incremento fue apenas de 0.01 g/mes. Durante el ciclo anual los organismos incrementaron en promedio 0.14 g de biomasa húmeda total.

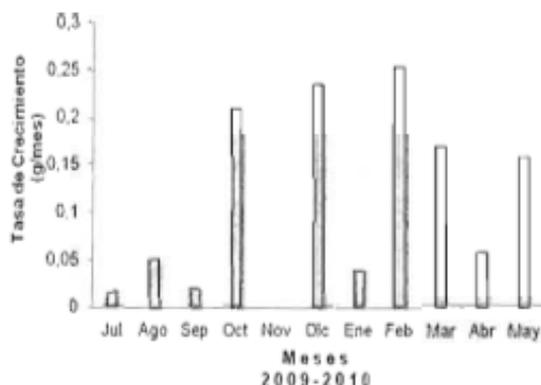


Figura 16. Tasa de crecimiento del peso de la concha de *P. sterna*, mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.

6.6. Relaciones biométricas

La relación altura-longitud y altura-grosor de la concha (Figura 17 y 18), se ajustaron significativamente a un modelo lineal ($r^2=0.97$ $P < 0.05$ y $r^2 = 0.91$; $P < 0.05$, respectivamente); la prueba t demostró que no existió un incremento isométrico, encontrando diferencias significativas entre el valor de la pendiente, producto de la regresión y el valor de isometría (valor de 3).

Para la relación altura-peso (Figura 19), los datos se ajustaron a un modelo potencial ($r^2=0.96$ $P < 0.05$), con un crecimiento alométrico, debido a que el valor de b fue diferente del valor de isometría (3).

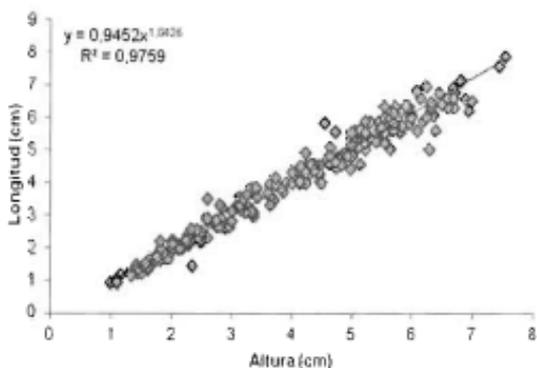


Figura 17. Relación entre la altura y la longitud de la concha de *P. sterna*, en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.

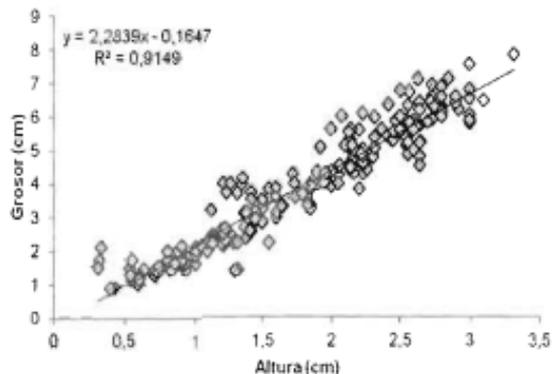


Figura 18. Relación entre la altura y el grosor de la concha de *P. sterna*, en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.

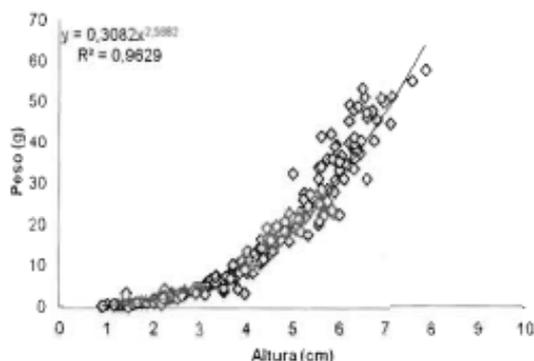


Figura 19. Relación entre la altura de la concha y peso de los organismos de *P. sterna*, mantenida en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual.

6.7. Modelos de crecimiento

Los modelos de crecimiento en talla de los organismos mostraron resultados significativos en términos del análisis de varianza de la regresión no lineal ($P < 0.05$). El ajuste del modelo de von Bertalanffy (a) y el modelo propuesto (b), se aprecian en la Figura 20. Aunque ambos modelos describen claramente el crecimiento en talla de los organismos, fue complicado lograr el ajuste de los datos al modelo de von Bertalanffy, debido a la falta de convergencia con los valores iniciales del programa utilizado.

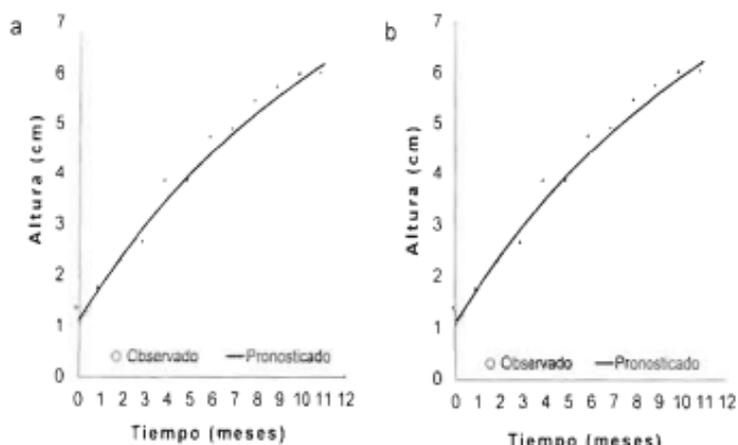


Figura 20. Ajuste de los modelos de von Bertalanffy (a) y el modelo propuesto (b) para describir el crecimiento de *P. sterna* en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro.

Los valores de la suma de cuadrados residual (SCR) en la mayoría de los casos fue similar. Sin embargo, la SCR del modelo propuesto fue menor en algunos casos (valores en negritas) al de von Bertalanffy (Tabla 4). Eso demostró que el modelo propuesto explica mejor el crecimiento de *P. sterna*.

Tabla 4. Valores de varianza residual y suma de cuadrados residual de cada uno de los modelos

Casos	von Bertalanffy		Modelo propuesto	
	R	SCR	R	Error residual
1	0,9706	1,2847	0,9706	1,2847
2	0,9271	5,1332	0,9271	5,1332
3	0,9722	2,0588	0,9722	2,0588
4	0,9092	4,5286	0,9092	4,5286
5	0,9414	3,6861	0,9414	3,6861
6	0,9072	6,1106	0,9072	6,1106
7	0,9351	4,8643	0,9351	4,8643
8	0,9158	4,3919	0,9164	4,3629
9	0,9559	3,897	0,9586	3,6677
10	0,9279	4,2183	0,9279	4,2183
11	0,968	2,0667	0,968	2,0667

12	0,932	3,0884	0,932	3,0884
13	0,9492	3,3468	0,9492	3,3455
14	0,9654	1,861	0,9654	1,861
15	0,9782	1,7332	0,9782	1,7332

Con relación al crecimiento en peso húmedo, este fue significativo (ANOVA) para la regresión no lineal ($P < 0.05$) (Figura 21).

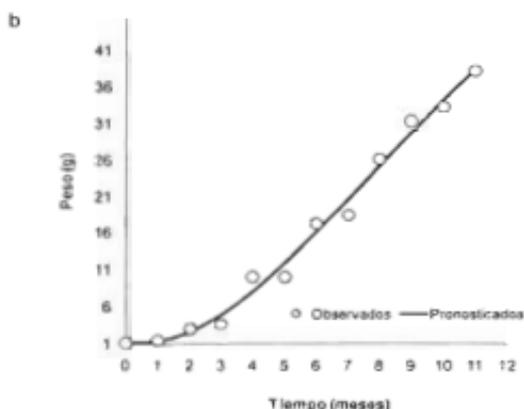


Figura 21. Ajuste del modelo de crecimiento en peso húmedo de *P. sterna* en cultivo en suspensión en la Bahía de Acapulco, Gro.

6.8. Reproducción

De acuerdo al análisis histológico cualitativo (Figura 22), se observa que los juveniles de *P. sterna* comenzaron a desarrollar la gónada a partir del mes de diciembre de 2009 (7%), y a partir del mes de enero al mes de junio 2010 los animales estuvieron en proceso de desarrollo (35%), alcanzando el pico de madurez en el mes de marzo (23%).

Posteriormente se presentó el evento de desove entre los meses de enero 2010 (7%) a junio 2010 (21%), con un pico en abril (36%). El periodo de post-desove

ocurrió entre los meses de diciembre y enero, después entre abril, mayo y junio 2010, con porcentajes que oscilaron entre los 7 y 44%.

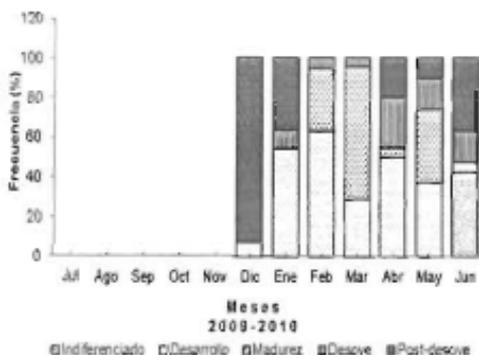


Figura 22. Ciclo reproductivo anual de la concha de *P. sterna*, mantenida en cultivo intensivo dentro de la Bahía de Acapulco, Gro.

Las microfotografías detallan las características citológicas de los diferentes estadios de desarrollo gonádico de *P. sterna* (Figuras 23 a 31), que incluyen la ovogénesis (hembra) y espermatogénesis (macho).

Estadio 1 (Indeterminado o inactivo): Se observan folículos vacíos (Fv) y sin rastro de desarrollo gonadal el cual se puede apreciar entre la pared folicular (Pf) y el tejido conectivo (Tc) una vez que el organismo inicia la etapa de reproducción. Por lo tanto, no es posible distinguir el sexo de los organismos en esta etapa (Figura. 23).

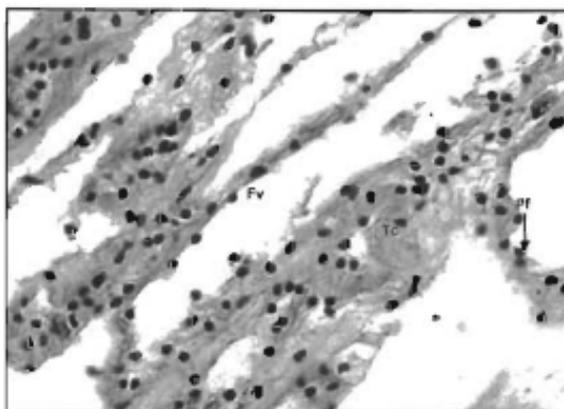


Figura 23. Microfotografía (10X) de una gónada de *P. sterna* en etapa de indiferenciación, (A) ovogénesis y (B) espermatogénesis.

Estadio 2 (Desarrollo): Para las hembras, se pudieron distinguir ovocitos inmaduros (previtelogénicos, Ovprevit y vitelogénicos (Ovvit) adheridos a la pared del folículo (Pf), con un núcleo central grande y en algunos casos el nucléolo (Figura 24). Se observó también que la capa de tejido conectivo (Tc) disminuyó gradualmente.

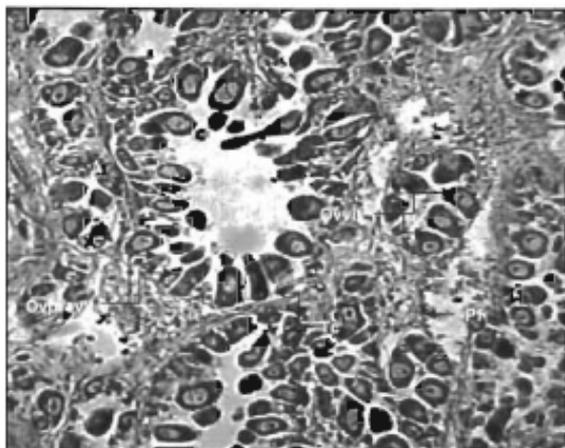


Figura 24. Microfotografía (10X) de una gónada femenina de *P. stema* en etapa de desarrollo activo (ovogénesis).

En los machos, se observó la propagación de la periferia al centro de los folículos de gametos masculinos, que en orden incluyen espermatogonias (Spmtg), espermatocitos (Spmtc), espermatidas (Spmtd) y espermatozoides (S). Dicha propagación fue gradual y se observó cómo los gametos comenzaron a llenar los folículos. (Figura 25).

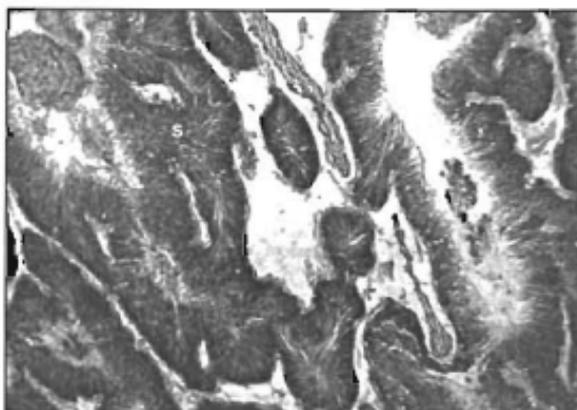


Figura 25. Microfotografía (10X) de una gónada masculina de *P. sterna* en etapa de desarrollo (espermatogénesis).

Estadio 3 (Madurez): En el caso de las hembras, la mayoría de los ovocitos que se observaron fueron del tipo postvitelogénicos (Ovpostvit) de talla grande y desprendidos de la pared del folículo (pf) por lo que aparecen libres en el lumen (Figura 26). Estos adoptan una forma piriforme en la mayoría de los casos. El tejido conectivo (Tc) está muy poco desarrollado en esta etapa.

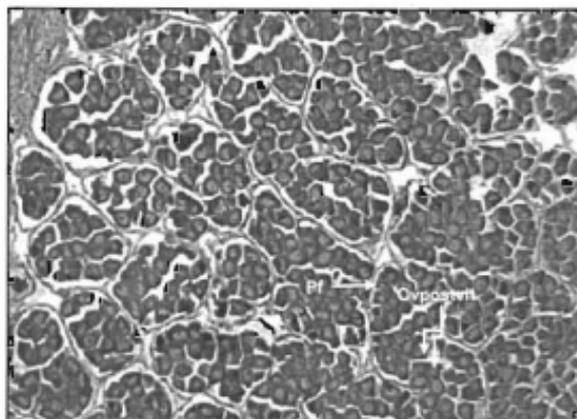


Figura 26. Microfotografía (10X) de una gónada femenina de *P. sterna* en etapa de madurez.

En los machos, desaparece casi por completo la capa periférica de espermatogonias y espermatocitos de primer y segundo orden, los cuales son sustituidos por los espermatozoides (S) que llenan casi por completo los folículos. En esta etapa el tejido conectivo (tc) casi ha desaparecido (Figura 27).

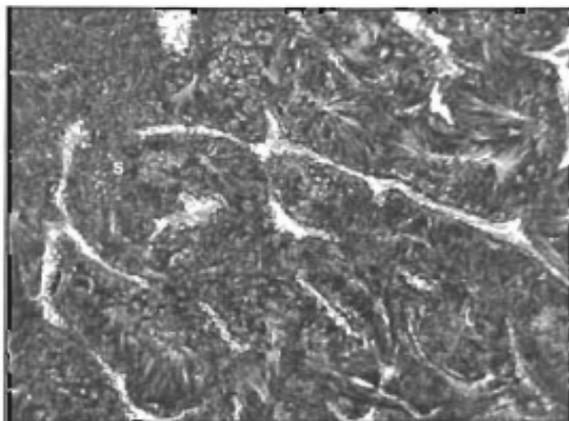


Figura 27. Microfotografía (10X) de una gónada masculina de *P. sterna* en etapa de madurez.

Estadio 4 (Desove): Las hembras presentaron folículos semivacios y distendidos y en su interior se observaron ovocitos residuales (Ovr) en proceso de reabsorción, así como los primeros signos de fagocitos (fs) (Figura 28).

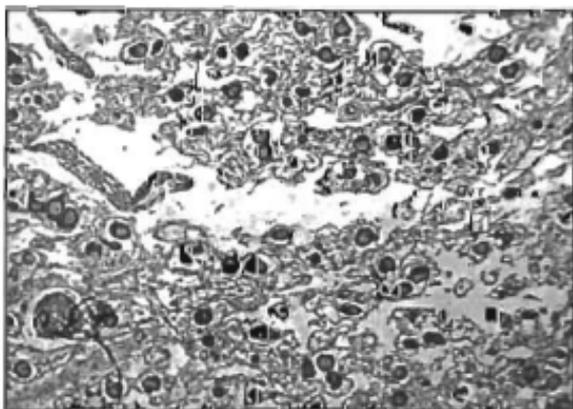


Figura 28. Microfotografía (10X) de una gónada femenina de *P. sterna* en etapa de desove.

En los machos la situación fue similar, ya que los espermatozoides residuales (Sr) que permanecieron después del desove se encontraron diseminados en el interior de los folículos, los cuales se encontraron vacíos y distendidos (Figura 29).

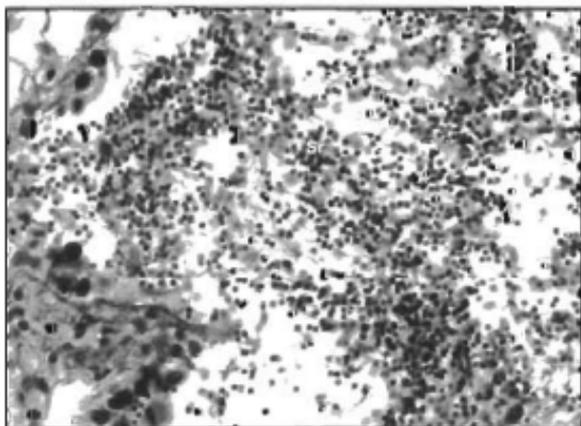


Figura 29. Microfotografía (10X) de una gónada masculina de *P. sterna* en etapa de desove.

Estadio 5 (Post-desove): En las hembras se observaron ovocitos atrésicos (Ovatre) en estado avanzado de reabsorción, algunos de ellos incluso como material residual únicamente. Igualmente, los fagocitos (fs), fueron evidentes e incrementaron su actividad (Figura 30).

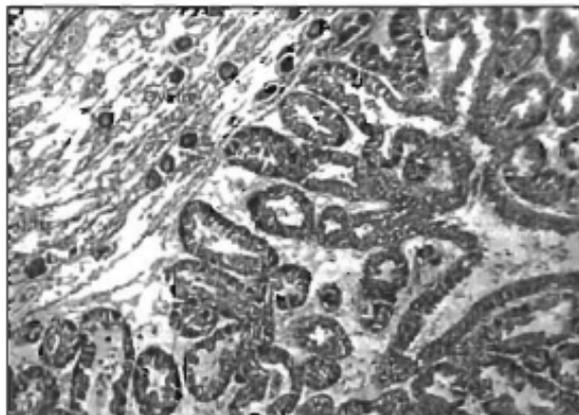


Figura 30. Microfotografía (10X) de una gónada femenina *P. sterna* en etapa de post-desove.

En los machos se observan también folículos vacíos (Fv) y con una abundante actividad de fagocítica y los fagocitos fueron evidentes (fs) (Figura 31).

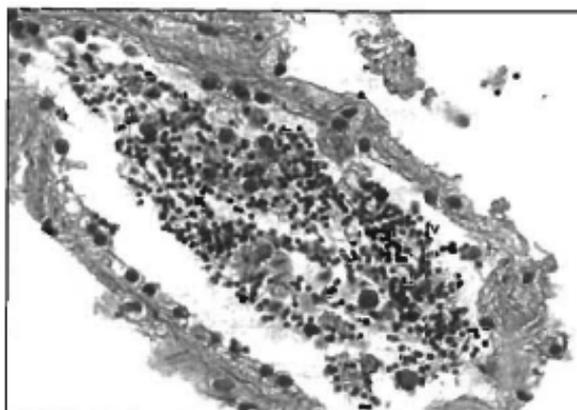


Figura 31. Microfotografía (10X) de una gónada masculina *P. sterna* en etapa de post-desove.

6.8.1. Índice de condición

Las variaciones del índice de condición de *P. sterna* en el tiempo muestran una tendencia estacional clara, con el valor más bajo registrado en los meses de julio y junio (0.0% y 4.5%, respectivamente), mientras que los valores altos se registraron en marzo y septiembre (18.1% y 19.9%, respectivamente) (Figura 32a).

Se observó que la relación entre la temperatura del agua y el índice de condición presentan una relación directa, ya que a mayor incremento de temperatura mayor incremento en el índice de condición (Figura 32b). La relación entre este índice y la concentración de la clorofila *a* es directa en los primeros seis meses (julio a diciembre), este patrón se invierte con una concentración alta de clorofila *a* en el mes de junio (8.54 mg/L) y el valor bajo en el índice de condición (4.5%).

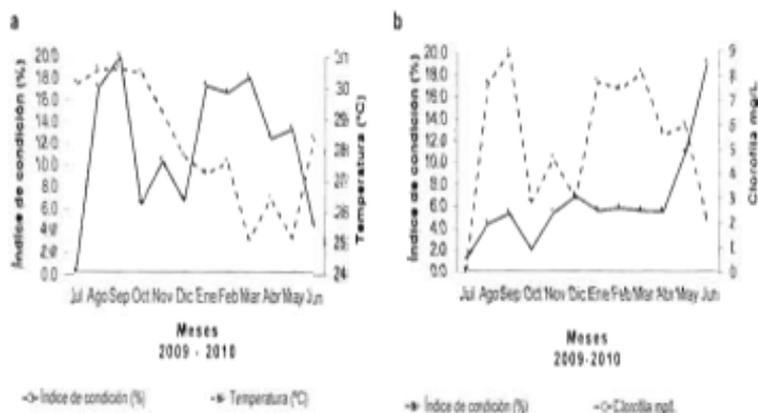


Figura 32. Variación del índice de condición de *P. sterna* en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual y su relación con la temperatura del agua y concentración de clorofila *a*.

Las variaciones en el índice gonádico de *P. sterna* a lo largo de un ciclo reproductivo anual, y su relación con la concentración de la clorofila *a* (Figura 33a) fue inversamente proporcional y los valores de clorofila *a* más altos en junio (8.54 mg/L) coinciden con las concentraciones más bajas del índice en el mismo mes (2.5 mg/L). El valor más alto del índice gonádico se registró en el mes de marzo 2010 (37%) y el más bajo se observó en diciembre 2009 (1%). En cuanto a la temperatura (Figura 33b), muestra una relación inversa, en junio 2010 se presentó la mayor temperatura (28.3° C) el índice gonádico más bajo se registró en diciembre 2009 (1%). Sin embargo, marzo 2010 presentó la temperatura más baja (25° C) y el índice gonádico fue el más alto en este mes (37%).

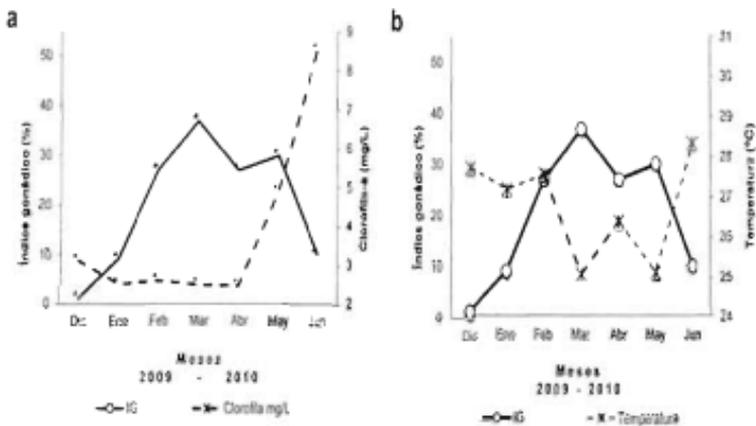


Figura 33. Variación del índice gonádico de *P. sterna* cultivada en la Bahía de Acapulco, Gro., a lo largo de un ciclo anual y su relación con la concentración de clorofila *a* (a) y temperatura del agua (b).

6.8.2. Talla de primera madurez

Los datos de frecuencia acumulada para hembras (Figura 34) y machos (Figura 35) de *P. sterna* por intervalos de talla se ajustaron a un modelo logístico que resultó significativo ($r = 0.99$). Con base en ello, se determinó que la talla (altura de la concha) de primera madurez para hembras de la población estudiada en promedio fue de 40.96 cm y de 49.46 cm para machos.

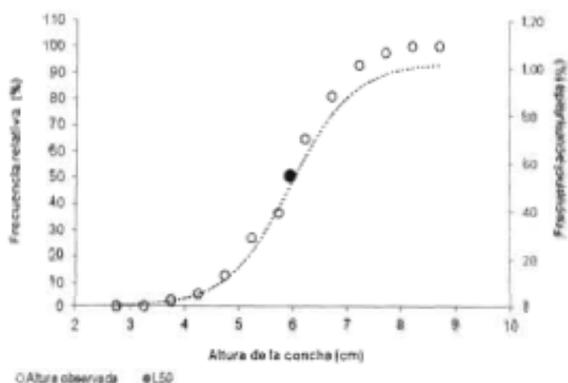


Figura 34. Talla de primera madurez en hembras de *P. sterna* mantenida en cultivo en la Bahía de Acapulco, Gro.

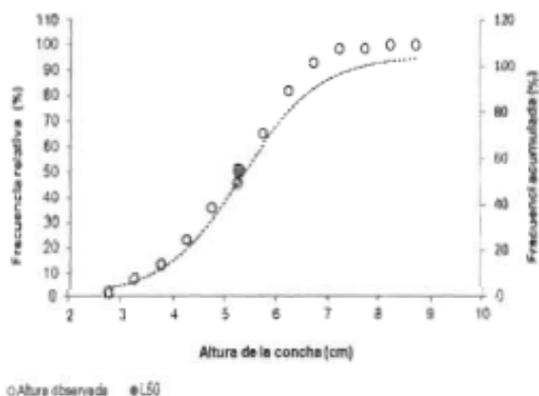


Figura 35. Talla de primera madurez en machos de *P. sterna* mantenida en cultivo en la Bahía de Acapulco, Gro.

Con base en el análisis cuantitativo de los estadios de desarrollo gonádico, se determinó que la proporción sexual hembra:macho promedio para todo el ciclo reproductivo de *P. sterna* fue de 0.59:1, (Figura 36). Sin embargo, se observó que un 6% de la población estuvo compuesta por organismos indiferenciados y un 3% por hermafroditas que muestran ovocitos (Ov) residuales en proceso de reabsorción y espermatogénesis (S) en desarrollo (Figura 31).

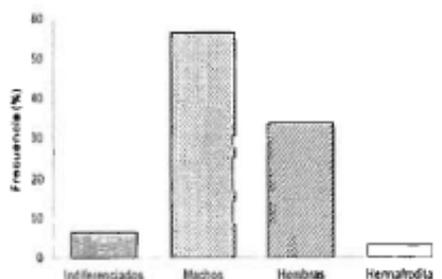


Figura 36. Proporción sexual anual de la concha nácar *P. sterna*, mantenida en cultivo en la Bahía de Acapulco, Gro.

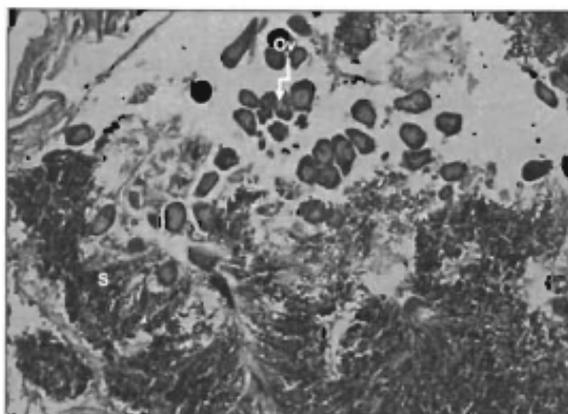


Figura 37. Microfotografía (10X) de un organismo hermafrodita de *P. sterna* en el que se observan ovocitos residuales y espermatozooides en proceso de desarrollo.

6.8.3. Diámetro de los ovocitos

Las variaciones en la talla de los ovocitos de *P. sterna* a lo largo del ciclo anual mostró una tendencia similar a la del índice gonádico (Figura 38), donde los valores de área fueron mayores en diciembre de 2009 ($230.43 \mu\text{m}^2$), y menores en junio de 2010 ($11.91 \mu\text{m}^2$). Estas variaciones fueron significativas con respecto al tiempo ($F=221.18$; $P < 0.05$).

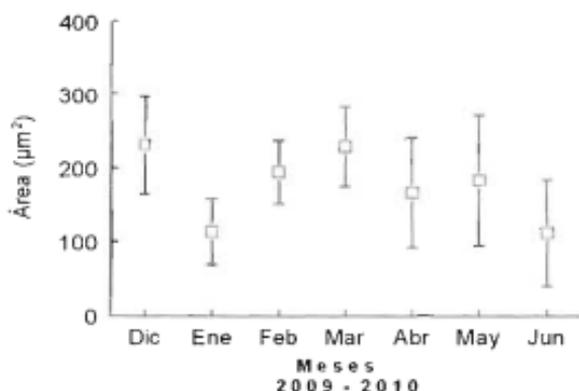


Figura 38. Variación temporal del área de los ovocitos de *P. sterna* mantenida en cultivo en la Bahía de Acapulco, Gro. a lo largo de un ciclo anual. Se presentan valores promedio \pm error estándar (ES).

En la frecuencia de ocurrencia de los diferentes tipos de ovocitos de *P. sterna* en el tiempo, se observó que los ovocitos previtelogénicos predominaron en diciembre y enero (39% y 20%, respectivamente), mientras que los vitelogénicos y post-vitelogénicos (particularmente los segundos) estuvieron presentes durante toda la época reproductiva de la especie, con valores promedio de 19% y 74%, respectivamente (Figura 39).

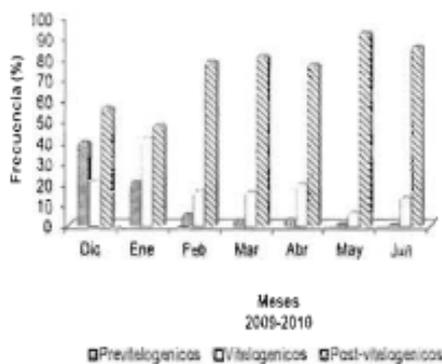


Figura 39. Variación temporal de la frecuencia de ocurrencia de los diferentes tipos de ovocitos de *P. sterna* mantenida en cultivo en la Bahía de Acapulco, Gro.

VII. DISCUSIÓN

7.1. Crecimiento

Desde décadas atrás, Tranter (1959) reportó que especies pequeñas de ostras perleras (*P. fucata*, *P. imbricata*, *P. radiata*, *P. colymbus*) presentaban tasas de crecimiento más rápidas a las de las especies grandes (*P. máxima*, *P. margaritifera*, *P. mazatlanica*), cuyo crecimiento era más lento. Por ejemplo, *P. fucata*, con un promedio de vida de únicamente cuatro años, alcanza los 90 mm de altura de la concha en un año, no obstante el crecimiento se reduce marcadamente a partir de dicha talla (Chellam, 1978). Algo similar ocurrió con los juveniles de *P. sterna* del presente estudio, ya que después de un ciclo anual de cultivo se observó un crecimiento exponencial en la altura y longitud de la concha de 4.7 cm, sin aparición de una asíntota como señal de disminución del incremento. En este caso, el rango de tallas fue 1.31 cm (inicial) y 6.22 cm (final). Es bien sabido que las curvas de crecimiento de los bivalvos suelen ser típicamente sigmoideas, en donde la fase inicial exponencial es seguida siempre por una fase asíntótica conforme la edad se incrementa (Seed, 1976, 1980). Previamente, Saucedo y Monteforte (1997a) estudiaron el crecimiento *in situ* de *P. sterna* a lo largo de un ciclo anual en un sistema de cultivo de fondo en la Bahía de La Paz, iniciando en mayo 2003 con juveniles de 42.9 mm y finalizando en abril 2004 con una talla de 62.7 mm, para dar un incremento final de 19.8 mm, que es mucho menor al observado en el presente estudio. Esta diferencia puede deberse a las condiciones ambientales tan diferentes que prevalecen en la Bahía de La Paz y la Bahía de Acapulco a lo largo del año, particularmente en la temperatura del agua y la disponibilidad de alimento (que en este caso se estudió a partir de las concentraciones de clorofila *a* como un indicador parcial de productividad primaria). En este sentido, mientras que la Bahía de Acapulco es una zona tropical netamente, la Bahía de La Paz es una zona de transición entre los ambientes templado-frío y tropical-cálido (Martínez *et al.*, 2001). Por tanto, el rango promedio de variación en la temperatura del agua en la Bahía de Acapulco puede ser de tan solo 5–6 °C entre el pico del verano (30.5 °C) y el valor mínimo de invierno (25



°C), es decir, con poca estacionalidad. En contraste, el rango de variación de la temperatura del agua en la Bahía de La Paz puede alcanzar los 11 °C entre el mínimo de invierno (19 °C) y el máximo de verano (30 °C), lo que refleja un fuerte carácter estacional. A su vez, esta diferencia en el crecimiento de la especie podría ser consecuencia de las variaciones en la productividad primaria que existe en ambientes tropicales y templados (Pouvreau y Prasil 2001). Al respecto, las concentraciones promedio de clorofila *a* en la Bahía de Acapulco oscilan entre los 2.5 mg/L a 8.5 mg/L, lo que lo ubica como un sitio con una productividad primaria relativamente alta para propiciar un rápido crecimiento de los organismos. Por el contrario, dicha productividad es un poco más baja en la Bahía de La Paz a lo largo del año (entre 2.4 mg/L y 5.5 mg/L promedio) (Romo-Piñera, 2010), lo que podría explicar el crecimiento más lento de los juveniles de *P. sterna*.

Como parte del análisis del crecimiento, se observó que la relación entre la altura de la concha y la temperatura del agua fue inversamente proporcional, en tanto que la relación fue directamente proporcional para el caso del contenido de clorofila *a*. Este patrón fue el mismo para el peso húmedo de los organismos y su relación con la temperatura del agua y niveles de clorofila *a*. Por ello, la tasa de crecimiento fue mayor (0.09 cm/mes) en los meses de marzo y mayo 2009, cuando la temperatura alcanzó los valores más bajos (25 y 25.1 °C). Estos resultados confirman lo propuesto por Saucedo y Monteforte (1997a) y Saucedo *et al.* (1998), de que *P. sterna* es una especie que encuentra condiciones más adecuadas para el crecimiento durante los meses fríos de invierno, cuando la temperatura del agua disminuye y las concentraciones de clorofila *a* se incrementan. Con semilla de *P. sterna* producida en laboratorio, Araya-Núñez *et al.* (1991) reportaron una tasa de crecimiento de 0.1 mm/día a partir de una correlación positiva con la temperatura del agua, en donde contrariamente los mayores incrementos se dieron a las temperaturas más cálidas. Bückle-Ramirez *et al.* (1992), también encontraron un crecimiento mayor de los juveniles de esta especie durante el verano (7.2 a 11.3 mm/mes), con un decremento en la tasa de

crecimiento durante el invierno (3.6 mm/mes), lo que difiere con lo encontrado en este estudio y lo reportado por Saucedo y Monteforte (1997a).

En estudios de crecimiento con otras especies de ostras perleras de distribución tropical, se ha comprobado que las condiciones ambientales son determinantes para el óptimo crecimiento de las especies. Esto es cierto para *P. margaritifera* en las Islas Cook, Polinesia Francesa (Nasr, 1984), *P. imbricata* en el Golfo de Cariaco, Venezuela (Lodeiros, 1999) y *P. fucata* en el Golfo de Mannar, Mar Rojo (Mohamed et al., 2006). A su vez, Lodeiros et al. (2002) reportaron que *P. imbricata* presenta una tasa de crecimiento alta (2.31 mm/mes) en cultivo de suspensión en el Golfo de Cariaco, Venezuela durante periodos de proliferación de la clorofila *a* (1 a 5 mg/L). Estos autores concluyen que la abundancia del fitoplancton es un factor limitante del crecimiento de la especie.

Los promedios en la altura, longitud y grosor de la concha generados mediante el análisis de regresión no reflejaron tendencias claras en función del tiempo. Además de la influencia de los parámetros ambientales ya mencionados, los picos en el crecimiento observados en algunos meses pudieran estar relacionados con otros factores, como la densidad de siembra al interior de las canastas de cultivo. Sin embargo, en el presente estudio no se realizó un seguimiento de este aspecto por considerar que tuvo poca influencia en el crecimiento de los juveniles, por seguir los protocolos de cultivo (preengorda) en campo estandarizados para *P. sterna* en la Bahía de La Paz (Monteforte et al., 2005). Los autores demostraron que el mejor crecimiento ocurrió a una densidad de 80 a 100 organismos por nivel en las canastas Nestier. A su vez, Cantù-Cantù (2003) estudió el cultivo extensivo de semilla en suspensión a diferentes densidades (50, 75 y 100 organismos por canasta) en la Bahía de Acapulco, Guerrero durante el periodo julio 2001 a enero 2002, observando los incrementos en talla de las ostras más rápidos y las mayores supervivencias a la densidad de 50 org/canasta. En este estudio, *P. sterna* alcanzó su mayor incremento en el sistema de cultivo durante los primeros cinco meses, estabilizándose el resto de los meses del ciclo anual. Lodeiros

(1999) también reportó que los juveniles de *P. colymbus* crecieron más rápido durante los primeros cinco meses de cultivo, de 13.5 mm al inicio a 71 mm. El autor concluye que esta especie es idónea para llevar a cabo actividades de acuicultura en Venezuela.

La supervivencia fue alta durante el ciclo de cultivo (92.9%), lo cual coincide con estudios realizados en la misma Bahía de Acapulco con *P. margaritifera* y *P. sterna* (Torres y Soto, 2002; Cantu-Cantu, 2003). Lodeiros et al. (2002) también reportó una tasa de supervivencia para *P. imbricata* (98-100%) en el Golfo de Cariaco, Venezuela.

7.2. Modelos de crecimiento

Estudios previos sobre modelos de crecimiento en diferentes especies de ostras perleras, demuestran que los datos observados se integran para obtener datos calculados como un reflejo confiable de aspectos importantes de la fisiología de los organismos, como *P. margaritifera* en Polinesia Francesa (Pouvreau, et al., 2000). A su vez, Pouvreau y Prasil (2001) analizaron el crecimiento de *P. margaritifera* empleando el modelo de von Bertalanffy para hacer una comparación con las curvas de crecimiento en la especie, reportando que este modelo es apropiado para describir el crecimiento de varios miembros del género *Pteriidae*.

Algunos autores señalan que la ecuación de von Bertalanffy debe abandonarse cuando el comportamiento asintótico de la curva de crecimiento no se encuentre bien representado en el grupo de datos (Roff, 1980; Ratwkosky, 1986, Hernández-Llamas y Ratwkosky, 2004). En el presente estudio se sugirió una modificación al modelo de Ratwkosky, (1986) para ajustar mejor a los patrones de crecimiento de *P. sterna* en condiciones de cultivo, así lo demostró la suma de cuadrados residual que es la varianza que no explica el modelo. Otra de las ventajas de este nuevo modelo, es la interpretación de sus parámetros, por ser claramente identificables con valores observados durante el cultivo, a diferencia del modelo de von

Bertalanffy, el cual utiliza parámetros como la longitud infinita (L_{∞}), parámetro que no puede ser observado (valor teórico). Por lo tanto es arriesgado hacer inferencias sobre dicho parámetro.

A partir de estas modificaciones, se calcularon valores de L_T y k para describir el crecimiento. Previamente, Saucedo y Monteforte (1997a) utilizaron el modelo de von Bertalanffy y el análisis de frecuencia de tallas del programa pesquero ELEFAN (Electronic Length Frequency Analysis) para determinar el crecimiento en un sistema de cultivo de fondo de juveniles de *P. sterna* en la Bahía de La Paz. Los valores calculados ($L_{\infty} = 100.0$ mm, $K = 0.69$ y $WP = 0.5$) coinciden con un patrón de crecimiento estacional influenciado fuertemente por los parámetros ambientales típicos de la zona subtropical-templada. A su vez, Wright et al. (2009) reportaron valores de $L_{\infty} = 156.02$ mm, $K = 0.48/\text{año}$ y $WP = 0.73$ para adultos silvestres de *P. sterna* en Santa Rosalía, B.C.S. (rango de tallas promedio de 148 a 156 mm de altura de la concha). Tomando en cuenta la diferencia en tallas de los organismos en ambos estudios (juveniles vs. adultos), así como su origen (cultivados vs. silvestres), ciertos valores como el WP (Winter Point) reflejan el carácter estacional del crecimiento en ambas zonas subtropicales. Con base en estos resultados, nuestra hipótesis es que de haber utilizado el programa ELEFAN y calcular el WP, éste hubiera tendido a cero como un indicador de poca estacionalidad en el crecimiento. Por otro lado, es evidente que el tipo de crecimiento y la talla máxima que alcanzaron los organismos al cabo de un año en el sistema de cultivo (Saucedo et al., 1997a y el presente estudio) es diferente al que pudiera observarse en la población natural en el mismo tiempo (Wright et al., 2009). Factores ambientales característicos del cultivo, tales como el tipo de arte ofrecido a las ostras (canastas Nestier en este caso), la cantidad de luz recibida, la disponibilidad de alimento y principalmente la densidad poblacional a la que fueron mantenidos los organismos ejercieron seguramente un efecto que debe tomarse en cuenta al analizar los resultados.

La modificación al modelo propuesto por Ratkowsky (1986), adaptado para especies utilizadas en acuicultura, permitió describir con claridad el crecimiento en talla de *P. sterna* en nuestro cultivo experimental. Resultados similares fueron observados por Ruiz-Velazco et al. (2010), quienes describieron el crecimiento en peso de *Litopenaeus vannamei*, estos autores modificaron el modelo de crecimiento propuesto por Hernández-Llamas y Ratkowsky (2004) para demostrar las ventajas de trabajar con modelos con valores esperados.

7.3. Relaciones alométricas

El análisis de las relaciones entre las diferentes dimensiones de la concha (altura-longitud y altura-peso) mostraron una relación alométrica negativa, lo cual difiere con lo reportado por Saucedo et al. (1998) para *P. sterna* cultivada en la Bahía de La Paz, donde la relación altura-longitud de esta especie fue de tipo isométrico. Por su parte, Del Río-Portilla et al. (1992) estudiaron el crecimiento de *P. sterna* en diferentes condiciones de temperatura y concentración de alimento, concluyendo que el crecimiento en longitud de la concha, con respecto al eje de crecimiento máximo (altura de la concha) es isométrico, mientras que el crecimiento a partir de la relación longitud y a la de la concha es alométrico. Los autores establecen que el crecimiento de este organismo tiende hacia los ejes principales, como son la longitud y la altura. Aldana-Avilés (1998) también menciona que los juveniles de *P. sterna* presentan alometría positiva para la relación longitud-altura y altura-ala, la cual tiende hacia isometría en las ostras de mayor edad, hasta alcanzar la isometría completa en ostras de aproximadamente 70-80 mm de altura. Estos resultados coinciden con lo reportado por Cantú-Cantú (2003), quien también observó que la relación altura-longitud de la concha, así como aquella relativa a la altura-grosor de la misma, obedecen a un crecimiento isométrico. Esta última relación fue reportada por Aldana-Avilés (1998) como alométrica negativa durante todo el experimento.

De acuerdo con Seed (1980), los valores de las relaciones alométricas tienden a ser menores a 3, en tanto que las isométricas al valor de 3, como un reflejo de la necesidad de mantener constante la relación área-volumen en los organismos en función del sustrato donde se fijan y viven, así como dependiendo del tipo de arte donde se cultivan. Con base en ello, se concluye que la morfología de la concha de *P. sterna* es muy compleja (más que la de *P. mazatlanica*), pues está continuamente cambiando con el crecimiento en la mayoría de sus ejes (Saucedo, 1995).

7.4. Reproducción

El análisis histológico de las gónadas reveló que *P. sterna* inicio la gametogénesis a partir de diciembre 2009, a una talla promedio de 4.9 cm de altura (machos) y 5.6 cm (hembras). Por debajo de esta talla no hubo evidencia de actividad reproductiva. En este estudio, se registró en diciembre 7% de organismos en desarrollo y 93% en post-desove, lo que parece no tener una explicación clara, pues esta última etapa ocurre después del desove y no parece corresponder a una primera madurez. *A priori*, estos resultados sugieren que este evento de primera madurez en *P. sterna* fue incipiente y siguió dos posibles cursos: (1) un desove fugaz que no se detectó histológicamente y que dio paso inmediato al post-desove, o (2) una reabsorción directa de los gametos sin ocurrencia de un desove por todavía no tener la maquinaria fisiológica necesaria para sustentar el desarrollo activo de los gametos. Sin tener evidencia suficiente para confirmar ninguna de estas dos opciones, lo que sí fue claro es que a partir de diciembre, los procesos de desarrollo gonadal, madurez y desove poblacional se presentaron de forma continua durante el resto del estudio, lo que confirma que *P. sterna* es una especie multidesovadora a lo largo del año. Contrariamente, *P. mazatlanica*, la otra especie de ostra perlera desova durante una corta temporada de 2-3 meses durante el verano en Bahía de La Paz, cuando la temperatura alcanza su valor máximo (28-29 °C) (Saucedo y Monteforte, 1997b). Esta característica es similar a la reportada por Torres y Cruz (2002) en la Bahía de Acapulco, donde *P.*

mazatlanica presentó desoves continuos a lo largo del ciclo de estudio, con un desove intenso a finales del mes de septiembre, cuando la temperatura del agua alcanzó los 30 °C.

Otros autores han estudiado el ciclo reproductivo de *P. sterna* en distintos lugares del Noroeste de México y han reportado resultados diferentes. Por ejemplo, Hernández-Díaz y Bückle-Ramírez (1996) observaron desoves continuos a lo largo del año, con picos en diciembre, febrero y agosto en Bahía de los Ángeles, Baja California. Por su parte, Saucedo y Monteforte (1997b) encontraron que para el periodo de junio 1992 a mayo 1993, *P. sterna* presenta dos picos de desove a lo largo del año en Bahía de La Paz, uno en febrero y otro en mayo cuando la temperatura del agua se encuentra entre los 22.2 y 23.4 °C. Arizmendi-Castillo (1996) identificó en una zona cercana a Guaymas, Sonora, un solo periodo de desove que se presenta de marzo a mayo cuando la temperatura del agua varía de 19 a 22 °C. Más recientemente, Hernández-Ojalde et al. (2007) reportan la ocurrencia del desove en *P. sterna* de junio a septiembre en Laguna Ojo de Liebre, B. C. S. a temperaturas entre los 23 y 25 °C.

En bivalvos marinos se conoce que los cambios en el ciclo reproductivo están regulados por una compleja interacción de factores bióticos y abióticos, de entre los cuales la disponibilidad de alimento y la temperatura del agua son las más importantes (Bayne, 1976; Barber y Blake, 1991; Saucedo y Southgate, 2008). Se sabe también que la temperatura controla el inicio y término de los procesos reproductivos más importantes, como la activación o reactivación de las células germinales, el inicio del desove, la reabsorción de gametos, etc. Por el contrario, la concentración de alimento regula la duración de dichos procesos (Vite-García y Saucedo, 2008; Cáceres-Puig et al., 2009). En este estudio, no se observó una relación evidente entre la actividad reproductiva de los organismos (reflejada a partir del índice gonádico) y la concentración de clorofila *a*, lo que indica que la cantidad de alimento, la cual se mantuvo más o menos constante casi todo el año, no fue una limitante para el sustento de la gametogénesis. Sin embargo, en el mes

de junio se apreció con claridad una relación inversamente proporcional entre el índice gonádico (el más bajo) y la concentración de clorofila *a* (la más alta), lo que ahora sugiere que la energía necesaria para asegurar la gametogénesis no provino del alimento, sino de las reservas previamente almacenadas en tejidos somáticos, adoptando una estrategia de tipo conservadora (Bayne, 1976). En la Bahía de La Paz, por el contrario, se ha reportado que *P. sterna* utiliza los dos tipos de estrategias reproductivas para asegurar la gametogénesis; en el invierno a expensas de la energía obtenida directamente del alimento cuando éste es abundante (estrategia oportunista), y en la primavera a partir de las reservas energéticas almacenadas cuando la disponibilidad alimenticia es limitante (estrategia conservadora) (Saucedo et al., 2002; Vite-García y Saucedo, 2008; Cáceres-Puig et al., 2009; Gómez-Robles y Saucedo, 2009).

Como se mencionó anteriormente, la talla de primera madurez de *P. sterna* mantenida en condiciones de cultivo se alcanzó en promedio a los 4.9 cm de altura en machos y 5.6 cm en hembras. Igualmente, se observó que la proporción sexual macho:hembra fue de 0.60:1 en promedio, existiendo casi todo el año una mayor proporción de machos (57%) que hembras (34%). Previamente, Saucedo y Monteforte (1997b) reportaron que la talla de primera de *P. sterna* en la Bahía de La Paz se alcanzó a partir de una talla de 39 mm de altura de la concha (17 meses de vida aproximadamente), y que el cambio de sexo de macho a hembra ocurrió a partir de los 50 mm de talla. A su vez, estos mismos autores reportaron que en situación de cultivo extensivo, la proporción sexual macho:hembra fue aún más baja que en este estudio (0.38:1). Aunque en ostras perleras, así como para muchas especies de bivalvos marinos, la proporción sexual tiende a la unidad (1:1) conforme se incrementa la talla/edad de los organismos (Gervis y Sims, 1992), se ha visto que este comportamiento de producir un número mayor de machos que de hembras en sistemas de cultivo, particularmente cuando se mantienen densidades altas, parece ser una respuesta inmediata de los organismos hacia la existencia de condiciones de estrés (Saucedo y Southgate, 2009). En otras palabras, cuando las densidades de cultivo se mantienen altas por

un cierto tiempo, en especial durante la temporada reproductiva, los organismos tienden a producir los gametos que energéticamente son menos costosos (espermatozoides) como una estrategia que permite conservar la mayor cantidad de energía para incrementar las posibilidades de supervivencia (Acosta-Salmón & Southgate, 2005). Como apoyo a estos resultados, se ha confirmado también que en otras granjas de cultivo de ostras perleras en Australia existe una mayor proporción de machos que de hembras en *P. máxima* y *P. margaritifera* (Prof. Paul Southgate, com. pers.).

Por otro lado, nuestros resultados revelan que a partir de diciembre, cuando inicio la gametogénesis, la presencia de ovocitos pre-vitelogénicos (inmaduros), vitelogénicos (en desarrollo) y post-vitelogénicos (maduros) se mantuvo relativamente constante el resto del año, no obstante los valores más altos del área de ovocitos se registraron en diciembre 2009 y marzo 2010 ($\sim 240 \mu\text{m}^2$), cuando la temperatura venía a la baja (28 a 25 °C) y los niveles de clorofila a al alza (a 2.5 mg/L a 3.1 mg/L). Estos resultados son consistentes con la tendencia general del índice gonádico, el cual reflejó confiablemente la actividad reproductiva de *P. sterna* en la Bahía de Acapulco

Con base en la información recopilada en el presente estudio, parece claro que *P. sterna* utiliza estrategias diferentes para asegurar el crecimiento y reproducción en el ambiente tropical de la Bahía de Acapulco, en comparación con otros sitios de la Península de Baja California (Bahía de La Paz, Bahía de Los Angeles, Bahía Ojo de Liebre, Guaymas), que corresponden a los ambientes subtropical y templado. Particularmente, nuestros resultados indican que la especie crece a un ritmo más acelerado y promueve más el desarrollo gonadal cuando las temperaturas se incrementan, lo cual difiere de lo reportado para la especie en el ambiente subtropical-templado. Por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada al inicio de este trabajo que postula que los patrones de crecimiento y reproducción de este organismo en ambiente tropical serán diferentes a los reportados en ambientes subtropicales y templados.

VIII. CONCLUSIONES

Como resultado del trabajo descrito, se pueden extraer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

8.1. Crecimiento

- La concentración de clorofila *a* presentó una relación directamente proporcional en el crecimiento en talla y peso de los organismos, pero fue inversamente con la temperatura.
- *P. sterna* presentó un crecimiento exponencial durante el ciclo anual muestreado.
- El crecimiento en altura y longitud de la concha y peso húmedo del organismo se ajustaron a un modelo potencial, mientras que el grosor lo hizo a un modelo lineal.
- Las relaciones entre la altura-longitud de la concha y altura-peso y altura-grosor de los organismos siguieron un modelo lineal. El tipo de crecimiento que presentó *P. sterna* fue alométrico negativo.
- El análisis realizado entre el modelo de von Bertalanffy y el propuesto, mostró que este último interpreta claramente los valores de crecimiento durante el cultivo, a diferencia del de von Bertalanffy que utiliza el parámetro de L_{∞} que normalmente no puede ser observado y solo permite hacer deducciones, lo cual no da un resultado exacto ni permite interpretaciones claras.

8.2. Reproducción

- o La gametogénesis inició en el mes de diciembre 2009 y a partir de aquí se presentó como un proceso continuo a lo largo del año con picos de desove en junio 2010 y abril 2010. Los desoves se presentaron durante los meses de enero (7%) a junio (21%) con un pico en abril (36%), mientras que el periodo de post-desove se registró entre los meses de diciembre y enero.
- o La relación entre el índice de condición y la temperatura del agua fue directamente proporcional, en tanto que dicha relación fue inversamente proporcional durante los meses de enero a junio con respecto a la concentración de clorofila *a*.
- o La talla de primera madurez para hembras fue a partir de los 40.96 cm mientras que para machos fue a partir de los 49.46 cm.
- o La proporción sexual hembra:macho fue de 0.59:1 en promedio para todo el estudio.
- o La presencia de ovocitos previtelogénicos, vitelogénicos y post-vitelogénicos fue relativamente constante todo el año y las variaciones en la talla de éstos fueron consistente con la tendencia del índice gonádico, que se considera un indicador confiable de la actividad reproductiva de *P. sterna*.

IX. RECOMENDACIONES

1. Debido a que las ostras perleras representan un recurso potencial por su aprovechamiento integral para su cultivo y producción de perlas y con base en los resultados del presente estudio y la abundancia de la especie en la Bahía de Acapulco, se recomienda dar inicio a proyectos de aprovechamiento sustentable, lo cual es una fuente de empleo para la zona.
2. Seguir realizando estudios sobre reproducción en *P. sterna* en la Bahía de Acapulco, donde se abarque un periodo de dos años para así poder conocer las variaciones en el comportamiento de la especie.
3. Con relación a estudios de crecimiento, se recomienda el análisis de la densidad, así como manejar los mismos organismos para llevar un buen control.
4. Se recomienda un estudio específico que se enfoque a la influencia de las condiciones ambientales en el crecimiento y reproducción de la especie.

X.LITERATURA CITADA

- Acosta-Salmón, H y Southgate P.C. 2005. Histological changes in the gonad of the blacklip pearl oyster (*Pinctada margaritifera* Linnaeus, 1758) during the reproductive season in north Queensland, Australia. *Moll. Res.* 25, 71-74
- Aguirre M.J., Calderon B.J.L. y Bahamonde T.F. 1981. Diagnóstico y Solución a la Problemática de la Contaminación del Agua. Estado de Guerrero. Dir. Gral. De Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, México DF.
- Bayne B.L. 1976. Aspects of reproduction in bivalve mollusks. En: Wiley, M. (Ed.), *Estuarine Processes*, Vol. 1. Academic Press, Londrés, Reino Unido, pp. 432-448.
- Campbell A. y Ming M.D. 2003. Maturity and growth of the Pacific geoduck clam, *Panopea abrupta*, in Southern British Columbia, Canada. *Journal of Shellfish Research* 22, pp. 85-90.
- Cantu-Cantu P. 2003. Crecimiento y Supervivencia en fase de Preengorda de la concha nácar *Pteria sterna* (Gould, 1851) en un sistema de cultivo extensivo de suspensión bajo diferentes densidades con semilla silvestre en la Bahía de Acapulco, Gro., México, de Junio del 2001 a Enero del 2002. Congreso en línea CIVA 2003 (<http://www.civa2003.org>), pp. 161-176.
- Cariño M.M. y Monteforte M. 1995. History of pearling in the Bay of La Paz, South Baja California, México (1533-1914). *Gems and Gemology* 31: pp.88-108.
- Checa A. 2000. A new model for periostracum and shell formation in Unionidae (Bivalvia, Mollusca). *Tissue & Cell.* 32 pp. 405-416.
- Chellam A. 1978. Growth of Pearl oyster *Pinctada fucata* in the Pearl culture farm at Veppalodai. *Indian Journal of Fishery* 25(l-2) pp. 77-83
- Cruz-Pérez M. 2002. Caracterización del ciclo reproductivo y épocas de desove de la madreperla *Pinctada mazatlanica* (Hanley 1856) en la Bahía de Acapulco,

Guerrero. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Guerrero, Unidad Académica de Ecología Marina, Acapulco, Gro.

- De la Lanza-Espino G. 1991. Oceanografía de Mares Mexicanos. AGT Editores. México. pp. 163-175.
- Desai K., Hirani G. y Nimavat D., 1979. Studies on the pearl oyster *Pinctada fucata* (Gould): Seasonal biochemical changes, *Ind. J. Mar. Sci.* 8: pp. 49-50.
- Fougerouse-Tsing A. y Herbaut C. 1994. Atlas anatomique de l'huître perlière *Pinctada margaritifera*. Etablissement pour la Valorisation des Activités Aquacoles et Maritimes. Centre Universitaire de Polynésie Française. EVAAM, Programme General de Recherche sur la Nacre, Pág. 89.
- García E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, Univ. Nal. Autón. México, Pág. 246.
- Gervis M.N. y Sims, N.A. 1992. Biology and culture of pearl oysters (Bivalvia: Pteriidae). Overseas Dev. Adm., U.K. Int. Cent. Living Aqua. Res. Man., Manila, The Philippines, 49 pp.
- Giese A.C. y Pearse J.S., 1979. Molluscs: Pelecypods and lesser classes. En: Gease, A.C., and Pearse, J.S. (Eds.), *Reproduction of Marine Invertebrates*. Vol. 5. Academic Press, Nueva York, pp. 112-292.
- Grant A. y Tyler P.A. 1983. The analysis of data in studies of invertebrate reproduction. II. The analysis of oocyte size/frequency data, and comparison of different types of data. *Int. J. Invert. Repro.* 6, pp. 271-283.
- Hernández-Llamas A. y Ratkowsky D.A. 2004. Growth of fishes, crustaceans and molluscs: estimation of the von Bertalanffy, Logistic, Gompertz and Richards curves and a new growth model. *Marine Ecology Progress Series*. 282: pp. 237-244.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2000. Acapulco de Juárez, Guerrero, Cuaderno Estadístico Municipal. México.
- Jamili, S., Amini G. y Oryan S. 1999. Gonad changes and serum steroid levels during the annual reproductive cycle of the pearl oyster *Pinctada fucata* Gould. Iran. J. Fish. Sci. 1, pp. 67-75.
- Katsuyuki N. 1994. Growth and Physiological Condition of the Japanese Pearl Oyster, *Pinctada fucata martensii* (Dunker, 1850) in Ohmura Bay, Japan. Journal of Shellfish Research. 13, (1), pp. 93-99.
- Keen M. 1971. Sea Shells of Tropical of west America. Marine mollusks from Baja California to Peru. Stanford Univ. Press.
- Kiefert L., McLaurin D., Arizmendi-Castillo E., Hänni H.A. y Elen S. 2004. Cultured pearls from the Gulf of California, Mexico. Gems & Gemology 40: pp. 26-38.
- Levi Y., Albeck S., Brack A., Weiner S. y Addadi L. 1998. Control over aragonite crystal nucleation and growth: an *in vitro* study of biomineralization. Chem. Eur. J. 4, No. 3. pp. 389-396
- Lucas J.S. y Southgate P.C. 2005. Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants. Fishing News Books, Blackwell Publishing, India, Pág. 495.
- Mackie G.L. 1984. Bivalves. En: Wilburg, K.M. (Ed.), The Mollusca, Vol. 7: Reproduction. Academic Press, Nueva York, pp. 351-417.
- Martínez-López A., Cervantes-Duarte R., Reyes Salinas A. y Valdéz-Holguín J.E. 2001. Cambio estacional de clorofila *a* en La Bahía de La Paz, B. C. S., México. Hidrobiológica 11 (1): 45-52
- Mellado-Moreno A. 2008. Cultivo de ostras para producción de perlas, en Friday Island, Torres Strait, Australia. Intercambio Cultural Internacional. Reporte Interno. Pág. 20.

- Monteforte M. 1996. Cultivo de Ostras Perleras y Pericultura. En: Casas-Valdez, M. y G. Ponce-Díaz (eds.). *Estudio del Potential Pesquero y Acuicola de Baja California Sur*. FAO, pp. 571-613.
- Monteforte M., Bervera H., Ramirez J.J., Saucedo P. y López C. 2005. Effect of stocking density on growth and survival of the rainbow pearl oyster *Pteria sterna* (Gould 1852) during nursery and late culture in Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Aqua. Intern.* 13: 391-407.
- Pérez Estrada C.J. 2000. Descripción anatómica e histológica de la concha nácar *Pteria sterna* mollusca: Pteriidae. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Área Interdisciplinaria de Ciencias del Mar, Departamento de Biología Marina. Pág. 3
- Piana L.F. 1980. Condiciones oceanográficas asociadas con mareas rojas en la Bahía de Acapulco, Secretaria de Marina, Dir. Gral. De Oceanografía, México, D.F.
- Ratkowsky D.A. 1986. Statistical properties of alternative parameterizations of the von Bertalanffy growth curve. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 43, pp. 742-747
- Roff D.A. 1980. A motion for the retirement of the von Bertalanffy function. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 37, P.p 127-129.
- Román G., Martínez G., García O. y Freites L. 2002. Reproducción. En: Maeda-Martínez, A.N. (Ed.), *Los Moluscos Pectinidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura*. Ed. Limusa, Mexico, pp. 27-60.
- Romo-Piñera A.K. 2010. Estrategia reproductiva de *Megapitaria squalida* (Sowerby, 1835) en dos zonas de Baja California Sur, México. Tesis Doctoral, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del I.P.N.
- Ruiz-Velazco, Hernández-Llamas, Gómez-Muñoz, Magallón F.J. 2010. Dynamics of intensive production of shrimp *Litopenaeus vannamei* affected by white spot disease. *Aquaculture Research*, Pág. 7.

- Sarashina I. y Endo K. 1998. Primary structure of a soluble matrix protein of scallop shell: Implications for calcium carbonate biomineralization. *American Mineralogist*, 83, pp. 1510-1515.
- Saucedo P.E. y Monteforte M. 1997a. In situ growth of pearl oyster *Pinctada mazatlanica* (Hanley 1856) and *Pteria sterna* (Gould 1851) under repopulation conditions at Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Aqua. Res.* 28, 367-368.
- Saucedo P.E. y Monteforte M. 1997b. Breeding cycle of pearl oysters *Pinctada mazatlanica* y *Pteria sterna* (Bivalvia: Pteriidae) at Bahía de La Paz, Baja California Sur, México). *J. Shellfish Res.* 16, 103-110.
- Saucedo P.E., Monteforte M. y Blanc F. 1998. Changes in Shell dimensions of pearl oysters, *Pinctada mazatlanica* (Hanley 1856) y *Pteria sterna* (Gould 1851), during growth as criteria for Mabé pearl implants. *Aquaculture Research*, 29, pp. 801-814.
- Saucedo, P.E. 2001. Investigación aplicada al acondicionamiento gonadal y reproducción de la madreperla de Calafia, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) en el laboratorio. Tesis Doctoral. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur, México
- Saucedo P.E. y Southgate P.C. 2008. Reproduction, Development and Growth. En: Southgate P.C. y Lucas J.S (eds) *The Pearl Oyster: Biology and Culture*, Elsevier Science Publishers, Holanda, pp. 131-186.
- Southgate P.C. 2008. Pearl Production. En: Southgate P.C. y Lucas J.S (eds) *The Pearl Oyster: Biology and Culture*, Elsevier Science Publishers, The Netherlands, pp. 273-302.
- Sims A.N. 1993. Size, Age, and Growth of the Black-Lip Pearl Oyster, *Pinctada margaritifera* (L) (Pteriidae; Bivalvia), *Journal of Shellfish Research* 12, (2), pp. 223-228.

- Torres-Zepeda M.G. y Soto M.P. 2002. Crecimiento de juveniles de Madre Perla *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856), en la fase de preengorda a partir de semilla silvestre capturada en la Bahía de Acapulco (Guerrero, México). Congreso Virtual de Acuicultura (CIVA) 2002 (<http://www.civa.2002.org>), pp. 422-434.
- Torres-Zepeda M.G. y Cruz-Pérez M. 2002. Caracterización del ciclo reproductivo y épocas de desove de la Madreperla *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) en la Bahía de Acapulco (Guerrero, México). CIVA 2002 (<http://www.civa.2002.org>), 409-421.
- Tranter D.J. 1959a. Reproduction in Australian pearl oysters (Lamellibranchia). I. *Pinctada albina*(Lamark): Primary gonad development. *Austr. J. Mar. Freshwater Res.* 9: pp. 135-143.
- Tranter D.J. 1959b. Reproduction in Australian pearl oysters (Lamellibranchia). II. *Pinctada albino* (Lamark): Gametogenesis. *Austr. J. Mar. Freshwater Res.* 9: pp. 144-158.
- Tranter D.J. 1959c. Reproduction in Australian pearl oysters (Lamellibranchia). III. *Pinctada margaritifera* (L.). *Austr. J. Mar. Freshwater Res.* 9: pp. 509-523.
- Tranter D. J. 1958d. Reproduction in Australian pearl oysters (Lamellibranchia). IV. *Pinctada margaritifera* (L.). *Austr. J. Mar. Freshwater Research* 9: pp. 509-523