



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

DINÁMICA DEL RECLUTAMIENTO DE JUVENILES
DE CONCHA NÁCAR *Pteria sterna* EN LA BAHÍA DE
LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

TÉSIS

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales

(Orientación Biología Marina)

Presenta

JORGE IVÁN CÁCERES PUIG

La Paz, Baja California Sur, marzo del 2012

ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S. siendo las 15 horas del día 01 del Mes de Marzo del 2012, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. a liberar la Tesis de Grado titulada:

"DINÁMICA DEL RECLUTAMIENTO DE JUVENILES DE CONCHA NÁCAR *Pteria sterna* EN LA BAHÍA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

Presentada por el alumno:

Jorge Iván Cáceres Puig

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN Biología Marina

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACION DE LA TESIS** en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA


LEONARDO HUATO SOBERANIS
CO-DIRECTOR DE TESIS


PEDRO E. SAUCEDO LASTRA
CO-DIRECTOR DE TESIS


ENRIQUE MORALES BOJÓRQUEZ
CO-TUTOR


JORGE CHAVEZ VILLALBA
CO-TUTOR


JULIO CANDELA PEREZ
CO-TUTOR


DRA. ELISA SERVIERE ZARAGOZA,
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Conformación de comités

Comité tutorial

- Dr. Leonardo Huato Soberanis (CIBNOR), Co-director.
- Dr. Pedro Enrique Saucedo Lastra (CIBNOR), Co-director.
- Dr. Enrique Morales Bojórquez (CIBNOR), Cotutor.
- Dr. Jorge Chávez Villalba (CIBNOR), Cotutor.
- Dr. Julio Candela Pérez (CICESE), Cotutor.

Comité revisor de tesis

- Dr. Leonardo Huato Soberanis.
- Dr. Pedro Enrique Saucedo Lastra.
- Dr. Enrique Morales Bojórquez.
- Dr. Jorge Chávez Villalba.
- Dr. Julio Candela Pérez.

Jurado de examen de grado:

- Dr. Leonardo Huato Soberanis.
- Dr. Pedro Enrique Saucedo Lastra.
- Dr. Enrique Morales Bojórquez.
- Dr. Jorge Chávez Villalba.
- Dr. Julio Candela Pérez.
- Dr. José Manuel Mazón Suástegui (CIBNOR), Suplente
- Dr. Salvador Lluch Cota (CIBNOR), Suplente

Resumen

En México la producción comercial de perlas no es de ciclo cerrado, y para el caso particular de *Pteria sterna*, depende de la recolecta de juveniles de la población silvestre. Se ha observado que la captación de reclutas es errática y presenta fluctuaciones interanuales importantes. Por ejemplo, en el 2006 la recolecta fue abundante (~1500 semillas por colector), mientras que durante el 2007 fue escasa (~30 semillas por colector). Esta variación interanual de juveniles recolectados se ha convertido en un problema crítico para el cultivo de la especie, ya que no garantiza un abasto anual suficiente y consistente de organismos, lo cual redundaría en variaciones inaceptables para el cultivo comercial de la especie y la producción de perlas. Para enfrentar este problema, se estudiaron factores bióticos y abióticos que se relacionan con la dinámica del reclutamiento de juveniles de *P. sterna* en la Bahía de La Paz, B.C.S., México. Se observó que el mayor reclutamiento de la especie se presenta cuando la temperatura del agua de mar se encuentra entre los 19 y 24 °C (diciembre–junio). Se determinó a través del modelo hidrodinámico de la Bahía de La Paz, que las corrientes son el factor de mayor influencia en la dispersión de las larvas y que ésta tiene una fuerte tendencia hacia la retención de las larvas en su población de origen. Sin embargo, también existen eventos de circulación de las corrientes que permiten intercambios en la población. Resultado de la competencia por sustrato, el reclutamiento de la especie es mayor en el fondo y menor en la superficie. Existe una correlación positiva entre el mayor reclutamiento y la mayor cantidad de energía en el alimento. Estas variables que afectan el reclutamiento de la especie tienen una relación directa con los reproductores que están generando las nuevas cohortes de *P. sterna*, teniendo la mayor fecundidad potencial durante el invierno ($1.8\text{--}2.5 \times 10^6$) y la primavera ($2.1\text{--}2.6 \times 10^6$) cuando la temperatura del agua es inferior a 24 °C y la energía en el alimento es más alta (diciembre y marzo), lo cual también coincide con el momento en el que los reproductores tienen la mayor energía, y por tanto su condición fisiológica es mejor. Lo cual permite identificar con certidumbre las temporadas para la recolecta de la especie, así como la presentación de un mapa de la dispersión de las larvas que permite a los acuicultores contar con una nueva herramienta en la planeación de las recolectas para abastecer los cultivos de la especie.

Palabras Clave: Reclutamiento, *Pteria sterna*, Dispersión larval.



Vo.Bo. Co-director
Dr. Leonardo Huato Soberanis



Vo.Bo. Co-director
Dr. Pedro Enrique Saucedo Lastra

Abstract

Recruitment dynamics of the winged pearl oyster *Pteria sterna* in Bahía de La Paz, Baja California Sur, México

In México, the commercial production of pearls is of close-cycle, and in the particular case of the winged *P. sterna*, relies on the collection of juveniles from the wild. However, the recruitment process is erratic and experience large inter-annual fluctuations. In 2006, for instance, juvenile collection was very abundant (1,000 to 1,5000 juveniles per collector), while in 2007 the density decreased to about 30 juveniles per collector. This inter-annual variation has become a critical problem for the cultivation of the species, since it does not guaranties a consistent and sufficient production of spat for the support of the pearl industry. To overcome this problem, we determined the main biotic and abiotic factors that affect the recruitment dynamics in *P. sterna* in Bahía de La Paz, B.C.S., México. The greatest recruitment occurred when water temperature decreased between 24 to 19 °C (December–June), while the lowest recruitment occurred at temperatures between 27 to 30 °C. Similarly, we determined that the dispersion of larvae in the water has a clear trend for retaining the connectivity of the origin population. There are, however, events of current circulation that allow exchange of larvae in the metapopulation. The recruitment of the species was higher at the bottom and lower at the surface, which results from a more active competition for resources in shallow waters. This pattern also resulted in a positive correlation between the recruitment of juveniles and the energy available in the food. These variables affect the natural recruitment process of the species and have a direct relation with the condition of the broodstock that generates new cohorts. Therefore, the values of potential fecundity were higher in winter ($1.8\text{--}2.5\times 10^6$) and in spring ($2.1\text{--}2.6\times 10^6$), when water temperature was lower (24°C) and food availability was higher (December–March). These results are consistent with the moment in which the broodstock are energetically stronger and have better physiological condition.

Key words: Recruitment, *Pteria sterna*, Dispersion of larvae.

Dedicatoria

A mi padre, porque sin sus errores no sabría que tanto puedo perder y sin sus aciertos no sabría hasta dónde puedo crecer.

A mi madre, porque su fuerza me ha enseñado que de cualquier cosa uno se puede levantar y seguir adelante, y que haciendo las cosas bien, siempre encontraremos el camino a pesar de lo perdido que estemos.

A Lizbeth y a mi hija Teresita, porque el día en que llegaron a mi vida comprendí que de verdad era necesario existir.

A mi Nana, por sus consejos y sobre todo porque si no la hubiera conocido no sabría que se puede enfrentar a la muerte y trascender.

A mi hermana que hoy afronta a la vida como una gran mamá.

A Javier porque siempre esta cuando todos están y sobre todo cuando nadie está.

A mi hermano Jehú, a mi compa-compa Massó, a mis compadres Daniel, Mely, Andres, Tere, a mis grandes hermanos de em y a Marco porque son pocos los amigos que siempre están para apoyarte y sobre todo para escucharte cuando lo necesitas.

A Isis porque cuando existen grandes maestros hay que reconocérselos, pero cuando sus enseñanzas son tu guía en la vida, hay que agradecerérselos.

Agradecimientos

A mi familia que me ha apoyado durante toda mi vida y me ha ayudado a seguir adelante en todo momento.

A mis asesores Pedro Saucedo, Leonardo Huato, Carlos Cáceres, Jorge Chavez, Enrique Morales, Julio Candela, Guido Marinone y Felipe Neri Melo por todos sus consejos, correcciones, sugerencias, etc.

Al CIBNOR por recibirme en su programa de estudios de posgrado, a la UABCS, al CICIMAR y al CICESE por permitirme hacer uso de sus instalaciones.

A las autoridades del CONACYT por la beca otorgada (folio 174118). Al convenio de colaboración entre el CIBNOR y la empresa “Perlas del Cortez S. de RL. MI.” (Ref. No. CG07-245-PCO). Al proyecto que financió este trabajo a cargo del Dr. Leonardo Huato Soberanis (900-801).

A la empresa Perlas del Cortez S de RL MI, especialmente a Javier y Polo por su apoyo y facilidades para trabajar en sus instalaciones.

A la Dra. Elisa Serviere y personal de posgrado (Osvelia, Leticia, Claudia, Horacio, etc.)

A todos mis compañeros y amigos que me acompañaron y ayudaron en los muestreos: Jehú, Massó, Javier, Laura, Ricardo, Sara, Polo, David, Rosalba, Paty, Lizbeth, Teresa, Cristian, Brenda, Paisa, Alfredo, Marcela, Carlos, Karo, Mau, Eliana, Nashieli, etc.

Contenido

1. Introducción	1
2. Antecedentes	4
2.1 Taxonomía	4
2.2 Sinónimos	4
2.3 Nombre común	5
2.4 Tamaño	5
2.5 Color	5
2.6 Características	5
2.7 Hábitat	6
2.8 Distribución	6
2.9 Anatomía de la especie	7
2.10 Dieta	8
2.11 Depredadores	8
2.12 Reproducción y desarrollo larvario	9
2.13 Reclutamiento	13
2.14 Abundancia	14
2.15 Crecimiento	15
3. Justificación	17
4. Hipótesis	17
4.1 General	17
4.2 Específicas	17
5. Objetivo	18
5.1 General	18
5.2 Específicos	18
6. Metodología	20
6.1 Área de estudio	20
6.1.1 Selección de sitios	20
6.2 Sistema de recolecta	23
6.3 Parámetros ambientales	25
6.3.1 Temperatura, salinidad y conductividad	25
6.3.2 Turbidez	25
6.3.3 Corrientes	25
6.4 Alimento disponible	26
6.4.1 Muestras de seston.....	26
6.4.2 Análisis bioquímicos y energéticos	27
6.4.2.1 Proteínas	27
6.4.2.2 Carbohidratos	27
6.4.2.3 Lípidos.....	28
6.4.2.4 Energía.....	28
6.5 Reclutamiento y competencia	28
6.5.1 Recuperación de los juveniles o reclutas.....	28

6.5.2 Competencia por sustrato	29
6.6 Determinación de la edad de los reclutas en los colectores.....	29
6.6.1 Marcado con calceína.....	29
6.6.2 Lectura de micro bandas de crecimiento.....	30
6.6.3 Lectura de marca fluorescente.....	31
6.7 Localización de bancos de reproductores	31
6.7.1 Selección de locaciones.....	31
6.7.2 Modelo de dispersión	32
6.7.3 Origen de las partículas	33
6.8 Estado fisiológico de los reproductores	34
6.8.1 Obtención y manejo de reproductores.....	34
6.8.2 Reconstrucción volumétrica.....	34
6.8.3 Medición de gametos.....	34
6.8.4 Estimación de la fecundidad.....	35
6.8.5 Rasgado de la gónada (stripping) para referenciar los valores de fecundidad ..	37
6.8.6 Estimación energética.....	38
6.9 Tratamiento de datos	39
7. Resultados.....	40
7.1 Parámetros ambientales.....	40
7.1.1 Temperatura del agua.....	40
7.1.2 Salinidad.....	41
7.1.3 Conductividad	42
7.1.4 Turbidez del agua.....	42
7.1.5 Corrientes	44
7.2 Alimento disponible.....	47
7.2.1 Seston total, pláncton y tripton.....	47
7.2.2 Análisis bioquímico del seston.....	49
7.2.3 Contenido energético del pláncton.....	51
7.3 Reclutamiento y competencia.....	51
7.3.1 Recolecta de juveniles de <i>P. sterna</i>	51
7.3.2 Biometrías de los juveniles reclutados de <i>P. sterna</i>	57
7.3.3 Competencia por sustrato colector	66
7.4 Edad de los reclutas en los colectores.....	73
7.4.1 Incremento absoluto y tasa de crecimiento	73
7.4.2 Marcado fluorescente	74
7.4.3 Lectura de micro bandas de crecimiento.....	75
7.5 Localización y estado fisiológico de los reproductores.....	79
7.5.1 Modelo de dispersión larvaria de <i>P. sterna</i>	79
7.5.2 Localización de los bancos de reproductores de <i>P. sterna</i>	82
7.5.3 Registro de talla y peso de reproductores y volumen gonadal de <i>P. sterna</i>	83
7.5.4 Fecundidad potencial.....	85
7.5.5 Rasgado de la gónada (stripping)	86
7.5.6 Estimación energética de los reproductores	87
7.6 Flujo de energía	88
8. Discusión	92

8.1 Efecto de las variables ambientales en el reclutamiento	92
8.2 Variación temporal del reclutamiento y el efecto de la competencia por sustrato	96
8.3 Determinación de la edad de los juveniles colectados	98
8.4 Localización y estado fisiológico de los reproductores	101
9. Conclusiones.....	108
10. Literatura Citada	110

Lista de Figuras

- Figura 1.** Morfología externa de la concha nácar *Pteria sterna*. El exterior de las conchas es de color café y está cubierto de espinas y escamas concéntricas características llamadas procesos de crecimiento. **4**
- Figura 2.** Vista interna de la concha nácar *Pteria sterna*, mostrando la cavidad interna, nacarada con tonos tornasolados característicos de la especie y dos mabés resultado de su cultivo. **5**
- Figura 3.** Distribución geográfica de la concha nácar *Pteria sterna* (tomado de Fischer, *et al.*, 1995). **6**
- Figura 4.** Diagrama de la concha y manto de una ostra perlera, mostrando una sección transversal de la concha de *Pteria sterna*. Tomado de Grevis y Sims (1992) **7**
- Figura 5.** Anatomía interna de la concha nácar *Pteria sterna*. Tomado de Saucedo y Southgate (2008). **8**
- Figura 6.** Ciclo de vida de la concha nácar *Pteria sterna*. Modificado de Saucedo (1995) **10**
- Figura 7.** Tiempo promedio de desarrollo larvario para miembros de la familia Pteriidae, construido a partir de Ota (1957); Alagarswami *et al.*, (1983); Rose y Baker (1994); Minaur (1969); Rose y Baker (1989); Tanaka y Kumeta (1981); Alagarswami *et al.* (1989) Doroudi y Southgate (2003); Monteforte (2004); Saucedo (2006); De Las Heras-Saldaña *et al.* (2007). **11**
- Figura 8.** Distribución espacial de las 10 estaciones de recolecta en la Bahía de La Paz, para estudio de captación de *Pteria sterna* (marcadas con puntos rojos). **22**
- Figura 9.** Sistema de recolecta para *P. sterna*..... **24**
- Figura 10.** Inyección de calceína y marca individual de los juveniles de *P. sterna* utilizados para validación de marcas de crecimiento en el experimento. **30**
- Figura 11.** Metodología aplicada para realizar el corte de las conchas de juveniles de *P. sterna* para la identificación de marcas de crecimiento. **31**
- Figura 12.** Representación de un ovocito reconstruido volumétricamente a partir de tres cortes seriados de la gónada, empleando el principio de Cavalieri. **36**
- Figura 13.** Representación de la aplicación del disector en la evaluación de cortes seriados de la gónada para estimar el volumen de ocupación de los ovocitos. **37**
- Figura 14.** Variaciones promedio, máximos y mínimos en la temperatura (°C) del agua de mar en los sitios de recolecta durante el periodo enero 2008–marzo 2010. **40**
- Figura 15.** Variaciones promedio, máximos y mínimos en la salinidad (ups) del agua de mar en los sitios de recolecta durante el periodo marzo 2008–marzo 2010..... **41**
- Figura 16.** Variaciones promedio, máximos y mínimos en la conductividad (ms/cmc) del agua de mar en los sitios de recolecta durante el periodo marzo 2008–marzo 2010. **42**
- Figura 17.** Variación promedio, máximos y mínimos en la turbidez (m) del agua de mar en los sitios de recolecta durante el periodo marzo 2008–marzo 2010. **43**
- Figura 18.** Corriente promedio mensual (cm/s), en la Bahía de La Paz, obtenida a través del modelo hidrodinámico desarrollado en CICESE para el primer semestre de los años 2008 y 2009. **45**

Figura 19. Corriente promedio mensual (cm/s), en la Bahía de La Paz, obtenida a través del modelo hidrodinámico desarrollado en CICESE para el segundo semestre de los años 2008 y 2009.	46
Figura 20. Variaciones promedio, máximos y mínimos del seston (a), plácton (b) y tripton (c) (mg/L) del agua de mar en los sitios de recolecta distribuidos en la zona del continente durante el periodo marzo 2008–marzo 2010.	48
Figura 21. Variaciones promedio y error estándar (barras) de las proteínas (a), carbohidratos (b) y los lípidos (c) contenidos en el plancton ($\mu\text{g/L}$) en los sitios de recolecta durante el periodo marzo 2008–marzo 2010.	50
Figura 22. Variaciones promedio y error estándar (barras) de la energía (kJ/L) contenida en los componentes bioquímicos del plancton en los sitios de recolecta durante el periodo marzo 2008–marzo 2010.	51
Figura 23. Variaciones en el reclutamiento de juveniles de <i>P. sterna</i> por periodo (a) y profundidad (b) de recolecta.	52
Figura 24. Variaciones en el reclutamiento de juveniles de <i>P. sterna</i> por estación.	54
Figura 25. Variaciones en el reclutamiento de juveniles de <i>P. sterna</i> por profundidad. ...	56
Figura 26. Variación en la altura (mm) de los juveniles reclutados de <i>P. sterna</i> por periodo de recolecta. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos y grupos formados por la prueba <i>a posteriori</i> de valores de <i>z</i>	57
Figura 27. Variación en altura (mm) de los juveniles reclutados de <i>P. sterna</i> por sitio de recolecta. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos.....	59
Figura 28. Variación en altura (mm) de los juveniles reclutados de <i>P. sterna</i> por profundidad de recolecta. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos.	61
Figura 29. Variación en peso (g) de los juveniles reclutados de <i>P. sterna</i> por estación de recolecta. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos.	63
Figura 30. Variación en peso (g) de los juveniles reclutados de <i>P. sterna</i> por profundidad de recolecta. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos.	65
Figura 31. Variación temporal en la biomasa o peso de los competidores (g) por colector de acuerdo a la temporada de recolecta, durante el periodo de estudio. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos y grupos formados por la prueba <i>a posteriori</i> de valores de <i>z</i>	66
Figura 32. Variación en el porcentaje de abundancia de moluscos bivalvos recolectados durante el periodo de estudio.	68
Figura 33. Variación en el peso de los competidores (g) por colector de acuerdo con el sitio de recolecta. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos.	70
Figura 34. Variación en el peso de los competidores (g) por colector de acuerdo con la profundidad de recolecta. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos.	72
Figura 35. Variaciones promedio en la talla y peso fresco (inicial X y final círculo negro) de los juveniles de <i>P. sterna</i> utilizados en el experimento.	73

Figura 36. . Marca de calceína en la sección media (a) y en la región del umbo (b) en la concha de los juveniles de <i>P. sterna</i> juveniles. Imagen tomada en el microscopio de fluorescencia a 450–480 nm (10×).	74
Figura 37. Ejemplos de autofluorescencia en la región del umbo de la concha de juveniles de <i>P. sterna</i> mostrando bandas delgadas separadas (a) y bandas gruesas continuas (b) bajo el microscopio de fluorescencia a 330 - 385 nm (10×).	75
Figura 38. Corte de la concha de <i>P. sterna</i> (10×) mostrando las micro bandas de crecimiento formadas durante el experimento en la región del umbo.	76
Figura 39. Composición de dos imágenes empalmadas del mismo corte de la concha de <i>P. sterna</i> (10×) en la sección media (a) y en la región del umbo (b), mostrando la marca de calceína y las 16 micro bandas de crecimiento formadas durante el experimento (resaltadas con líneas).	77
Figura 40. Distribución de edad por periodo de recolecta de <i>P. sterna</i> . Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos.	78
Figura 41. Dispersión larvaria de <i>P. sterna</i> durante los meses de temporada alta de reclutamiento obtenida con el modelo hidrodinámico de la Bahía de La Paz.	80
Figura 42. Dispersión larvaria de <i>P. sterna</i> durante los meses de temporada alta de reclutamiento obtenida con el modelo hidrodinámico de la Bahía de La Paz.	81
Figura 43. Posible origen de los juveniles de <i>P. sterna</i> reclutados durante un año de estudio, en los periodos de colecta diciembre–marzo (a), marzo–junio (b), julio–septiembre (c) y octubre–diciembre (d).	83
Figura 44. Variaciones temporales en el volumen promedio de la gónada (mL) de los reproductores de <i>P. sterna</i> durante el periodo de estudio. Se presentan los datos de media, media \pm error estándar y media \pm 1.96* error estándar.	84
Figura 45. Variación temporal en los valores promedio (\pm ES) de fecundidad potencial (ovocitos/individuo) de los reproductores de <i>P. sterna</i> , estimada durante el periodo de estudio. Las barras indican el ES.	85
Figura 46. Fecundidad potencial (ovocitos/individuo) obtenida mediante las técnicas de stripping (rasgado) y del disector para los reproductores de <i>P. sterna</i> recolectados en diciembre de 2008. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo.	86
Figura 47. Variación temporal en los valores energéticos promedio (\pm ES) de los tejidos somáticos y germinales de los reproductores de <i>P. sterna</i> durante el periodo de estudio	87
Figura 48. Series de tiempo de las variables involucradas en el flujo de energía del reclutamiento de <i>P. sterna</i>	88
Figura 49. Relación de las variables estudiadas en el flujo de energía de la dinámica del reclutamiento de <i>P. sterna</i> durante el periodo de estudio.	91

Lista de Tablas

Tabla I. Sitios donde se ha reportado históricamente la presencia de <i>P. sterna</i> en la Bahía de La Paz.	14
Tabla II. Localización y profundidad de los sitios de recolecta seleccionados para <i>P. sterna</i> en la Bahía de La Paz.	21
Tabla III. Relación de variables en el flujo de energía del reclutamiento de <i>P. sterna</i>	90

1. Introducción

El aprovechamiento más importante de las ostras perleras se relaciona, sin duda, con su capacidad de formar perlas (Kiefert *et al.*, 2004). Por sí sola, una perla es una de las gemas más finas que existe en la naturaleza y es producida de manera natural por los moluscos. Sin embargo, solo unas cuantas familias poseen una capa interna nacarada de calidad y producen perlas de valor comercial, entre las cuales los miembros de la familia Pteriidae, conocidos comúnmente como ostras perleras, particularmente los géneros *Pteria* y *Pinctada*, son los más importantes a nivel mundial (Fassler, 1991; 1995; Monteforte, 1996; Saucedo, 1995; Saucedo, 2001; Landman *et al.*, 2001; Haws, 2002). Además, las ostras perleras tienen la particularidad de poder ser aprovechadas integralmente, ya que de la producción de perlas esféricas y medias perlas (mabés), que son el principal objetivo de su cultivo, también es posible aprovechar otros productos de alto valor agregado (Monteforte, 1996; Saucedo, 2001). Por ejemplo, la concha se puede utilizar como objeto de ornato o destinarse para fabricación de joyería, molduras, etc. El nácar en particular se está empleando actualmente en la industria cosmética para la elaboración de cremas, jabones y otros productos de belleza, además de su uso en la industria farmacéutica como biomedicamento relacionado con la reconstrucción de huesos y procesos de calcificación (Atlan *et al.*, 1997, 1999; Lamghari *et al.*, 1999; Landman *et al.*, 2001; Mouriès *et al.*, 2002).

Las ostras perleras son un recurso que se ha explotado –y en muchos casos sobreexplotado– en el Golfo de California durante casi 400 años (Cariño y Cáceres, 1990; Cariño y Monteforte, 1995; Cariño y Alameda, 1998). Esta situación generó una disminución importante de las poblaciones naturales, las cuales terminaron colapsándose cerca de 1940 (Baqueiro-Cárdenas, 1984). A partir de entonces, la concha nácar *Pteria sterna* (Gould, 1851) y la madreperla *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) fueron consideradas “especies en peligro de extinción” y fue decretada una veda permanente en torno a la pesca y recolecta de ejemplares de las poblaciones naturales para su protección (Diario Oficial de la Federación, 1939). Posteriormente *P. sterna* fue elevada a la categoría

de “Protección Especial” (Diario Oficial de la Federación, 1994) y en la actualidad *P. sterna* ya no se encuentra en carácter de protección especial, pues se ha considerado que sus poblaciones se han recuperado (Diario Oficial de la Nación, 2002). Posterior al decreto de la veda, entre 1939 y 1989 se intentó retomar la actividad de producción de perlas con el desarrollo de una serie de proyectos prioritarios, cuyo propósito se centró en la aplicación de tecnología extranjera para el cultivo de ambas especies y la producción inducida de perlas en el Golfo de California a través de la experiencia adquirida previamente con otros miembros de la familia Pteriidae (*P. fucata* de Japón, *P. margaritifera* de Polinesia Francesa y *P. máxima* del Indo Pacífico (Monteforte, 1996; Martínez-Quñonez y Gueorguiev-Nikolov, 2001; Félix Pico, com. pers.). Si bien los resultados de dichas experiencias no son del todo conocidos, promovieron que a partir de 1985 las principales instituciones de educación superior e investigación del Golfo de California, como el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) y el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), principalmente, comenzaran a invertir esfuerzos y recursos importantes para el desarrollo de la tecnología para el cultivo de ostras perleras (nacaricultura) y la producción de perlas (perlicultura) (Monteforte, 1990; 1991; Cáceres-Martínez *et al.*, 1992a; Gaytán-Mondragón *et al.*, 1993; Monteforte y García-Gasca, 1994; Rangel-Dávalos y Chávez-Villalba, 1994; Monteforte *et al.*, 1995; Monteforte, 1996; McLaurin-Moreno, 1997; McLaurin-Moreno *et al.*, 1998; Saucedo, 2001).

Como parte de los proyectos de investigación desarrollados, uno de los objetivos de mayor importancia que se han implementado, además de la recuperación de las poblaciones naturales y el cultivo extensivo e intensivo de los organismos, es el de la transferencia de tecnología para la creación de granjas perleras. Gracias a ello, actualmente existen dos compañías comerciales productoras de perlas, una localizada en Guaymas, Sonora (antes Perlas del Mar del Cortés S.A de C.V. ahora Perlas Únicas S.A. de C.V.) y otra en la Bahía de La Paz, B.C.S. (Perlas del Cortez S. de R.L. MI.) que cultivan la concha nácar *P. sterna* a escala comercial y la madreperla *P. mazatlanica* a escala piloto. En las dos localidades,

ambas especies producen perlas de alta calidad y poseen reconocimiento internacional (Kiefert *et al.*, 2004).

La producción comercial de perlas no es de ciclo cerrado, y para el caso particular de *P. sterna*, depende de la recolecta de juveniles producidos por la población silvestre. Sin embargo, se ha observado que la captación de reclutas es errática y presenta fluctuaciones interanuales importantes. Por ejemplo, en el 2006 la recolecta fue muy abundante y generó un promedio de ~1000 a 1500 semillas por colector, mientras que durante el 2007 ésta fue mucho más escasa y decayó a ~30 semillas por colector (Biól. Javier Cortés, de Perlas del Cortez, com. pers.). Esta variación interanual de juveniles recolectados se ha convertido en un problema crítico para el cultivo de la especie, ya que no garantiza un abasto anual suficiente y consistente de organismos, lo cual redundaría en variaciones inaceptables para el cultivo comercial de la especie y la producción de perlas. Estas variaciones en el reclutamiento pueden deberse a una compleja interacción de factores abióticos y bióticos, como la temperatura del agua, salinidad, corrientes, productividad, competencia inter e intra específica, etc. (Cáceres-Martínez *et al.*, 1992a; Monteforte y García-Gasca, 1994; Monteforte *et al.*, 1995; Deksheniaks *et al.*, 2000; Monteforte, 2004). Estos factores tienen también una relación directa con el pasado fisiológico de los reproductores, el cual regula su ciclo reproductivo en términos de intensidad y sincronismo durante los eventos de desove (Araya-Núñez, *et al.*, 1991; Hernández-Díaz y Bückle-Ramírez, 1996; Saucedo y Monteforte, 1997), la duración y éxito del estadio larvario (McAnally-Salas y Valenzuela-Espinoza, 1990; Serrano-Guzmán y Salinas-Ordáz, 1993), y en consecuencia, la generación de las nuevas cohortes de juveniles reclutados, en las cuales se basa la operación de las empresas aludidas. Por ello, la comprensión del marco ambiental que regula el proceso de reclutamiento de semilla demanda de un estudio integral orientado a esclarecer los principales mecanismos que controlan el éxito en la supervivencia y producción de la especie en sus primeros estadios de vida. Para ello, el presente estudio reporta los resultados obtenidos de una serie de bioensayos dirigidos a evaluar los principales factores bióticos y abióticos que afectan la dinámica del reclutamiento de juveniles de *P. sterna* en la Bahía de La Paz, B.C.S, México.

2. Antecedentes

2.1 Taxonomía:

FILO: Mollusca
CLASE: Bivalvia
SUBCLASE: Pteriomorphia (Suzuki, 1985)
ORDEN: Pterioida (Suzuki, 1985)
FAMILIA: Pteriidae
GÉNERO: *Pteria* (Scopoli, 1977)
ESPECIE: *sterna* (Gould, 1851)

2.2 Sinónimos:

Avicula fimbriata (Dunker, 1852), *Avicula peruviana* (Reeve, 1857), *Avicula sterna* (Gould, 1851).



Figura 1.- Morfología externa de la concha nácar *Pteria sterna*. El exterior de las conchas es de color café y está cubierto de espinas y escamas concéntricas características llamadas procesos de crecimiento.



Figura 2.- Vista interna de la concha nácar *Pteria sterna*, mostrando la cavidad interna, nacarada con tonos tornasolados característicos de la especie y dos mabés resultado de su cultivo.

2.3 Nombre común:

Concha nácar, ostra perlera viuda, callo de árbol (Fischer *et al.*, 1995).

2.4 Tamaño:

Talla promedio en adultos cercana a los 100 mm de longitud y 85 mm de altura, talla máxima: 120 mm (Keen, 1971; Fischer *et al.*, 1995).

2.5 Color:

Superficie externa café oscura a negruzca (periostraco córneo); superficie interna con una capa nacarada (Figs. 1 y 2).

2.6 Características:

El margen posterior de la concha está prolongado en un proceso alar de gran tamaño, el cual le da el nombre científico al género. La superficie externa, cuando no está desgastada, aparece densamente cubierta por lamelas concéntricas quebradizas, aplanadas, generalmente imbricadas, provistas de espinas radiales, especialmente a lo largo de los

bordes de la concha. La charnela carece de dientes (Keen, 1971; Fischer *et al.*, 1995) (Figs. 1 y 2).

2.7 Hábitat:

Habita sobre varios tipos de fondo, particularmente fangosos y lodosos, Brusca (1980). Araya-Núñez (1988) la encontró fija mediante su biso al sustrato (rocas, piedras y corales vivos). Monteforte y Cariño (1992) mencionan que estos organismos pueden crecer sobre rocas, corales madreporarios o ramas de corales gorgónidos. Su distribución vertical va desde unos 5 hasta 35 m de profundidad (Fischer *et al.*, 1995).

2.8 Distribución:

Desde la costa externa de California hacia el sur hasta las costas de Perú, pasando por el Golfo de California (Keen, 1971; Fischer *et al.*, 1995) (Fig. 3).

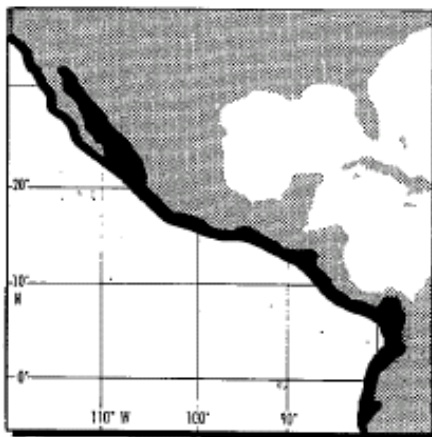


Figura 3. Distribución geográfica de la concha nácar *Pteria sterna* (tomado de Fischer *et al.*, 1995).

2.9 Anatomía de la especie:

La concha está constituida de tres capas paralelas (Fig. 4); la más externa y delgada de aspecto corneo es el periostraco. La capa intermedia es una capa prismática gruesa formada por prismas tubulares de calcita y finalmente la capa interna que es nacarada y está constituida por capas de conchiolina entremezcladas con hojas delgadas de aragonita (Grevis y Sims, 1992).

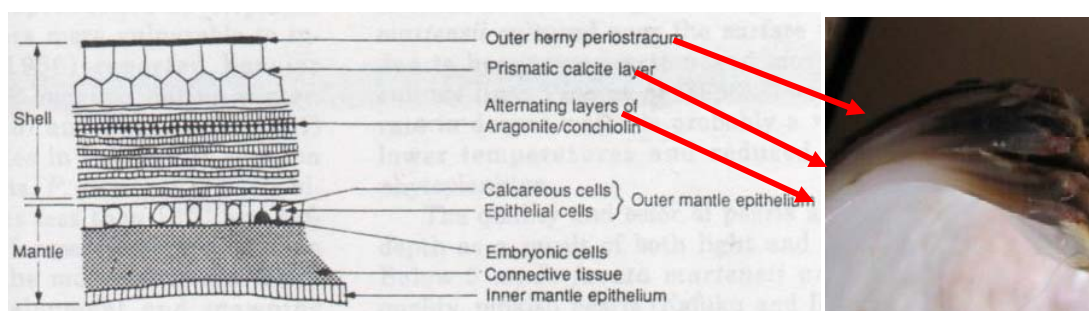


Figura 4. Diagrama de la concha y manto de una ostra perlera, mostrando una sección transversal de la concha de *Pteria sterna*. Tomado de Grevis y Sims (1992).

Dentro de la concha la masa visceral se encuentra envuelta por el manto, el cual es responsable de la secreción de la concha y el nácar. En el centro de la cavidad paleal se encuentra el músculo aductor, así como las branquias y los palpos labiales. Se aprecia de igual manera el asa intestinal que conforma parte del tubo digestivo, el cual termina en la membrana anal y la bolsa visceral donde se encuentran los demás tejidos (glándula digestiva, gónada, pericardio y pie). En la base del pie se encuentra el biso, que es la estructura por medio de la cual los organismos se adhieren al sustrato (Sevilla, 1969; Grevis y Sims, 1992) (Fig. 5).

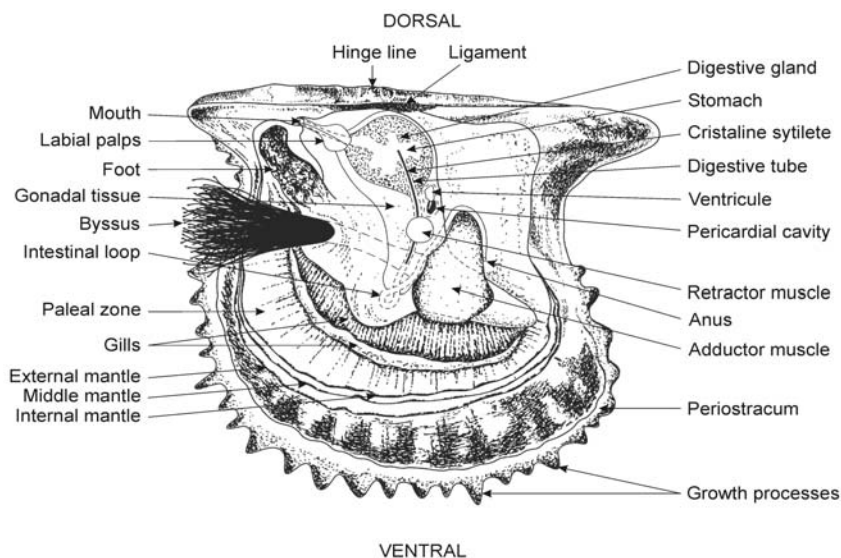


Figura 5. Anatomía interna de la concha nácar *Pteria sterna*. Tomado de Saucedo y Southgate (2008).

2.10 Dieta:

Micrófaga, filtradora (fitoplanctófaga), aunque por tratarse de organismos filtradores no específicos también se alimentan de bacterias y detritus orgánico (Kuwatani, 1965a y b; Grevis y Sims, 1992).

2.11 Depredadores:

Este organismo es consumido por una variedad de organismos, incluyendo estrellas de mar, algunos gasterópodos, poliquetos, jaibas, pulpos, peces bentónicos y algunas aves. Los depredadores más importantes de los juveniles de *P. sterna* son los Braquiuros *Pilumnus townsendi* y *Portunus xantussi* (Kuwatani, 1965a y b), así como planarias del género *Stylochus* sp. (Monteforte *et al.*, 1996). Existen además organismos como balanos, briozoarios, moluscos, tunicados, esponjas, isópodos, etc. que generalmente se consideran como fauna de acompañamiento que también interfieren en el desarrollo y ocasionan mortalidad, debido a que son organismos perforadores, incrustantes y competidores (Monteforte *et al.*, 1996; Wright, 1997).

2.12 Reproducción y desarrollo larvario:

Es una especie gonocórica o hermafrodita protándrica; la relación de sexos hembra:macho en el medio silvestre es de 0.38:1, aunque en condiciones de cultivo tiende hacia la proliferación de machos. La madurez gonádica de esta especie se alcanza a partir de una talla de 40-45 mm de altura de la concha, la cual corresponde a unos 11 meses de vida. Presenta hermafroditismo protándrico, el cambio de sexo de macho a hembra ocurre a partir de los 50 mm de talla (Saucedo y Monteforte, 1997). La fertilización y el desarrollo embrionario y larval ocurren en la columna de agua (Fig. 6). Su ciclo de vida está dividido por diferentes etapas; inicia con la unión de un óvulo y un espermatozoide, formando un cigoto, del cual se desarrolla más adelante un embrión que atraviesa por la primera, segunda y tercera división que se presentan a los 26, 33 y 55 minutos respectivamente, mientras que la cuarta división se presenta 1:18 hrs. después de la fecundación. En promedio, la aparición de la mórula tiene lugar a las 3:30 hrs., la esteroblástula a las 5:31 hrs. y por último la gástrula se presenta a las 7:38 hrs. El tiempo total del desarrollo es aproximadamente de 15 horas hasta la aparición de la larva trocófora, a una temperatura promedio de 28 °C (De Las Heras-Saldaña *et al.*, 2007).

El tiempo de desarrollo hasta larva trocófora puede variar de acuerdo con la temperatura de cultivo de entre 15 y 24 hrs. Esta larva posee tres bandas de cilios y un flagelo en posición apical que le dan movilidad (Lucas *et al.*, 1986; Casse, 1995). Esta fase dura entre 12 y 48 hrs., después de las cuales se forma una estructura que encierra completamente el cuerpo y los órganos elementales. Durante el estadio trocófora la nutrición de la larva se realiza exclusivamente de las reservas vitelinas (Casse, 1995; Pouvreau *et al.*, 2000; Cáceres-Martínez *et al.*, 2001). Al final del estadio trocófora, en la región central de las valvas aparecen pequeñas marcas que generarán la concha en forma de “D” (o charnela recta), característica del la segunda fase larvaria que se denomina estadio veliger (o larva veliger), la cual adopta su nombre de una estructura llamada velum y que permite a la larva alimentarse, mantener su nivel en la columna de agua y realizar movimientos natatorios. Las corrientes son la mayor influencia en la dispersión de las larvas, ya que su habilidad natatoria es limitada. No obstante, las larvas son capaces de

realizar movimientos verticales diurnos, con migraciones hacia la superficie de noche y hacia el fondo en el día. Esta fase tiene una duración variable entre 12 y 30 días, durante los cuales se realizarán cambios importantes para producir una larva madura o pediveliger, misma que está lista para reptar, fijarse y completar el proceso de metamorfosis (proceso que dura de 2 a 6 días) para convertirse en juvenil (o semilla) y posteriormente en adulto (Cáceres-Martínez *et al.*, 2001) (Fig. 6).

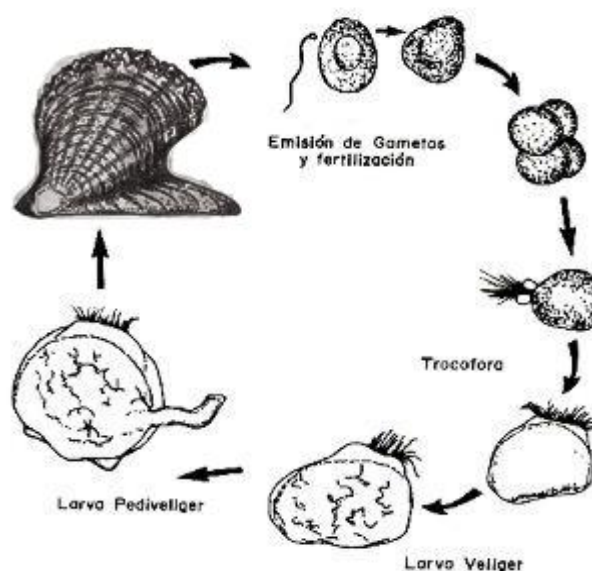


Figura 6. Ciclo de vida de la concha nácar *Pteria sterna*. Modificado de Saucedo (1995)

El tiempo de duración de la fase de vida planctónica de las larvas depende de varios factores, entre ellos la temperatura del agua y la alimentación que reciban éstas. McAnally-Salas y Valenzuela-Espinoza (1990) encuentran que la relación entre la temperatura y la fijación larvaria es inversamente proporcional, de tal manera que entre 21-22 °C, las larvas se fijaron al día 38 de desarrollo. Este resultado coincide con lo reportado por Araya-Núñez *et al.* (1991; 1995), quienes obtuvieron la fijación de las larvas entre el día 35 y 40 de desarrollo, a una temperatura de 21.1 a 24.6 °C. Serrano-Guzmán y Salinas-Ordáz (1993) observaron a su vez una fijación masiva de semilla 26 días después de la fertilización *in vitro*, a una temperatura entre 27 y 28 °C. Contrariamente, existen reportes más recientes

que indican que las larvas de *P. sterna* se fijan entre el día 19 y 21 de desarrollo, a una temperatura de 23–24 °C (Saucedo, 2006) (Fig. 7).

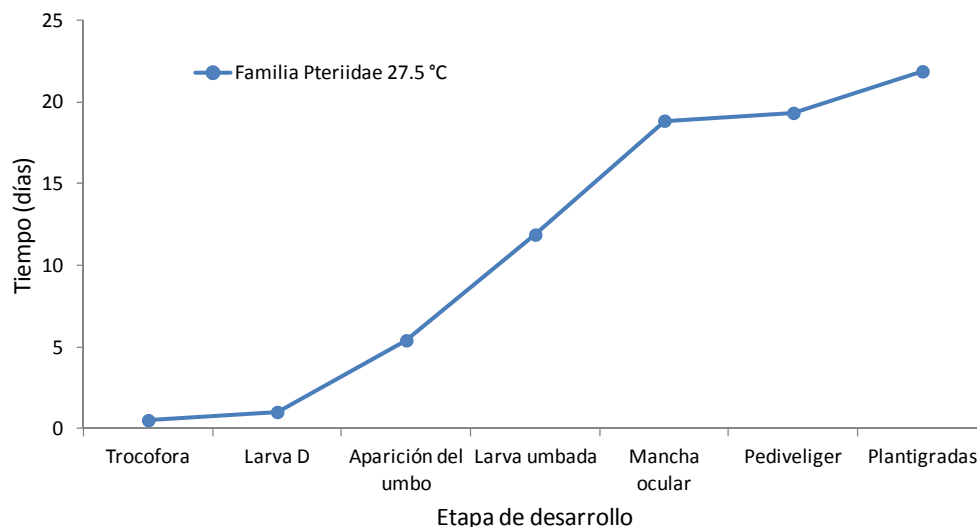


Figura 7. Tiempo promedio de desarrollo larvario para miembros de la familia Pteriidae, construido a partir de Ota (1957); Alagarwami *et al.* (1983); Rose y Baker (1994); Minaur (1969); Rose y Baker (1989); Tanaka y Kumeta (1981); Alagarwami *et al.* (1989); Doroudi y Southgate (2003); Monteforte (2004); Saucedo (2006); De Las Heras-Saldaña *et al.*, (2007).

En ciertos sitios del Golfo de California, como Bahía de los Ángeles, Hernández-Díaz y Bückle-Ramírez (1996) concluyeron que *P. sterna* desova de manera continua a lo largo del año, con picos en diciembre, febrero y agosto. Por otro lado Saucedo y Monteforte (1997) encontraron que para el periodo de junio 1992 a mayo 1993, *P. sterna* presenta dos picos de desove a lo largo del año en la 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. Posteriormente, Arizmendi-Castillo (1996) identificó en una zona cercana a Guaymas, Sonora, un solo periodo de desove, el cual se presenta de marzo a mayo cuando la temperatura del agua varía de 19 a 22 °C. Por su parte, Hernández-Olalde *et al.* (2007) reportan la ocurrencia del desove de junio a septiembre en Laguna Ojo de Liebre, B. C. S. a temperaturas entre los 23 y 25 °C.

Recientemente, Vite-García y Saucedo (2008) realizaron un trabajo sobre la reproducción de *P. sterna*, evaluando las estrategias de almacenamiento y movilización de reservas energéticas durante un ciclo anual, confirmando el carácter multi-desovador de la especie, a partir de una gónada que se encuentra en desarrollo casi todo el año. Además, los autores sugieren que la principal etapa reproductiva ocurre entre los meses de enero a abril a temperaturas que oscilan entre los 21 y 22 °C, con dos picos claros en abril 2003 y enero 2004 y que coinciden con el mayor porcentaje de organismos maduros, de ovocitos posvitelogénicos y niveles de proteínas, lípidos y triglicéridos en la gónada significativamente ($p < 0.05$) más altos. Se concluyó también que durante la gametogénesis la energía es tomada principalmente de la glándula digestiva y en segundo lugar del músculo abductor, movilizándose únicamente las proteínas de ambos tejidos hacia la gónada.

Por otra parte, Cáceres-Puig (2007) estudió la relación entre la energía almacenada en tejidos somáticos (músculo aductor, glándula digestiva y manto) y germinales, así como las variaciones volumétricas de los tejidos mediante la simplificación de un método estereológico. Los resultados de este trabajo permitieron cuantificar el esfuerzo reproductivo de *P. sterna* en aproximadamente 400% de incremento de energía previo al desove. La participación energética de los tejidos somáticos para la reproducción, en orden de importancia incluyó al músculo aductor (21%), glándula digestiva (19%) y manto (15%), observándose una gran participación de este último tejido, a diferencia de otros moluscos bivalvos. Se comprobó que *P. sterna* sigue una estrategia reproductiva “conservadora” durante el invierno cuando la gametogénesis se realiza a partir de la energía previamente almacenada en los tejidos somáticos, así como una de tipo “oportunista” en primavera, en la cual el desarrollo gonadal se realiza principalmente a partir de la energía que se obtiene del alimento ingerido.

2.13 Reclutamiento:

En el noroeste del país se han realizado diversos estudios encaminados a conocer el estado demográfico de las poblaciones naturales de *P. sterna*, ya que como se ha mencionado, éstas se habían colapsado cerca de 1940. La mayoría de estos trabajos son reportes de la Secretaría de Pesca que hacen referencia a los primeros intentos por lograr la recolecta de semilla y el cultivo de los organismos, cuyos resultados fueron poco satisfactorios (ver Monteforte, 1990; 1991; Monteforte et al., 1995). No fue sino hasta el trabajo de Félix-Pico *et al.* (1977), donde se obtuvieron los primeros resultados exitosos de fijación de semilla de *P. sterna* en la Bahía de La Paz, confirmando que las semillas recolectadas fueron escasas, con un promedio de 10 ind/colector durante los meses de enero a marzo 1977. De igual manera, Cáceres-Martínez *et al.* (1992a) reportaron para el periodo 1986-1987 una mayor recolecta de semilla de *P. sterna* durante el invierno (5 juv/cm²) a 4-7 m de profundidad (~16 ind/colector), con un pico de mayor abundancia después de los 11 m (~17 ind/colector). Aldana-Avilés (1998) también observó una mayor captación de semilla de la especie en la Isla Gaviota, en la Bahía de La Paz, durante el periodo 1993-1994 a los 4.5 y 7.5 m (~28 ind/colector) de profundidad y un pico en el reclutamiento entre los 10.5 y los 15 m de profundidad (~35 ind/colector). En este mismo sitio, pero para los meses fríos de noviembre a marzo durante el periodo 1990-1991, Monteforte (2004) observó una mayor captación de semilla (~26.5 ind/colector) que en el resto del año.

Con respecto a la evaluación de diferentes sitios propicios para la recolecta de semilla de *P. sterna*, Monteforte y Aldana-Avilés (1994) señalan que las estaciones “El Merito” e “Isla Gaviota” son las de mejor rendimiento en la Bahía de La Paz, B.C.S. en función de los giros ciclónicos que se forman como parte de las corrientes que atrapan una mayor cantidad de larvas. Sin embargo, los mismos autores identifican, junto con Monteforte y García-Gasca (1994) y Monteforte *et al.* (1995), que además de estas dos estaciones, existe un sitio de recolecta de semilla muy importante en “Punta Mogote” y otros en áreas cercanas a la “Isla Espíritu Santo”

2.14 Abundancia poblacional:

Existe muy poca información sobre la densidad poblacional de esta especie en los bancos naturales, debido a que no se conoce con precisión la ubicación de los mismos, aunque los pescadores reportan que se encuentran por debajo de los 25–30 m de profundidad, lo cual hace difícil el acceso con equipo de buceo autónomo. Monteforte y Cariño (1992) reportaron la existencia de dos poblaciones estables de *P. sterna* que contenían alrededor de 175 individuos, una en el puerto de Balandra y otra en el norte del Mogote; también se han reportado poblaciones de la especie en la zona de Bahía Falsa (Singh-Cabanillas *et al.*, 1983; Cáceres-Martínez *et al.*, 1992a; Monteforte y Cariño, 1992), en el complejo insular Espíritu Santo – La Partida (Singh-Cabanillas *et al.*, 1983), en la Isla San José (Com. Pers. pescadores ribereños), y existen dos sitios de cultivo con una población estable de más de 5,000 reproductores cada uno, el primero ubicado en la Isla La Gaviota (Perlas del Cortez) y otro en la Caleta del Merito (CIBNOR).

Tabla I. Sitios donde se ha reportado la presencia de bancos naturales de *P. sterna* en la Bahía de La Paz.

Lugar	Coordenadas	Referencia
Norte del Mogote	24°11' N 110°22' W	Monteforte y Cariño (1992)
Bahía Falsa	24°15' N, 110°19' W	Singh-Cabanillas <i>et al.</i> (1983) Cáceres-Martínez <i>et al.</i> (1992a) Monteforte y Cariño (1992)
Isla La Gaviota	24°16' N, 110°19' W	Monteforte y Cariño (1992) Cultivo empresa Perlas del Cortez desde 1999 a la fecha.
Caleta El Merito	24°18' N, 110°19' W	Singh-Cabanillas <i>et al.</i> (1983) Monteforte y Cariño (1992) Cultivo del CIBNOR
Puerto de Balandra	24°19' N, 110°20' W	Monteforte y Cariño (1992)
Bahía de San Gabriel	24°25' N, 110°21' W	Singh-Cabanillas <i>et al.</i> (1983)
Isla Gallo	24°27' N, 110°23' W	Com. Pers. pescadores ribereños
Isla San José		Com. Pers. pescadores ribereños

2.15 Crecimiento:

En relación con el crecimiento de juveniles, Araya-Núñez *et al.* (1991) reportaron una tasa de crecimiento de semilla de *P. sterna* de 0.1 mm/día, a partir de una correlación positiva con la temperatura del agua, en donde el mayor crecimiento se dió durante los meses cálidos del año. Bückle-Ramírez *et al.* (1992) también encontraron un mayor crecimiento de los juveniles de esta especie durante el verano (0.24 a 0.38 mm/día) y un decremento en la tasa de crecimiento durante el invierno (0.12 mm/día).

Del Río-Portilla *et al.* (1992) estudiaron el crecimiento de *P. sterna* bajo 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 ala 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) menciona que los juveniles de esta especie presentan alometría positiva (longitud-altura y ala-altura), 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 son consistentes 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. Se concluye que la morfología de la concha de *P. sterna* está continuamente cambiando con el crecimiento en la mayoría de sus ejes (Saucedo, 1995), lo que a su vez resulta en la necesidad de mantener constante la relación área-volumen en estos organismos.

Con referencia al cultivo en diferentes tipos de artes utilizadas, Gaytán-Mondragón *et al.* (1993) evaluaron cuatro tipos de estructuras de cultivo (cajas, redes perleras, linternas y canastas zapateras), encontrando que las cajas en estructuras sobre el fondo del mar favorecen un mayor rendimiento y crecimiento de semilla y juveniles de *P. sterna*. A su vez, Monteforte y Aldana-Avilés (1994) y Aldana-Avilés y Monteforte (1995) también

encontraron un mejor crecimiento de la especie durante su preengorda en estructuras colocadas sobre el fondo a una densidad de 80 a 100 organismos por canasta. Por otro lado, Cantú-Cantú (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 mejores resultados en materia de crecimiento (grosor de la concha y peso húmedo) y supervivencia a la densidad de 50 org/canasta, sin diferencias significativas en el incremento en la altura y longitud de la concha. Monteforte *et al.* (2005) evaluaron el efecto de la densidad de siembra y cultivo de *P. sterna*, y observaron que la densidad de organismos afecta significativamente el volumen de las conchas aunque no encontraron una relación de éste con el crecimiento. Los autores concluyen que la decisión de agrupar a los organismos cultivados a cierta densidad (alta o baja), debe tomarse basándose en las condiciones en que los adultos viven en los bancos naturales. Así, una especie grande como *P. mazatlanica*, que vive solitaria en los bancos naturales, no soporta el manejo de densidades altas en canastas de cultivo. Por el contrario, la concha nácar es una especie más pequeña que puede encontrarse formando grandes conglomerados en los bancos naturales, razón por la cual puede cultivarse a densidades más altas.

3. Justificación

En la actualidad, el desarrollo de una industria perlera en México se encuentra limitado por la falta de un abasto consistente y suficiente de semilla de ostras para apoyar las operaciones de producción de perlas en las granjas de cultivo comercial del Golfo de California. La disponibilidad de semilla es errática e impredecible año con año, y ni la recolecta masiva en el campo a partir de colectores artificiales, ni la producción intensiva en laboratorio en condiciones “controladas”, garantizan la continuidad requerida. Por ello, la comprensión del proceso de reclutamiento de semilla demanda de un estudio integral y detallado sobre los diversos factores bióticos y abióticos (marco ambiental) que controlan el éxito reproductivo de los adultos, así como la supervivencia y crecimiento de la especie en sus primeros estadios de vida.

4. Hipótesis

4.1 General

La magnitud del reclutamiento de semilla *P. sterna* depende de la abundancia y densidad de reproductores en los bancos naturales y de su estado fisiológico (energético), así como de la interacción de factores bióticos y abióticos durante el proceso de reproducción y generación de los primeros estadios de vida.

4.2 Específicas

- La localización de los bancos naturales de reproductores se puede determinar a partir de la información sobre reclutamiento de semilla y los factores que influyen la deriva larvaria.

- La intensidad o abundancia de asentamiento de reclutas depende de las variaciones en la cantidad de energía del alimento disponible (seston) durante los primeros estadios de vida, de las condiciones ambientales prevalecientes y de la cantidad de competidores en los colectores.
- El éxito reproductivo de *P. sterna* está determinado por la cantidad de reproductores y su estado fisiológico (energético) previo al evento de desove.

5. Objetivo

5.1 General

Determinar los principales factores bióticos y abióticos que afectan la dinámica del reclutamiento de juveniles de *P. sterna* en la Bahía de La Paz.

5.2 Específicos

- Determinar las variaciones temporales en la temperatura, salinidad, conductividad, corrientes, profundidad y transparencia del agua de mar en diversos sitios de la Bahía de La Paz, así como su influencia en el reclutamiento de la semilla de *P. sterna* a lo largo de un ciclo bianual.
- Determinar las variaciones temporales en el contenido bioquímico (proteínas, carbohidratos y lípidos) y energético del alimento disponible (seston) previo al desove y durante los primeros estadios de vida de *P. sterna* durante un ciclo bianual.
- Determinar las variaciones temporales en el reclutamiento de semilla de *P. sterna* y la competencia por sustrato, en diferentes sitios de la Bahía de La Paz durante un ciclo bianual.

- Determinar y validar la edad de los juveniles reclutados de *P. sterna* en la Bahía de La Paz, a través del análisis detallado de la estructura interna de la concha.
- Localizar por medio de un modelo de dispersión larvaria los bancos naturales de reproductores de *P. sterna* que están generando las nuevas cohortes de organismos dentro de la Bahía de La Paz.
- Determinar la fecundidad potencial y el contenido energético de los reproductores de *P. sterna* previa al evento de desove y su relación con el esfuerzo y éxito reproductivo.

6. Metodología

6.1 Área de estudio

6.1.1 Selección de sitios para las estaciones de recolecta

Se realizó una revisión bibliográfica sobre el tema de recolecta de semilla de *P. sterna* en la Bahía de La Paz, con el fin de identificar las áreas que históricamente han sido detectadas como propicias por su alta densidad de juveniles recolectados en colectores. Posteriormente, se procedió a hacer una prospección física de estos sitios con la finalidad de seleccionar los 10 más importantes para el establecimiento de estaciones de recolecta dentro de la bahía (Fig. 8), de acuerdo con los siguientes criterios técnicos propuestos por Bervera-León (2002):

1. Acceso: Que las estaciones se ubicaran en sitios con acceso únicamente marítimo, para reducir el riesgo de robo de instalaciones.
2. Vía de paso marítimo o pesca: Se evitó colocar las estaciones de recolecta en canales o zonas de tránsito marítimo.
3. Distancia entre estaciones: Se trató de que las estaciones tuvieran una distancia considerable entre ellas (ver Fig. 8).
4. Profundidad: Se seleccionaron sitios con una profundidad máxima de 20 m, para asegurar el buen funcionamiento de los recambios de colectores y abarcar el mayor intervalo dentro de la columna de agua, sin comprometer los buceos regulares.
5. Distancia desde la costa: Las estaciones se alejaron de la costa lo necesario para alcanzar la profundidad adecuada.

Cada una de las estaciones fue geo-referenciada utilizando un posicionador satelital o GPS, y la profundidad fue determinada mediante la utilización de una ecosonda (Mod. Fish

Finder Garmin 120 stand) en cada uno de los sitios seleccionados, mismos que se enlistan a continuación en la tabla II.

Tabla II. Localización y profundidad de los sitios de recolecta seleccionados.

	Número	Estación	Coordenadas	Profundidad
Zona Peninsular o continental	1	<i>Mogote</i>	N 24°11'02.1" H 110°22'46.9"	18m
	2	<i>Punta Mogote</i>	N 24°11'32.7" H 110°20'31.0"	19m
	3	<i>Bahía Falsa</i>	N 24°15'22.9" H 110°19'30.5"	9.5m
	4	<i>Isla Gaviota</i>	N 24°17'21.0" H 110°20'26.3"	22m
	5	<i>Punta del Diablo</i>	N 24°18'48.5" H 110°20'24.1"	22m
	6	<i>Puerto Balandra</i>	N 24°19'41.0" H 110°20'10.8"	22m
Zona Insular	7	<i>San Gabriel</i>	N 24°25'16.9" H 110°21'36.9"	20m
	8	<i>El Gallo</i>	N 24°27'47.1" H 110°23'10.1"	20m
	9	<i>La Partida</i>	N 24°31'54.5" H 110°23'32.3"	20m
	10	<i>El Embudo</i>	N 24°35'07.8" H 110°24'08.1"	20m



Figura 8. Distribución espacial de las 10 estaciones de recolecta en la Bahía de La Paz, para estudio de captación de *Pteria sterna* (marcadas con puntos rojos).

6.2 Sistema de recolecta

El sistema de recolecta que se empleó durante el periodo de estudio fue desarrollado en conjunto con el personal técnico de la empresa Perlas del Cortez, S. de R.L. M.I. a partir de los materiales que se utilizan regularmente en los colectores de uso comercial en esta empresa, particularmente con los que habían tenido mejores resultados (Biol. Javier Cortés *com. pers.*). Adicionalmente, se adaptó un diseño que permitiera elaborar colectores experimentales pequeños, con el fin de obtener la cantidad de reclutas necesaria para los fines de evaluación de este trabajo y no para la obtención de volúmenes de producción que no se pudieran manejar.

El sistema de recolecta utilizado consiste en un cabo de polipropileno de 1/2" de 20 a 22 m de longitud (dependiendo de la estación de muestreo), unido en su parte inferior, a un destorcedor galvanizado de 1/2" y a un lastre de concreto de aproximadamente 150 kg por medio de un grillete galvanizado de 1/2" (Fig. 9). Los lastres o muertos fueron elaborados previamente con llantas rellenas de concreto y varilla corrugada y fueron adicionados con tres estructuras de flotación, la primera consistente en una boya atunera de alta densidad a unos 4 m del fondo, la segunda una boya atunera de menor densidad colocada a 3 m de la superficie y la tercera un contenedor de 10 L que actúa como flotador en la superficie y está unido al extremo del cabo de polipropileno con un destorcedor. La distribución de estas estructuras de flotación permite mantener en posición vertical el sistema de recolecta. Además, a cada sistema se le colocaron 4 colectores o unidades de recolecta, consistentes en sobres de malla plástica distribuidos a diferentes profundidades sobre el cabo de polipropileno y unidos mediante piola alquitranada negra del No. 18 (Fig. 9).

Cada unidad de recolecta consiste en un sobre de malla plástica negra de 30 x 30 cm, con una luz de 1 cm², el cual contiene un cuadro de malla plástica negra de 20 x 20 cm con una luz de 0.5 cm², así como cuatro trozos de manguera plástica rígida que dan volumen al sobre y evitan que este se colapse. Este sobre se encuentra cerrado mediante

piola alquitranada negra del No. 18, que permite que éste se abra con facilidad una vez que se haya realizado la recolecta (Fig. 9).

Las unidades de recolectas (sobres de malla) se colgaron del cabo de polipropileno, distribuidas a los 4, 7 y 12 m de profundidad, de acuerdo a lo reportado previamente por Cáceres-Martínez *et al.* (1992a) y Aldana-Avilés (1998) para obtener una mayor incidencia de juveniles de *P. sterna* fijados a estas profundidades. Finalmente, la última unidad de recolecta se colocó en el fondo, ya que los técnicos de la empresa Perlas del Cortez, S. de R.L. M.I. reportan que su mayor incidencia de reclutas ocurre sobre el fondo (Biol. Javier Cortés, com. pers.).

Se fabricaron veinte sistemas de recolecta (contando al remplazo) con cuatro unidades de recolecta cada uno, con excepción de la estación 3 (Bahía Falsa) que contuvo solo tres unidades, debido a la profundidad en la que se encuentra. Los sistemas de recolecta fueron cambiados mediante buceo SCUBA cada tres meses.

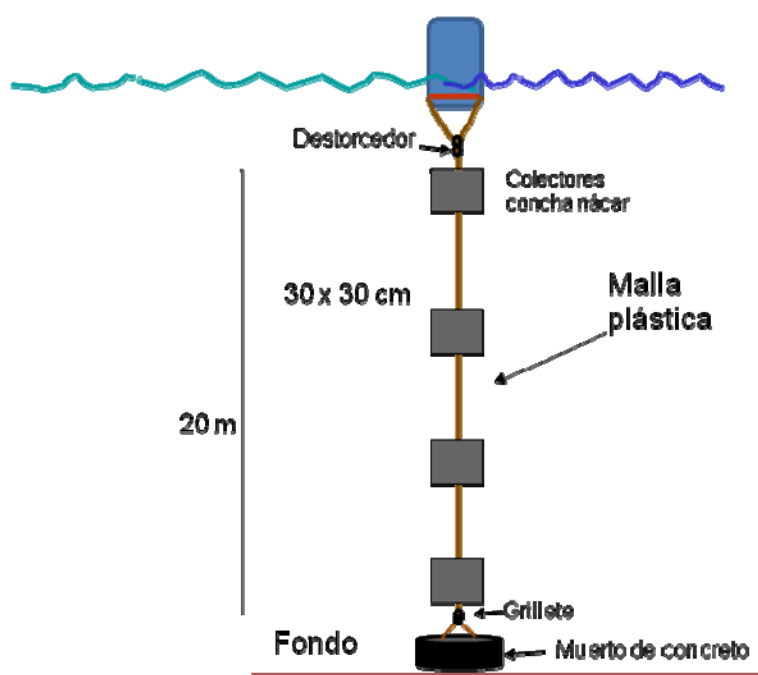


Figura 9. Sistema de recolecta utilizado para captura de semilla de *P. sterna*

6.3 Parámetros ambientales

6.3.1 Temperatura, salinidad y conductividad

Mensualmente, en los 10 sitios de recolecta dentro de la Bahía de La Paz, se registraron los valores en temperatura del agua (0.01 °C), salinidad (0.01 ups) y conductividad (0.01 cm/s) utilizando un medidor portátil de multi-parámetros (Mod. YSI-59).

6.3.2 Turbidez

La turbidez o transparencia del agua fue determinada mensualmente en cada una de las 10 estaciones ubicadas a lo largo de la Bahía de La Paz, con la ayuda de un disco de Secchi.

6.3.3 Corrientes

Las corrientes se obtuvieron a partir de un modelo hidrodinámico desarrollado en el Departamento de Oceanografía Física del CICESE (Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada). El modelo numérico utilizado fue el Hamburg Shelf Ocean Model (HAMSOM) adaptado al Golfo de California por Marinone (2003). Las ecuaciones del modelo se resuelven semi-implícitamente con un pronóstico completo de los campos de temperatura y salinidad, permitiendo movimientos baroclínicos dependientes del tiempo. El dominio del modelo tiene un tamaño de malla de $2.5' \times 2.5'$ ($\sim 3.9 \times 4.6$ km). Se utilizan 12 capas en la vertical con niveles inferiores nominales de 10, 20, 30, 60, 100, 150, 200, 250, 300, 600, 1000 y 4000 m. El número de capas depende de la profundidad local y la última capa tiene un espesor variable que se acomoda a la topografía. El grosor de la primera capa es de 10 m más la elevación de la superficie del mar. En general, los resultados son muy similares entre la capa superficial y los primeros 60 metros (la capa de Ekman) (Jiménez *et al.*, 2005), por tal razón y para apreciar mejor el efecto de la corriente en el experimento se muestran sólo resultados para la capa superficial. El modelo fue iniciado desde el reposo, con un intervalo de 300 s, y se corrió hasta que todas las variables fuesen periódicamente estables. Como muestra Marinone (2003), el modelo reproduce las

principales señales estacionales de temperatura superficial del mar, balance de calor, nivel del mar y circulación superficial de la Bahía de La Paz. Además para añadir el esfuerzo del viento en la circulación de la Bahía, el modelo fue forzado por viento en su superficie utilizando datos de viento de QuikScat sin interpolación espacial o temporal alguna; es decir, únicamente donde existiesen datos (Marinone *et al.*, 2004). Los datos de QuikScat abarcan del 1 de enero de 2008 al 31 de diciembre de 2009. A estos datos se les calculó el promedio temporal y, por cuadrados mínimos, la componente anual y semianual en cada punto de la malla. Así para cada paso de tiempo del modelo, el viento se reconstruyó sólo a partir del promedio y la variación anual y semianual, como lo indica Jiménez, *et al* 2005. Finalmente se utilizó el programa MatLab® 2007 (The MathWorks, Inc., E.U.A.) para leer y graficar las corrientes promedio mensuales (cm/s) generadas por el modelo hidrodinámico, junto con la línea de costa de la Bahía de La Paz.

6.4 Alimento disponible

6.4.1 Muestras de seston

El alimento disponible (seston) en el agua de mar se determinó a partir de muestras de 2 L de agua de mar tomadas por cuadruplicado, empleando la metodología de Luna-González *et al.* (2000). Las muestras tomadas en cada estación de recolecta se filtran directamente sobre filtros Whatman GF/C (47 mm) previamente lavados con agua destilada, secados en una estufa a 100 °C, quemados en una mufla a 450 °C por 4 h (para eliminar toda la materia orgánica) y finalmente pesados en una balanza analítica (0.001 g). El filtrado se realiza con ayuda de una bomba de vacío. Las muestras obtenidas se liofilizan por 32 h para su deshidratación y se pesan en una balanza analítica (0.001 g). A estos valores, que corresponden al peso de la muestra (seston) junto con el filtro, se les resta el peso del filtro quemado para obtener el contenido del seston total.

Los filtros con las muestras secas de seston total se colocan en papel aluminio y posteriormente en la mufla a 450 °C durante 4 h. Una vez finalizado este proceso, los filtros

se colocan en un desecador hasta enfriarse y se pesan para obtener el valor del seston inorgánico o tripton. A su vez, el seston orgánico o plácton se obtiene mediante la diferencia del seston inorgánico y el seston total.

6.4.2 Análisis bioquímicos y energéticos del seston

Se realizaron los análisis bioquímicos de las muestras de seston mensuales de los 10 puntos de colecta dentro de la Bahía de La Paz. Para ello se aplicó la siguiente metodología:

6.4.2.1 Proteínas

Se determinó la concentración de proteínas totales usando el método de Lowry *et al.* (1951). Se tomaron 20 mL de la muestra, y se agregaron a 480 mL de agua destilada para obtener un volumen final de 500 mL, sobre los que se realizó el análisis. Este método se basa en la reducción del reactivo de Folin Ciocalteu (solución de ácido fosfotungsténico y fosfomolibdico por fenoles y otras sustancias a azul de molibdeno), el cual puede ser determinado colorimétricamente. La intensidad de color azul varía dependiendo la proteína que se analice. Las lecturas de densidad óptica fueron realizadas en un espectrofotómetro Beckman DU-640. Se utilizó albúmina de bovino cristalizada como estándar para la curva de calibración.

6.4.2.2 Carbohidratos

La determinación de carbohidratos fue realizada aplicando el método de Dubois *et al.* (1956), modificado por Malara y Charra (1972). El principio de este método se basa en que en la presencia de un ácido mineral fuerte (ácido sulfúrico), las pentosas forman furfural mas agua y las hexosas se transforman en 5-hidroximetil furfural mas agua. El furfural y sus derivados se combinan con el fenol (o con otros compuestos fenólicos como x-naftol) para formar un complejo colorido marrón. Las lecturas de densidad óptica se

realizaron en un espectrofotómetro Beckman DU-640. La curva de calibración fue determinada con glucosa anhidra como carbohidrato estándar.

6.4.2.3 Lípidos

La extracción fue realizada con el método de Bligh y Dyer (1958) adaptado a un micrométodo por Cáceres-Martínez (1982), y se basa en el principio de la existencia de un sistema monobásico según la proporción de los componentes de la mezcla terciaria: cloroformo-metanol-agua, para arrastrar los lípidos que son obtenidos después de ser separados en la mezcla monobásica, que es evaporada en ausencia de oxígeno. Los lípidos son obtenidos inmediatamente después por su peso directo. En esta técnica la mezcla terciaria usada fue diclorometano-metanol-agua.

6.4.2.4 Energía

Posteriormente, se obtuvo el contenido energético del material alimenticio, utilizando los coeficientes de equivalencia energética propuestos por Halver (1972), para proteínas=5.65 kcal/g, carbohidratos=4.15 kcal/g y lípidos=9.4 kcal/g, los cuales fueron expresados en kj/g.

6.5 Reclutamiento y competencia

6.5.1 Recuperación de los juveniles o reclutas

Pasados tres meses desde su instalación (iniciando en marzo 2008), los sistemas de recolecta fueron retirados de todas las estaciones y cambiados por sistemas de recolecta limpios. Las unidades de recolecta fueron retiradas del cabo de polipropileno, se etiquetaron con la fecha, número de estación, profundidad y número de sobre y posteriormente se colocaron en una hielera dentro de bolsas plásticas individuales para su traslado al laboratorio. Una vez ahí, los sobres de malla se pesaron, abrieron, fotografiaron y revisaron individualmente, separando todos los moluscos de interés comercial, los cuales fueron retirados y colocados en congelación para su posterior identificación y análisis de la

competencia por sustrato (ver Sección 6.5.2). Al momento de la extracción de los colectores, se tomaron muestras de agua de mar para la determinación de la cantidad del alimento disponible (según Sección 6.4) y las principales variables ambientales se registraron directamente en cada estación de recolecta, con ayuda del medidor de multi-parámetros antes descrito (ver Sección 6.3).

Los juveniles de *P. sterna* reclutados fueron contados y se les registraron las siguientes medidas morfométricas: eje antero posterior (altura de la concha), eje dorso ventral (longitud y ancho de la concha), con ayuda de un vernier digital scala (0.1 mm), así como el peso fresco del animal entero, de las conchas, de la carne y del biso, mediante una balanza analítica OHAUS (0.01 g).

6.5.2 Competencia por sustrato

La competencia por sustrato dentro del colector fue evaluada de acuerdo a las especies de moluscos bivalvos que se fijaron durante el periodo de recolecta y a partir de la biomasa de organismos incrustantes obtenidos, como balanos, briozoarios, tunicados, esponjas, isópodos, etc., que son considerados fauna de acompañamiento. Los juveniles de moluscos de interés comercial reclutados fueron contados e identificados y la biomasa de los organismos incrustantes en el colector fue obtenida mediante su peso directo con una balanza analítica OHAUS (0.01 g).

6.6 Determinación de la edad de los reclutas en los colectores

6.6.1 Marcado con calceína

Para validar la edad de los reclutas, 30 juveniles de *P. sterna* retirados de los colectores en el mes de marzo del 2009 fueron inyectados en la cavidad valvar con una solución de agua de mar con fluorocromo de calceína (125mg/L; Sigma, Chem. Abstracts ID No. 1461-15-0) según la metodología descrita por Kaehler y McQuaid (1999). La

solución se inyectó hasta que se desbordó de la cavidad valvar (aproximadamente 0.5 mL por organismo). Los individuos también fueron marcados individualmente mediante la adhesión de una etiqueta plástica numerada a la concha (Fig. 10). Estos se colocaron en una jaula de cultivo comercial con una luz de 0.5 cm² y se llevaron a las instalaciones submarinas de la empresa Perlas del Cortez S. de R.L. MI., en la Bahía de La Paz, B.C.S., México (24°16' N, 110°19' W), donde permanecieron durante 16 días.



Figura 10. Inyección de calceína y marca individual de los juveniles de *P. sterna* utilizados para validación de marcas de crecimiento.

6.6.2 Lectura de micro bandas de crecimiento

Los juveniles de *P. sterna* recolectados fueron medidos (altura, longitud y ancho de la concha), pesados y sacrificados para la obtención de las conchas, las cuales se limpiaron y secaron. Para llevar a cabo la determinación del número de bandas o micro bandas de crecimiento, las conchas se cortaron sobre su eje mayor (antero-posterior), desde el umbo hasta el margen de la concha, con una cortadora de baja velocidad (ISOMET BUEHLER®, con un disco UKAM con filo de diamante de 3'' x 0.006'' x ½''), obteniéndose un corte de 320 μm de espesor, el cual fue pulido con lijas ultra finas (lapping film 3M™) de 30μ, 12μ y 3μ. Cada corte se fijó en un portaobjetos con cianoacrilato (Fig. 11).

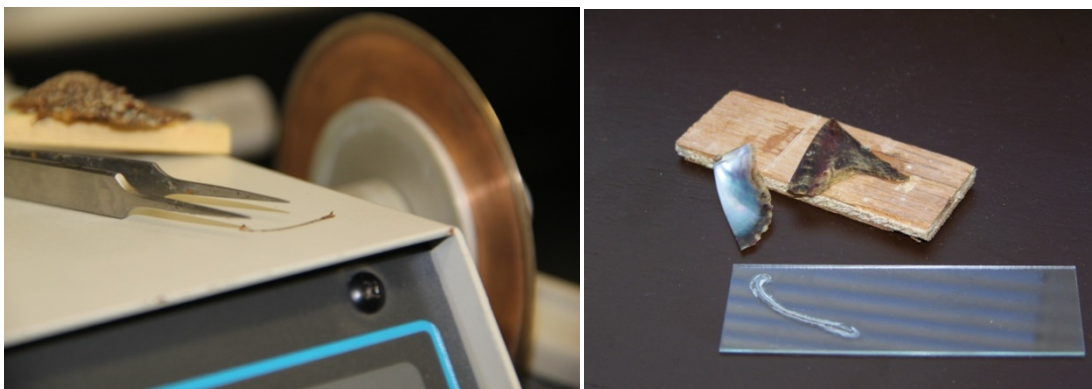


Figura 11. Metodología aplicada para realizar el corte de las conchas de juveniles de *P. sterna* para la identificación de marcas de crecimiento.

Se utilizó un microscopio de contraste de fases (OLYMPUS BX41) para la observación y conteo de las micro bandas de crecimiento (20 X y 40 X).

6.6.3 Lectura de marca fluorescente

Los cortes de los organismos marcados fueron analizados en un microscopio de fluorescencia (OLYMPUS BX41) y digitalizados con una cámara CoolSnap (Media Cybernetics Inc.). Posteriormente, se utilizó el programa Image Pro Plus (v. 5.1, Media Cybernetics Inc.) para observar la marca de calceína en los cortes, los cuales fueron excitados con luz de 450 a 480 nm (filtro Leica U-MWB2).

6.7 Localización de bancos de reproductores

6.7.1 Selección de localidades

Se realizó una búsqueda bibliográfica de locaciones dentro de la Bahía de La Paz donde se hubiera reportado la presencia de *P. sterna*, ya sea como poblaciones naturales o áreas en las que se llevara a cabo el cultivo de la especie (ver sec. 2.14, tabla I). De acuerdo con estos datos se realizó una selección de sitios para la liberación de larvas o siembra de

partículas en el modelo hidrodinámico de la Bahía de La Paz, desarrollado en el Departamento de Oceanografía Física del CICESE.

6.7.2 Modelo de dispersión

Las trayectorias de las partículas se obtuvieron a través de su integración en el tiempo al campo de velocidad horizontal del modelo hidrodinámico descrito anteriormente (ver sección 6.3.3). Las trayectorias de las partículas dependen de las principales señales estacionales de temperatura de la superficie, el balance de calor, elevación de la marea, la circulación de la superficie y el viento. Además a dichas trayectorias se les agregó un componente de difusión siguiendo la metodología propuesta por Marinone *et al.* (2004) que simula un flujo más fuerte y más turbulento relacionado con el campo de velocidad instantánea del modelo. Las trayectorias de las partículas fueron calculadas e integradas al sistema de la siguiente manera:

$$\frac{dx}{dt} = (u_* + u_d), \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = (v_* + v_d),$$

Donde (x, y) es la posición de la partícula, (u_*, v_*) es la velocidad del fluido en cada posición de la partícula, calculado por interpolación bilineal de los campos de la velocidad instantánea de Euler a partir del modelo numérico, y (u_d, v_d) son pequeñas velocidades aleatorias distribuidas normalmente utilizadas para incorporar la difusividad en el movimiento del modelo. Los componentes (u_d, v_d) fueron elegidos para tener una media y desviación estándar cero proporcional a la velocidad de fondo (u_*, v_*) .

Se sembraron 6,000 partículas o propagules (como representación de las larvas) en el modelo hidrodinámico de la Bahía de La Paz en las locaciones donde se había reportado previamente la presencia de poblaciones de la especie (ver Tabla 1) y se generaron las salidas mensuales del modelo para el primer año de estudio, por lo que el tiempo de

integración fue de 30 días con una periodicidad mensual (cada inicio de mes) haciendo referencia al tiempo máximo promedio de vida libre de los moluscos bivalvos. El método de movimiento de los propagules, y su distribución espacial fue implementado en MatLab (®The MathWorks, Inc. 2007).

6.7.3 Origen de las partículas

Para identificar el sitio de origen de las partículas que pasaban a través de un área delimitada, correspondiente a las zonas de recolecta del estudio, se construyó un programa que se denominó “Origen”. Este fue modificado posteriormente para que, además de identificar las partículas, las graficara en un mapa de la Bahía de La Paz. También se añadió una función para obtener el valor de tiempo promedio, máximo, mínimo y desviación estándar que tardan las partículas en pasar por la zona de recolecta, así como el tiempo (promedio, máximo, mínimo y desviación estándar) que tardan éstas en llegar a la zona de recolecta desde su lugar de origen. Se añadió al mismo programa una función para identificar únicamente las partículas que pasaran por la zona de recolecta después de 20 días de deriva, que corresponde al tiempo mínimo necesario para que se realice el asentamiento de esta especie (ver sección 2.12). Finalmente, se agregó una función para la construcción de una figura donde se graficara el mapa de las zona de estudio y las partículas que se recolectaron después de 20 días.

Con los resultados obtenidos se contó el número de partículas que se recolectaron en cada zona de recolecta y se determinó su procedencia. Con estos datos se calcularon las zonas más probables de dónde provenían los reclutas y dónde se encontraban los reproductores que estaban dando origen a las nuevas cohortes de la especie.

6.8 Estado fisiológico (energético) de los reproductores

6.8.1 Obtención y manejo de reproductores

Trimestralmente, se muestrearon 15 organismos adultos de *P. sterna*, desde marzo del 2008 hasta diciembre de 2009, los cuales fueron destinados a la reconstrucción volumétrica de la gónada y tejidos somáticos (glándula digestiva, músculo aductor y manto) (análisis estereológico; ver Sección 6.8.2) y la estimación de la fecundidad potencial (estereología y disector; ver Sección 6.8.4). A su vez, en diciembre de 2008 se recolectaron un total de 30 organismos adultos, utilizando los 15 adicionales para el conteo directo de ovocitos a través de un rasgado de gónadas (ver Sección 6.8.5). Estos datos permitieron obtener un valor referencial de la fecundidad potencial de la especie. El sitio de recolecta fue el cultivo submarino de la empresa Perlas del Cortez, S. de R.L. M.I.

6.8.2 Reconstrucción volumétrica

Una vez registradas las medidas lineales, pesos y volúmenes de los organismos como primer paso para la reconstrucción de los tejidos (Morvan y Ansell, 1988), la masa visceral completa fue fijada en una solución de formol al 10% y una semana después pasada a alcohol al 70% para su preservación. Posteriormente, la masa visceral fue cortada en cuatro secciones, las cuales fueron medidas, digitalizadas y analizadas para estimar las superficies correspondientes a cada uno de los tejidos referidos arriba, siguiendo la metodología de Cáceres-Puig *et al.* (2009). Una vez obtenidas las superficies de cada tejido se estimaron sus fracciones volumétricas utilizando el principio de Cavalieri.

6.8.3 Medición de gametos

Las muestras obtenidas del estudio estereológico fueron lavadas en agua corriente e inmediatamente deshidratadas en alcoholes de graduación ascendente, incluidas en Paraplast TX, cortadas a 7–8 μm de grosor y teñidas con hematoxilina-eosina (Humason, 1979). Las laminillas resultantes fueron digitalizadas y analizadas con el programa Image-ProPlus® para la medición de la superficie (μm^2) de los ovocitos.

6.8.4 Estimación de la fecundidad

La fecundidad potencial en las hembras se calculó siguiendo tres estrategias diferentes: (2) Estereología para el estudio de los ovocitos, (3) Método del Disector propuesto por Cruz-Orive (1980) y (3) Estimación de la relación del volumen con la fracción volumétrica de la gónada.

Para estimar el volumen de los ovocitos se utilizó su reconstrucción estereológica a partir de la fórmula (1). Para ello, se midió la superficie de tres cortes seriados de la gónada de 7 μm de espesor cada uno, correspondiente a cada ovocito (S) y éstos se identificaron en los cortes subsecuentes (300 ovocitos por cada hembra, 100 por cada corte histológico) (Fig. 12). Se midió su superficie y se reconstruyó su volumen a través del principio de Cavalieri aplicando la siguiente fórmula:

$$V_{Oocyte} = \sum_i S_i \times X_i \quad (2)$$

Donde:

V= estimador sin sesgo del volumen del ovocito

S_i = superficie del ovocito en la sección i

X_i =distancia entre cada sección o corte

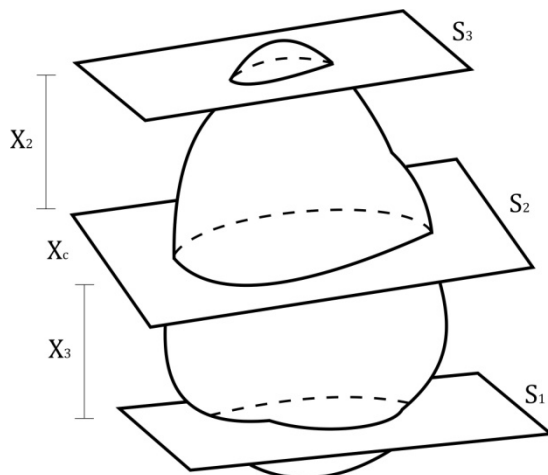


Figura 12. Representación esquemática de un ovocito reconstruido volumétricamente a partir de tres cortes seriados de la gónada, empleando el principio de Cavalieri.

Una vez obtenido el volumen promedio de los ovocitos (v) se aplicó la metodología del Disector (3), de acuerdo a Cruz-Orive (1980). Esta herramienta matemática fue diseñada para estimar el número de partículas (ovocitos) (N_v) de forma irregular que se encuentran en una estructura. Para ello, se utilizó la siguiente fórmula:

$$N_v = A_A \times v^{-1} \quad (3)$$

Donde:

A_A = fracción de área promedio ocupada por los ovocitos contenidos por unidad de área en la sección Lc (Fig. 13).

v = volumen promedio de los ovocitos.

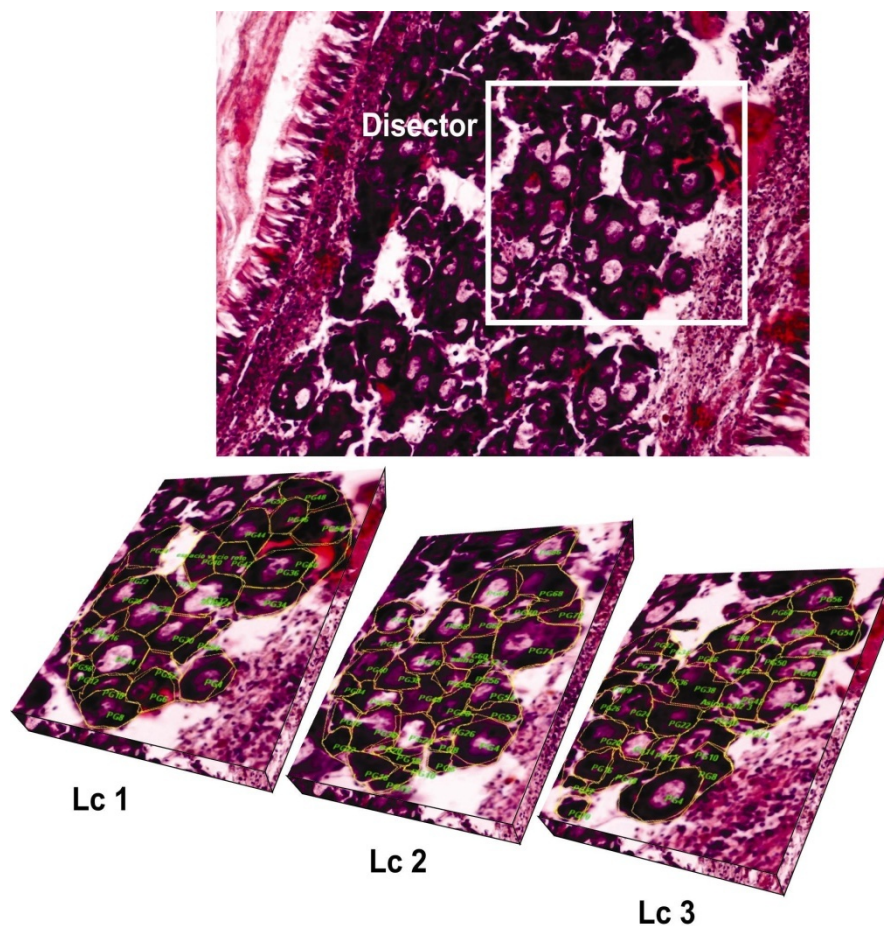


Figura 13. Representación de la aplicación del disector en la evaluación de cortes seriados de la gónada para estimar el volumen de ocupación de los ovocitos.

Habiendo calculado el número promedio de ovocitos contenidos en cada mL de gónada, se utilizaron los valores de la estimación estereológica del volumen total de la gónada (3) para calcular la fecundidad potencial individual de *P. sterna*.

6.8.5 Rasgado de la gónada (*stripping*) para referenciar los valores de fecundidad

El procedimiento de *stripping* o rasgado, se utilizó con 15 de los organismos recolectados en diciembre de 2008 como valor de referencia de la fecundidad potencial, ya

que este procedimiento solo puede realizarse cuando la gónada está completamente madura. El procedimiento consiste en hacer un rasgado cuidadoso con un bisturí en la gónada femenina para obtener los ovocitos. Estos se pasaron a través de tamices de 80 y 20 μm en batería, sirviendo el primero para eliminar los restos de tejidos y el segundo para recuperar los ovocitos. Tanto la gónada como los tamices se enjuagaron en repetidas ocasiones con agua de mar filtrada, hasta obtener un vaciado completo de gametos. Hecho esto, el cuerpo del organismo fue pesado nuevamente para determinar la pérdida de biomasa (g) antes y después del rasgado. Los gametos fueron vaciados en un vaso de precipitado y se agregó agua de mar filtrada hasta un volumen conocido. Las muestras fueron etiquetadas y fijadas con formol al 10%. Se determinó el número de gametos por individuo, y con ello la fecundidad potencial, a través de conteos directos siguiendo la metodología propuesta por Chávez-Villalba (2001).

6.8.6 Estimación energética

Para la obtención de energía de los reproductores, los valores de volumen de cada tejido (vt), se transformaron en valores de peso seco (Ps) utilizando la fórmula propuesta por Cáceres-Puig *et al.* (2009) para la misma especie, de la siguiente manera:

$$Ps = \left(\frac{vt+0.48}{0.962} \right) \times 0.226 \quad (4)$$

Donde:

Ps = Peso seco del tejido

vt = volumen del tejido

Una vez obtenidos los valores de peso seco de los tejidos, se multiplicaron por los coeficientes energéticos correspondientes a cada tejido de la especie: gónada 18.9 kJ/g, glándula digestiva 23.1 kJ/g, manto 16.4 kJ/g y músculo 18.9 kJ/g (Cáceres-Puig, 2007).

6.9 Tratamiento de datos

Con las bitácoras de datos de campo y las mediciones en laboratorio se elaboraron hojas de cálculo en el programa Microsoft Excel®. A los datos de recolecta en campo (factores bióticos, abióticos y mediciones de los reclutas) se les comprobó normalidad a través de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, homocedasticidad mediante la prueba de Bartlett y se realizó un análisis exploratorio de datos para identificar las medidas de tendencia central y de dispersión para observar el comportamiento de los datos. En los casos donde no fueron evidentes las diferencias se emplearon ANOVAs de una vía para detectar la existencia de diferencias significativas (en la talla de los reclutas por periodo de colecta, en la competencia por sustrato y en los valores de fecundidad potencial) y pruebas *a posteriori* de Tukey cuando se encontraron diferencias. En los casos donde no se cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad se emplearon pruebas no paramétricas de U de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis para las mismas evaluaciones citadas anteriormente. Cuando se detectaron diferencias significativas, fue necesario emplear comparaciones múltiples de valores de z para identificar los grupos homogéneos (Sokal y Rohlf 1981). El nivel de significancia para todas las pruebas fue de $P < 0.05$. Se utilizó para ello el programa estadístico Statistica (vers. 7.0, StatSoft Inc., N.Y., E.U.A.).

Las variables obtenidas en campo sobre factores bióticos (alimento disponible y competencia) y abióticos (temperatura, salinidad, corrientes, profundidad y transparencia), en conjunto con los resultados de laboratorio (técnicas estereológicas y calorimétricas) fueron analizados mediante el uso de técnicas de estadística multivariada para establecer el efecto que estas variables cuantificadas ejercen sobre el reclutamiento de juveniles.

7. Resultados

7.1 Parámetros ambientales

7.1.1 Temperatura del agua

La temperatura del agua de mar se registró desde el mes de enero del 2008 a marzo del 2010 en cada uno de los sitios de recolecta, reflejando una clara tendencia estacional en ambos años, así como una tendencia relativamente similar entre los valores registrados en las estaciones de recolecta ubicados en la región del continente con respecto a los ubicados en el complejo insular Espíritu Santo, alcanzándose las temperaturas más bajas en enero (19 a 21 °C) y las temperatura más altas en agosto–septiembre (29.5 a 30 °C). Dentro de los eventos relevantes de las fluctuaciones de temperatura, se observa también un descenso drástico en los valores de los sitios de recolecta durante el mes de junio de 2008 y 2009 (Fig. 14). Posteriormente, en octubre de 2008 y 2009 los valores de la temperatura del agua volvieron a descender en la zona continental e insular hasta los ~23°C.

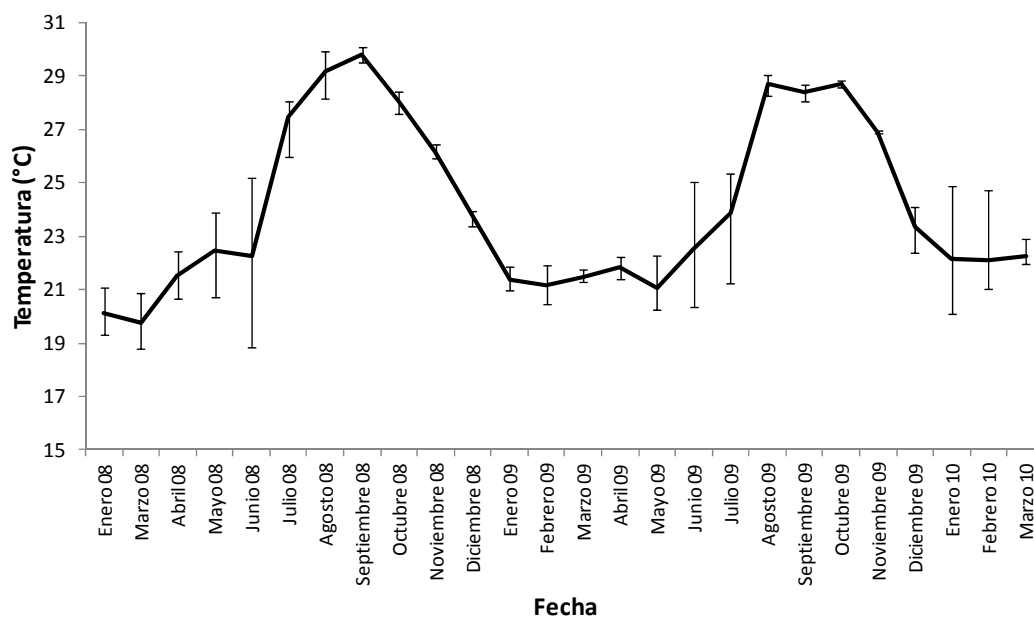


Figura 14. Variaciones promedio, máximos y mínimos en la temperatura (°C) del agua de mar en los sitios de recolecta durante el periodo enero 2008–marzo 2010.

7.1.2 Salinidad

La salinidad se mantuvo relativamente constante a lo largo del estudio, con pequeñas fluctuaciones (± 1 ups) durante el verano y algunos descensos aislados en el mes de junio de 2008 en las estaciones continentales (de 36.27 ups en mayo a 34.92 ups en junio), así como en la estaciones insulares, donde ocurrió otro descenso durante el mes de junio de 2009 (de 36.4 ups a 35.42 ups). Independientemente de estos eventos, la salinidad siguió la misma tendencia en la mayoría de las estaciones de recolecta, tanto en la zona continental, como en el complejo insular Espíritu Santo–La Partida, con valores entre los 35 a 36.5 ups (Fig. 15).

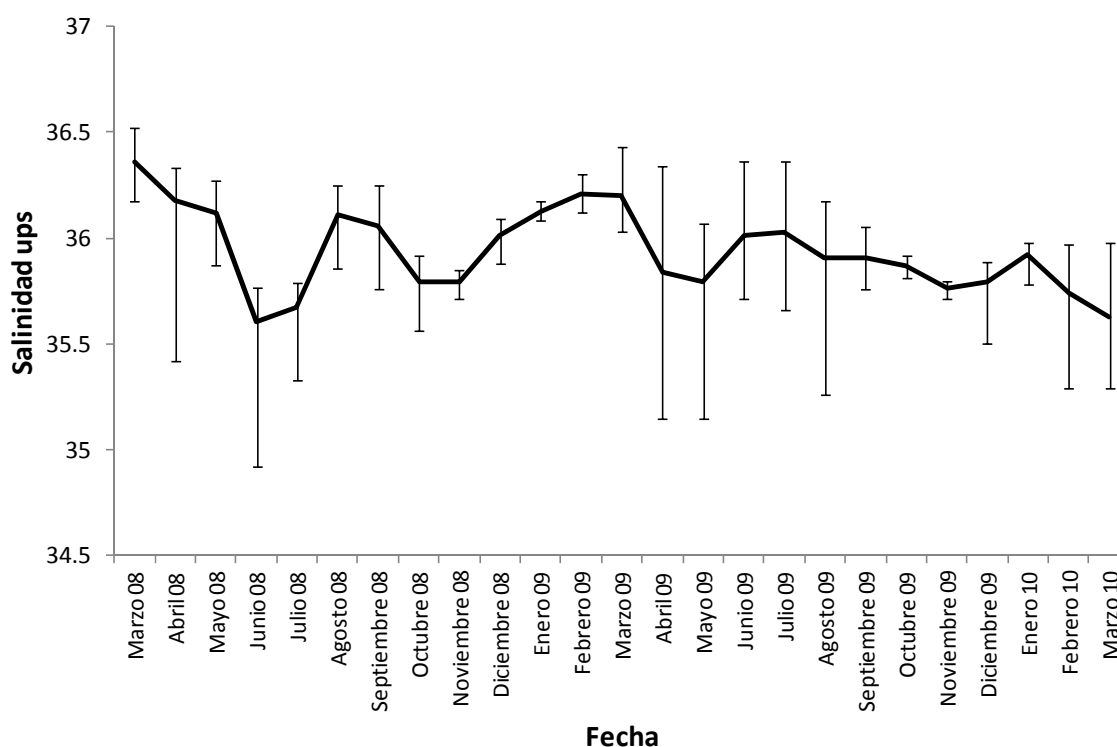


Figura 15. Variaciones promedio, máximos y mínimos en la salinidad (ups) del agua de mar en los sitios de recolecta durante el periodo marzo 2008–marzo 2010.

7.1.3 Conductividad

La conductividad al igual que la salinidad se mantuvo relativamente constante a lo largo del estudio, con descensos marcados en el verano y aumentos durante el invierno (Fig. 16). Algunos eventos marcados que fueron detectados como descenso durante el verano, tanto del 2008, como en el 2009 y aumentos en los meses fríos de los dos años de estudio (Fig. 16).

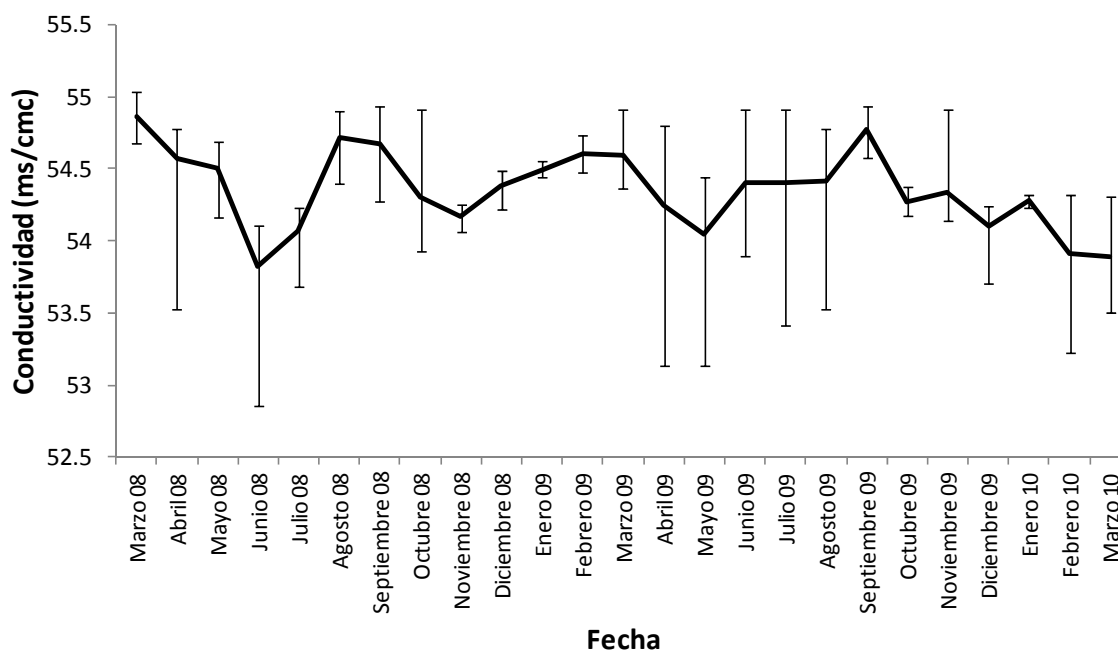


Figura 16. Variaciones promedio, máximos y mínimos en la conductividad (ms/cm) del agua de mar en los sitios de recolecta durante el periodo marzo 2008–marzo 2010.

7.1.4 Turbidez del agua

La turbidez del agua se registró en cada estación desde la instalación de los colectores y representa el factor con más variaciones a lo largo del periodo muestreado (Fig. 17). Se observan los valores de turbidez más altos durante los meses de invierno y primavera, particularmente en marzo-junio y diciembre de ambos años (~2 y 8 m), así

como una mayor transparencia en los meses más cálidos de julio a septiembre de 2008 y 2009 (~9 y 15 m). La estación de Bahía Falsa presentó la mayor turbidez (6 m en promedio) (Fig. 17). Ello debido principalmente a la diferencia de profundidad con las otras zonas de recolecta. Al igual que con la temperatura del agua, se presentó un descenso muy marcado en la turbidez del agua en el mes de junio de 2008, alcanzando únicamente entre 2 y 5 m de visibilidad en los sitios de muestreo ubicados en la zona continental (Fig. 17).

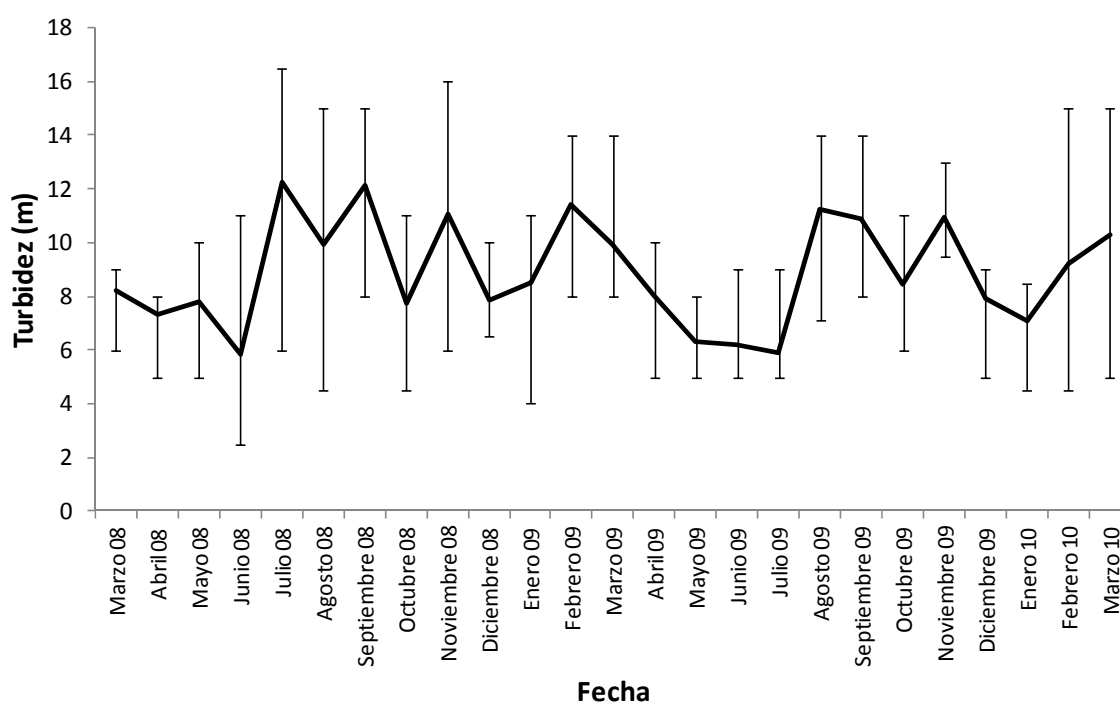


Figura 17. Variación promedio, máximos y mínimos en la turbidez (m) del agua de mar en los sitios de recolecta durante el periodo marzo 2008–marzo 2010.

7.1.5 Corrientes

Las corrientes mensuales obtenidas con el modelo hidrodinámico se muestran en las figuras 18 y 19, observándose patrones muy marcados por efecto de las estaciones del año. Esto particularmente durante los meses fríos de enero, febrero y marzo, donde las corrientes predominan en fuerza y dirección de norte a sur, habiendo un gran recambio de agua en la Bahía de La Paz. Al comenzar el mes de abril se produce un cambio en el patrón de circulación de la corriente dentro de la bahía, generándose flujos encontrados que forman cambios de dirección de la corriente. Este patrón se va incrementando conforme entra el verano, y a partir de agosto la dirección de la corriente cambia por completo hacia el norte, manteniéndose este evento hasta el mes de diciembre cuando cambia de nuevo el flujo de corriente hacia el sur.

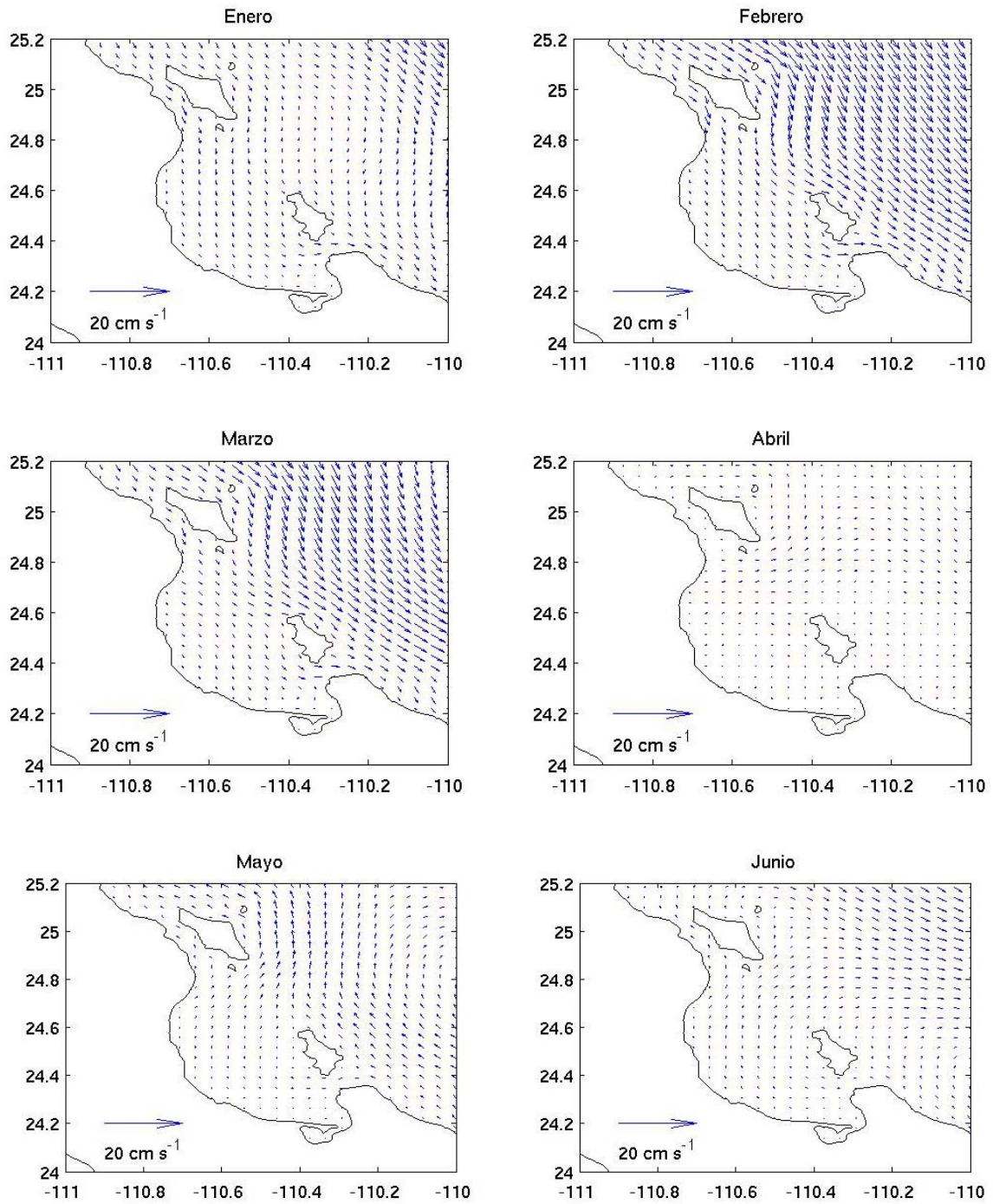


Figura 18. Corriente promedio mensual (cm/s), en la Bahía de La Paz, obtenida a través del modelo hidrodinámico desarrollado en CICESE para el primer semestre de los años 2008 y 2009.

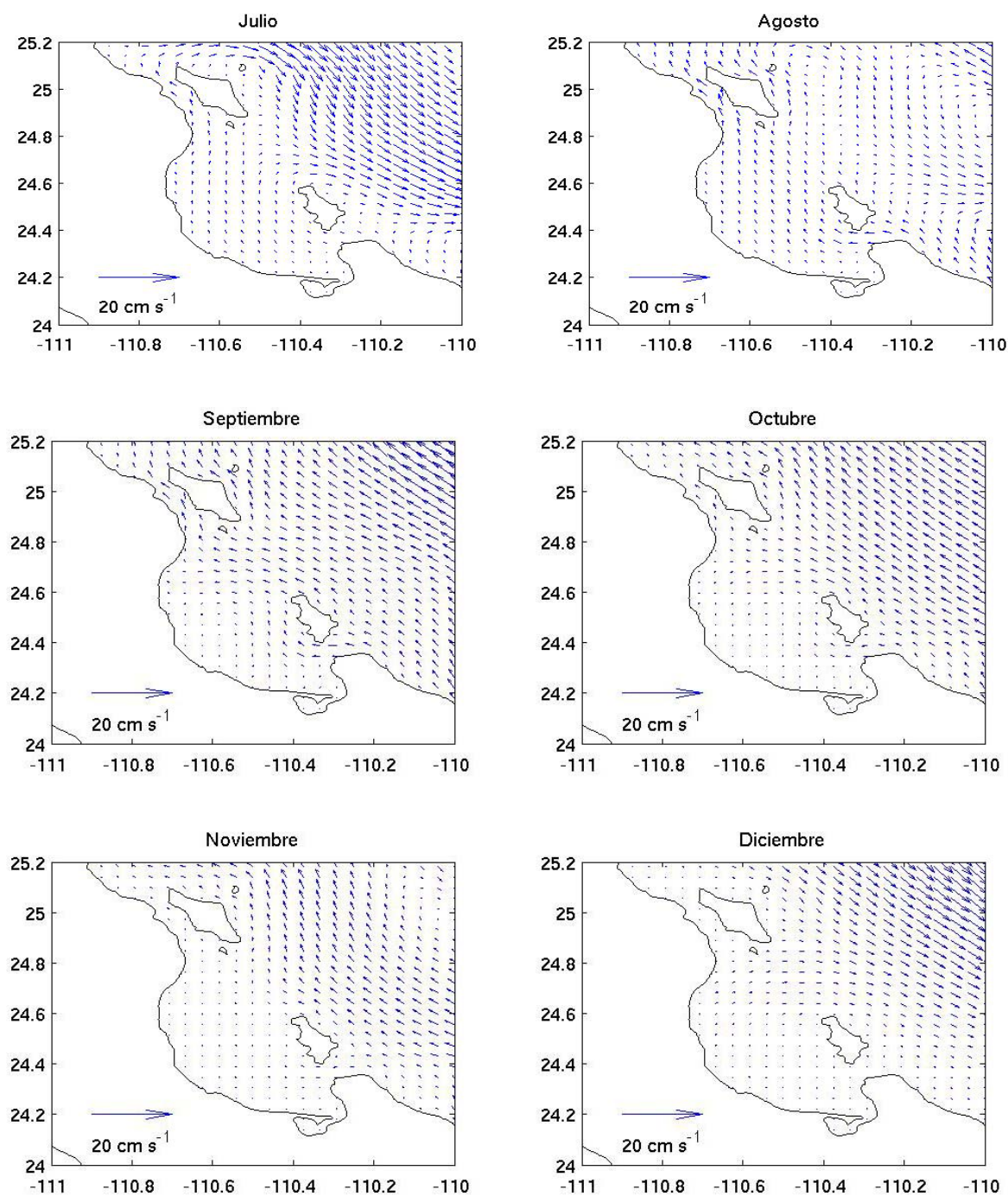


Figura 19. Corriente promedio mensual (cm/s), en la Bahía de La Paz, obtenida a través del modelo hidrodinámico desarrollado en CICESE para el segundo semestre de los años 2008 y 2009.

7.2 Alimento disponible

7.2.1 *Seston total, pláncton y tripton*

Las variaciones promedio en la concentración del seston total (Fig. 20a), pláncton (Fig. 20b) y tripton (Fig. 20c) para el periodo abril 2008–marzo de 2010 reflejan tendencias diferentes. Las mayores concentraciones de seston total ocurrieron durante el mes de enero (32.41 mg/L) y las más bajas en junio (14.85mg/L). A su vez, se observó que la mayor parte del seston fue material inorgánico particulado (tripton), aunque la tendencia fue similar a la del seston total, con los valores más altos en marzo (29.38 mg/L) y los más bajos en junio de 2008 (13.41 mg/L). Por el contrario, los valores más altos de pláncton se registraron durante el mes de enero (4.3 mg/L) y los más bajos durante el verano, principalmente en el mes de julio (1.3 mg/L).

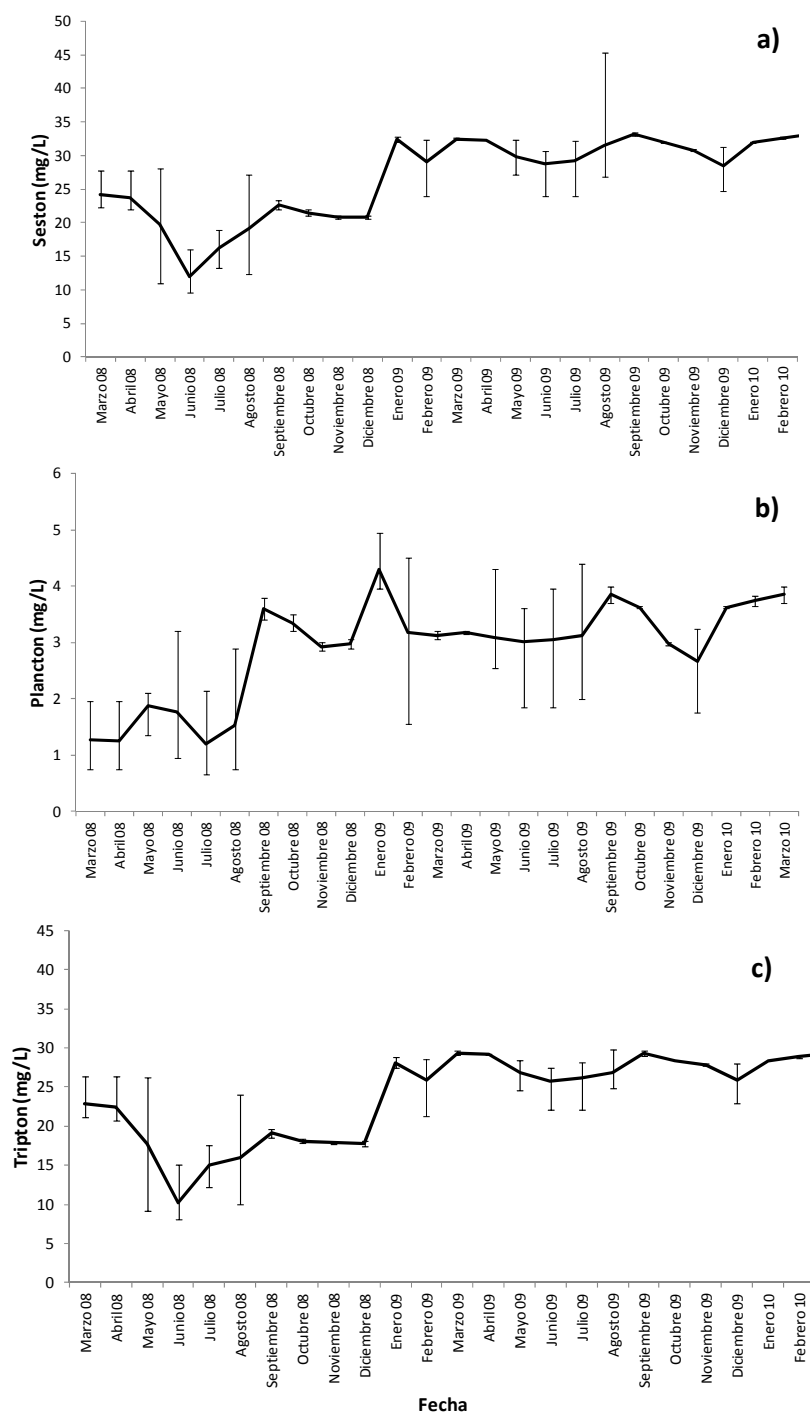


Figura 20. Variaciones promedio, máximos y mínimos del seston (a), pláncton (b) y tripton (c) (mg/L) del agua de mar en los sitios de recolecta distribuidos en la zona del continente durante el periodo marzo 2008–marzo 2010.

7.2.2 Análisis bioquímico del seston

La tendencia de los valores de proteínas, muestra una disminución de los valores de éstas durante el periodo agosto–enero del 2008 con un promedio para estas fechas de 153 $\mu\text{g/L}$ para la zona continental y 148 $\mu\text{g/L}$ para la zona insular, los mayores valores de este combustible metabólico se presentan de marzo a julio del 2008 con un promedio de 276 $\mu\text{g/L}$ en la zona continental y 277 $\mu\text{g/L}$ en la zona insular. Este patrón se repite el siguiente año con valores muy similares (Fig. 21a).

El comportamiento de los carbohidratos es más marcado que el de las proteínas, teniendo un descenso muy evidente de julio (190 $\mu\text{g/L}$) a agosto del 2008 (66 $\mu\text{g/L}$), posteriormente se da un incremento paulatino hasta alcanzar nuevamente el mayor valor en julio del 2009 con 191 $\mu\text{g/L}$, para que nuevamente en el mes de agosto de este año descienda abruptamente hasta los 53 $\mu\text{g/L}$, patrón que parece ser cíclico a lo largo del periodo de estudio (Fig. 21b).

En el caso particular de los lípidos no se presenta una variación marcada, más bien los valores de este combustible metabólico se mantienen estables durante todo el estudio, con fluctuaciones no mayores a de 30 $\mu\text{g/L}$, los valores más bajos se presentan en el mes de enero (~35 $\mu\text{g/L}$) y los más altos en abril (~67 $\mu\text{g/L}$). Este patrón también es cíclico a lo largo del periodo de estudio (Fig. 21c).

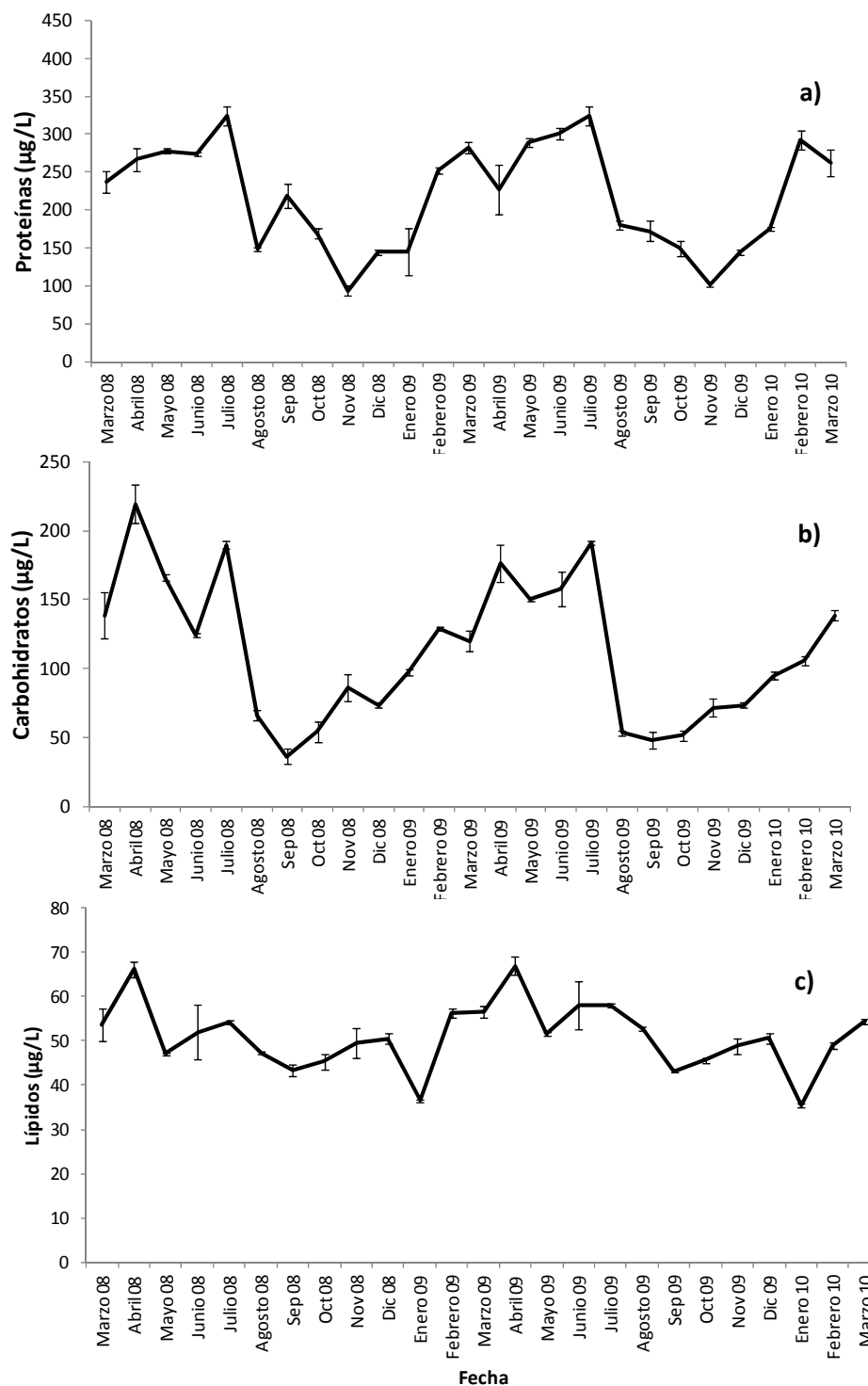


Figura 21. Variaciones promedio y error estándar (barras) de las proteínas (a), carbohidratos (b) y los lípidos (c) contenidos en el plácton ($\mu\text{g/L}$) en los sitios de recolecta durante el periodo marzo 2008–marzo 2010.

7.2.3 Contenido energético del plánton

El contenido energético de los componentes bioquímicos del plánton durante el periodo de estudio se muestra en la figura 22. Parece claro que las proteínas son el combustible metabólico que presenta los valores más altos energéticamente y también los de mayor variación, seguido de los carbohidratos. Por el contrario, los lípidos tienden a ser más estables durante el periodo de estudio.

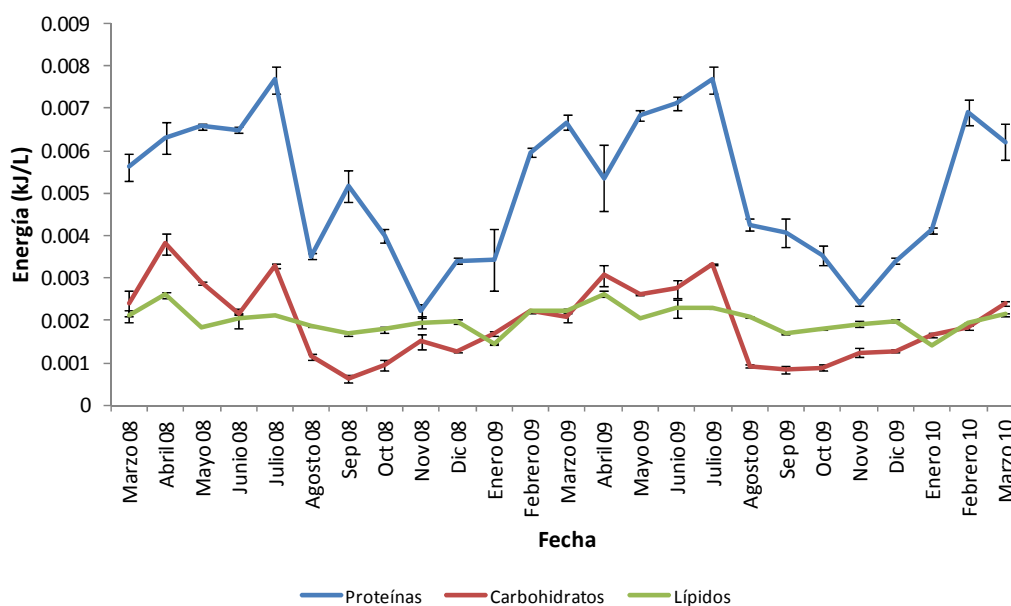


Figura 22. Variaciones promedio y error estándar (barras) de la energía (kJ/L) contenida en los componentes bioquímicos del plánton en los sitios de recolecta durante el periodo marzo 2008–marzo 2010.

7.3 Reclutamiento y competencia

7.3.1 Recolecta de juveniles de *P. sterna*

En el comportamiento de la recolecta durante el periodo de estudio marzo 2008 a marzo 2010, están claramente marcados los periodos de mayor reclutamiento en ambos años (marzo–junio y diciembre–marzo) y los de menor reclutamiento para los dos años de

estudio registrados en las temporadas julio-septiembre y octubre-diciembre, así como la tendencia del reclutamiento a ser mayor en el fondo (~20 m) (Fig. 23).

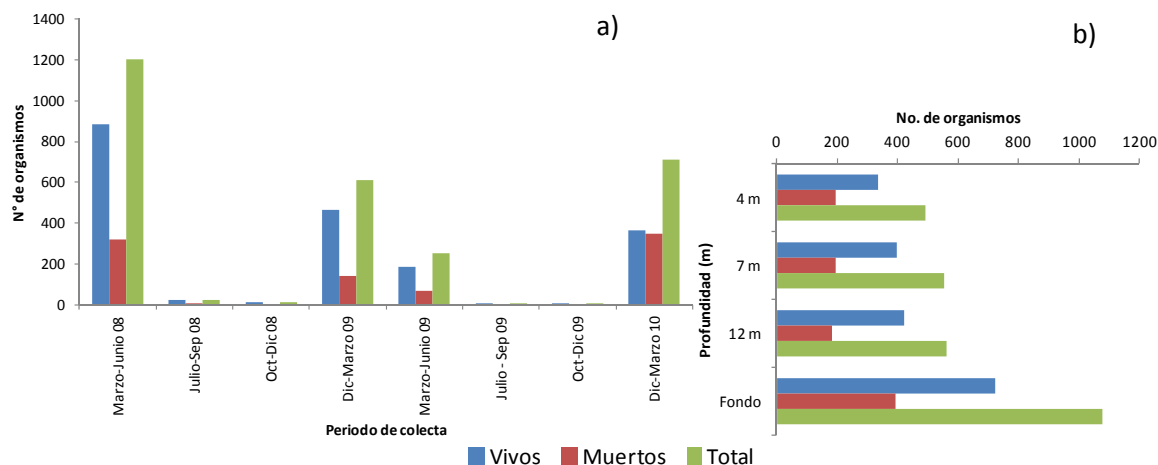


Figura 23. Variaciones en el reclutamiento de juveniles de *P. sterna* por periodo (a) y profundidad (b) de recolecta.

Durante el periodo marzo–junio de 2008, se reclutaron un total de 1203 juveniles de *P. sterna*, teniendo de esta manera un promedio de 120.3 juveniles por estación (Fig. 24a). A su vez, se contabilizaron alrededor de 884 juveniles vivos y 319 muertos. Los sitios de recolecta más importantes, en orden de magnitud, fueron: la estación Balandra (261 juveniles), Mogote (237 juveniles) e Isla Gaviota (209 juveniles). En contraste, el menor reclutamiento tuvo lugar en las estaciones de Bahía Falsa (14 juveniles) y La Partida (15 juveniles). Para el periodo julio-septiembre de 2008, la recolecta fue baja con respecto a la del periodo anterior. Se obtuvo un total de 24 individuos únicamente, dando un promedio de 2.67 juveniles por estación. Además, durante este periodo no se presentó reclutamiento en algunas de las estaciones, como en Bahía Falsa e Isla Gaviota. Las estaciones con mayor reclutamiento fueron Punta del Diablo (8 juveniles) y de nuevo Mogote (7 juveniles) (Fig. 24b).

En el periodo octubre–diciembre de 2008, el reclutamiento de juveniles de *P. sterna* disminuyó sustancialmente, teniendo únicamente 16 juveniles reclutados y dando un

promedio de 1.78 juveniles por estación (Fig. 24c). También en esta temporada se encontraron estaciones sin fijaciones de reclutas en Bahía falsa, aunque aquí se agregaron las estaciones Balandra, San Gabriel y La Partida. Por otro lado, la estación Mogote volvió a ser la de mayor incidencia a la fijación (7 juveniles). La variación en el reclutamiento de juveniles de *P. sterna* durante la temporada diciembre 2008–marzo 2009 se presenta en la figura 24d. En este periodo se recolectaron un total de 609 juveniles (67.67 organismos por estación), registrándose el mayor reclutamiento en la estación de El Embudo (232 organismos), seguida por la estación del Mogote y de Punta Mogote (121 y 93 reclutas respectivamente). Por el contrario, el menor reclutamiento se obtuvo en la estación de Isla Gallo, con solo 10 juveniles recolectados.

En la temporada marzo–junio 2009, se registró una captación de 255 juveniles (28.4 reclutas por estación), donde el mayor reclutamiento se registró en la estación de la Isla Gaviota (60 juveniles), seguida de la estación del Mogote (55 juveniles) y Punta Mogote (47 juveniles). Por su parte, el menor reclutamiento ocurrió para la estación de Bahía Falsa, con solo 3 juveniles. Cabe destacar que la mayor mortalidad (46 juveniles) se observó en la estación de Isla Gaviota (Fig. 24e). Durante la temporada julio–septiembre 2009, el reclutamiento fue escaso, con solo 8 organismos de *P. sterna* recolectados, encontrando varias de las estaciones sin reclutamiento, tanto en la zona continental, como en la zona del complejo insular Espíritu Santo-La Partida (Fig. 24f). Se observa el reclutamiento para la especie durante el periodo octubre–diciembre de 2009, teniendo únicamente 6 juveniles reclutados y dando un promedio de 0.6 juveniles por estación. También en esta temporada se encontraron estaciones sin fijaciones de concha nácar (Fig. 24g). La última temporada de recolecta se realizó en el periodo diciembre 2009–marzo 2010, donde se obtuvo un total de 713 juveniles de *P. sterna* (89.1 reclutas por estación). El mayor reclutamiento se registró para la estación de Isla Gaviota (191 organismos), seguida de la estación de Punta Mogote (169 organismos) y Bahía San Gabriel (116 organismos). El menor reclutamiento se registró en Balandra (24 organismos). Además durante esta temporada se perdieron las estaciones de Punta del Diablo y El Embudo (Fig. 24h).

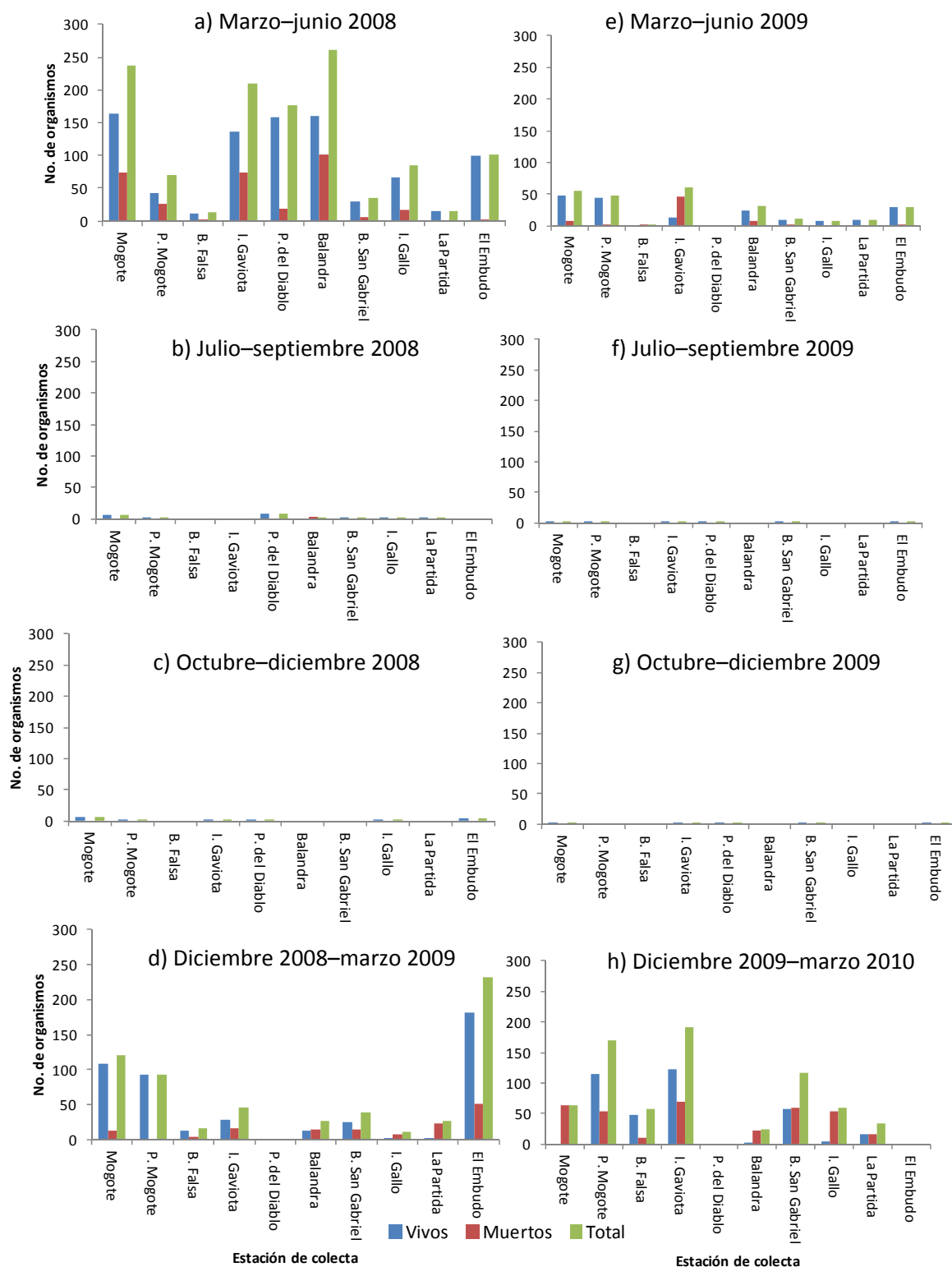


Figura 24. Variaciones en el reclutamiento de juveniles de *P. sterna* por estación.

En relación con la distribución vertical del reclutamiento de *P. sterna*, el número de juveniles contabilizados durante el periodo marzo–junio 2008 aumentó en relación directa con la profundidad, teniendo de esta manera el mayor reclutamiento en el fondo (656 juveniles) y el menor reclutamiento a los 4 m (85 juveniles) (Fig. 25a). La temporada julio–septiembre de 2008 mostró un patrón similar al encontrado en el periodo anterior con respecto a las estaciones con mayor y menor abundancia respectivamente, aunque en menor magnitud (0.3 y 1.3 juveniles promedio) (Fig. 25b). En la temporada octubre–diciembre de 2008 (Fig. 25c) también se encontraron más reclutas en los colectores colocados en el fondo, con respecto a los ubicados en la superficie. A pesar de que el reclutamiento no fue abundante en estos últimos dos periodos, la mortalidad fue mínima o no se presentó. La fijación de esta especie con respecto a la profundidad durante la temporada diciembre 2008–marzo 2009 (Fig. 25d) presentó un patrón diferente a todas las temporadas anteriores, teniendo mayor fijación en la superficie (210 organismos) y menor fijación en el fondo (108 organismos). Durante la temporada marzo–junio 2009 el patrón de reclutamiento con respecto a la profundidad fue consistente con el año anterior, teniendo un mayor reclutamiento de juveniles en el fondo (93 juveniles) y un menor reclutamiento en la superficie (47 juveniles) (Fig. 25e). En el periodo julio–septiembre 2009 se observa mayor reclutamiento en el fondo (3 juveniles) y menor en la superficie (1 juvenil) (Fig. 25f). El reclutamiento con respecto a la profundidad en la temporada octubre–diciembre 2009 presentó el mismo patrón que durante el periodo anterior, con mayor reclutamiento en el fondo y menor en la superficie, además no se registró reclutamiento en los colectores ubicados a los 7 m de profundidad en ninguna de las estaciones (Fig. 25g). La distribución batimétrica de la recolecta en el periodo diciembre 2009–marzo 2010 se muestra en la figura 25h. El mayor reclutamiento se registró en el fondo (272 juveniles) y el menor en los colectores ubicados a los 12 m (116 juveniles). A su vez, la mayor mortalidad se obtuvo en los colectores colocados a 7 m (123 juveniles).

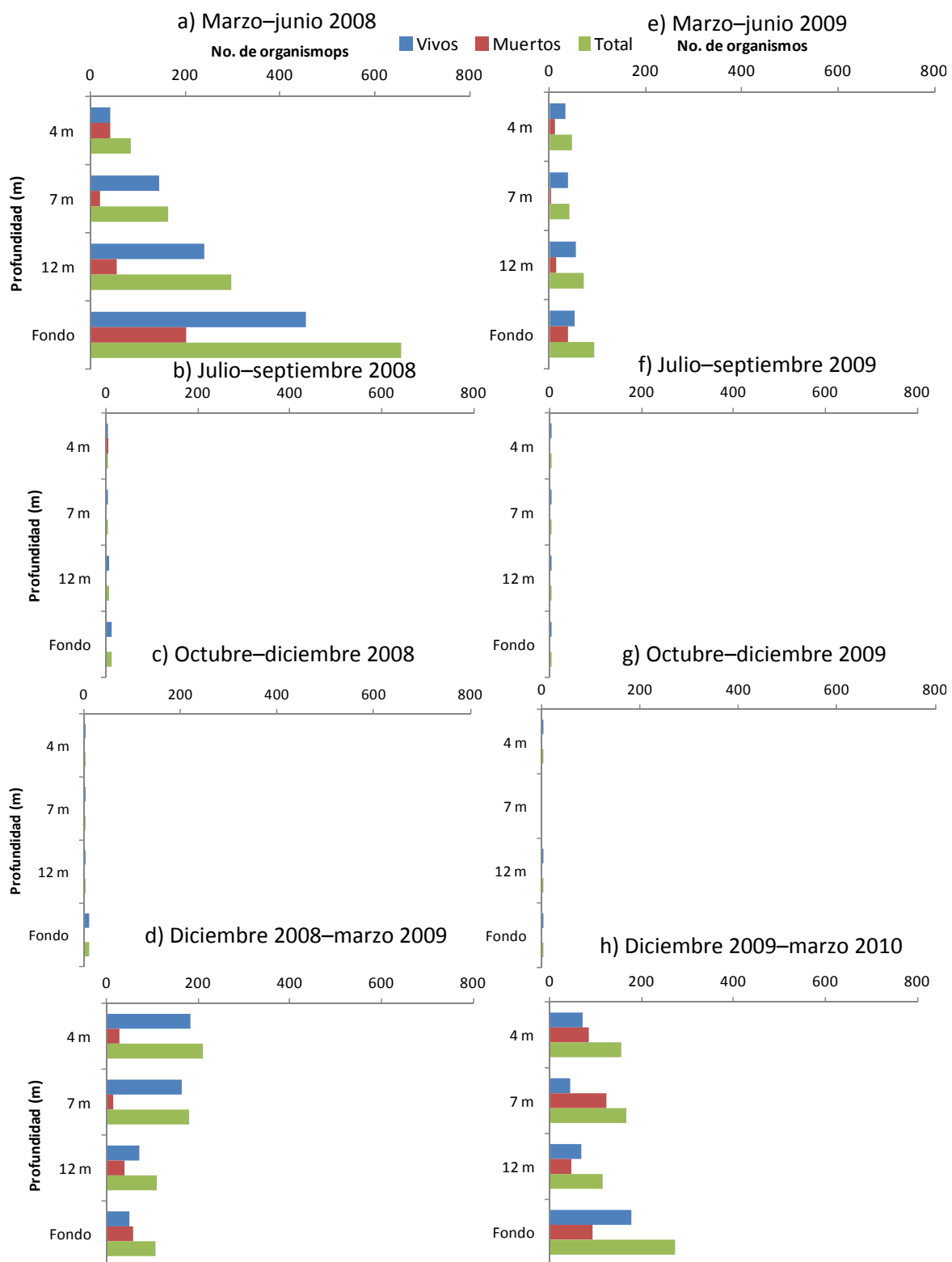


Figura 25. Variaciones en el reclutamiento de juveniles de *P. sterna* por profundidad.

7.3.2 Biometrías de los juveniles reclutados de *P. sterna*

En la figura 26, se presentan las variaciones en la altura (mm) de los juveniles de *P. sterna* reclutados durante los periodos de recolecta a lo largo de dos años de estudio, las cuales se tradujeron en diferencias significativas en el tiempo después de aplicar el análisis de Kruskal-Wallis ($H = 221.579$; $p < 0.05$). Donde se observa la formación de grupos homogéneos que corresponden al periodo de colecta con la misma fecha pero en años consecutivos. En relación a la altura con respecto a la profundidad de colecta durante todo el periodo de estudio no se presentaron diferencias significativas ($H = 72.557$; $p < 0.05$), a pesar de que en algunas temporadas se observaron pequeñas variaciones en estos valores.

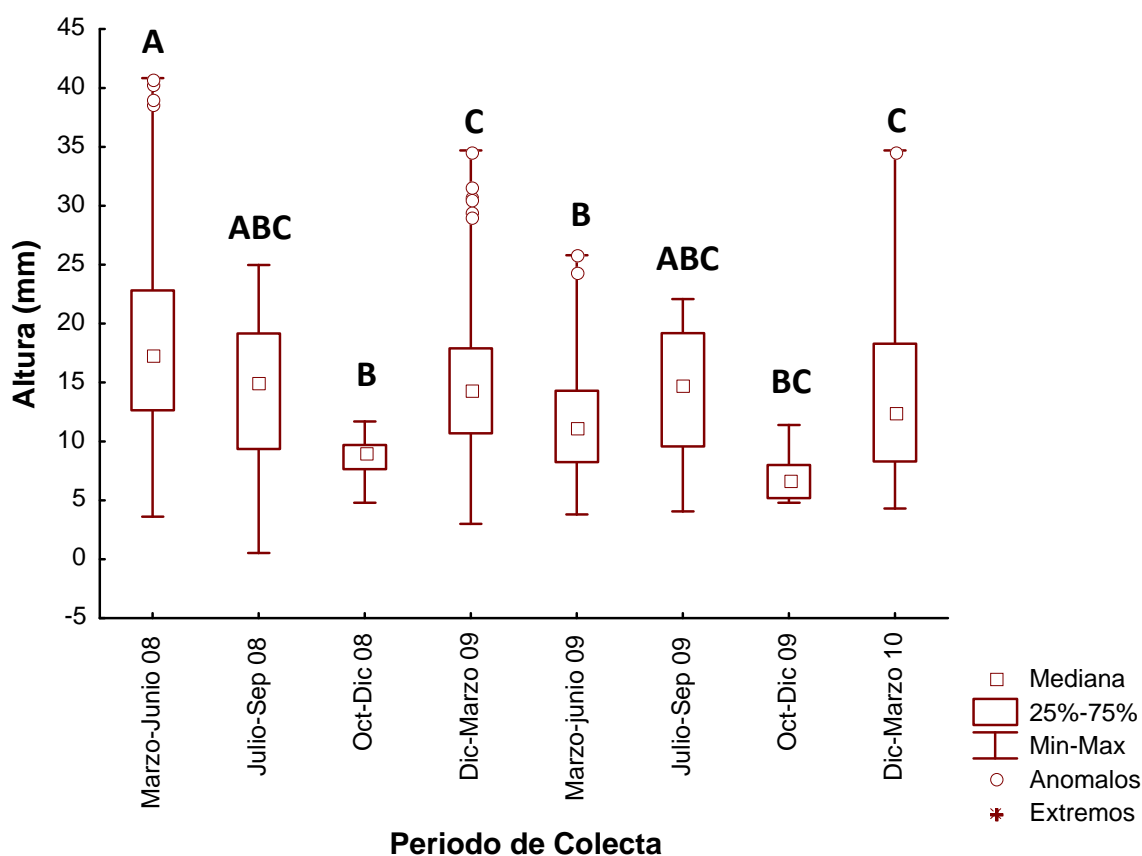


Figura 26. Variación en la altura (mm) de los juveniles reclutados de *P. sterna* por periodo de recolecta. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos y grupos formados por la prueba *a posteriori* de valores de z .

En la figura 27a se observa la distribución de tallas de los juveniles (altura) que se reclutaron en las 10 estaciones distribuidas en la Bahía de La Paz durante el periodo marzo–junio de 2008. Las estaciones donde los juveniles alcanzaron las mayores tallas fueron la estación 1 (Mogote), con una altura promedio de 26 mm, así como la estación 9 (La Partida), con una altura promedio de 23.6 mm. Las menores tallas se registraron en los juveniles reclutados en la estación 3 (Bahía Falsa), con 13.7 mm de altura promedio. Durante el periodo julio–septiembre de 2008 las estaciones donde los juveniles alcanzaron las mayores tallas fueron la estación 7 (Bahía de San Gabriel), con una altura promedio de 19 mm, así como la estación 5 (Isla Gaviota), con una altura promedio de 17.7 mm. Las menores tallas se registraron en los juveniles reclutados en la estación 2 y 3 (Punta Mogote y Bahía Falsa), con 9.9 mm y 9.4 mm de altura, respectivamente (27b). La talla de los reclutas durante la temporada octubre–diciembre 2008, registró un promedio de 9.43 mm de altura, en los sitios de recolecta (Fig. 27c). Los organismos de mayor tamaño en la temporada diciembre 2008–marzo 2009 fueron recolectados en la estación de Bahía de San Gabriel con 25.68 mm de altura. Y los de menor tamaño se reclutaron en La Partida con 5.25 mm de altura, (Fig. 27d). Las mayores tallas durante la temporada marzo–junio 2009 fueron obtenidas para la estación del Mogote con 15.18 mm de altura y La Partida con 16.36 mm de altura, (Fig. 27e). En el periodo julio–septiembre 2009 el reclutamiento fue muy poco pero la estación del embudo fue donde se registro el organismo de mayor talla con 24.18 mm de altura. Mientras que el organismo de menor talla fue recolectado en la estación de Punta del Diablo con 6.42 mm de altura (Fig. 27f). También en la temporada octubre–diciembre 2009 los reclutas fueron muy pocos y tuvieron un promedio de 7.81 mm de altura (Fig. 27g). Las mayores tallas en el periodo de diciembre 2009–marzo 2010 se muestran en la figura 27h y se observa que estas se registraron en la estación de Bahía de San Gabriel con 20.8 mm de altura.

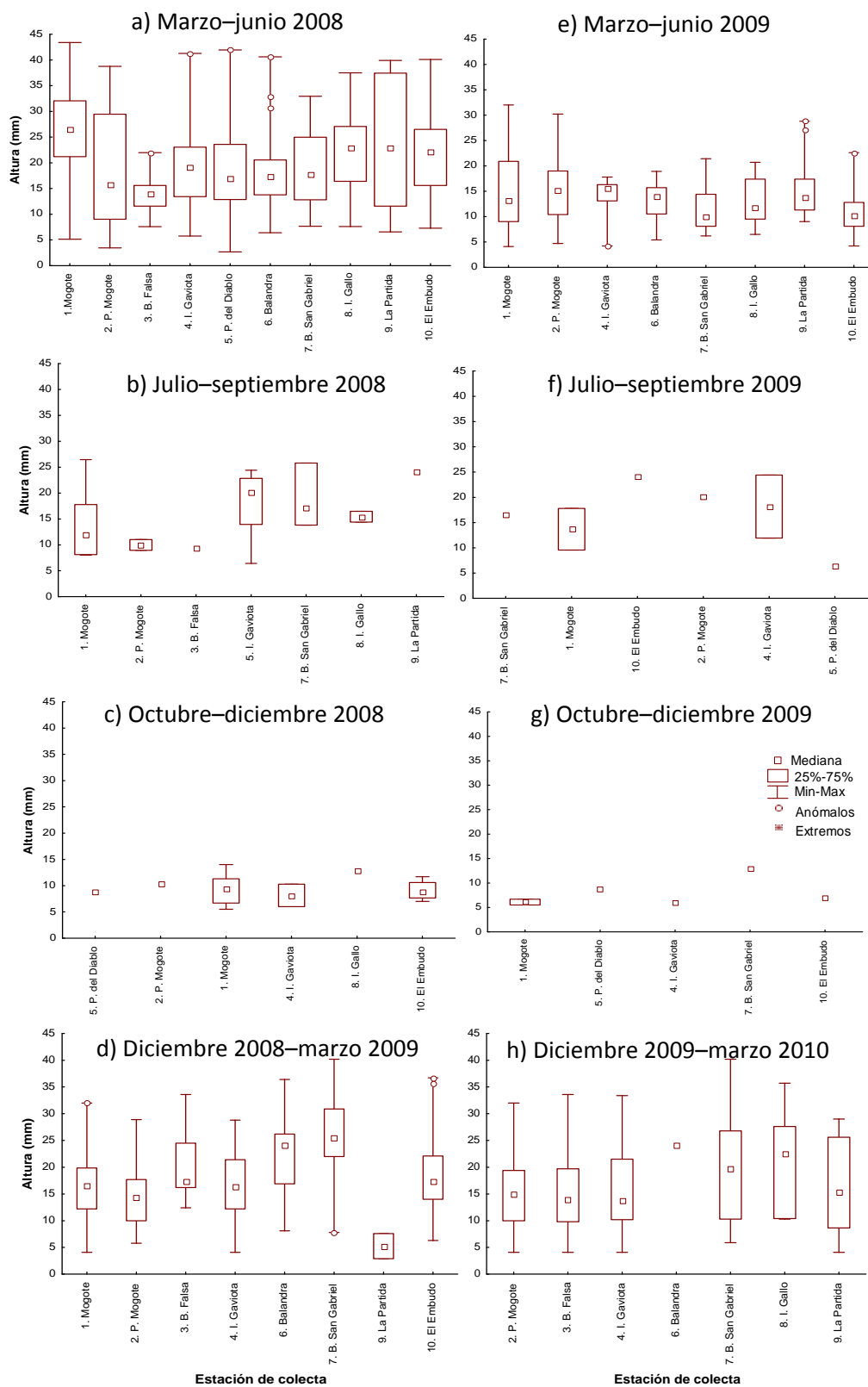


Figura 27. Variación en altura (mm) de los juveniles reclutados de *P. sterna* por sitio de recolecta. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos.

La distribución de tallas (altura) con respecto a la profundidad se muestra en la figura 32. En el periodo marzo–junio 2008, se observan los juveniles reclutados de mayor talla en los colectores 1 y 2, que corresponden a los 4 y 7 m de profundidad, respectivamente. Se registró un promedio de 23.9 mm de altura a los 4 m (colector 1); y 26.3 mm de altura para los 7 m de profundidad (colector 2). Las menores tallas de juveniles reclutados fueron encontradas en el colector 3, que corresponde a los 12 m de profundidad y en el colector 4, que indica el colector que se encuentra en el fondo (~20 m). La talla promedio para el colector 3 fué de 20.5 mm de altura, así como para el colector 4, con valores de 17.3 mm de alto (Fig. 28a). En la temporada julio–septiembre 2008, se observan los juveniles reclutados de mayor talla en los colectores del fondo. Se obtuvo un promedio de 17.61 mm de altura. Los juveniles de menor talla se encontraron a los 7 m, con 11.7 mm de altura (28b). Con relación a la distribución vertical de los reclutas durante el periodo octubre–diciembre 2008, los organismos de mayor altura se registraron en el fondo con 9.67 mm de altura (Fig. 28c). La talla de los organismos durante diciembre 2008–marzo 2009 fue muy homogénea con respecto a la profundidad teniendo un promedio de 17.54 mm de altura (Fig. 28d). Los organismos que presentaron la mayor talla con respecto a la profundidad durante la temporada marzo–junio 2009, fueron los reclutados en los colectores más superficiales (4 m), con 16.9 mm de altura. Por otro lado la profundidad a la que se encontró la menor talla fue a los 12 m con 13.03 mm de altura (Fig. 28e). En julio–septiembre 2009, la mayor talla fue registrada en los juveniles recolectados en el fondo (18.05 mm de altura) y a los 12 m (18.05 mm de altura). La menor talla fue registrada a los 7 m (12.11 mm de altura) (Fig. 28f). Los organismos de mayor talla para el periodo octubre–diciembre 2009, con relación a la profundidad se recolectaron en el fondo con un promedio de 8.15 mm de altura (Fig. 28g). La distribución de talla con respecto a la profundidad para el periodo de diciembre 2009–marzo 2010, se muestra en la figura 28h, donde la menor talla se obtuvo para los juveniles reclutados en los colectores del fondo con un promedio 14.7 mm de altura. La mayor talla se registró para los colectores de 4 m de profundidad (16.9 mm de altura).

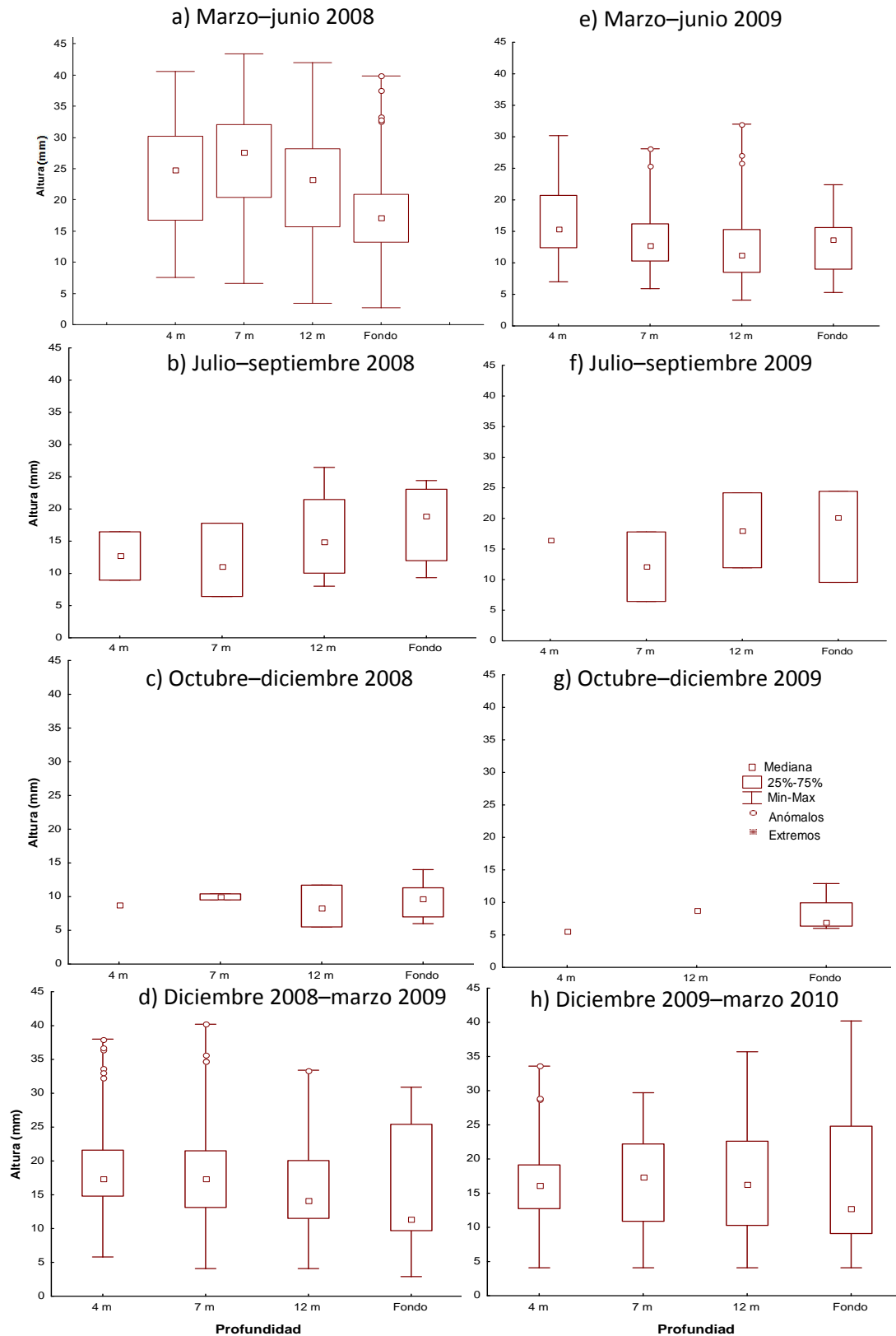


Figura 28. Variación en altura (mm) de los juveniles reclutados de *P. sterna* por profundidad de recolecta. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos.

Los registros de peso (g) de los reclutas capturados en los sistemas de recolecta durante el periodo de marzo–junio de 2008 (Fig. 29a) presentaron una tendencia similar a los obtenidos para las tallas; los mayores pesos ocurrieron en las estaciones 1 (Mogote), con valores promedio de 3.5 g, así como en la estación 9 (La Partida), con 4.6 g de peso promedio. Por el contrario, los menores pesos se registraron en los juveniles reclutados en la estación 3 (Bahía Falsa), con un peso promedio de 1.1 g. Durante el periodo de julio–septiembre de 2008, los mayores pesos ocurrieron en las estaciones 7 (Bahía de San Gabriel), con valores promedio de 0.66 g, así como en la estación 5 (Isla Gaviota), con 1.22 g de peso promedio. Por el contrario, los menores pesos se registraron en los juveniles reclutados en la estación 3 (Bahía Falsa), con un peso promedio de 0.14 g y en la estación 2 (Punta mogote) con un peso total de 0.11 g (Fig. 29b). El promedio de pesos en los sitios de recolecta durante la temporada octubre–diciembre 2008, fue de 0.13 g de peso fresco, 0.10 g de peso de la concha y 0.02 g de peso de la carne (Fig. 29c). En la temporada diciembre 2008–marzo 2009, los juveniles con mayor peso fueron reclutados en la estación de Bahía de San Gabriel con 2.72g de peso fresco. Y los menores pesos en la estación de La Partida con 0.03 g de peso fresco (Fig. 29d). Durante marzo–junio 2009 los organismos que presentaron los mayores pesos se recolectaron en la estación de La partida con 1.19 g de peso fresco, 0.82 g (Fig. 29e). Para el caso del peso de los organismos recolectados en el periodo julio–septiembre 2009, el mayor peso fue registrado en la estación del Embudo 1.92 g de peso fresco. El menor peso se registró para un organismo recolectado en la estación de Punta del Diablo (< de 0.01 g) (Fig. 29f). El promedio en peso de los juveniles reclutados durante octubre–diciembre fue de 0.085 g de peso fresco (Fig. 29g). En la figura 29h se observan que para el periodo diciembre 2009–marzo 2010, los mayores pesos registrados fueron para la estación de Bahía de San Gabriel con 0.43 g de peso fresco.

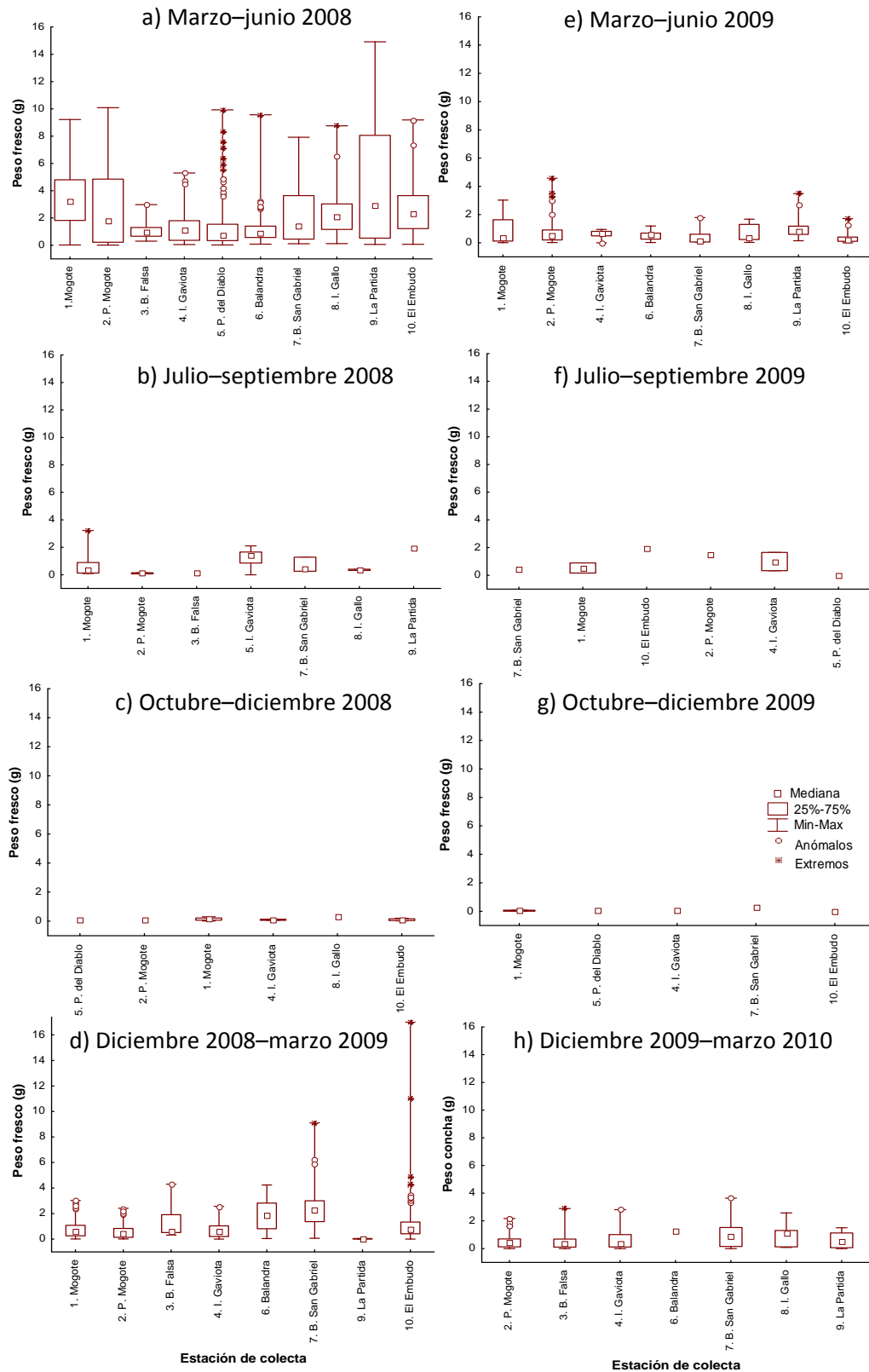


Figura 29. Variación en peso (g) de los juveniles reclutados de *P. sterna* por estación de recolecta. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos.

En la figura 30 se presentan los valores de peso fresco de los reclutas capturados en los sistemas de recolecta por profundidad. Durante el periodo de marzo–junio de 2008, los mayores pesos fueron registrados en los colectores más cercanos a la superficie, con valores promedio de 3.6 g para el colector 1 (4 m de profundidad), así como en el colector 2 (7 m de profundidad), con valores de 3.6 g de peso total. Los menores pesos se registraron en los juveniles reclutados en el colector 4 (fondo), con valor promedio de 1.1 g (Fig. 30a). Para la temporada julio–septiembre 2008, los mayores pesos se obtuvieron para los juveniles reclutados en los colectores del fondo (1.12 g de peso total). Los juveniles de menor peso se encontraron a los 7 m (0.34 g de peso fresco) (Fig. 30b). En la temporada, octubre–diciembre 2008, los mayores pesos se obtuvieron para los juveniles reclutados en los colectores del fondo, con un promedio de 0.15 g de peso fresco (Fig. 30c). El peso con relación a la profundidad tuvo un poco de variación durante la temporada diciembre 2008–marzo 2009, debido a pocos organismos sin embargo el promedio se mantuvo en 1.6 g (Fig. 30d). Los mayores pesos durante el periodo de recolecta marzo–junio 2009 se registraron a los 4 m con 1.24 g de peso fresco. El menor peso se registró a los 12 m de profundidad con 0.54 g de peso fresco (Fig. 30e). En la temporada julio–septiembre 2009, la relación de mayor peso de los organismos recolectados fue similar a las tallas teniendo los organismos de mayor peso en la profundidad de 12 m (1.12 g total) y en el fondo (1.11 g total) y el menor peso en los colectores más superficiales (0.43 g total) (Fig. 30f). En la temporada octubre–diciembre 2009, se presentó el mismo patrón que para las tallas teniendo un mayor peso en el fondo con 0.10 g de peso fresco (Fig. 30g). Finalmente para la temporada diciembre 2009–marzo 2010, los menores pesos se obtuvieron para los juveniles reclutados en los colectores del fondo con un promedio de peso fresco de 0.49 g. Por otro lado los mayores pesos fueron registrados a los 4 m los cuales corresponden a 1.24 g de peso fresco (Fig. 30h).

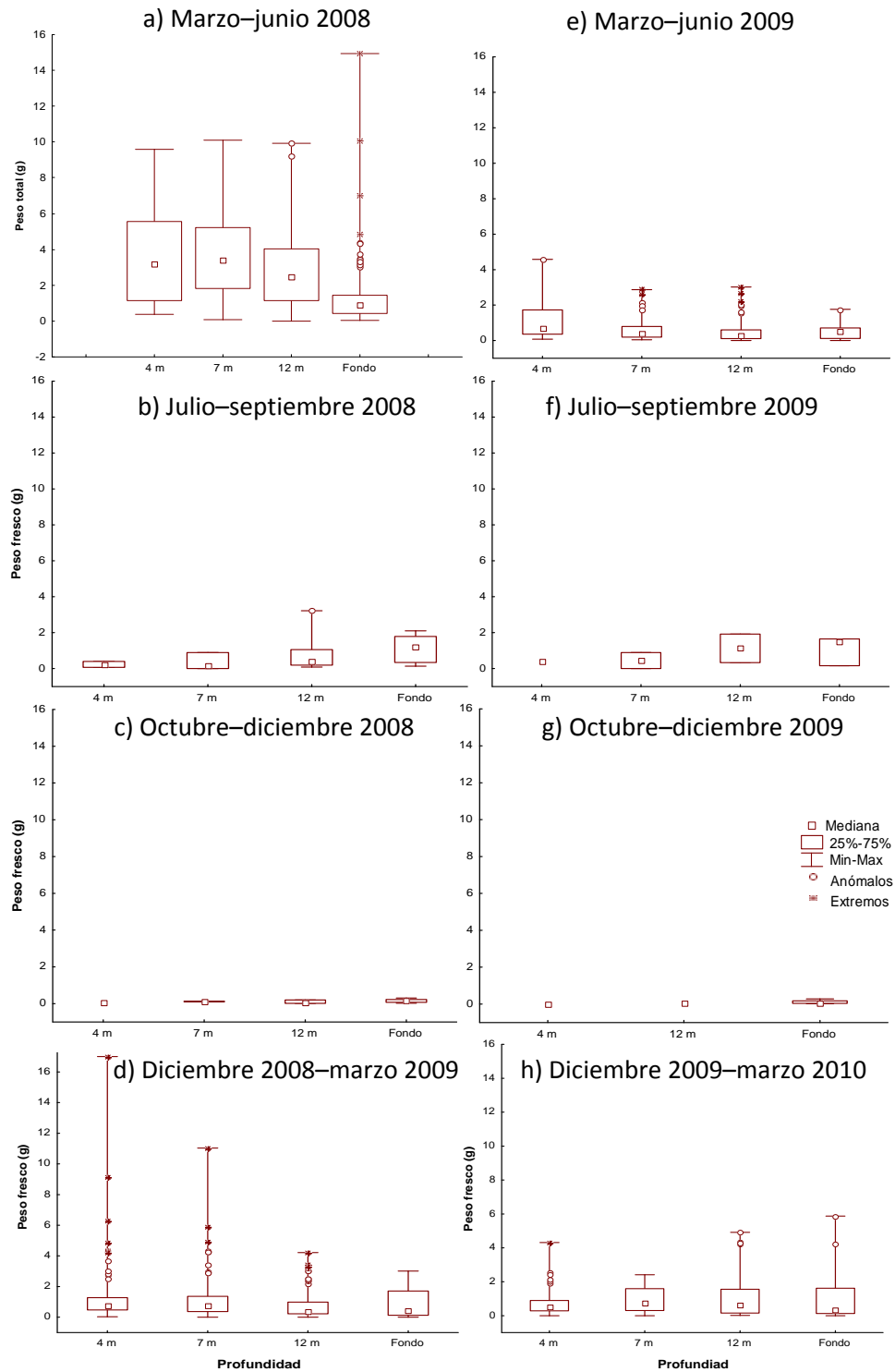


Figura 30. Variación en peso (g) de los juveniles reclutados de *P. sterna* por profundidad de recolecta. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos.

7.3.3 Competencia por sustrato en el colector

La biomasa de competidores a lo largo del periodo de estudio muestra una clara distribución estacional (Fig. 31). Se observa una mayor cantidad de competidores en los periodos octubre–diciembre y diciembre–marzo en ambos años. Estas variaciones se tradujeron en diferencias significativas a lo largo del tiempo ($H = 125.743$; $p > 0.05$). Se obtuvo una correlación negativa entre la biomasa de los competidores y la distribución batimétrica del reclutamiento de juveniles de *P. sterna* ($r^2=0.55$) durante el periodo marzo de 2008 a marzo de 2010

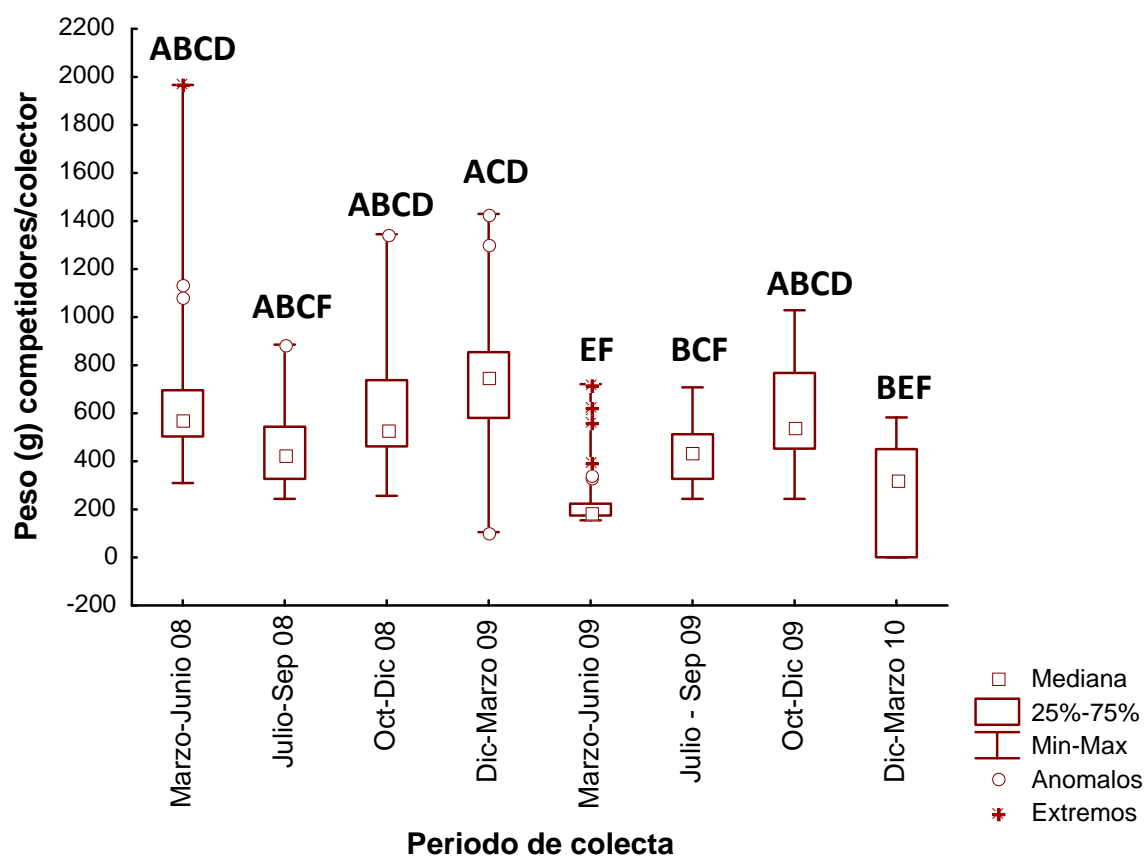


Figura 31. Variación temporal en la biomasa o peso de los competidores (g) por colector de acuerdo a la temporada de recolecta, durante el periodo de estudio. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos y grupos formados por la prueba *a posteriori* de valores de *z*.

En relación a las especies de moluscos bivalvos asociadas al reclutamiento de *P. sterna*, durante el periodo de estudio, se encontró una correlación positiva significativa con la presencia de *Argopecten ventricosus* ($r^2=0.58$) y una correlación negativa significativa con la de *Pinctada mazatlanica* ($r^2=0.64$) y *Pinna rugosa* ($r^2=0.45$). De las principales especies de moluscos bivalvos asociadas al reclutamiento de *P. sterna* durante la recolecta realizada en el periodo marzo–junio de 2008, destaca la presencia de la almeja catarina *A. ventricosus* (50 organismos), la almeja burra *Anadara* sp. (44 org.) y el ostión de mangle *Crassostrea palmula* (35 org.). Durante la temporada julio–septiembre de 2008, las principales especies de moluscos bivalvos fueron, en orden de magnitud, la madre perla *P. mazatlanica* (58% correspondiente a 172 org.), seguida de *C. palmula* con un 13% (39 org.), el mejillón *Modiolus capax* con el 9% (27 org.) y *P. sterna* con solo el 8% de este reclutamiento (24 org.). Durante el periodo de recolecta octubre–diciembre de 2008 (Fig. 32d) fueron nuevamente la especie *P. mazatlanica* con 65% (154 org.), seguida de nuevo por *C. palmula* con un 10% (25 org.) y finalmente el callo de hacha *Pinna rugosa* (18 org.) y *P. sterna* (16 org.) con el ~8% cada una. En la temporada diciembre 2008–marzo de 2009, de acuerdo a su porcentaje de abundancia y en orden de magnitud, la concha nácar *P. sterna* con el 92 % (609 org.), seguida de *Anadara* sp. 4% (24 org.) y *Pinna rugosa* con un 2% (13 org.). Durante el periodo de recolecta marzo–junio de 2009, el 66% de los organismos recolectados correspondieron a *P. sterna* (225 org.) y los moluscos bivalvos asociados a la recolecta (Fig. 32e) fueron *Anadara* sp. con 29% (114 org.), seguida por *C. palmula* con un 10% (12 org.). En el periodo julio–septiembre 2009, el reclutamiento de *P. sterna* fue escaso con tan solo el 3% de los moluscos reclutados (Fig. 32f). La mayoría de los organismos recolectados correspondieron a la especie *P. mazatlanica* (61%), seguida aunque a distancia considerable por *C. palmula* (13%) y *Modiolus capax* (11%). Durante la temporada de recolecta octubre–diciembre 2009, el reclutamiento fue muy similar al periodo anterior (*P. sterna* 3%), presentándose también un mayor porcentaje de reclutas para la especie *Pinctada mazatlanica* (64%), seguida por *Crassostrea palmula* (13%) (Fig. 32g). En la última temporada de recolecta que correspondió al periodo diciembre 2009–marzo 2010, prácticamente el total del reclutamiento de juveniles fue para *P. sterna* (95%), dejando sólo un 5% repartido entre otras especies de moluscos (Fig. 32h).

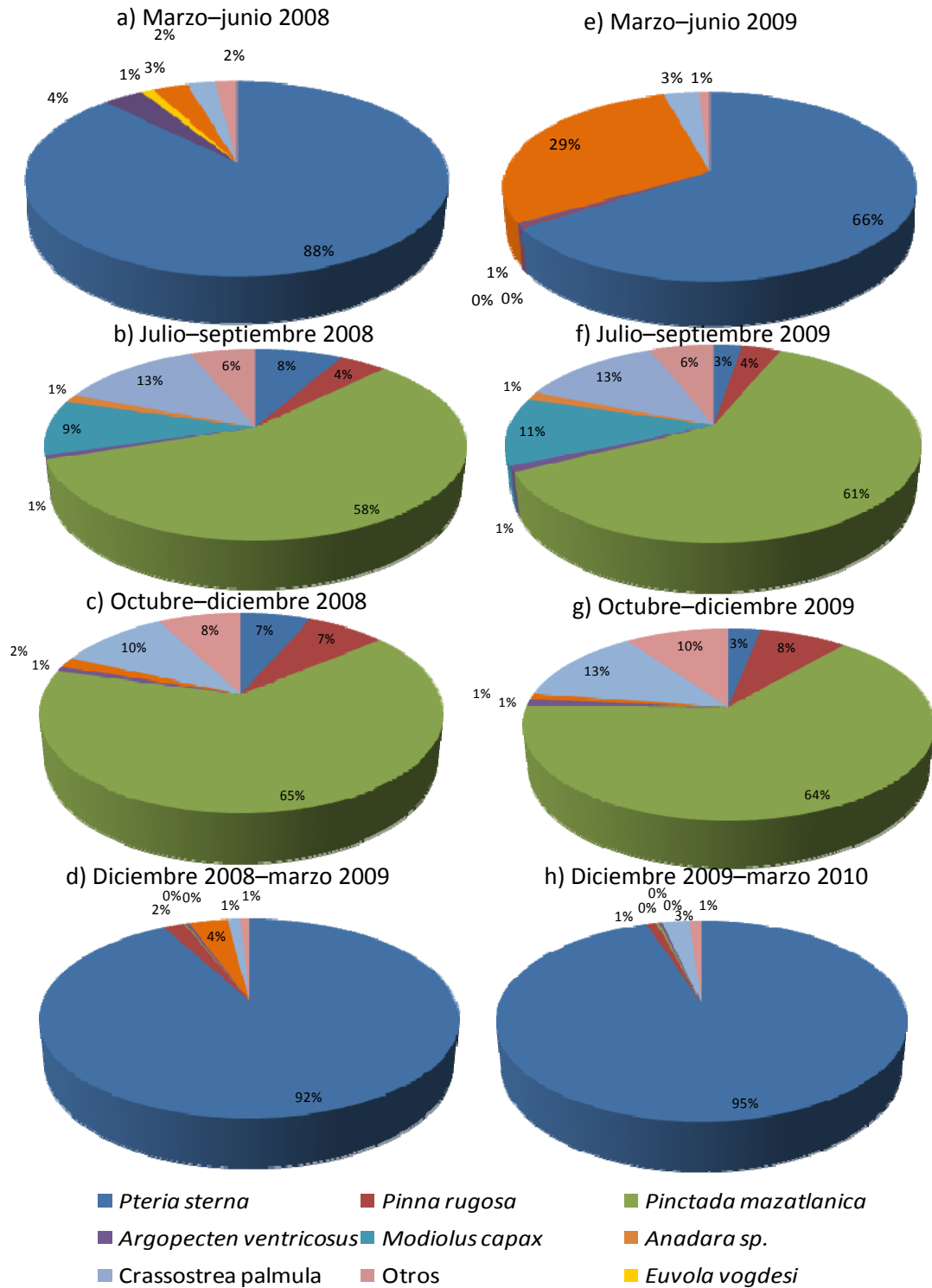


Figura 32. Variación en el porcentaje de abundancia de moluscos bivalvos recolectados durante el periodo de estudio.

En el peso de los competidores por colector de acuerdo con el sitio de recolecta en la temporada marzo–junio de 2008 (Fig. 33a) revelan una relativa homogeneidad en los pesos de los organismos en la mayoría de los sitios de recolecta (~450 g/colector), con los valores mínimos en Isla Gaviota (395.6 g/colector) y los máximos en El Gallo (727 g/colector). Durante la temporada julio–septiembre de 2008, la mayor biomasa de los competidores ocurrió en Bahía Falsa, con 603.2 g/colector y la mínima en La Partida con 155.2 g/colector (Fig. 33b). En octubre–diciembre 2008 se presentó una mayor biomasa de competidores en la zona peninsular, principalmente en Punta mogote (679.53 g/colector) y la mínima en la zona insular de Espíritu Santo, principalmente en La Partida (137.93 g/colector) (Fig. 33c). Durante la temporada diciembre 2008–marzo 2009, la mayor biomasa de los competidores ocurrió en Bahía Falsa, con 1032.1 g/colector en promedio y la mínima en El Embudo con 569.25 g/colector en promedio (Fig. 33d). En la variación del peso promedio de los competidores de la temporada marzo–junio de 2009 se registró la mayor biomasa de competidores en Isla Gaviota, con 508.5 g/colector en promedio y la mínima en El Embudo con 167.4 g/colector en promedio (Fig. 33e). Durante el periodo julio–septiembre de 2009, se registró la mayor cantidad de competidores en las estaciones de Bahía Falsa (649.9 g/colector) y Punta del Diablo (579.5 g/colector), y la menor biomasa de competidores en la estación de La Partida (314.7 g/colector) (Fig. 33f). En el periodo octubre–diciembre de 2009, se observó mayor cantidad de competidores en las estaciones de Bahía Falsa (694.1 g/colector) y Punta del Diablo (663.7 g/colector), y la menor biomasa de competidores en la estación de La Partida (330.42 g/colector) (Fig. 33g). La variación en la biomasa de competidores con relación al sitio de recolección durante la temporada diciembre 2009–marzo 2010, presentó mayor cantidad de competidores en la estación de Isla Gaviota con un promedio de 549.3 g de competidores por colector y la menor para la estación de la partida con 323.5 g de competidores por colector (Fig. 33h).

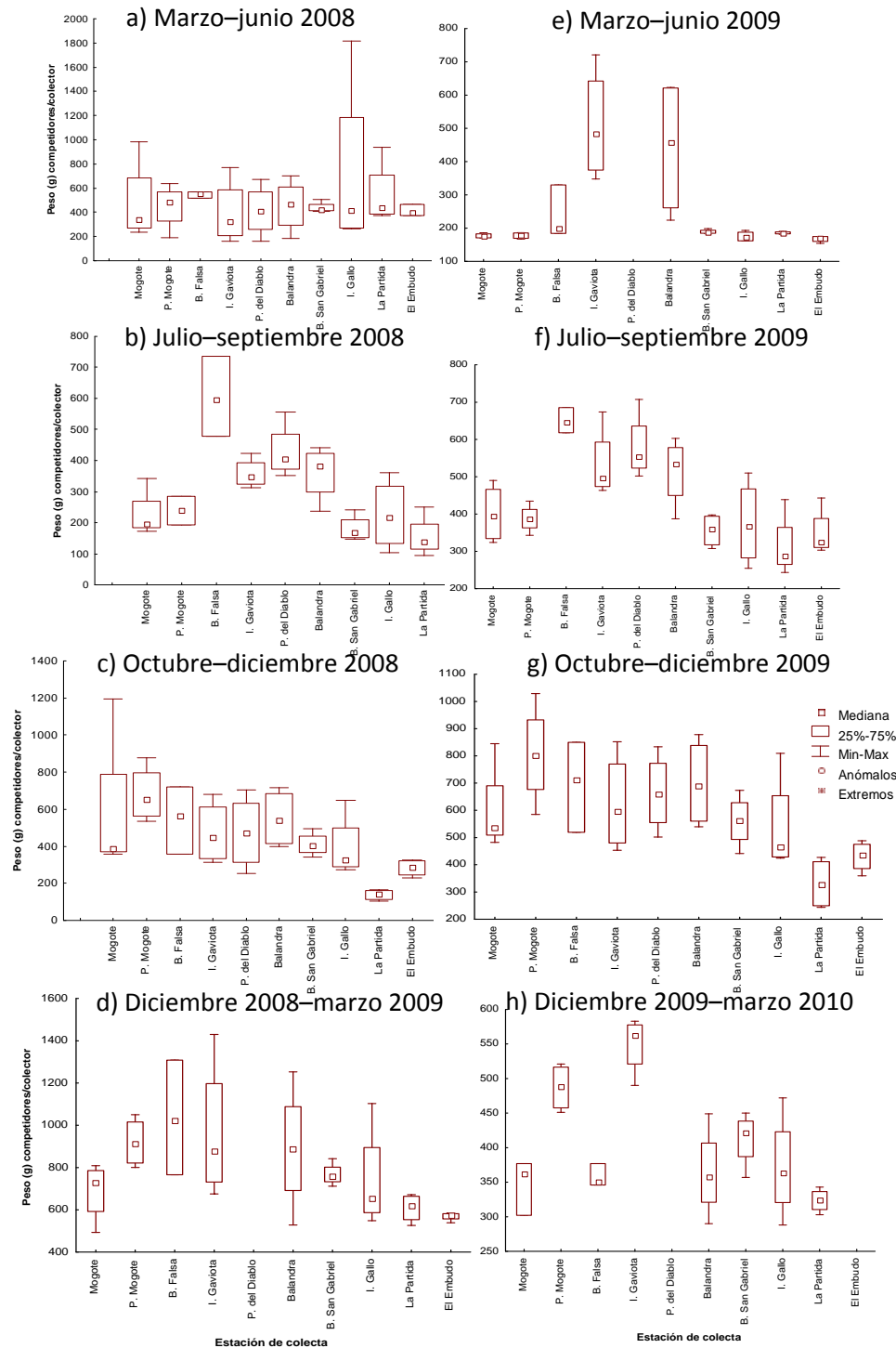


Figura 33. Variación en el peso de los competidores (g) por colector de acuerdo con el sitio de recolecta. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos.

Con respecto a las variaciones en el peso de los competidores por profundidad (Fig. 34a), se encontró en la temporada marzo–junio 2008 que la mayor cantidad de competidores estuvo presente en el colector más superficial (4 m de profundidad) (825.78 g de competidores por colector), con una tendencia a disminuir hacia el fondo, donde se obtuvo la menor cantidad de competidores (297.48 g de competidores por colector). Esta relación durante julio–septiembre de 2008 (Fig. 34b) mostró la misma tendencia que en el periodo marzo–junio de 2008. Se registraron la mayoría de los competidores en la superficie (374.56 g/colector) y la menor en el fondo (241.1 g/colector). En la temporada de recolecta octubre-diciembre de 2008 (Fig. 34c), al igual que en las recolectas anteriores, se obtuvo el mayor peso de competidores por colector a los 4 m de profundidad (653.55 g/colector) y el menor en el fondo (321.52 g/colector). Durante diciembre 2008–marzo 2009 (Fig. 34d), la mayor cantidad de competidores nuevamente se registró en la superficie (987.58 g/colector) y la menor en el fondo (640.06 g/colector). Se observó durante marzo–junio de 2009 la mayoría de los competidores en la superficie (303.4 g/colector) y la menor en el fondo (201.2 g/colector) (Fig. 34e). Durante la temporada de recolecta julio–septiembre de 2009, la mayor cantidad de competidores se ubicó en la superficie con 582.66 g/ colector, mientras que en el fondo se registró la menor biomasa de competidores con 423.65 g/colector (Fig. 34f). En la figura 34g se muestran los resultados de la temporada de recolecta octubre–diciembre de 2009, donde la mayor cantidad de competidores se ubicó en la superficie con 853.94 g/ colector, mientras que en el fondo se registró la menor biomasa de competidores con 506.55 g/colector. La distribución vertical de la biomasa de competidores durante la temporada diciembre 2009–marzo 2010, fue relativamente homogénea. La menor cantidad de competidores se ubicó en las estaciones de la superficie (385.5 g/colector) y el fondo (396.5 g/ colector) y la mayor aunque por una pequeña diferencia a los 12 m (427.2 g/colector) (Fig. 34h).

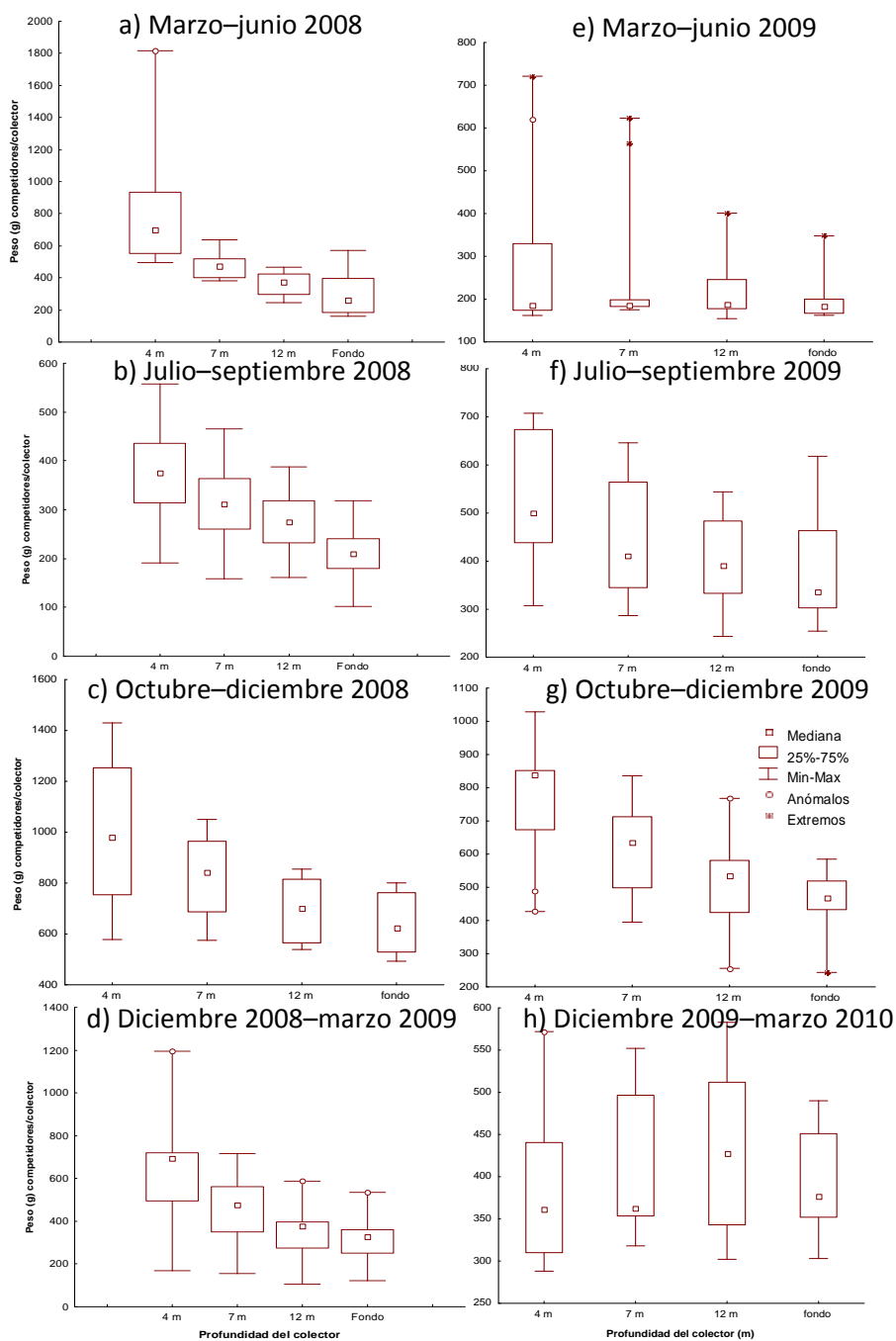


Figura 34. Variación en el peso de los competidores (g) por colector de acuerdo con la profundidad de recolecta. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos.

7.4 Edad de los reclutas en los colectores

7.4.1 Incremento absoluto y tasa de crecimiento

Los organismos seleccionados para el experimento de validación de la periodicidad de las micro bandas de crecimiento, presentaron inicialmente una talla de 20.46 ± 1.24 mm de altura, 17.49 ± 1.08 mm de longitud, 7.82 ± 0.23 mm de ancho y 1.9 ± 0.06 g en peso fresco. No se presentó mortalidad alguna de éstos transcurridos los 16 días del experimento y sí un incremento promedio en altura de 4.01 ± 0.21 mm, 2.54 ± 0.19 mm en longitud, 1.65 ± 0.04 mm en ancho y 0.83 ± 0.01 g en peso (Fig. 35). Estos valores reflejan una tasa de crecimiento promedio para los juveniles de esta especie de 0.27 mm/día en altura, 0.17 mm/día en longitud, 0.11 mm/día en ancho y 0.055 g/día en peso.

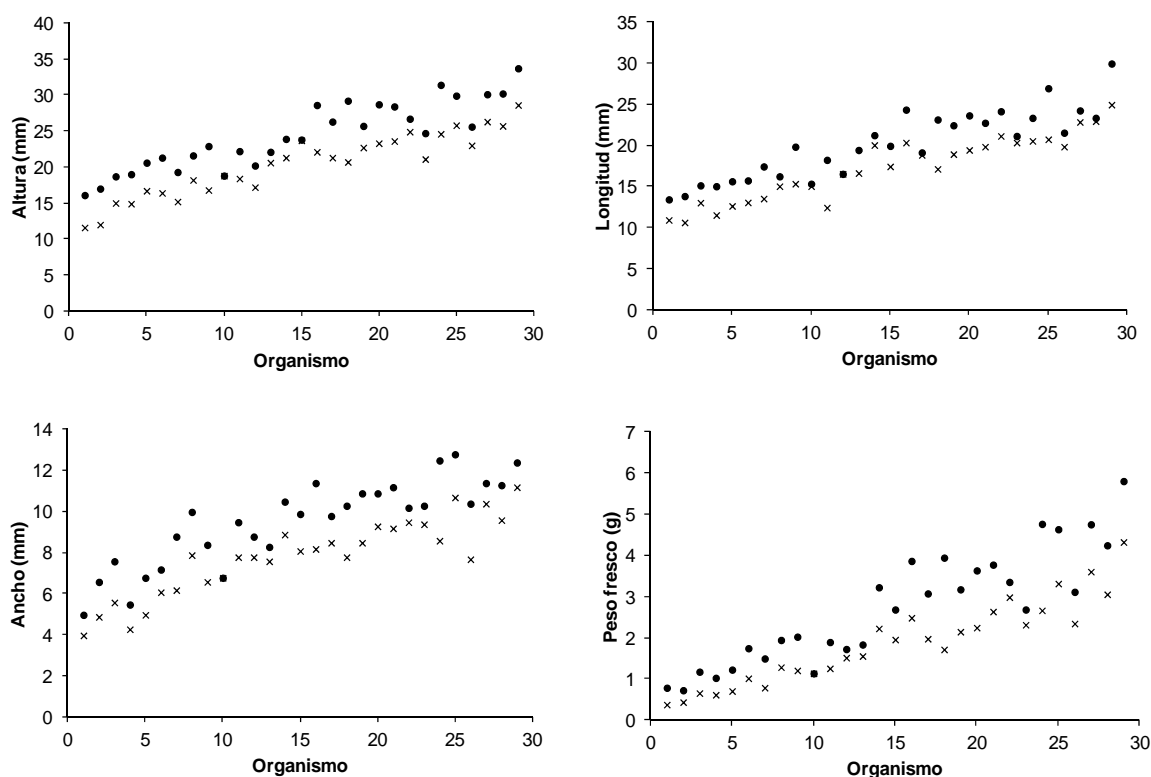


Figura 35. Variaciones promedio en la talla y peso fresco (inicial X y final círculo negro) de los juveniles de *P. sterna* utilizados en el experimento.

7.4.2 Marcado fluorescente

El proceso de marcado con fluorocromo de calceína no produjo ningún tipo de alteración visible en los organismos y tampoco ocasionó mortalidad de alguno de éstos. La marca fue claramente visible en el microscopio de fluorescencia a 450-480 nm (Fig. 36) para el 62 % de los organismos, que en su mayoría fueron organismos con conchas mayores a 25 mm de longitud. También se detectó la presencia de autofluorescencia en *P. sterna* (Fig. 37) utilizando otros filtros como el U-MWU2 (de 330 a 385). En los cortes, la marca de calceína se aprecia mejor en la sección media del corte sagital y cerca de la terminación de la curvatura del umbo (Fig. 38 y 39).

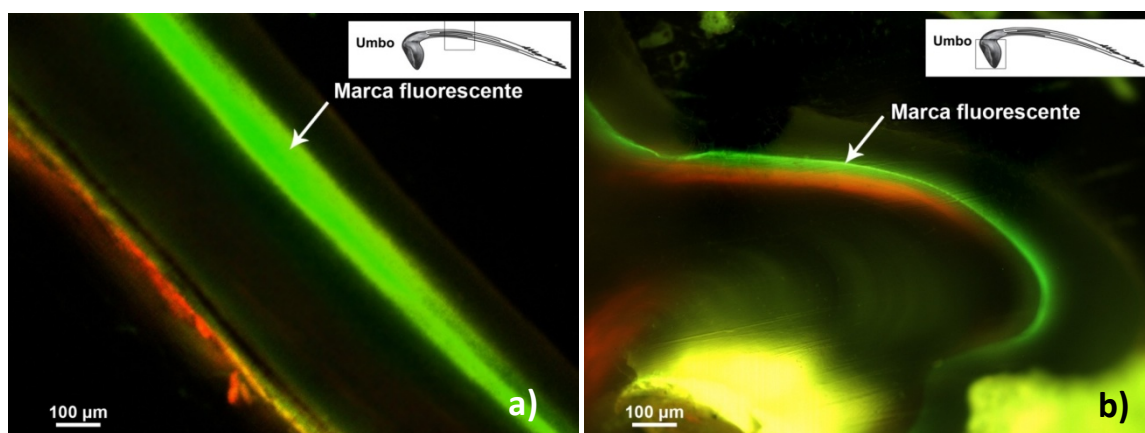


Figura 36. Marca de calceína en la sección media (a) y en la región del umbo (b) en la concha de los juveniles de *P. sterna* juveniles. Imagen tomada en el microscopio de fluorescencia a 450–480 nm (10×).

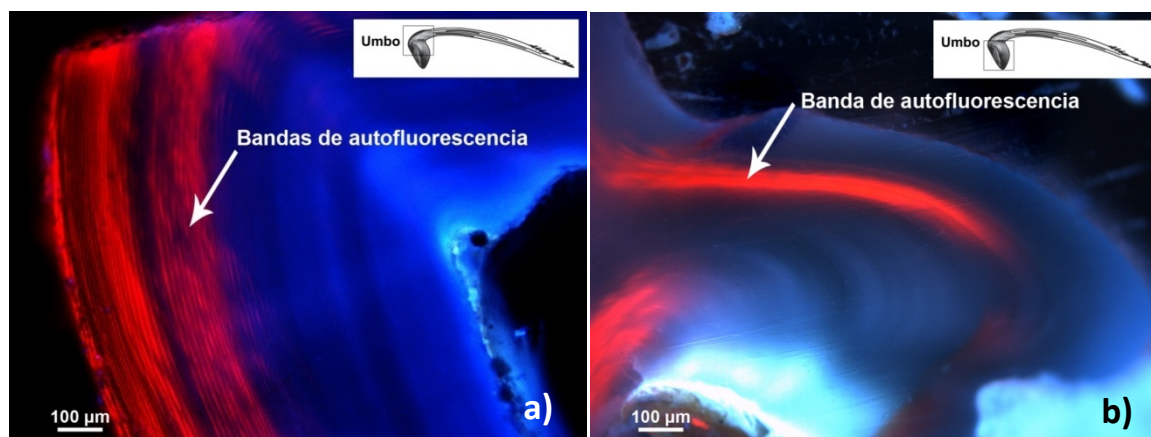


Figura 37. Ejemplos de autofluorescencia en la región del umbo de la concha de juveniles de *P. sterna* mostrando bandas delgadas separadas (a) y bandas gruesas continuas (b) bajo el microscopio de fluorescencia a 330 - 385 nm (10×).

7.4.3 Lectura de micro bandas de crecimiento y validación de la edad

En los cortes de las conchas se observó una alternancia de bandas claras y oscuras, siendo las claras más amplias que las oscuras; estas últimas se apreciaron como líneas delgadas (Fig. 38 y 39). La estimación del número de micro bandas de crecimiento se realizó considerando el conjunto de una banda clara y una oscura, por lo que sólo se contó el número de bandas oscuras. Las micro bandas de crecimiento se distinguieron claramente al utilizar la herramienta de contraste de fases (filtro de luz ph2), apreciándose mejor en la región del umbo y alrededor del mismo (Fig. 38 y 39), y al igual que en el marcado de calceína, éstas se observan mejor en organismos mayores a 20 mm de longitud de la concha.

La marca dejada por la calceína se aprecia en el microscopio de fluorescencia como una banda amplia que involucra a más de una micro banda de crecimiento. En el conteo de micro bandas se lograron detectar 3.47 ± 0.04 marcas de crecimiento dentro de la banda de fluorescencia (Fig. 39) y posterior a esta, 11.79 ± 0.24 marcas. De esta manera, durante la duración del experimento de validación (16 días) se depositaron 15.29 ± 0.26 micro bandas de crecimiento, indicando que la deposición de material calcáreo es diaria. Además, al realizar el conteo de marcas totales en los juveniles de *P. sterna* se encontró un mínimo de 29 marcas (16.2 mm altura) y un máximo de 110 marcas (33.8 mm altura). Este máximo de marcas coincide con el máximo de vida que pueden tener los organismos usados en este experimento, y que corresponde a 114 días transcurridos desde la instalación de los colectores en el campo hasta el sacrificio de los individuos marcados. Al relacionar el número de marcas de crecimiento totales y la talla de los organismos por medio de una regresión lineal, se encontró una relación directa y significativa ($r^2= 0.93$, $p>0.05$).

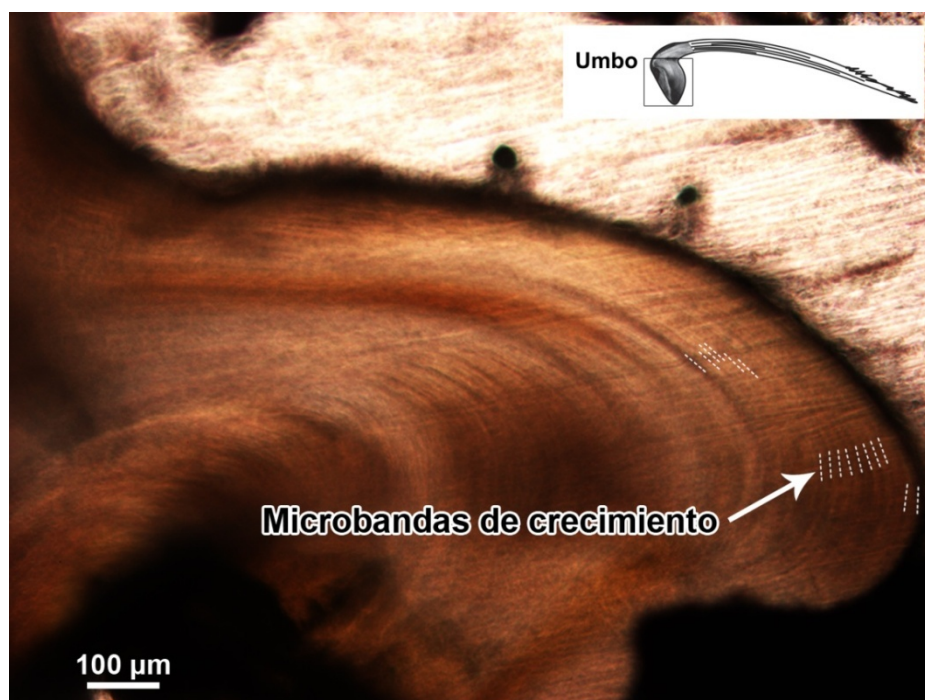


Figura 38. Corte de la concha de *P. sterna* (10×) mostrando las micro bandas de crecimiento formadas durante el experimento en la región del umbo.

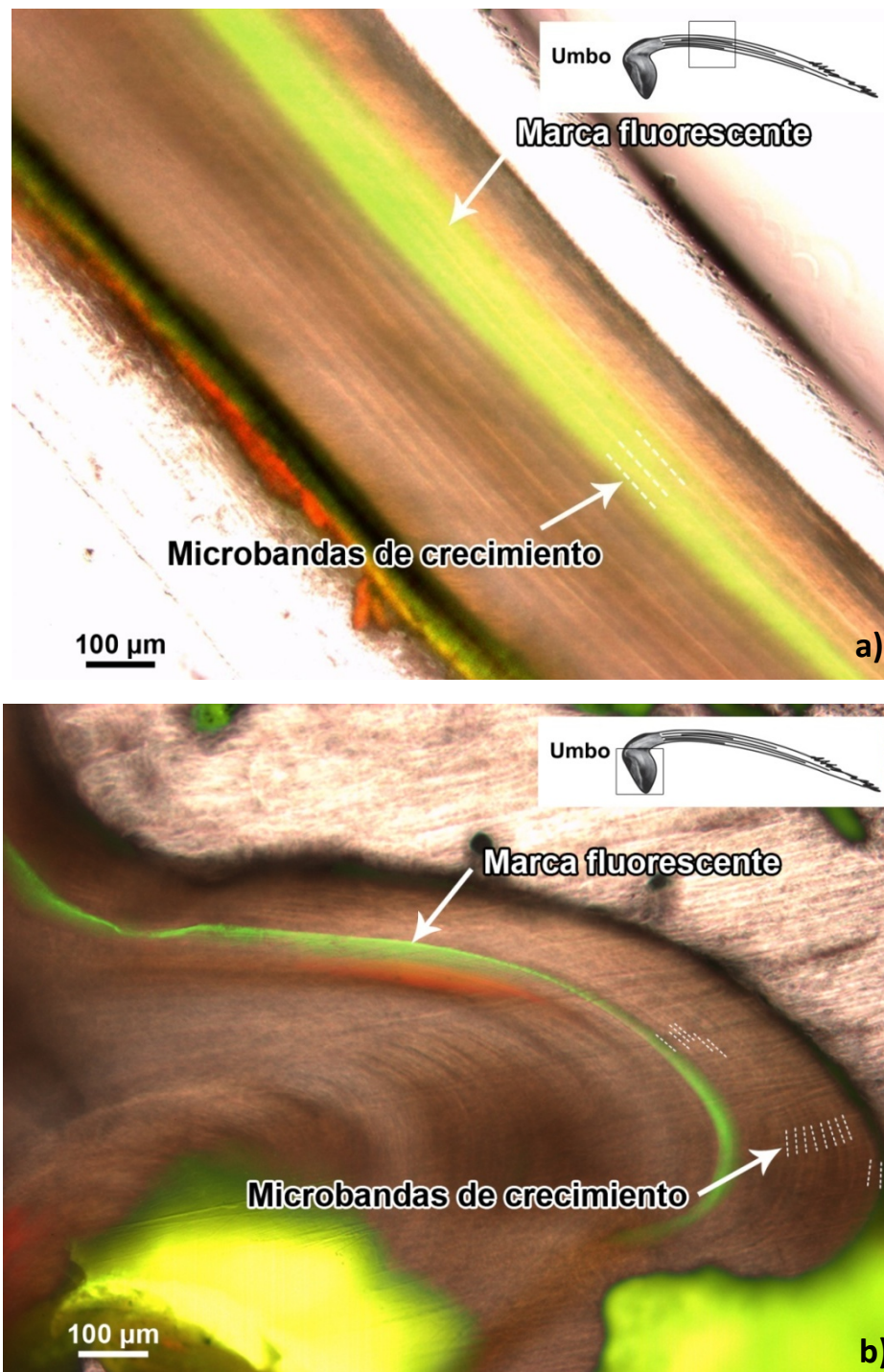


Figura 39. Composición de dos imágenes empalmadas del mismo corte de la concha de *P. sterna* (10×) en la sección media (a) y en la región del umbo (b), mostrando la marca de calceína y las 16 micro bandas de crecimiento formadas durante el experimento (resaltadas con líneas).

Tras encontrar la relación de las micro bandas de crecimiento y la talla de los juveniles de *P. sterna* recolectados, se determinó el número de micro bandas por periodo de recolecta obteniendo un promedio de 90.4 ± 0.42 micro bandas para la temporada marzo–junio 2008, 80.7 ± 0.74 micro bandas en el periodo diciembre 2008–marzo 2009, 92 ± 0.76 en marzo–junio 2009 y 86 ± 0.39 durante la temporada diciembre 2009–marzo 2010 (Fig. 40). Los juveniles recolectados en los periodos julio–septiembre y octubre–diciembre, de ambos años fueron muy pocos y el tamaño de sus conchas no fue suficiente para la realización de su corte (<25 mm de alto de la concha), por lo que no se determino su edad.

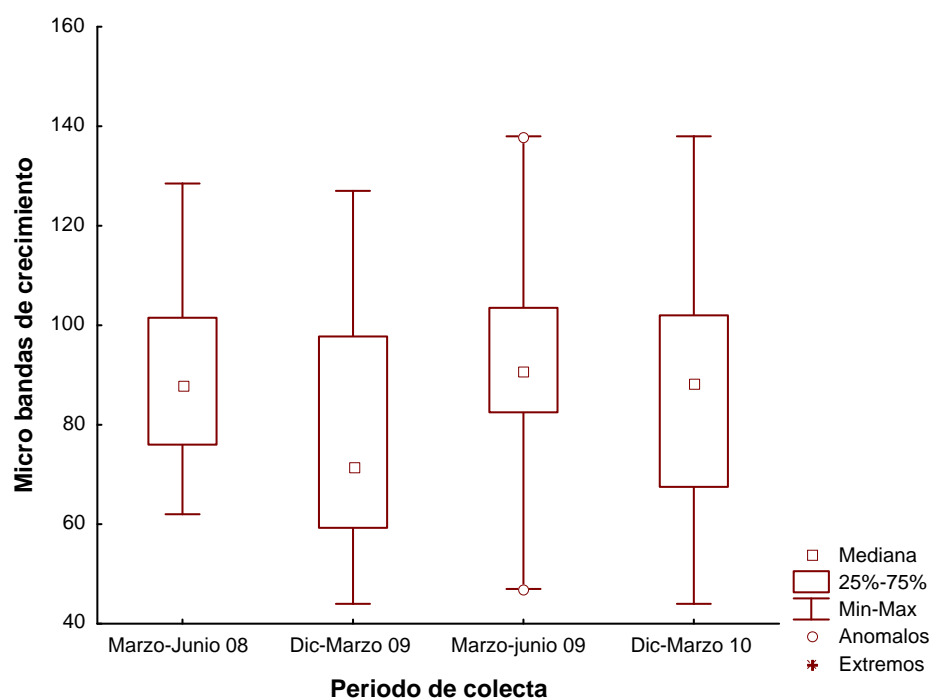


Figura 40. Distribución de edad por periodo de recolecta de *P. sterna*. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo, datos anómalos y extremos.

7.5 Localización y estado fisiológico de los reproductores

*7.5.1 Modelo de dispersión larvaria de *P. sterna**

El comportamiento de la dispersión larvaria sugerido por el modelo hidrodinámico de Bahía de La Paz indica que existe una gran influencia de las corrientes en la distribución de las larvas (Fig. 41 y 42). Se logra observar como durante el mes de marzo las dispersión de las larvas que provienen de los reproductores de la Isla San José pasan por el lado fuera de la Bahía de La Paz, mientras que el resto de las larvas generadas en las poblaciones de reproductores que se encuentran dentro de la Bahía de La Paz se quedan muy cercanas a su zona de origen, esto último se sigue presentando durante los meses consecutivos ampliándose la zona de distribución de las larvas sin embargo éstas no salen de la Bahía de La Paz. Mientras tanto en la Isla San José se observa un fenómeno durante los meses de abril, mayo y junio, donde las dispersión larvaria rodea la isla.

Durante los meses de julio y agosto este último patrón se acentúa, sin embargo, en estos meses las larvas originadas en la Isla San José, entran en la Bahía de La Paz, fenómeno que continua durante el mes de septiembre (con una dispersión más cercana a la costa), octubre, noviembre y diciembre, siendo en estos últimos dos, cuando las larvas originadas en la Isla San José se quedan principalmente en la zona de la Isla Espíritu Santo.

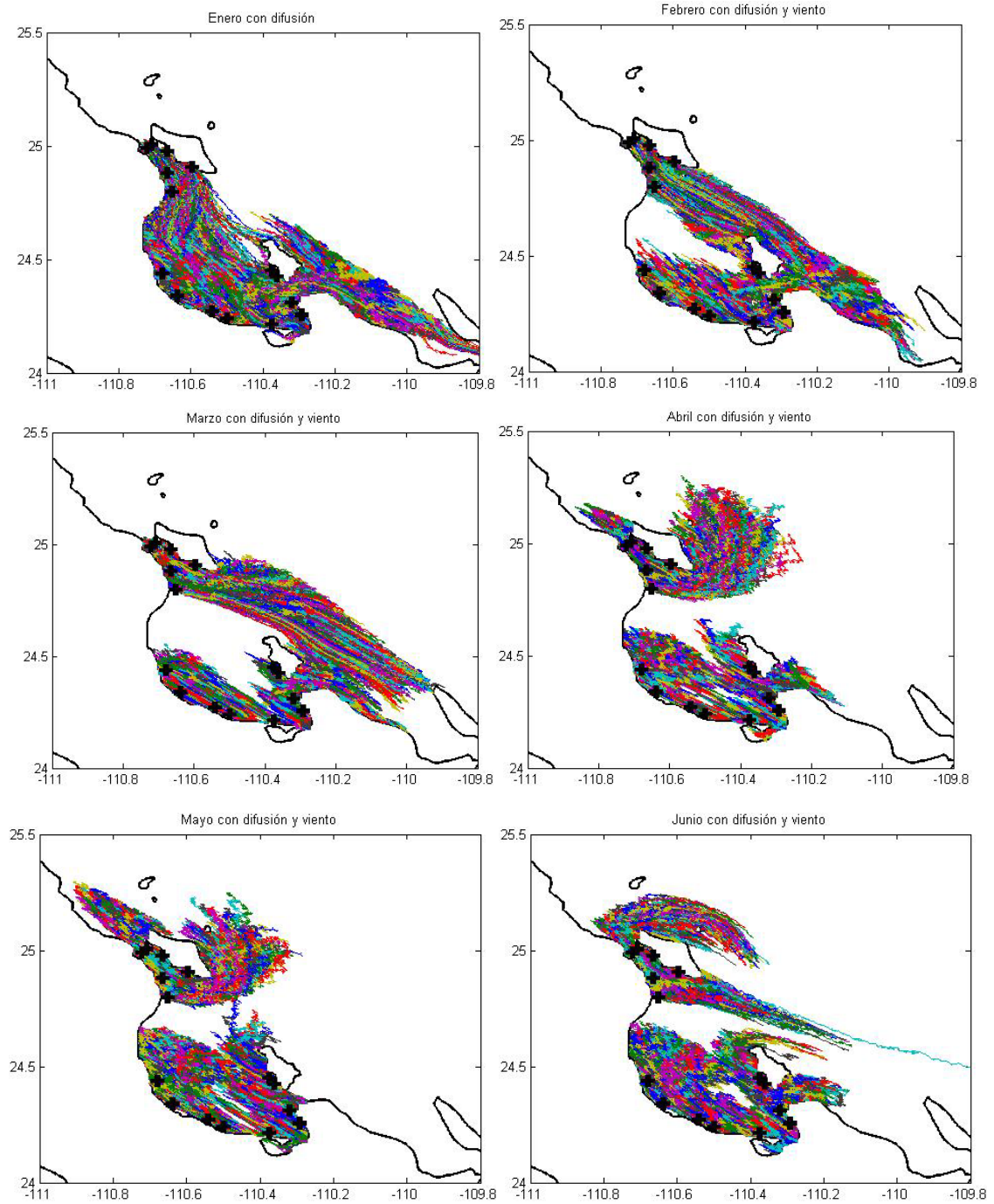


Figura 41. Dispersión larvaria de *P. sterna* durante los meses de temporada alta (enero–junio) de reclutamiento obtenida con el modelo hidrodinámico de la Bahía de La Paz.

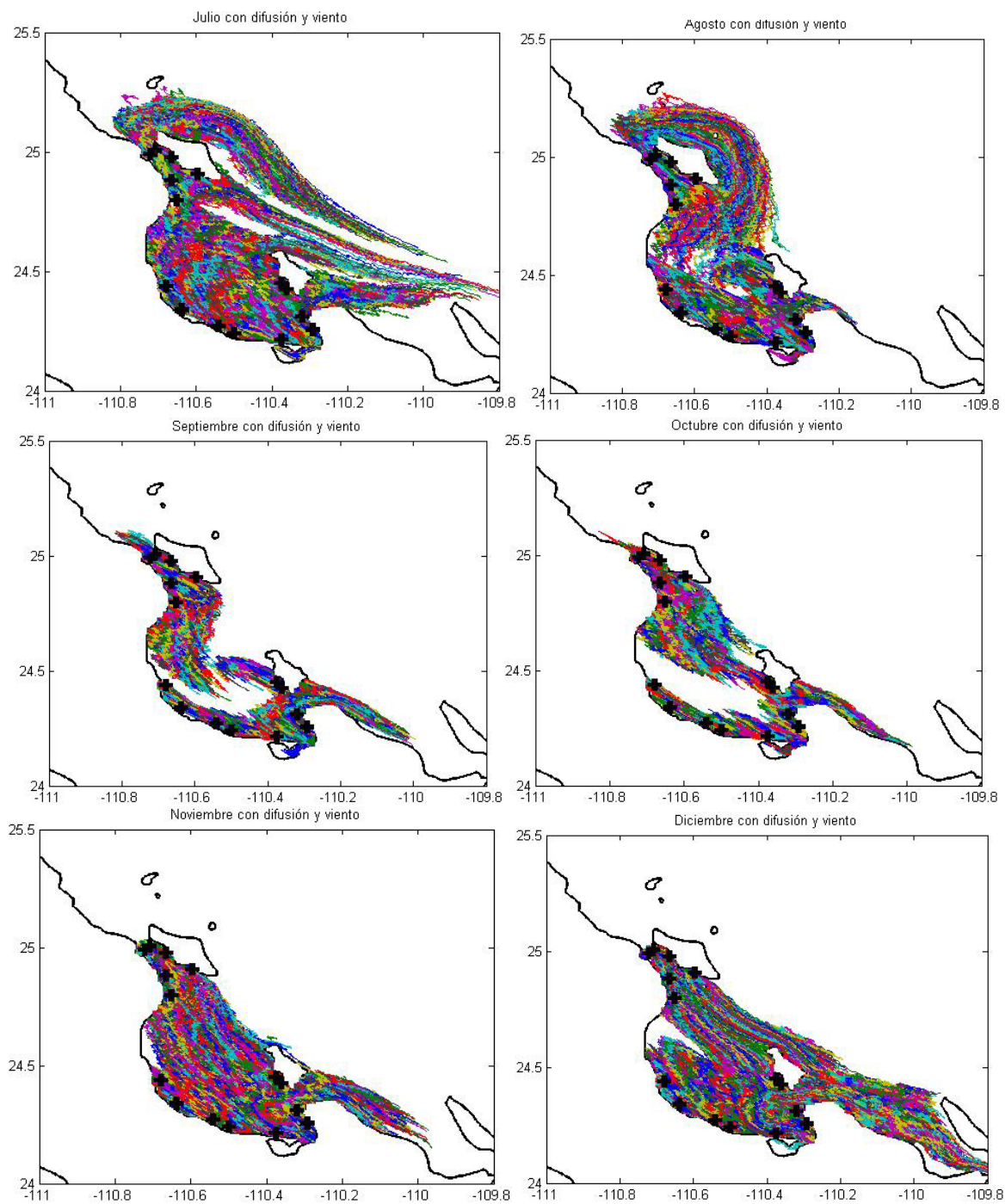


Figura 42. Dispersión larvaria de *P. sterna* durante los meses de temporada baja (julio–diciembre) de reclutamiento obtenida con el modelo hidrodinámico de la Bahía de La Paz.

7.5.2 Localización de los bancos de reproductores de *P. sterna*

El modelo de dispersión larvaria de *P. sterna* evaluado para la Bahía de La Paz, permitió calcular las zonas más probables en donde se originaron los juveniles de *P. sterna*, los cuales podrían corresponder a su vez a la localización de los bancos de reproductores de la especie. En la temporada de reclutamiento alto (Fig. 43 a y b), de acuerdo con los periodos de recolecta se observa en los resultados del modelo para la temporada diciembre-marzo, que la mayor cantidad de juveniles reclutados proviene de la población de reproductores de la Isla San José (52%), seguida de los reproductores de la zona de cultivos (41%); el resto de los reclutas provienen del complejo insular Espíritu Santo-La Partida (5%) y la zona del Mogote (2%) (Fig. 43a). De acuerdo a estos datos, la mayor parte de los reproductores que dieron origen a los juveniles reclutados durante la temporada marzo-junio, se encontraban en la zona de cultivo (Isla Gaviota y El Merito principalmente) (43%), seguido de la zona del complejo insular Espíritu Santo-La Partida (28%), y el resto de la zona aledaña a la Isla San José (16%) y del Mogote (13%) (Fig. 43b).

Durante la temporada de bajo reclutamiento se presentan la figura 43c y d. donde para la temporada julio-septiembre, los resultados sugieren (Fig.43c) que la mayoría de los juveniles reclutados provienen nuevamente de los reproductores ubicados en la zona de cultivo (54%), seguida del complejo insular Espíritu Santo-La Partida (27%) y el Mogote (18%). Para el caso particular de la temporada de recolecta octubre-diciembre, a pesar de que el mayor porcentaje de juveniles reclutados provino nuevamente de las poblaciones de reproductores ubicados en la zona de cultivo (43%), se presentó un aumento en el porcentaje de reclutas que se originaron en la zona del complejo insular Espíritu Santo-La Partida (38%). Por el contrario, el porcentaje de contribución de los reproductores de la zona del mogote se mantuvo similar a la temporada anterior (19%) (Fig. 43d).

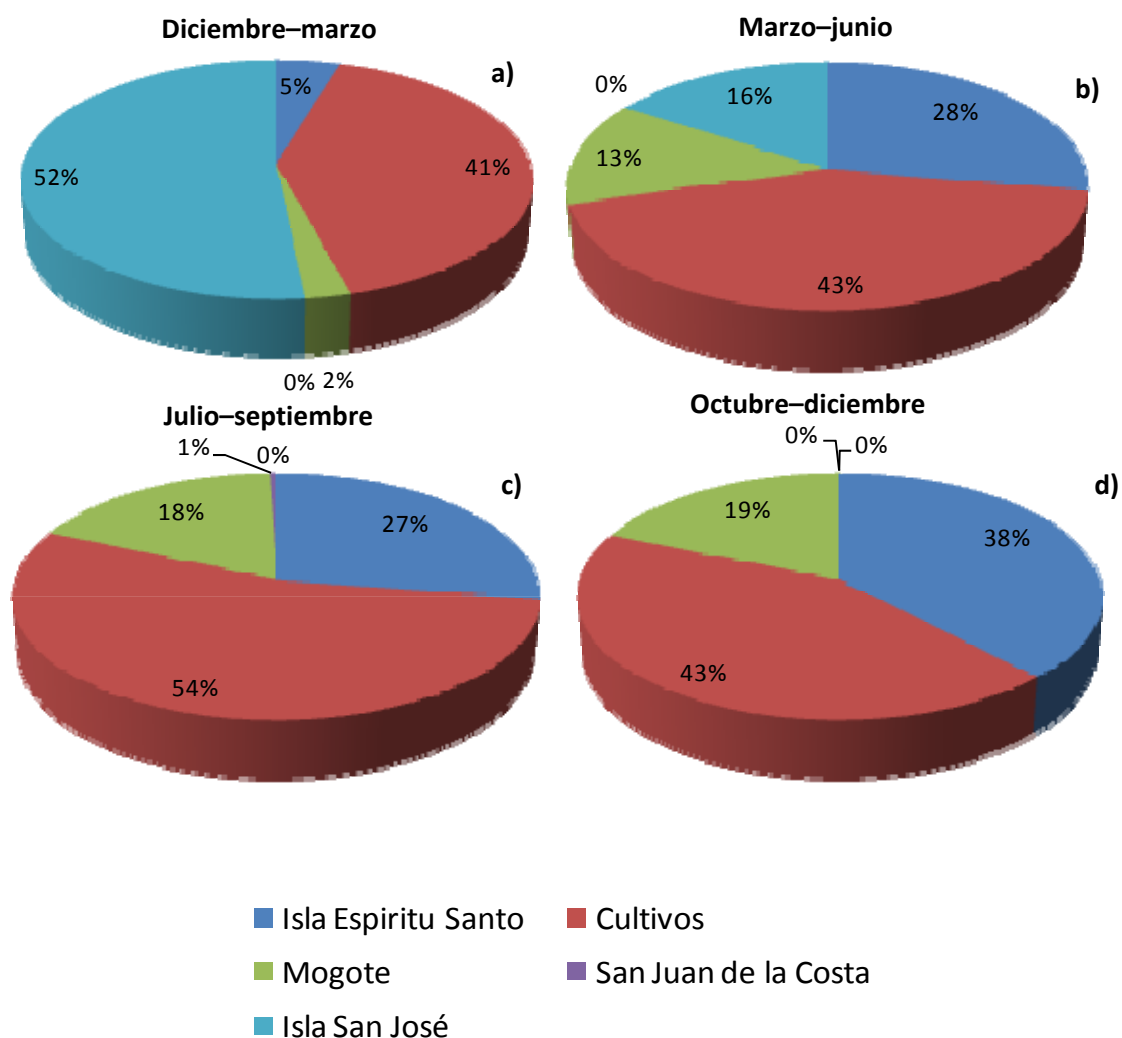


Figura 43. Posible origen de los juveniles de *P. sterna* reclutados durante un año promedio, en los periodos de colecta diciembre-marzo (a), marzo-junio (b), julio-septiembre (c) y octubre-diciembre (d).

7.5.3 Registro de talla y peso de reproductores y volumen gonadal de *P. sterna*

Independientemente de la temporada, la talla promedio registrada de los reproductores recolectados fue de 10.49 ± 0.02 cm de altura de la concha, 9.84 ± 0.02 cm

de longitud y 4.74 ± 0.01 cm de ancho. Igualmente, se calculó un promedio de 164.45 ± 0.62 g de peso fresco total, 106.23 ± 0.41 g de peso fresco de la concha y 51.51 ± 0.25 g de peso promedio de la masa visceral.

A su vez, la estimación del volumen promedio de la gónada muestra que los valores más altos ocurrieron en los meses de marzo y diciembre de 2008 (3.56 y 3.44 mL respectivamente) y en marzo y diciembre de 2009 (2.88 y 3.7 mL) (Fig. 44). Los valores de volumen gonadal más bajos correspondieron a los meses de junio (1.8 mL) y septiembre (0.95 mL) de 2008, y junio (1.59 mL) y septiembre (0.89 mL) de 2009 (Fig. 44).

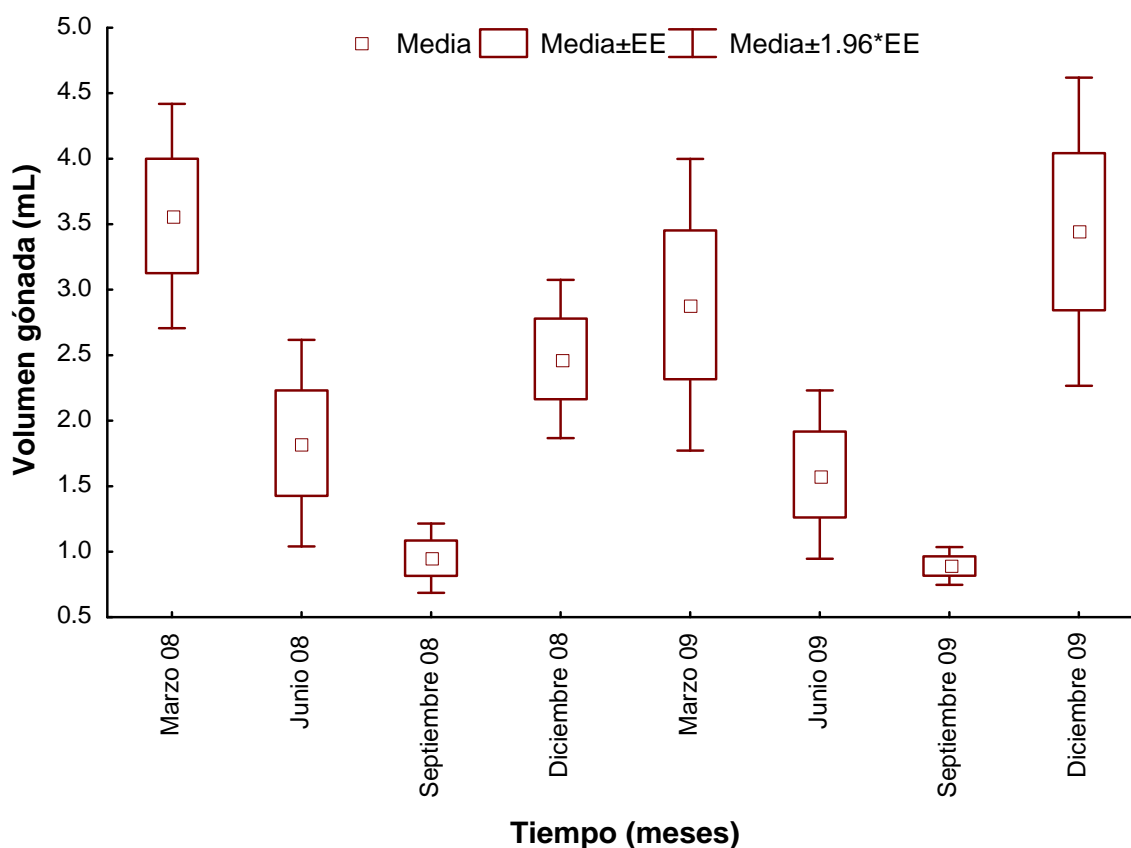


Figura 44. Variaciones temporales en el volumen promedio de la gónada (mL) de los reproductores de *P. sterna* durante el periodo de estudio. Se presentan los datos de media, media \pm error estándar y media ± 1.96 * error estándar.

7.5.4 Fecundidad potencial de *P. sterna*

En la figura 45 se presenta la fecundidad potencial de *P. sterna* en cada uno de los meses de muestreo de reproductores durante el periodo de estudio. Durante el 2008, el mayor número de ovocitos se obtuvo en el mes de marzo (2.6×10^6 ovocitos/individuo), seguido del mes de diciembre (1.8×10^6 ovocitos/individuo) y la menor cantidad se presentó en el mes de septiembre (6.9×10^5 ovocitos/individuo). Durante el 2009, fue mayor la fecundidad potencial durante el mes de marzo (2.1×10^6 ovocitos/individuo) y diciembre (2.5×10^6 ovocitos/individuo). El menor registro de ovocitos nuevamente ocurrió en el mes de septiembre con 6.5×10^5 ovocitos/individuo.

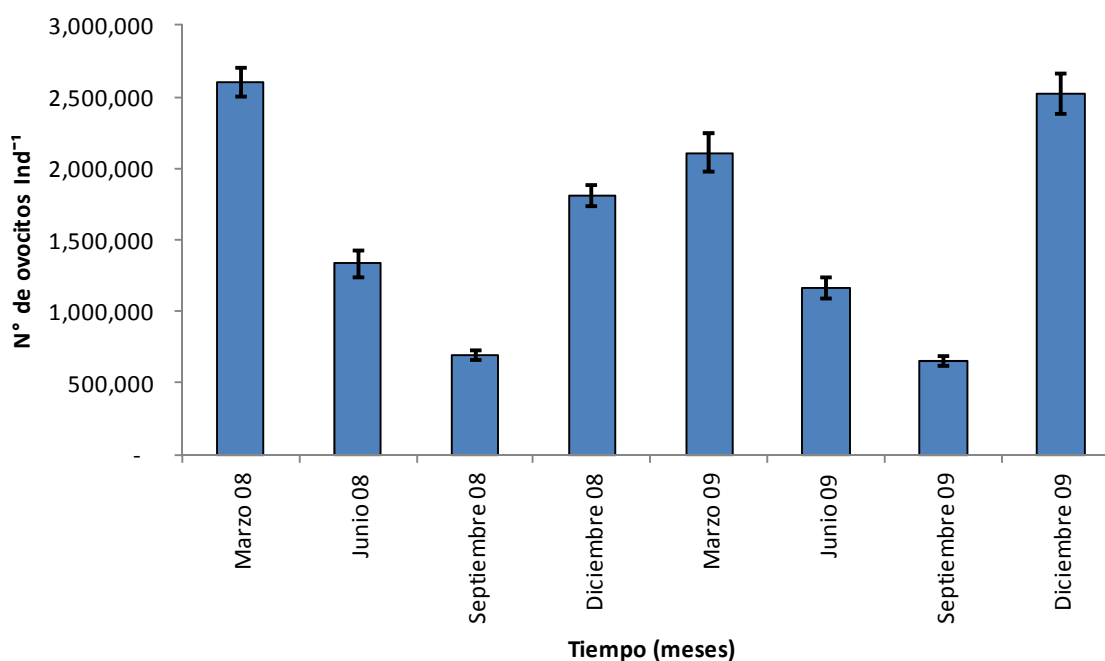


Figura 45. Variación temporal en los valores promedio (\pm ES) de fecundidad potencial (ovocitos/individuo) de los reproductores de *P. sterna*, estimada durante el periodo de estudio. Las barras indican el ES.

7.5.5 Rasgado de la gónada (stripping)

En el mes de diciembre de 2008, se muestrearon 15 organismos de 10.79 ± 0.11 cm de altura, 9.62 ± 0.11 cm de longitud, 4.91 ± 0.06 cm de ancho y un peso promedio de 158.42 ± 4.81 g, 101.54 ± 3.02 g de peso de la concha y 49.32 ± 1.73 g peso de la masa visceral. Se obtuvieron un total de 6 hembras y 8 machos, los cuales presentaron un peso de 27.11 ± 0.81 g de la masa visceral posterior al vaciado de la gónada, lo que indicó una pérdida de aproximadamente el 55% de la masa visceral.

En el conteo directo de ovocitos en diciembre de 2008 para la estimación de la fecundidad potencial se obtuvo un promedio de 1.9×10^6 ovocitos/individuo, valor que no resultó significativamente diferente con respecto al obtenido mediante la técnica combinada de estereología y disector (1.8×10^6 ovocitos/individuo) ($U=376$, $p=0.75$) (Fig. 46).



Figura 46. Fecundidad potencial (ovocitos/individuo) obtenida mediante las técnicas de stripping (rasgado) y del disector para los reproductores de *P. sterna* recolectados en diciembre de 2008. Se presentan los datos de mediana, 25–75%, mínimo y máximo.

7.5.6 Estimación energética de los reproductores

Los valores energéticos correspondientes a cada tejido durante el periodo de estudio sugieren una disminución importante de la energía del músculo, manto y glándula digestiva desde marzo (sumando 61.9 kJ/g) hasta diciembre de 2008 (27.2 kJ/g), volviendo a aumentar en marzo de 2009 (45.5 kJ/g) y disminuir de junio (37.7 kJ/g) a diciembre (29.3 kJ/g) del mismo año (Fig. 47). Para el caso particular de la energía de la gónada, que al igual que el resto de los tejidos disminuye después de marzo 2008 (17.9 kJ/g) hasta septiembre 2008 (6.3 kJ/g), pero aumenta en diciembre (13 kJ/g) del mismo año hasta marzo de 2009 (14.9 kJ/g), este patrón se repite durante el 2009 descendiendo su energía en los meses de junio (9.1 kJ/g) a septiembre (6 kJ/g) y volviendo a incrementar sus valores en el mes de diciembre de 2009 (18.5 kJ/g). Se aprecia una correlación positiva ($r^2=0.45$) entre la cantidad de energía total en los organismos y la mayor cantidad de ovocitos por organismo.

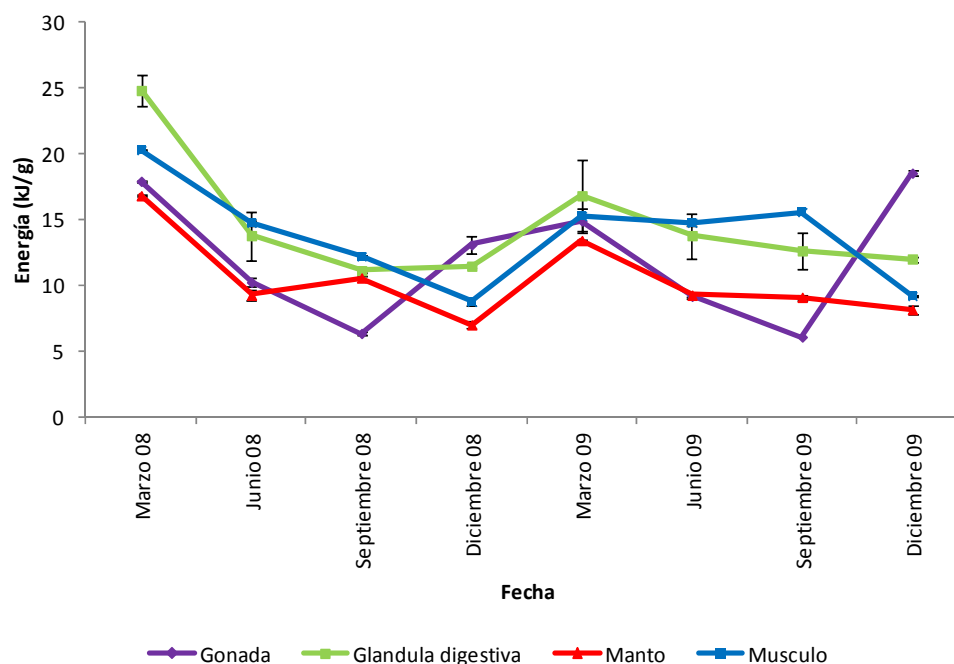


Figura 47. Variación temporal en los valores energéticos promedio (\pm ES) de los tejidos somáticos y germinales de los reproductores de *P. sterna* durante el periodo de estudio.

7.6 Flujo de energía

El flujo de energía en el reclutamiento de *P. sterna* según se concibe en este trabajo presenta la siguiente secuencia: Existe un proceso físico que genera alimento en el ambiente natural y cuyo indicador es la temperatura superficial del mar; el alimento en el ambiente es ingerido y su energía se transfiere a los tejidos somáticos y reproductivos en donde se acumula; La energía acumulada en tejidos es usada en la producción de gametos que se liberan en la temporada reproductiva; El último eslabón que detectamos en este estudio refleja el éxito del esfuerzo reproductivo en la generación de los nuevos reclutas de la población. Las series de tiempo de cada una de estas variables se presentan en Figura 48.

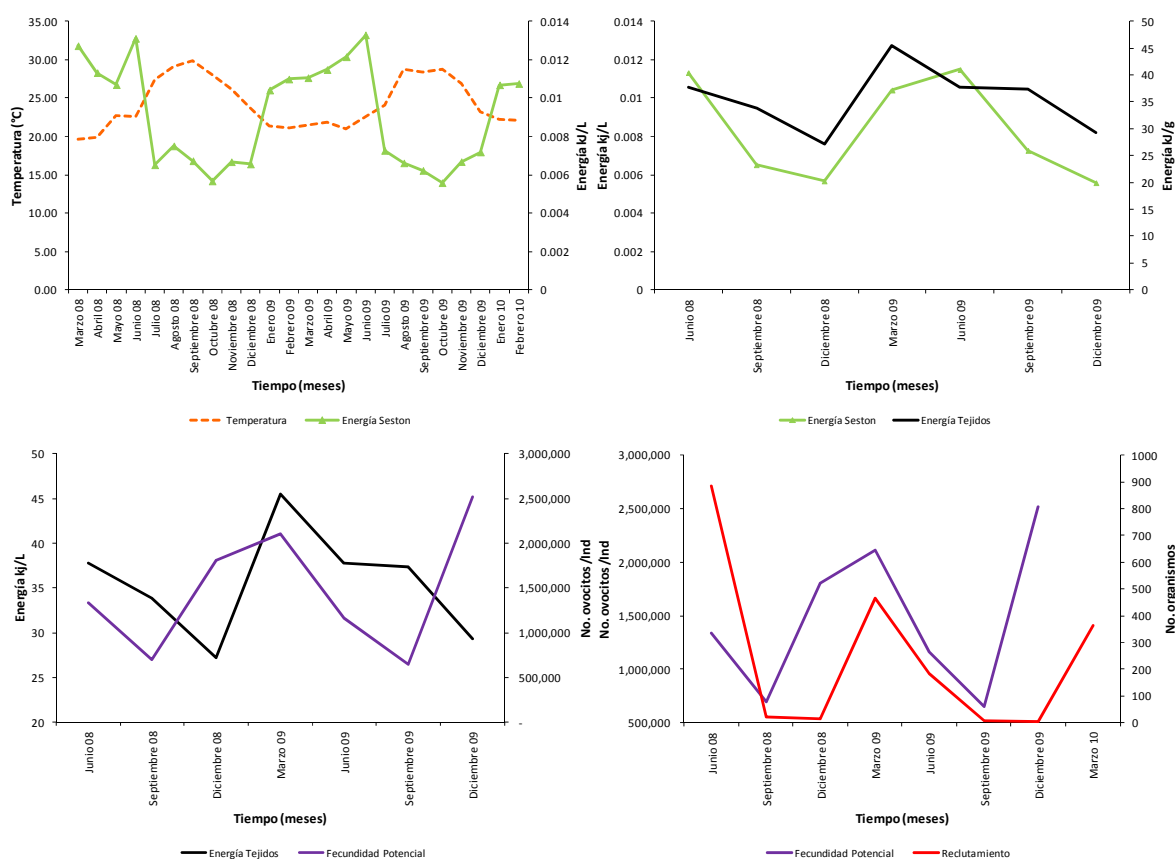


Figura 48. Series de tiempo de las variables involucradas en el flujo de energía del reclutamiento de *P. sterna*.

Las relaciones entre las variables estudiadas, el reclutamiento y sus interacciones se describen a continuación. Con respecto a la relación de la temperatura del agua con la recolecta de juveniles de *P. sterna* se encontró una relación exponencial negativa con retraso de un mes ($r^2=0.77$). Relaciones lineales negativas con la temperatura se presentaron con respecto a la fecundidad potencial ($r^2=0.68$), a la energía total de los reproductores ($r^2=0.28$), a la biomasa de competidores ($r^2=0.14$) y a la energía contenida en el alimento disponible ($r^2=0.21$), durante el periodo marzo de 2008 a marzo de 2010. La salinidad también tuvo una relación negativa con la colecta ($r^2=0.30$), sin embargo relaciones positivas se detectaron entre la salinidad y la energía total de los reproductores ($r^2=0.43$) y la fecundidad potencial ($r^2=0.13$). La conductividad presentó una relación negativa con el reclutamiento ($r^2=0.36$) y una relación positiva con la energía total de los reproductores ($r^2=0.25$). Una relación negativa entre la turbidez y el reclutamiento fue observada ($r^2=0.15$), relaciones negativas también se presentaron entre esta variable y la energía contenida en el plancton ($r^2=0.13$), y la fecundidad potencial ($r^2=0.12$). Se encontró una relación exponencial positiva entre la energía contenida en el alimento disponible y el reclutamiento con retraso de un mes ($r^2=0.86$). De acuerdo con estos resultados la temperatura fue la variable con el mejor ajuste por lo que fue seleccionada para iniciar el flujo de energía del reclutamiento.

En un esquema general las variables ambientales con mayor influencia pueden ser utilizadas para inferir la dinámica del flujo de energía en el reclutamiento de la siguiente manera (modelos en Tabla III, y modelos ajustados en Fig. 49):

-La temperatura tiene una relación lineal negativa retrasada (1 mes) con la energía contenida en el seston ($r^2= 0.705$) (Fig. 49a).

-La energía del seston tiene una relación positiva con un retraso de 1 mes que se ajusta linealmente a la energía contenida en los tejidos de los reproductores ($r^2= 0.595$) (Fig. 49b).

-La relación de la energía contenida en los tejidos de los reproductores de *P. sterna* (sin tomar en cuenta la contenida en la gónada) y la fecundidad potencial se presenta de forma negativa durante el periodo septiembre–diciembre ($r^2= 0.684$) (Fig. 49c) (pico reproductivo de invierno) y de manera positiva en el periodo marzo–junio ($r^2= 0.889$) (pico reproductivo de primavera) (Fig. 49d).

-La fecundidad potencial tiene una relación exponencial positiva retrasada (4 meses) con la cantidad de juveniles reclutados ($r^2= 0.845$) sin embargo si tomamos el periodo de vida (~3 meses) de los reclutas en los colectores el retraso es de un mes, lo cual coincide con el tiempo de vida libre de *P. sterna* (Figs. 49e).

Tabla III. Relación de variables en el flujo de energía del reclutamiento de *P. sterna*.

Variables	Ecuación	Retraso (meses)	r^2
Temperatura (C)–Energía del seston (E)	$E_t = -0.0007c_{t-1} + 0.0256$	1	0.705
Energía del seston (E)–Energía en los tejidos (B)	$B_t = 1773.5E_{t-1} + 20.799$	1	0.595
Energía en los tejidos (B)–Fecundidad potencial (F)	Invierno	0	0.684
	$F_t = -165767B_t + 7 \times 10^6$		
Fecundidad potencial (F)–Reclutamiento (R)	Primavera	0	0.889
	$F_t = 55885B_t - 754349$		
	$R_t = 1.4748e^{0.000002F_{t-4}}$	4	0.845

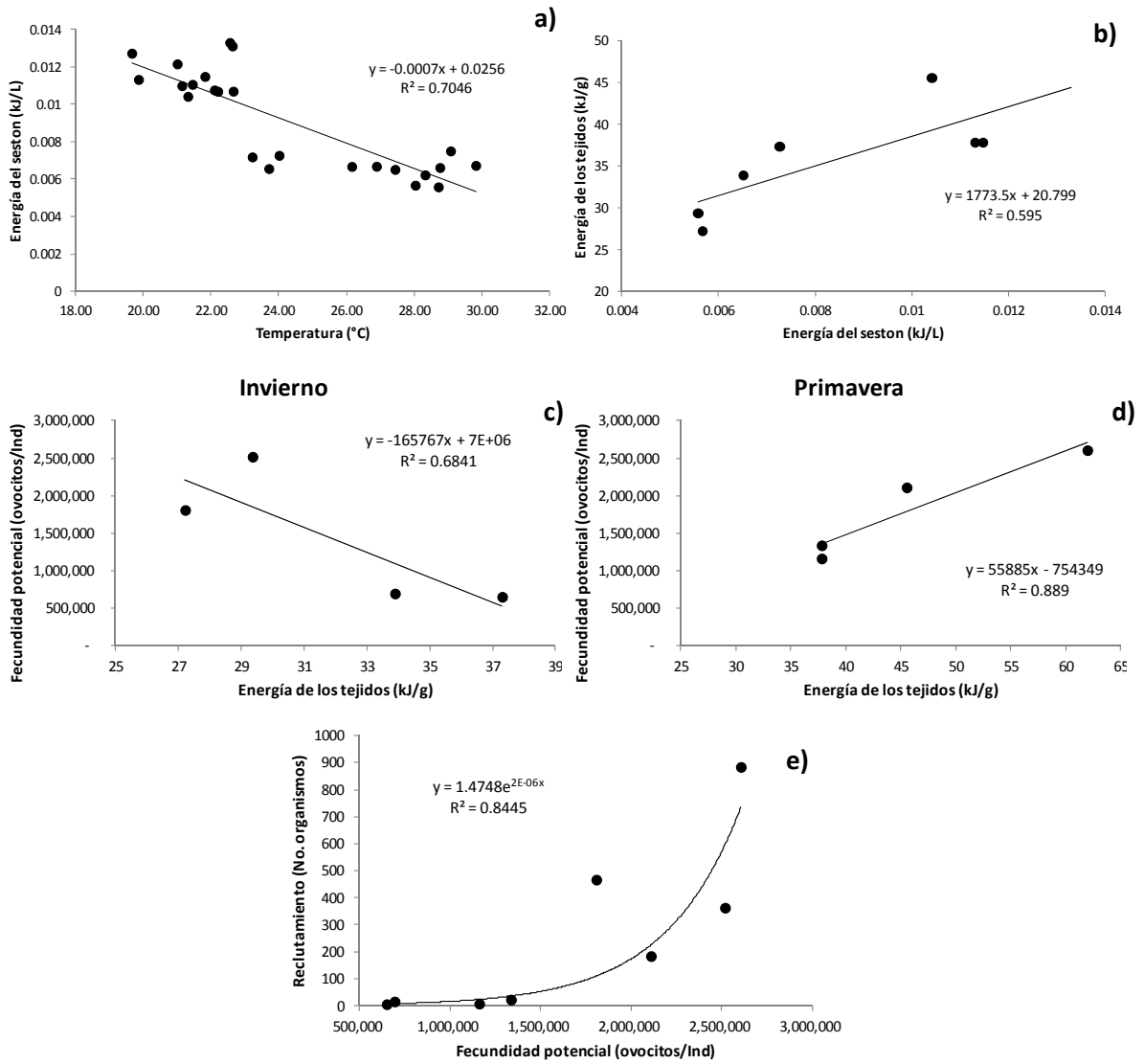


Figura 49. Relación de las variables estudiadas en el flujo de energía de la dinámica del reclutamiento de *P. sterna* durante el periodo de estudio.

8. Discusión

8.1 Efecto de las variables ambientales en el reclutamiento de juveniles

En ostras perleras de distribución subtropical y templada, la temperatura es sin duda una de las variables ambientales que más influencia ejerce sobre diversos aspectos generales de las especies, como el crecimiento (Gervis y Sims, 1992) y la reproducción (Saucedo y Southgate, 2008), así como en el reclutamiento de juveniles (Monteforte y García-Gasca, 1994; Wright, 1997; Aldana-Avilés, 1998; Bervera-León, 2002; Monteforte, 2004). La influencia de la temperatura del agua sobre algunos aspectos ecofisiológicos de moluscos bivalvos de interés para la acuicultura fue analizado a detalle para la Bahía de La Paz (Sicard *et al.*, 2006), por tratarse ésta de una zona de transición entre los ambientes tropical-cálido y templado-frío. Al respecto, el análisis de datos de este trabajo indicó la existencia de una relación inversa entre la temperatura y el reclutamiento de *P. sterna*, siendo este aspecto mayor durante los meses fríos del año (19 a 24 °C) y menor durante los meses más cálidos (27 a 29.8 °C). Este resultado es consistente con los picos reproductivos observados para la especie en este trabajo (ver sección 8.3) y con los reportados previamente por Saucedo y Monteforte (1997). Por otro lado, patrones similares de reclutamiento fueron observados en 1987 para la misma especie en la Bahía de La Paz, con mayor reclutamiento a temperaturas bajas entre 20 y 23 °C (Cáceres-Martínez *et al.*, 1992a), en 1991 de 22 y 24 °C (Wright, 1997), 20 y 24 °C (Monteforte *et al.*, 1995), en 1994 de 19 a 24 °C (Aldana-Avilés, 1998). Igualmente, para otros sitios de naturaleza tropical donde se distribuye la especie, como la Bahía de Acapulco, el mayor reclutamiento de juveniles se observó en 2001 a temperaturas de 21 a 23 °C (Torres-Zepeda *et al.*, 2002), que son consistentes con las identificadas en este estudio. Lo anterior indica que el inicio de la recolecta de *P. sterna* puede ser anunciado por un decremento en la temperatura del agua de mar (ver figura 14), y es consistente con información previa que menciona que el desove en laboratorio de los reproductores de *P. sterna* se logra con un shock térmico inverso hasta los 18 °C (Monteforte, 2004).

Otros parámetros ambientales como la salinidad, la conductividad y la transparencia presentan una covarianza en concordancia con las variables ambientales prevalecientes (principalmente con la temperatura), teniendo una relación inversa con el reclutamiento de juveniles de *P. sterna*, ya que a menor salinidad (35 ups), conductividad (53 ms/cm) y turbidez (8 m) la recolecta fue mayor, lo cual consistentemente ocurrió en los meses fríos (diciembre-marzo) de ambos años. El efecto de estos parámetros ha sido confirmado durante la fijación de juveniles de ostras perleras (Monteforte y García-Gasca, 1994; Wright, 1997; Aldana-Avilés, 1998; Bervera-León, 2002; Monteforte, 2004), así como en algunas otras especies de moluscos bivalvos como ostiones, almejas, mejillones (Quayle, 1980), también durante el desarrollo larval previo al asentamiento en almejas (Calabrese, 1969; Bourne y Smith, 1972) y otros moluscos como mejillones (Bayne, 1976). El caso particular de la turbidez, que está muy relacionada con la abundancia de alimento, tiene una tendencia similar a estos factores, ya que afectan la producción fitoplanctónica que finalmente es la base de la cadena alimenticia en el ambiente marino, tanto para el caso de los reproductores y larvas, como de los nuevos reclutas (Thorson, 1966; Sevilla, 1969; Sastry, 1971; Bayne, 1976). Además, la disponibilidad de alimento regula aspectos clave de la fisiología de las especies marinas, incluyendo el crecimiento, la composición bioquímica de tejidos, el balance energético de éstos (Webb y Chu 1983; Enright *et al.*, 1986; O'Connor *et al.*, 1992; Volkman y Brown, 2005) y la duración del ciclo gametogénico (Saucedo y Southgate, 2008).

En relación a la distribución espacial del reclutamiento, el modelo hidrodinámico de la Bahía de La Paz sugiere que las corrientes son el factor de mayor influencia en la dispersión de las larvas. Aunado a esto, la larva veliger de *P. sterna*, al igual que las larvas de otras especies de ostras perleras, no presenta una motilidad aparente (Bervera-León, 2002; Monteforte, 2004) o si existe ésta es muy reducida (~1 a 10 mm/s) (Ishii *et al.*, 2005), y más bien parece claro que su estrategia de desplazamiento es derivar y navegar en el plánton mientras es transportada por las corrientes (>1m/s), como ha sido reportado para otras especies de bivalvos, como la almeja *Ruditapes philippinarum*, el mejillón *Musculista senhousia* (Ishii *et al.*, 2005) y los ostiones *C. virginica* y *C. ariakensis* (North *et al.*, 2008).

En este estudio, el reclutamiento de *P. sterna* fue mayor en el fondo y menor en la superficie (Fig. 23b), en gran medida afectado por la competencia por sustrato ($r^2=0.55$) (ver sección 7.3.3), ya que este factor es determinante en la repartición batimétrica del asentamiento de las larvas de diferentes familias de bivalvos (Wallace 1981/1982; Peterson y Summerson, 1992). Aunado a lo anterior, las larvas de *P. sterna*, al igual que las de otros moluscos bivalvos, presentan un comportamiento fototáctico negativo al iniciar los mecanismos de asentamiento, el cual los aleja de la luz y les permite reptar en sustratos de poca iluminación para asegurar su fijación, y para ello mantenerse descendiendo en la columna de agua es una buena estrategia; incluso en ocasiones retrasan la metamorfosis hasta encontrar un sustrato adecuado (Thorson, 1966; Gray, 1974; Hadfield, 1978). Patrones similares de distribución vertical del reclutamiento en la columna de agua (menor en la superficie y mayor en el fondo), han sido observados para la misma especie en Bahía de La Paz (Cáceres-Martínez *et al.*, 1992a; Aldana-Avilés, 1998) y Bahía de Acapulco (Torres-Zepeda *et al.*, 2002). Incluso otros autores han reportado una diferencia en la profundidad de mayor reclutamiento para la especie en los meses cálidos con respecto a los meses fríos (Monteforte *et al.*, 1995; Monteforte, 2004). Sin embargo, esto no se observó durante los dos años de estudio, donde el comportamiento del reclutamiento respecto a la profundidad de mayor colecta se mantuvo prácticamente constante.

Los valores de tripton (13.41 a 29.38 mg/L) fueron más altos a los reportados anteriormente para otros puntos dentro de la Bahía de La Paz, como la rada del Puerto de Pichilingue, donde los valores oscilaron entre 5.85 a 11.5 mg/L (Luna-González *et al.*, 2000) y la Isla Gaviota, cuyas concentraciones variaron de 7.08 a 10.66 mg/L (Barrios-Ruiz, 1997). Los valores obtenidos en este estudio se encuentran dentro del rango promedio reportado para otros sitios de distribución subtropical en el Noroeste de México, como la Laguna La Cruz en Sonora, donde los valores cuantificados fueron de 7 a 35 mg/L (Castro-Longoria y Grijalva-Chon, 1991), así como los valores de plácton (1.3 a 4.3 mg/L) que también son consistentes con los reportados por otros autores en la rada del puerto de Pichilingue en la Bahía de la Paz (1.6 a 3.4 mg/L) (Luna-González *et al.*, 2000) y en la Isla Gaviota (1.4 a 2.2 mg/L) (Barrios-Ruiz, 1997). Además, los mayores valores de seston

orgánico coinciden con los meses más fríos del año, como diciembre y enero, lo cual sugiere la presencia de surgencias que son muy frecuentes e importantes en la Bahía de La Paz durante esas fechas (Jiménez-Illescas, 1996). Estos resultados indican que a pesar de que la cantidad de tripton encontrado es mayor que otras estimaciones reportadas anteriormente, la porción orgánica del seston o pláncton es consistente en magnitud con la mayoría de los reportes para la zona (Barrios-Ruiz, 1997; Luna-González *et al.*, 2000).

Esta variación en la cantidad de material orgánico particulado en el seston que al parecer es generado por la suspensión del material del fondo debido a las surgencias, es de gran ayuda para determinar los momentos en los que existe mayor disponibilidad de alimento para los organismos heterótrofos (Luna-González *et al.*, 2000). Aunado a esto, el conocimiento de la composición bioquímica del seston en términos de proteínas, carbohidratos y lípidos, es de vital importancia para entender la transferencia de energía en la pirámide alimentaria, y sobre todo, cuando se habla de organismos como las larvas y semillas de moluscos bivalvos, que son consumidores primarios (Widdows *et al.*, 1979; Newell y Bayne, 1980; Vahl, 1980; Lechuga-Deveze *et al.*, 1989; Nayar *et al.*, 2000). Los resultados de este estudio muestran que el alimento disponible y la energía contenida en el seston, ejercieron una influencia decisiva en el reclutamiento de *P. sterna*, pues existe una relación exponencial positiva con retraso de un mes ($r^2=0.85$) entre la mayor cantidad de energía en el pláncton y el mayor reclutamiento (Fig. 48). Este retraso bien puede deberse al tiempo que tarda la surgencia en generar una proliferación de fitopláncton y este a su vez traducirse en un aumento en el zoopláncton, elementos que enriquecen la composición del seston que son aprovechados por la fase de vida libre de los juveniles de *P. sterna* antes de su asentamiento. Según los resultados, la energía en el alimento disponible está determinada en mayor medida por la cantidad de proteínas disponibles en el mismo (Fig. 22), sin embargo, el material alimenticio que genera esta respuesta es la suma de los componentes bioquímicos mayores del seston orgánico (lípidos, carbohidratos y proteínas) (Widdows *et al.*, 1979; Lechuga-Deveze *et al.*, 1989; Luna-González *et al.*, 2000). A pesar de que estos combustibles se transformen en energía por diferentes rutas metabólicas, no

todas aportan la misma cantidad, por lo que es necesario tener una idea del aporte total de energía por concepto del material alimentario.

8.2 Variación temporal del reclutamiento de juveniles por la competencia por sustrato

Como se mencionó anteriormente, el reclutamiento de juveniles de *P. sterna* fue mayor durante los periodos diciembre–marzo (invierno) y marzo–junio (primavera) durante los dos años de estudio. En este sentido, otros autores encontraron comportamientos similares de reclutamiento de la especie en algunos sitios de la Bahía de La Paz, incluyendo Bahía Falsa, en donde el mayor reclutamiento fue observado en los meses de enero–marzo de 1987 (Cáceres-Martínez *et al.*, 1992a), Isla Gaviota, donde la mayor captación de reclutas se presentó en el periodo noviembre 1990–marzo 1991 (Monteforte, 2004), para el mismo sitio pero de diciembre 1993 a febrero 1994, donde se observó un buen reclutamiento, pero el mayor durante el periodo febrero–abril (Aldana-Avilés, 1998). Consistentemente, en la Bahía de Acapulco el mayor reclutamiento de *P. sterna* se obtuvo en el periodo febrero–junio 2001 (Torres-Zepeda *et al.*, 2002).

La variación espacio-temporal del reclutamiento de juveniles reportada aquí es consistente con lo reportado en la Bahía de La Paz por otros autores, siendo las estaciones de mayor importancia las ubicadas en la zona del Mogote (estaciones 1 y 2), las cuales son, señaladas por Monteforte (2004) como las más importantes en términos de captación de juveniles de *P. sterna* y de *Pinctada mazatlanica* (Bervera-León, 2002). Ello debido a que en esta zona se encuentra una población de alta densidad de reproductores de la especie (Monteforte y Cariño, 1992). La Isla Gaviota es otra de las estaciones con alta captación de juveniles, y donde históricamente se han obtenido los mejores reclutamientos para la especie (Cáceres-Martínez *et al.*, 1992b; Monteforte y García-Gasca, 1994; Monteforte y Wright, 1994; Aldana-Avilés, 1998; Bervera-León, 2002; Monteforte, 2004). Ello seguramente se debe a que en esta zona ocurren procesos de surgencia que concentran una alta energía y actividad de corrientes (Murillo, 1987), pero también porque aquí se generan de forma natural pequeños giros anticiclónicos producto del movimiento de las corrientes

por los cambios del nivel medio del mar, y en contra de los vientos predominantes del norte (Bervera-León, 2002), lo cual genera un retraso en el tiempo de residencia de las larvas y las partículas que se encuentran suspendidas en la columna de agua de esta zona, mismas que suelen quedar atrapadas, favoreciendo con ello el asentamiento de los reclutas, efecto que puede ser observado en el modelo de transporte de larvas (ver sección 7.5).

Durante los dos años de estudio se observaron diferencias significativas en la talla de los juveniles recolectados por cada periodo o temporada de recolecta (Fig. 26). Muy probablemente estas diferencias están relacionadas con el periodo de fijación y con la cantidad de alimento disponible (ver sección 8.1). Por su parte, Bervera-León (2002) menciona que estas diferencias están relacionadas con los tiempos de inmersión de los colectores en el agua, y que incluso las variaciones pueden deberse a la profundidad a la que se realiza la recolecta. A su vez, se presentaron diferencias en la talla de los organismos con respecto a la profundidad de recolecta, disminuyendo ésta conforme aumenta la profundidad. Relaciones similares fueron reportadas por Torres-Zepeda *et al.* (2002) para juveniles de *P. sterna* reclutados en la Bahía de Acapulco, donde los juveniles de tallas más pequeñas fueron reclutados en la profundidad de 15 m y los de mayor talla en aguas someras. En este estudio dichas diferencias son atribuidas a la cantidad de competidores que se encuentran en los colectores de acuerdo con la profundidad ya que se presenta una relación negativa entre la biomasa de los competidores y la cantidad de reclutas ($r^2=0.55$), el efecto y la presencia de depredadores y competidores en el interior de los colectores a sido reportado por otros autores (Wallace, 1981/1982; Sumpton *et al.*, 1990; Ambrose *et al.*, 1992; Wright, 1997).

No solo la talla de los reclutas es importante de tomarse en cuenta, sino también se sabe que la fijación de las larvas en los colectores está sujeta a presiones de competencia por espacio (Gray, 1974; Osman, 1977; Ajana, 1979; Sutherland y Ortega, 1986). Ello debido a que los nuevos reclutas deben enfrentarse a un espacio y recursos limitados, los cuales varían principalmente en función de la temporada, tiempo y profundidad (Monteforte, 2004). Sin embargo, es claro que las especies que van colonizando el sustrato colector obedecen a patrones ecológicos asociados a la conformación de una comunidad, lo

cual puede ayudar a detectar especies clave en la colonización, sucesión y estructura de la comunidad que funjan como indicadores que ayuden a establecer modelos de predicción (Peterson y Summerson, 1992; Breitburg, 1985; Wright, 1997). De acuerdo a los resultados de este estudio, la mejor especie que pudiera tomarse como indicador biológico para predecir el reclutamiento de *P. sterna* es la almeja catarina *A. ventricosus* ($r^2=0.58$). Por el contrario, especies indicadores de la ausencia de *P. sterna* en los colectores son la madreperla *P. mazatlanica* ($r^2=0.64$) y el callo de hacha *P. rugosa* ($r^2=0.45$), que se reclutan más en los meses cálidos de verano (ver sección 7.3.3). Resultados similares coinciden con los reportados por Monteforte (2004), quien también hace referencia a *A. ventricosus* como el mejor índice biológico para predecir el reclutamiento de *P. sterna*, ya que además de ser una especie muy conocida y de importancia comercial, muestra periodos constantes y cíclicos de reclutamiento.

8.3 Determinación de la edad de los juveniles en los colectores

La calceína, como marcador que se incorpora a la concha, es una sustancia que ha presentado una ligera toxicidad reflejada en la muerte de algunas especies de invertebrados marinos, como braquiópodos (Rowley y Mackinnon, 1995) y abulones (Day *et al.*, 1995). Por el contrario, este efecto dañino no se ha observado en otras especies como *Perna perna* (Kaehler y McQuaid, 1999), *Nucella ostrina* (Moran, 2000), *Concholepas concholepas* y *Mesodesma donacium* (Riascos *et al.*, 2007) y *Donax hanleyanus* (Herrmann *et al.*, 2009). En el presente estudio tampoco se registró mortalidad alguna de los juveniles de *P. sterna*, indicando que esta sustancia no afecta la supervivencia de la especie en la concentración administrada (125 mg/L).

La incorporación de una banda de calceína en las conchas de *P. sterna* indica que este reactivo es una buena herramienta para la validación de la periodicidad de las marcas de crecimiento de esta especie. También se han observado buenos resultados en el marcado de bandas de crecimiento con calceína para otras especies de moluscos bivalvos, como *P. perna* (Kaehler y McQuaid 1999), *Adamussium colbecki* (Heilmayer *et al.*, 2005), *M.*

donacium (Riascos *et al.*, 2007) y *D. hanleyanus* (Herrmann *et al.*, 2009). Sin embargo la mayoría de estos trabajos se han enfocado en utilizar este reactivo para realizar estimaciones de crecimiento después del marcado, y no en la estimación de la edad del organismo o en la lectura de micro-bandas internas o micro-incrementos.

La banda de calceína solo estuvo visible en el 62% de los individuos marcados, lo cual puede estar asociado a los ritmos de depósito de calcio en la formación de la concha de los juveniles y al momento de ligarse la calceína a las estructuras calcáreas durante la biomineralización. Este patrón está relacionado con la talla, pues el 38% de los organismos no presentó la marca fluorescente, lo cual ocurrió principalmente en organismos menores a los 20 mm de altura. En adultos de *P. perna*, Kaehler y McQuaid (1999) observaron una mayor incorporación de la calceína al utilizar concentraciones bajas, no obstante no se presentaron marcas fluorescentes en muchos casos, lo que indica que el reactivo es menos sensible a tallas pequeñas o a menor edad.

Las conchas de *P. sterna* presentan autofluorescencia (fluorescencia natural). Esta autofluorescencia es atribuida a las porfirinas, que son uno de los componentes más fluorescentes en la naturaleza (Guilbault, 1990); en el presente estudio se lograron observar como una fluorescencia roja o café-rojiza con un filtro de luz azul entre los 330 a 385. La presencia de porfirinas a sido reportada en otros moluscos a longitudes de onda similares (Comfort, 1949; Britton, 1983; Kiefert *et al.*, 2004).

A través del marcado de calceína en las conchas de juveniles de *P. sterna*, se pudo determinar que las micro-bandas de crecimiento aparecen con una periodicidad diaria, y que los criterios establecidos para la lectura de las marcas de crecimiento fueron adecuados, pues se identificaron 15.29 ± 0.26 marcas después de la inyección con calceína, que corresponden a 16 días del estudio. La pequeña diferencia entre el número de micro-bandas de crecimiento y los días puede estar asociada al tiempo exacto de extracción de organismos, así como al proceso de formación de las micro bandas que pudieran producirse de forma continua durante las 24 h del día o en los periodos de luz u oscuridad. Igualmente, la presencia de bandas diarias de crecimiento ha sido reportada para el bivalvo

Cerastoderma edule (House y Farrow, 1968; Whyte, 1975), y ha sido asociada a los ciclos de luz y oscuridad predominantes en su hábitat (Pannella y MacClintock, 1968; Rhoads y Pannella, 1970; Farrow, 1972; 1975). También se ha visto que dichas bandas pueden producirse en el día (Whyte, 1975) o durante la noche (House y Farrow, 1968) en ciertas especies. El ritmo de crecimiento sub-diario en los moluscos ha recibido poca atención, y en las especies donde ha sido reportado como *C. edule* (House y Farrow, 1968; Whyte, 1975), *Chione cortezi* (Goodwin *et al.*, 2001; Schöne *et al.*, 2002) no ha sido posible determinar su relación con la fisiología del crecimiento y su periodicidad, aunque en algunas ocasiones se han atribuido a las mareas (Evans, 1972; 1975; Richardson *et al.*, 1979; Lonne y Gray, 1988).

Los resultados de la validación de las marcas de crecimiento indicaron que el depósito de nácar está asociado a un evento cíclico diario en el crecimiento de la especie, dado que independientemente del tamaño del juvenil y de su incremento en longitud de la concha, el número de marcas encontradas fue constante en todos los organismos. Por esta razón, la lectura de las marcas de crecimiento presentes en las micro-estructuras internas en la concha de *P. sterna* son una buena herramienta para determinar la edad en días de los organismos. Sin embargo, la técnica empleada tiene la desventaja de que en conchas de *P. sterna* menores a 25 mm de altura es muy difícil observar estas micro-bandas de crecimiento, ya que se logró identificar un promedio de entre 80 a 90 micro-bandas en los organismos recolectados, lo que sugiere una edad de los juveniles de aproximadamente 3 meses. Este dato coincide con el tiempo de permanencia de los colectores en el agua, por lo que se propone que para trabajos futuros se realicen muestreos en periodos de tiempo más cortos y explorar la posibilidad de afinar la técnica para incluir organismos de menores tallas. Se considera que la lectura de micro-bandas de crecimiento pueden ser una herramienta para conocer el pasado fisiológico de los organismos así como del medio en el que viven, lo cual tiene aplicaciones ecológicas importantes sobre todo en el entendimiento del cambio climático global, en procesos evolutivos y de aplicación directa en la paleontología, algunas implicaciones más directas y específicas del nácar se han estudiado recientemente en este sentido (Vedrasco *et al.*, 2008).

8.4 Localización y estado fisiológico de los reproductores

La localización de poblaciones naturales de *P. sterna* ha sido un proceso complejo, ya que la mayoría de éstas se encuentran en lugares poco accesibles al buceo autónomo, ya que su principal distribución es a profundidades mayores a los 25 metros (Monteforte y Cariño, 1992; Com. pers. pescadores ribereños). Por esta razón, la aplicación de un modelo hidrodinámico como herramienta para predecir la localización de bancos es de mucha ayuda en estudios de este tipo. Previamente, algunos modelos hidrodinámicos utilizados para conocer el origen y la conectividad (intercambio de larvas entre subpoblaciones separadas geográficamente) de los reclutas son cada vez más aplicados para poblaciones de invertebrados marinos (James *et al.*, 2002; Levin *et al.*, 2005; Levin, 2006; Treml *et al.*, 2008).

El modelo hidrodinámico de dispersión larvaria sugiere que la principal población de reproductores se encuentra en la zona de cultivos (Isla Gaviota y El Merito), lo cual es consistente con la tendencia a captar un mayor número de reclutas en las estaciones de recolecta (ver sección 7.3.1). Este resultado es producto de un fenómeno conocido como retención en la dinámica de poblaciones (Warner y Cowen, 2002), que es generado por el movimiento de la corriente en el interior de la Bahía de La Paz (ver sección 7.1.5). Otras estaciones que también tienen el efecto de la retención son las que se ubicaron en la zona del Mogote, pues como ya se ha mencionado anteriormente, en esta zona existe una población reconocida de reproductores (Monteforte y Cariño, 1992), misma que el modelo sugiere es la que estuvo surtiendo de nuevos reclutas a las estaciones de esa zona. Un patrón similar es observado la mayor parte del año en las estaciones ubicadas en la Isla Espíritu Santo, donde los juveniles recolectados provienen principalmente de zonas aledañas a la zona de recolecta. Al respecto, Peterson *et al.* (1996) mencionan que este tipo de comportamiento está asociado a la persistencia de un alto grado de reclutamiento endógeno en la dinámica de esa población local. A su vez, Levin (2006) demostró como estudios de dispersión larvaria utilizando modelos físicos, estudios genéticos, uso de

marcadores y observaciones naturales, sugieren que la retención larvaria es común en las poblaciones de invertebrados marinos. Por otro lado, la retención puede tener consecuencia en la evolución de las especies, al no generarse el suficiente intercambio genético (Jablonski y Lutz, 1983; Sotka, 2005).

El modelo hidrodinámico aplicado en este estudio también indicó que durante la temporada marzo–junio, el reclutamiento es más homogéneo y los reclutas provienen de diferentes lugares (Figs. 41 y 42). Esto último coincide con la distribución del reclutamiento en las diferentes estaciones (Fig. 43), lo cual a su vez sugiere que el intercambio de larvas durante esta etapa produce la variabilidad que necesita la metapoblación (conjunto de poblaciones de una especie que mantienen un equilibrio entre su intercomunicación y su independencia) para mantenerse adaptada a los cambios ecológicos de su hábitat (Kawecki y Ebert, 2004). Esto a su vez es evidencia del gran intercambio genético que existe de la especie en todo el Golfo de California como lo sugiere Arnaud *et al.* (2005) al analizar el ADN mitocondrial de dos genes de *P. sterna*. El ejemplo más claro del funcionamiento del modelo y de la conectividad de la población se presentó en la temporada diciembre 2008–marzo 2009, donde el 52% de los reclutas provenía de los reproductores ubicados en la Isla San José (Fig. 43), mismos que tenían que ser reclutados en las estaciones más norteñas del complejo insular Espíritu Santo–La Partida (Fig. 41). En este estudio la estación con mayor reclutamiento de juveniles fue El Embudo, que es precisamente la estación que tiene la posición más al norte del complejo insular Espíritu Santo–La Partida (Fig. 24). Sin embargo, este patrón de reclutamiento no fue observado en la temporada del año siguiente, ya que la estación de El Embudo no logró ser localizada lo cual pudo deberse a que esta fue robada o simplemente a que el sistema de recolecta no resistió la alta energía de las corrientes en esta zona (Fig. 24). Se propone para trabajos futuros corroborar estos resultados con nuevas herramientas de biología molecular que nos permita saber si las larvas que se producen en cultivo son las que se están colectando en ese mismo lugar, o las que se producen en Isla San José realmente se están colectando en el Embudo, lo cual permitiría validar los resultados de este trabajo. Sin embargo los resultados obtenidos en este estudio permiten la presentación de un mapa de la

dispersión de las larvas en la Bahía de La Paz, lo que otorga a los acuicultores una nueva herramienta en la planeación de las recolectas para abastecer los cultivos de la especie, donde podrán tener la certidumbre de los lugares con mayor probabilidad para la captura de los nuevos reclutas de acuerdo con la temporada en la que decidan colocar sus colectores. Además cabe destacar que el modelo de dispersión empleado puede ser adoptado incluso para otras especies de moluscos bivalvos que se distribuyen en la Bahía de La Paz como son la *P. mazatlanica*, *A. ventricosus*, *P. rugosa*, etc.

La fecundidad potencial de los reproductores muestreados confirmó la tendencia antes observada de que los periodos con mayor número de ovocitos en la gónada se presentan entre los meses fríos (diciembre) y templados (marzo) del año, y que este comportamiento es un patrón cíclico que se presenta cada año durante esta temporada (Figs. 44 y 45). Este resultado coincide con los picos reproductivos reportados para la especie en la temporada fría de invierno (Saucedo y Monteforte, 1997). Por otro lado, la menor fecundidad potencial de la especie se observó durante los meses cálidos del año. Este resultado es también consistente con lo reportado por Vite-García y Saucedo (2008) para la misma especie, quienes indican que durante el verano y el otoño la mayor parte de los organismos se encuentran en estadio de indiferenciación o desarrollo incipiente, con una baja proporción de organismos en desove o post-desove. Ello indica claramente que el mayor potencial reproductivo de la especie se manifiesta durante el invierno ($1.8\text{--}2.5 \times 10^6$ ovocitos/individuo) y primavera ($2.1\text{--}2.6 \times 10^6$ ovocitos/individuo) (Fig. 45).

El comportamiento de la energía total almacenada en los tejidos de los reproductores de *P. sterna* presentó un patrón muy similar al observado para el caso de la fecundidad potencial que demostró que la mayor cantidad de energía ocurre durante los meses fríos (diciembre-marzo) y la menor durante los meses cálidos (junio-septiembre). Al respecto, se ha comprobado que las variaciones en el contenido energético de los tejidos permiten inferir la condición fisiológica del organismo, y deducir las rutas metabólicas que conllevan los procesos de almacenamiento y transferencia de energía que aseguran el crecimiento de tejidos somáticos y/o la reproducción. Estas variaciones han sido bien documentadas para un par de familias de bivalvos de interés comercial, como los

Pectínidos (Sastry y Blake, 1971; Ansell, 1974; Comely, 1974; Taylor y Venn, 1979; Barber y Blake, 1981; 1983; 1991; Robinson *et al.*, 1981; Epp *et al.*, 1988; Couturier y Newkirk, 1991; Besnard, 1991; Martínez, 1991; Martínez y Mettifogo, 1998; Pazos *et al.*, 1997; Racotta *et al.*, 1998; Lodeiros *et al.*, 2001; Racotta *et al.*, 2003; Arellano-Martínez *et al.*, 2004) y los Mitílidos (Gabbott, 1975; 1976; 1983; Bayne, 1976; Zandee *et al.*, 1980; Bayne *et al.*, 1982). Sin embargo, la información referente a estos procesos es menos abundante para el caso de los Ptéridos (Desai *et al.*, 1979; Saucedo *et al.*, 2002; Vite-García, 2005; Vite-García y Saucedo, 2007; Cáceres-Puig, 2007; Cáceres-Puig *et al.*, 2009) y los Ostreidos (Kang *et al.*, 2000).

En el presente estudio se pudo observar como los tejidos somáticos (glándula digestiva, músculo y manto) tienen una gran cantidad de energía durante el mes de marzo (60 kJ/g en suma) (Fig. 47), en coincidencia nuevamente con los valores más bajos de temperatura entre los 19 y 22 °C (Fig. 14). Posteriormente, esta energía disminuye paulatinamente de junio a diciembre (de 37 a 27 kJ/g) y es en este último mes cuando alcanza su nivel más bajo hasta marzo del siguiente año, cuando vuelve a incrementarse hasta los 45 kJ/g. Sin embargo, el comportamiento de la energía contenida en la gónada no sigue exactamente el mismo patrón, ya que a pesar de que también disminuye en el verano, aumenta desde diciembre hasta marzo cuando la temperatura del agua es baja (Fig. 47). Este patrón confirma que *P. sterna* sigue una estrategia conservadora durante el pico reproductivo de invierno, cuando la movilización de energía de los tejidos somáticos a la gónada es más activa, de forma tal que pueda activarse y sustentarse la gametogénesis. Este evento se observa como una relación negativa entre la energía contenida en los tejidos somáticos y la fecundidad potencial durante este periodo ($r^2 = 0.684$) (Tabla III). Por el contrario, durante la primavera la especie adopta una estrategia oportunista a partir de la energía que se obtiene del seston, el cual es muy abundante en esta fecha, resultando en un incremento de la energía de los tejidos somáticos en marzo, observándose en este caso una correlación positiva entre la energía de los tejidos y la fecundidad potencial ($r^2 = 0.889$) (Figs. 48 y 49). Patrones similares en donde las especies combinan estrategias conservadoras y oportunistas han sido reportados para especies de zonas transicionales,

como *P. maximus* de la Ria de Arousa en el Noroeste de España (Pazos *et al.*, 1997), *A. ventricosus* en Bahía de La Paz, México (Luna-González *et al.*, 2000) y *C. gigas* en Korea del norte (Kang *et al.*, 2000).

La temperatura y el alimento son probablemente los factores exógenos más importantes que actúan como controles maestros de la dinámica energética operante entre los diversos tejidos somáticos relacionados con la reproducción (MacDonald y Thompson, 1985; MacDonald *et al.*, 1987; Chávez-Villalba *et al.*, 2002). Es claro entonces que los disparadores del desove en *P. sterna* pudieran ser la presencia de reservas energéticas en el tejido corporal, y la temperatura del agua durante el pico de invierno (diciembre) y el alimento disponible durante el pico de primavera (marzo), lo cual coincide con lo propuesto por Cáceres-Puig *et al.* (2009) para la especie. A partir de esta información, si se toma en cuenta uno de los fenómenos de bajo reclutamiento de la especie, que se observó en la misma zona de estudio durante el 2007. Las temperaturas tuvieron un patrón similar a los 2 años de estudio (enero-marzo 2007, con promedio de 20.7 °C) al igual que el alimento (~3 mg/L) y el esfuerzo reproductivo de la población fue calculado en un incremento del 400% de la energía basal previa al desove durante ese año (Caceres-Puig, 2007), por lo que ni la temperatura, ni el alimento, ni la condición fisiológica de los reproductores, fueron indicadores del comportamiento del reclutamiento. Estas evidencias permiten suponer que existen otros factores que no se están tomando en cuenta durante el proceso de reclutamiento, como la competencia (inter e intra específica), la depredación, la mortalidad, así como el esfuerzo de captura o la presencia de factores antropogénicos; un ejemplo de estos últimos incluyen las estructuras artificiales a manera de cercos como las que representan los ranchos de engorda de peces que se instalaron en la zona aledaña al área de captura durante esa época, las cuales pueden llegar a funcionar como colectores de muchas especies de invertebrados marinos y operar de esta manera como una barrera para el reclutamiento en los colectores destinados para ello (Buschmann, 2001). Otro factor que definitivamente puede generar este tipo de variaciones en el reclutamiento son los cambios en el patrón de corrientes, pues en este estudio se confirma que esta variable ejerce la mayor influencia en la dispersión de las larvas de *P. sterna*, así como el cambio climático

global y eventos específicos como el fenómeno del Niño, que no pudieron ser abordados en este estudio.

Finalmente las relaciones secuenciales entre los factores fueron analizadas a través de una secuencia lógica de transferencia de energía y explicadas mediante supuestos asociados a dichas variables (Tabla III). En este sentido la temperatura fue la variable ambiental que se detectó con mayor influencia en el proceso y por ello es el punto de partida para esta secuencia, la cual como se expuso anteriormente tiene una relación negativa retrasada (un mes) con la energía disponible en el seston (Fig. 48), retraso que se sugiere, está relacionado a procesos de surgencia que son muy comunes en el área de estudio, lo cual explica los descensos de temperatura, que se traducen en aumentos en la producción de fitopláncton y a su vez de zoopláncton los cuales se reflejan en este aumento de energía en el seston un mes después, con el cual se encontró una relación positiva con la energía contenida en los tejidos de los reproductores también con retraso de un mes, este retraso puede deberse al tiempo necesario para la incorporación de la energía obtenida del alimento a los tejidos, mismos que transfieren e incorporan esta energía a la producción y sustento de la gametogénesis, por lo que se presenta una relación directa entre la cantidad de energía de los tejidos y la fecundidad potencial, sin embargo, se detectó que ésta transferencia no es siempre igual y obedece a las estrategias de vida del organismo de acuerdo con las condiciones ambientales prevalecientes, pues se encontró una relación negativa entre la energía contenida en los tejidos y la fecundidad potencial durante el pico reproductivo de invierno, lo que indica una movilización de la energía de los tejidos hacia la producción de gametos (estrategia conservadora). Por otro lado, durante la primavera se observa una relación positiva entre la cantidad de energía contenida en los tejidos y la fecundidad potencial, lo que muestra un aumento energético tanto del tejido somático como germinal lo cual está relacionado con la amplia disponibilidad de alimento que se presenta durante esta temporada (estrategia oportunista) (Figs. 48 y 49). Finalmente la fecundidad potencial está relacionada de forma exponencial positiva con un retraso de un mes con el reclutamiento (considerando el tiempo de vida de los juveniles reclutados en el colector), dicho retraso puede estar asociado con el tiempo de vida libre de *P. sterna*, que pasa antes

de su fijación en los sustratos colectores. Esta secuencia se traduce en una serie de factores determinantes para la dinámica del reclutamiento de la especie.

9. Conclusiones

- La mayor captura de juveniles de *P. sterna* en la Bahía de La Paz se obtuvo para las temporadas diciembre–marzo y marzo–junio durante los dos años de estudio (2008–2010). Siendo la estación de El Mogote y la estación de Isla Gaviota las estaciones de recolecta más importantes en relación al mayor número de reclutas obtenidos.
- La captura de juveniles de *P. sterna* es mayor en el fondo y menor en la superficie, afectado por la negativamente por la cantidad de competidores en la columna de agua.
- La presencia de *Argopecten ventricosus* y la ausencia de la especie *Pinctada mazatlanica* y *Pina rugosa*, son indicadores biológicos del éxito en el reclutamiento de *P. sterna* en los colectores.
- La depositación de las marcas de crecimiento están asociadas a un evento cíclico diario en los juveniles de *P. sterna*, indicando que es posible utilizar las microbandas de crecimiento de la estructura interna de la concha de para la determinación de la edad en organismos de mayores de 25 mm de altura.
- El modelo hidrodinámico permitió observar el efecto del reclutamiento endógeno en la conectividad de las larvas en las poblaciones de *P. sterna* en la Bahía de La Paz.
- La dispersión de las larvas de *P. sterna* en la Bahía de la Paz es determinada en gran medida por las corrientes prevalecientes en la zona principalmente durante los meses fríos del año.
- La fecundidad potencial de los reproductores de *P. sterna* indicó que los periodos de mayor producción de ovocitos en la gónada son de diciembre a marzo, en coincidencia con las temperaturas más bajas del año, con valores de $1.8\text{--}2.5 \times 10^6$ ovocitos por individuo durante el invierno y de $2.1\text{--}2.6 \times 10^6$ ovocitos por individuo en la primavera.

- La temperatura tiene una relación negativa con retraso de un mes con la energía contenida en el seston. Esta relación y el retraso encontrado posiblemente son resultado de procesos de surgencia que son comunes en la zona.
- La energía contenida en el seston tiene una relación positiva con la energía contenida en los tejidos de los reproductores, con un retraso de un mes que especulamos es el tiempo necesario para la incorporación de la energía obtenida del alimento a los tejidos.
- La energía contenida en los tejidos tiene una relación negativa durante el pico reproductivo de invierno y positiva en el pico reproductivo de primavera, lo cual es consecuencia de una estrategia reproductiva mixta, de uso de reservas en invierno y de transferencia de energía directa en verano.
- Finalmente la fecundidad potencial tiene una relación exponencial retrasada de un mes con la cantidad de juveniles reclutados, retraso que puede estar asociado con el tiempo de vida libre de *P. sterna* y el tiempo de vida en el colector.

10. Literatura citada

- Ajana, A. M. 1979. Preliminary investigation into some factors affecting the settlement of the larvae of the mangrove oyster *Crassostrea gasar* (Adanson) in The Lagos Lagoon. *Malacologia*. 18: 271–275.
- Alagarswami, K., Dharmaraj, S., Chellam, A., Velayudhan, T. S. 1989. Larval and juvenile rearing of black-lip pearl oyster, *Pinctada margaritifera* (Linnaeus). *Aquaculture*. 76: 43–56.
- Alagarswami, K., Dharmaraj, S., Velayudhan, T. S., Chellam, A., Victor, A.C.C., Gandhi, A. D. 1983. Larval rearing and production of spat of pearl oyster *Pinctada fucata* (Gould). *Aquaculture*. 34: 287–301.
- Aldana-Avilés, C., Monteforte, M. 1995. Spat collection, growth and survival of pearl oyster *Pteria sterna* under extensive culture conditions in Bahía de La Paz, South Baja California, Mexico. En: *Aquaculture'95*, San Diego, California, febrero 1–4. Libro de Resúmenes, World Aquaculture Soc. 48–49.
- Aldana-Avilés, C. 1998. Evaluación de la captación de semilla, crecimiento y supervivencia de juveniles de *Pteria sterna* (Gould, 1851), en tiempos diferentes de preengorda, en El Merito, Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, BCS.
- Ambrose, G. W., Peterson, H. C., Summerson, C. H., Lin, J. 1992. Experimental test of factors affecting recruitment of bay scallop (*Argopecten irradians*) to spat collectors. *Aquaculture*. 108: 67–86.
- Ansell, A. D. 1974. Seasonal changes in biochemical composition of the bivalve *Chlamys septemradiata* from the Clyde Sea area. *Mar. Biol.* 25: 85–99.

- Araya-Núñez, O. 1988. Embryonic and larval development, larval rearing, juvenile growth, gonad maturity and induction of spawning in the West American Pearl oyster *P. sterna* (Gould). M. Sc. Thesis, Stockholm University, Sweden, 30 pp.
- Araya-Núñez, O., Ganning B., Bückle-Ramírez, F. 1991. Gonad maturity, induction of spawning, larval breeding and growth in the American pearl-oyster (*Pteria sterna* Gould). Calif. Fish. and Game. 77 (4): 181–193.
- Araya-Núñez, O., Ganning, B., Bückle-Ramírez, F. 1995. Embryonic development, larval culture, and settling of American pearl-oyster (*Pteria sterna*, Gould). Calif. Fish and Game. 81: 10–21.
- Arellano-Martínez, M., Racotta, I. S., Ceballos-Vázquez, B. P., Elorduy-Garay, J. F. 2004. Biochemical composition, reproductive activity and food availability of the lion's paw *Nodipecten subnodosus* in the Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur, Mexico. J. Shellfish Res. 23: 15–23.
- Arizmendi-Castillo, E. 1996. Ciclo reproductivo de las ostras perleras *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) y *Pteria sterna* (Gould, 1851) (Pteriidae), en el área de Guaymas, Sonora, México. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITEMS), Monterrey, México.
- Arnaud-Haond, S., Blanc, F., Bonhomme, F., Monteforte, M. 2005. Recent foundation of Mexican populations of pearl oysters (*Pteria sterna*) revealed by lack of genetic variation on two mitochondrial genes. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 85, 363–366.
- Atlan, G., Balmain, N., Berland, S., Vidal, B., López, E. 1997. Reconstruction of human maxillary defects with nacre powder: histological evidence for bone regeneration. Acad.Sci.Paris, Sciences de la vie/Life Sciences. 320: 253–258.
- Atlan, G., Delattre, O., Berland, S., LeFaou, A., Nabias, G., Cot, D., López, E. 1999. Interface between bone and nacre implants in sheep. Biomaterials. 20: 1017–1022.

- Barber, B. J., Blake, N. J. 1981. Energy storage and utilization in relation to gametogenesis in *Argopecten irradians concentricus* (Say). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 52: 121–134.
- Barber, B. J., Blake, N. J. 1983. Growth and reproduction of the bay scallop, *Argopecten irradians* (Lamarck) at its Southern distributional limit. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 66: 247–256.
- Baber, B. J. Blake, N. J. 1991. Reproductive physiology. En: Shumway, S.E. Ed., *Scallops: Biology Ecology and Aquaculture*. 1a Edición, Elsevier, Amsterdam. 378–428.
- Baqueiro-Cárdenas, E. 1984. Status of molluscan aquaculture on the Pacific coast of Mexico. *Aquaculture*. 39: 83–93.
- Barrios-Ruiz, D. 1997. Estudios de crecimiento y alimentación de la almeja mano de león *Lyropecten subnodosus* (Sowerby 1835) en la bahía de La Paz, B. C. S. México. Tesis de Biología. UAEM. Toluca. México. 70 pp.
- Bayne, B. L. 1976. Aspects of reproduction in bivalve mollusks. En: Wiley, M. (Ed.), *Estuarine Processes*, Vol. 1. Academic Press, Londres, 432–448.
- Bayne, B. L., Bubel, A., Gabbott, P. A., Livingstone, D. R., Lowe, D. M., Moore, M. N. 1982. Glycogen utilization and gametogenesis in *Mytilus edulis* L. *Mar. Biol. Lett.* 3: 89–105.
- Bervera-León, H. 2002. Distribución y abundancia espacio-temporal de la semilla de *Pinctada mazatlanica* (Bivalvia: Pteridae) en la Bahía de La Paz, Baja California Sur México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 122 pp.
- Besnard, J. Y. 1991. Seasonal variations in the lipids and fatty acids on the female gonad of the scallop *Pecten maximus* (Linnaeus, 1758) in the Bay of Seine (French Channel). En: Shumway, S.E., Sandifer, P.A. (Eds), *An International Compendium of Scallops Biology and Culture*. World Aquac. Soc. 74–86.
- Blight, E., Dyer, W. J. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*. 37:911–917.

- Breitburg, D. L. 1985. Development of a subtidal epibenthic community: factors affecting species composition and the mechanism of succession. *Oecologia*. 65: 173–184.
- Britton, G. 1983. *The Biochemistry of Natural Pigments*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Brusca, R. 1980. *Common intertidal invertebrates of the Gulf of California*. 2da. Ed. The University of Arizona Press. Tucson, Arizona. USA. 513 pp.
- Bückle-Ramírez, L. F., Voltolina-Lobina, D., Morales-Guerrero, E., Valenzuela-Buriel, F. 1992. Spat settlement and growth of *Pteria sterna* (Gould) (MOLLUSCA, BIVALVIA) in Bahía de Los Ángeles, Baja California, Mexico. *Trop. Ecol.* 33: 137–147.
- Bourne, N., Smith, D. W. 1972. The effect of temperature on the larval development of the horse clam, *Tresus capax* (Gould). *Proc. Natl. Shellfish Assoc.* 62: 35–38.
- Buschmann, A. H. 2001. *Impacto ambiental de la acuicultura: El estado de la investigación en Chile y el mundo*. Terram Publicaciones. Chile. 67 p.
- Cáceres-Martínez, C. 1982. *Composition en Glucides, protéines, lipides et en Pigments totaux chez L'algue monocellulaire Tetraselmis suecica, en culture Semicontinue*. Tesis DEA. Université de Bretagne Occidentale. Faculté des Sciences et Techniques de Brest. 25 pp.
- Cáceres-Martínez, C., Ruíz-Verdugo, C., Ramírez-Filippini, D. 1992a. Experimental collection of pearl Oyster, *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna*, spat on a filament substrate. *J. Acuaculture Soc.* 23:232–240.
- Cáceres-Martínez, C., Cortés-Salazar, J., Chávez-Villalba, J. 1992b. Reclutamiento de juveniles de moluscos bivalvos en Baja California Sur, México. Taller México-Australia sobre reclutamiento de recursos bentónicos de Baja California, 25–29 noviembre 1991, La Paz, B.C.S., Memorias, Sepesca-IPN, 151–165.

- Cáceres-Martínez, C., Chávez-Villalba, J., Barrios-Ruiz, D., 2001, Manual de buenas prácticas para el cultivo de moluscos bivalvos, SAGARPA, México, 31p
- Cáceres-Puig, J. I. 2007. Dinámica anual del esfuerzo reproductivo de *Pteria sterna* (Gould, 1851) en la Bahía de La Paz, BCS, México. Tesis de Maestría. CIBNOR. México. 99 pp.
- Cáceres-Puig, J. I., C. Cáceres-Martínez, P. E. Saucedo. 2009. Annual reproductive effort of Pacific winged pearl oyster *Pteria sterna* and its relation with the timing for planning pearl seeding operations. J. Shellfish Res. 28(3):471–476.
- Calabrese, A. 1969. Individual and combined effects of salinity and temperature on embryos and larvae of the coot clam, *Mulinia lateralis* (SAY). Biol. Bull. 137(3):417–428.
- Cantú-Cantú, P. 2003. Crecimiento y supervivencia en fase de preengorda de la concha nácar (*Pteria sterna* Gould, 1851) en sistema de cultivo extensivo de suspensión bajo diferentes densidades con semilla silvestre en la Bahía de Acapulco, Guerrero (México); Julio de 2001 a enero de 2002. En: II Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura, Acapulco, Guerrero, México, pp. 161–176.
- Cariño, M. M., Cáceres-Martínez, C. 1990. La Perlicultura en la Península de Baja California a principios de siglo. Serie Científica, UABCS. (No. Esp. AMAC) 1: 1–6.
- Cariño, M. M., Monteforte, M. 1995. History of pearling in the Bay of La Paz, South Baja California, Mexico (1533-1914). *Gems & Gemology*. 31: 88–108.
- Cariño, M. M., Alameda, A. 1998. Historia de las relaciones hombre espacio 1500–1940. Capítulo I. En: Diagnóstico Ambiental de Baja California Sur. NIPARAJA, UABCS, FUNDEA (Eds.), La Paz, BCS, México.
- Casse, N. 1995. Elements d'embryologie de *Pecten Maximus L.* (Mollusque, Bivalve). Thèse de Doctorat d'Université. Université de Bretagne Occidentale. France. 95 pp.

- Castro-Longoria, R., Grijalva-Chon, J. M. 1991. Variabilidad espacio-temporal de nutrientes y seston en la laguna costera La Cruz, Sonora. *Cienc. Mar.* 17: 83–97.
- Comely, C. A. 1974. Seasonal variation in the flesh weights and biochemical content of the scallop *Pecten maximus* (L.) in the Clyde Sea Area. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 35: 281–295.
- Comfort, A. 1949. Acid-soluble pigments of the shells. I. The distribution of porphyrin fluorescence in molluscan shells. *Biochem. J.* 44: 111–117.
- Couturier, C. Y., Newkirk, G. F. 1991. Biochemical and gametogenic cycles in scallops, *Placopecten magellanicus* (Gmelin, 1791), held in suspension culture. En: Shumway, S.E., Sandifer, P.A. (Eds.), *An International Compendium of Scallops Biology and Culture*. World Aquac. Soc. 107–117.
- Cruz-Orive, L. M. 1980. On the estimation of particle number. *J. Microscopy.* 120: 15-27.
- Chávez-Villalba, J. 2001. Conditionnement experimental de l'hôte *Crassostrea gigas*. Tesis de doctorado, Université de Bretagne Occidentale, Brest Francia; especialidad Oceanografía Biológica, 26 de noviembre 2001.
- Chávez-Villalba, J., Barret, J., Mingant, C., Cochard, J. C., Le Penec, M. 2002. Autumn conditioning of the oyster *Crassostrea gigas*: a new approach. *Aquaculture.* 210: 171-186.
- Day, R. W., Williams, M. C., Hawkes, G. P. 1995. A comparison of fluorochromes for marking abalone shells. *Mar. Freshw. Res.* 46: 599–605.
- De Las Heras-Saldaña, S., González-Rivera, L., Loeza-Quintana, T., Sánchez-Tapia, I., Zaleta-Pinet, D., Cáceres-Puig, J. I., Cáceres Martínez C. 2007. Description for the embryological development of *Pteria sterna* (Gold, 1851) (Bivalvia: Pteriidae). In: *Book of abstracts of the 40th annual meeting of western society of malacologists*, 25 to 28 of July La Paz Baja California Sur Mexico: 98.

- Del Río-Portilla, A. D., Re-Araujo, A. D., Voltolina, D. 1992. Growth of the pearl oyster *Pteria sterna* under different thermic and feeding conditionions. *Mar. Ecol.* 89: 221–227.
- Deksheniaks, M. M., Hofmann, E. E., Klinck, J. M., Powell, E. N. 2000. Quantifying the effects of environmental change on an oyster population: a modeling study. *Estuaries* 23(5): 593-610.
- Desai, K., Hirani, G., Nimavat, D. 1979. Studies on the pearl oyster *Pinctada fucata* (Gould): Seasonal biochemical changes. *Ind. J. Mar. Sci.* 8: 49–50.
- Diario Oficial de la Federación 1939. Decreto de veda permanente sobre la pesca de ostras perleras. Gobierno Federal, México, 2 pp.
- Diario Oficial de la Federación 1994. Lista de especies terrestres y acuáticas en las categorías de: peligro de extinción, amenazadas, raras y bajo protección especial. Gobierno Federal, México, 2 pp.
- Diario oficial de la nación 06 de marzo 2002. NOM-059-ECOL-2001, Norma oficial mexicana protección ambiental especies nativas de México de flora y fauna silvestre-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. Gobierno Federal, México, 2 pp
- Doroudi, M., Southgate, P. C. 2003. Embryonic and larval development of *Pinctada margaritifera* (Linnaeus, 1758). *Molluscan Res.* 23: 101–107.
- Dubois, M., Guilles, K., Hamilton, J., Rebers, P., Smith, F. 1956. Calorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28 (3):350–356.
- Enright, C. T., Newkirk, G. F., Craigie, J. S. Castell, J. D. 1986. Evaluation of phytoplankton as diets for juvenile *Ostrea edulis* L. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 96: 1–13.
- Epp, J., Bricelj, V. M., Malouf, R. E. 1988. Seasonal partitioning and utilization of energy reserves in two age classes of the bay scallop *Argopecten irradians irradians* (Lamark). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 121: 113–136.

- Evans, J. W. 1972. Tidal growth increments in the cockle *Clinocardium nuttalli*. *Science*. 176: 416–417.
- Evans, J. W. 1975. Growth and micromorphology of two bivalves exhibiting non-daily growth lines. In: Rosenberg Jr., G. D., Runcorn, S. K. (Eds.). *Growth rhythms and the history of the earth's rotation*. John Wiley & Sons. London. 119–134.
- Farrow, G. E. 1972. Periodicity structures in the bivalve shell: experiments to establish growth controls in *Cerastoderma edule* from the Thames Estuary. *Paleontology*. 14: 571–588.
- Farrow, G. E. 1975. Periodicity structures in the bivalve shell: analysis of stunting in *Cerastoderma edule* from the Burry inlet (South Wales). *Paleontology*. 15: 61–72.
- Fassler, R. C. 1991. Farming jewels: the aquaculture of pearls. *Aquac. Mag.* (Sep/Oct): 34–52.
- Fassler, R. C. 1995. Farming jewels: new development in pearl farming. *World Aquac.* 26: 5–10.
- Félix-Pico, E. F., Avilés-Quevedo, A., Mazón-Suástegui, M. 1977. Informe final del programa de moluscos en Bahía de La Paz. Dirección de Acuicultura, Departamento de Pesca, La Paz, Baja California Sur, México, 114 pp.
- Fisher, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. E., Niem, V. H. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Volumen I. Plantas e invertebrados. Roma. 646 p.
- Gabbott, P. A. 1975. Storage cycles in marine bivalve molluscs: a hypothesis concerning the relationship between glycogen metabolism and gametogenesis. En: Barnes, H. (Ed.), *Proc. 9th Eur. Mar. Biol. Symp.* Aberdeen University Press, Escocia, 191–211.
- Gabbott, P. A. 1976. Energy metabolism. En: Bayne, B.L. (Ed.), *Marine Mussels: Their Ecology and Physiology*. Cambridge University Press, Cambridge, 293–355.

- Gabbott, P. A. 1983. Development and seasonal metabolic activities in marine molluscs. En: Hochachka, P.W. (Ed.), *The Mollusca*, Vol. 2, Environmental Biochemistry and Physiology. Academic Press, Nueva York, 165–217.
- Gaytán-Mondragón, I., Cáceres-Martínez, C., Tobías-Sánchez, M. 1993; Growth of the pearl oysters *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* in different culture structures at La Paz Bay, Baja California Sur, México. *J. World Aqua. Soc.* 24: 541–546.
- Goodwin, D. H., Flessa, K. W., Schöne, B. R., Dettman, D. L. 2001. Cross-calibration of daily growth increments, stable isotope variation and temperature of California bivalve mollusk *Chione cortezi*: implications for paleoenvironmental analysis. *Palaios* 16: 387–398.
- Gray, J. S. 1974. Animal sediment relationships. *Oceanographic marine biology annual review*. In: George Allen (ed) and Unwin Ltd, London. 12: 223–261.
- Grevis, M. H., Sims N. S. 1992. Biology and culture of pearl oysters (Bivalvia: Pteriidae). Overseas Development Administration of the United Kingdom. International Center for Living Aquatic Resources Management. Manila, Philippines: 49 pp.
- Guilbault, G. G. 1990. *Practical Fluorescence*, 2nd ed. Marcel Dekker, New York.
- Hadfield, M. 1978. Metamorphosis in marine mollusca larvae: an analysis of stimulus and response. Biomedical Press, Elsevier/North Holland. 165–175.
- Halver, J. E. 1972. *Fish Nutrition*. Academic Press. New York. 713 pp.
- Haws, M. 2002. *The basics of pearl farming: A Layma's Manual*. Center of Tropical and Subtropical Aquaculture. Hawaii, USA. Special Publication. 127 pp.
- Heilmayer, O., Honnen, C., Jacob, U., Chiantore, M., Cattaneo-Vietti, R., Brey, T. 2005. Temperature effects on summer growth rates in the Antarctic scallop, *Adamussium colbecki*. *Polar Biol.* 28: 523–527.

- Hernández-Díaz, A., Bückle-Ramírez, L. 1996. Ciclo gonádico de *Pteria sterna* (Gould, 1852) (Mollusca: Bivalvia) en Baja California, México. *Cienc. Mar.* 22: 495–509.
- Hernández-Olalde, L., García-Domínguez, F., Arellano-Martínez, M., Ceballos-Vázquez, B. P. 2007. Reproductive cycle of the Pearl oyster *Pteria sterna* (Pteriidae) in the Ojo de Liebre lagoon, B.C.S., Mexico. *J. Shellfish Res.* 26(2):543–548.
- Herrmann, M., Lepore, M. L., Laudien, J., Arntz W. E., Penshaszadeh P. E. 2009. Growth estimations of the Argentinean wedge clam *Donax hanleyanus*: A comparison between length-frequency distribution and size-increment analysis. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 379: 8–15.
- House, M. R., Farrow, G. E. 1968. Daily growth banding in the shell of the cockle *Cardium edule*. *Nature Lond* 219: 1384–1386.
- Ishii, R., Sekiguchi, H., Jinnai, Y. 2005. Vertical distributions of larvae of the clam *Ruditapes philippinarum* and the striped horse mussel *Musculista senhousia* in Eastern Ariake Bay, Southern Japan. *J. Ocean.* 61: 973–978.
- James, M. K., Armsworth, P. R., Mason, L. B., Bode, L. 2002. The structure of reef fish metapopulations: Modeling larval dispersal and retention patterns. *Proc. Biol. Sci.* 269: 2079–86.
- Jiménez, A., Marinone S. G., Parés-Sierra, A. 2005. Effect of the spatial and temporal variability of winds on the circulation in the Gulf of California. *Cienc. Mar.* 31(2): 357–368.
- Jiménez-Illescas, A. R. 1996. Análisis de procesos barotrópicos y baroclínicos en La Bahía de La Paz, BCS. Tesis de Doctorado. UNAM. 212 pp.
- Kaehler, S., McQuaid, C. D. 1999. Use of the fluorochrome calcein as an in-situ growth marker in the brown mussel *Perna perna*. *Mar. Biol.* 133: 455–460.
- Kang, C. K., Park, M. S., Lee, P. Y., Choi, W. J., Lee, W. C. 2000. Seasonal variations in condition, reproductive activity, and biochemical composition of the Pacific oyster,

- Crassostrea gigas* (Thunberg), in suspended culture in two coastal bays of Korea. J. Shellfish Res. 19: 771–778.
- Kawecki, T. J., Ebert, D. 2004. Conceptual issues in local adaptation. Ecol. Lett 7: 1225–41.
- Keen, M., 1971. Sea shells of tropical west America. Marine Molluscs from Baja California to Peru. Stanford University Press, California USA. 1064 pp.
- Kiefert, L., McLaurin-Moreno, D., Arizmendi-Castillo, E., Hänni, H. A., Elen, S. 2004. Cultured pearls from the Gulf of California, Mexico. Gems & Gemology. 40: 26–38.
- Kuwatani, Y. 1965a. A study on the feeding mechanism of the Japanese pearl oyster *Pinctada martensii* (Dunker) with special reference to passage of charcoal particles in the digestive system. Bull. Japanese Soc. Sci. Fish. 31(10): 789–798.
- Kuwatani, Y. 1965b. On the anatomy and function of the stomach of the Japanese pearl oyster *Pinctada martensii* (Dunker). Bull. Japanese Soc. Sci. Fish. 31(10): 174–186
- Lamghari M., Almeida M. J., Berland S. Huet, H., Laurent A., Milet C., López E. 1999. Simulation of bone narrow cells and bone formation by nacre: *in vivo* and *in vitro* studies. Bone. 25: 91S–94S.
- Landman, N. H., Mikkelsen, P. M., Bieler, R., Bronson, B. 2001. Pearls: A Natural History. American Museum of Natural History and the Field Museum, Nueva York, Estados Unidos.
- Lechuga-Deveze, C. H., Bustillos-Guzman, J. J., Cortés-Guzmán, D. 1989. Proteínas y carbohidratos de la materia orgánica particulada fotosintética y no fotosintética en la costa occidental de Baja California Sur, México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México 16: 353–360.
- Levin, L. A., Becker, B., Fodrie, F., McMillan, P., Rasmussen, L., Cornuelle, B., Dibacco, C., Mullineaux, L., Strasser, C., Lerczak, J. 2005. Connectivity of bivalve

- populations: assessing sources of larval recruits. International Ocean Research Conference. June, Paris, France p. 111.
- Levin, L. A. 2006. Recent progress in understanding larval dispersal: new directions and digressions. *Integ. Comp. Biol.* 46: 282–297.
- Lodeiros, C., Rengel, J., Guderley, H. E., Nusetti, O., Himmelman, J. M. 2001. Biochemical composition and energy allocation in the tropical scallop *Lyropecten (Nodipecten) nodosus* during the months leading up to and following the development of gonads. *Aquaculture*. 199: 63–72.
- Lonne, O. J., Gray, J. S. 1988. Influence of tides on microgrowth bands in *Cerastoderma edule* from Norway. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 42: 1–7.
- Lowry, O., Rosenbroug, N., Farr, A., Randal, R. 1951. Protein measurements with the folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry* 193: 265–275.
- Lucas, A., Chebab-Chalabi, L., Aldama-Aranda, D. 1986. Pasaje de l'endotrophie à l'exotrophie chez les larves de *Mytilis edulis*. *Oceanol. Acta.* 9: 97–103.
- Luna-González, A. C., Cáceres-Marínez, C., Zúñiga-Pacheco, C. López-López, S., Ceballos-Vázquez, B. P. 2000. Reproductive cycle of *Argopecten ventricosus* (Sowerby 1842) (Bivalvia: Pectinidae) in the Rada del puerto de Pichilingue, BCS, México and its relation to temperature, salinity, and quantity of available food. *J. Shellfish Res.* 19: 107–112.
- MacDonald, B. A., Thompson, R. J. 1985. Influence of temperature and food availability on the ecological energetics of the giant scallop *Placopecten magellanicus*. II. Reproductive output and total production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 25: 295–303.
- MacDonald, B. A., Thompson, R. J., Bayne, B. L. 1987. Influence of temperature and food availability on the ecological energetics of the giant scallop *Placopecten magellanicus* IV. Reproductive effort, value and cost. *Oecologia.* 72: 550–556.

- Malara, G., Charra, R. 1972. Dosage des glucides particuliers du phytoplancton selon la méthode de Dubois. Notes de travail No. 6. Univ. Paris VI, Station Zoologique de Villefranche-sur-Mer. France. 7pp.
- Marinone, S. G. 2003. A three dimensional model of the mean and seasonal circulation of the Gulf of California. *J. Geophys. Res.*, 108(C10), 3325.
- Marinone, S. G., Parés-Sierra, A., Castro, R., Mascarenhas, A. 2004. Correction to “Temporal and spatial variation of the surface winds in the Gulf of California”. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L10305.
- Martínez, G. 1991. Seasonal variation in biochemical composition of three size classes of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* Lamarck, 1819. *The Veliger*. 34: 335–343.
- Martínez, G., Mettifogo, L. 1998. Adductor muscle and mobilization of trophic material for gametogenesis of the scallop *Argopecten purpuratus* Lamarck. *J. Shellfish Res.* 17: 113–116.
- Martínez-Quiñonez, F., Gueorguiev-Nikolov, R. 2001. Mercados de exportación para perla cultivada sudcaliforniana. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, BCS, México.
- McAnally-Salas, L., Valenzuela-Espinoza, E. 1990. Crecimiento y supervivencia de las larvas de la ostra concha nácar, *Pteria sterna*, en condiciones de laboratorio. *Cienc. Mar.* 16: 29–41.
- McLaurin-Moreno, D. 1997. Growth and mortality of pearl oysters, *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna*, at different stocking densities. En: World Aquaculture '97. Libro de Resúmenes, Seattle, Washington, Estados Unidos, Febrero 19–23, 1997.
- McLaurin-Moreno D., Arizmendi-Castillo, E., Farrell, S., Elen, S. 1998. Curso de Identificación y Evaluación de Perlas. Instituto de Estudios Superiores de Monterrey A. C. y Perlas de Guaymas, Guaymas, Sonora, México.

- Minaur, J. 1969. Experiments on the artificial rearing of the larvae of *Pinctada maxima* (Jameson) Lamellibranchia. Aust. J. Mar. Freshwat. Resour. 20: 175–187.
- Monteforte, M. 1990. Ostras perleras y perlicultura: situación actual en los principales países productores y perspectivas para México. Serie Cient. UABCS. (Núm. Esp. AMAC) 1: 13–18.
- Monteforte, M. 1991. Las perlas, leyenda y realidad: Un proyecto actual de investigación científica. Panorama. 38: 28–35.
- Monteforte, M., Cariño, M. 1992. Exploration and evaluation of natural stocks of pearl oysters *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* (Bivalvia: Pteriidae): La Paz Bay, South Baja California, Mexico. Ambio. 21(4): 314–320.
- Monteforte, M., Aldana, C. 1994. Spat collection, growth and survival of pearl oyster *Pteria sterna* under extensive culture conditions in Bahía de La Paz, South Baja California, México. En: Pearls '94, Libro de Resúmenes, Int. Pearl Conf. Honolulu, Hawaii, Estados Unidos, Mayo 14-19, 1994. J. Shellfish Res. 13: 342–343.
- Monteforte, M., García-Gasca, A. 1994. Spat collection studies on pearl oysters *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* (Bivalvia: Pteriidae) in Bahía de La Paz, South Baja California, México. Hydrobiología. 291: 21–34.
- Monteforte, M., Wright, H. 1994. Ecology of pearl oyster spat collection in Bahía de La Paz: South Baja California, Mexico: temporal and vertical distribution, substrate selection, associated species. Pearls '94, International Pearl Conference, Honolulu, Hawaii, May 14-19. Abstracts of papers. J. Shellfish Res. 13(1):342–343.
- Monteforte, M., Kappelman-Piña, E., López-Espinosa, B. 1995. Spatfall of pearl oysters *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* (Bivalvia:Pteriidae) in Bahía de La Paz, South Baja California, México. Aquac. Res. 26: 497–511.

- Monteforte, M. 1996. Cultivo de ostras perleras y perlicultura En: Estudio de potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. FAO-UABCS-CIBNOR-CICIMAR-CRIP (Eds.), La Paz, Baja California Sur, México, 571–613.
- Monteforte, M. 2004. Ecología, biología y cultivo extensivo de la madreperla de Calafia, *Pinctada mazatlanica* (Hanley 1856), y la concha nácar arcoiris, *Pteria sterna* (Gould 1852) en Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis Doctoral, La Habana, Cuba.
- Monteforte, M., Bervera, H., Ramírez, J. J., Saucedo, P. E. 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. *Aquac. Int.* 14 (13): 391–407.
- Moran, A. L. 2000. Calcein as a marker in experimental studies newly-hatched gastropods. *Mar Biol* 137: 893–898.
- Morvan, C., Ansel, A. D. 1988. Stereological methods applied to reproductive cycle of *Tapes rhomboides*. *Marine Biology*, 97:355–364.
- Mouriès, L. P., Almeida, M. J., Milet, C., Berland, S., López, E. 2002. Bioactivity of nacre water-soluble organic matrix from the bivalve mollusk *Pinctada maxima* in three mammalian cell types: fibroblasts, bone marrow stromal cells and osteoblasts. *Com. Biochem. Physiol. (Part B)* 132: 217–229.
- Murillo, J. 1987. Algunas características paleoceanográficas y cuerpos de agua inferidos a partir de registros micropaleontológicos (Radiolaria) en la Bahía de La Paz, B.C.S. México. Tesis profesional, UABCS. 68 pp.
- Nayar, S., Gowda, G., Gupta, T. 2000. Spatial and temporal variations in hydrographical parameters in Talapady Lagoon, southwest coast of India. *Indian J. Mar. Scien.* 29 (1): 77–79.

- Newell, I. R. E., Bayne, B. L. 1980. Seasonal changes in the physiology, reproductive condition and carbohydrate content of the cockle *Cardium* (= *Cerastoderma*) *edule* (Bivalvia: Cardiidae). *Mar. Biol.* 56: 11–19.
- North, E. W., Schlag, Z., Hood, R. R., Li, M., Zhong, L., Gross, T., Kennedy, V. S. 2008. Vertical swimming behavior influences the dispersal of simulated oyster larvae in a coupled particle-tracking and hydrodynamic model of Chesapeake Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 359: 99–115.
- O'Connor, W. A., Nell, J. A., Diemer, J. A. 1992. The evaluation of twelve algal species as food for juvenile Sydney rock oysters *Saccostrea commercialis* (Iredale and Roughley). *Aquaculture.* 108: 277–283.
- Ota, S. 1957. Notes on the identification of free swimming larvae of pearl oyster (*Pinctada martensii*) *Bull. Natl. Pearl Res. Lab.* 2: 128–132.
- Osman, R. W. 1977. The establishment and development of a marine epifaunal community. *Ecol. Monogr.* 47: 37–63.
- Pannella, G., MacClintock, C. 1968. Biological and environmental rhythms reflected in molluscan shell growth. *J. Paleontol.* 42: 64–80.
- Pazos, A. J., Román, G., Acosta, C. P., Abad, M., Sánchez, J. L., 1997. Seasonal changes in condition and biochemical composition of the scallop *Pecten maximus* L. from suspended culture in the Ria de Arousa (Galicia, N.W. Spain) in relation to environmental conditions. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 211: 169–193.
- Peterson, C. H., Summerson, H. C. 1992. Basin-scale coherence of population dynamics of an exploited marine invertebrate, the bay scallop: implications of recruitment limitation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 90: 257–272.
- Peterson, C. H., Summerson, H. C., Leuttich, R. A. Jr. 1996. Response of bay scallops to spawner transplants: a test of recruitment limitation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 132: 93–107.

- Pouvreau, S., Bacher, C., Héral, M. 2000. Ecophysiological model of growth and reproduction of the black pearl oyster, *Pinctada margaritifera*, in the planktonic food web of Takapoto lagoon (French Polynesia). *Aquaculture*. 186:117–144.
- Quayle, D. B., Newkirk, G. F. 1989. Farming bivalve molluscs. Ed. Elsevier, Netherlands.
- Racotta, I. S., Ramírez, J. L., Avila, S., Ibarra, A. M. 1998. Biochemical composition of gonad and muscle in the catarina scallop, *Argopecten ventricosus*, after reproductive conditioning under two feeding systems. *Aquaculture*. 163: 111–122.
- Racotta, I. S., Ramírez, J. L., Ibarra, A. M., Rodríguez-Jaramillo, C., Carreño, D., Palacios, E. 2003. Growth and gametogenesis in the lion-paw scallop *Nodipecten (Lyropecten) subnodosus*. *Aquaculture*. 217: 335–349.
- Rangel-Dávalos, D. C., Chávez-Villalba, V. J. 1994. Desarrollo científico y tecnológico de la madreperla y la concha nácar. Secretaría de Pesca, Gobierno del Estado de Baja California Sur, México.
- Rhoads, D. C., Pannella, G. 1970. The use of molluscan shell growth patterns in ecology and paleoecology. *Lethaia* 3: 143–161.
- Riascos, J. M., Guzmán, N., Laudien, J., Heilmayer, O., Oliva, M. 2007. Suitability of three stains to mark shells of *Concholepas concholepas* (Gastropoda) and *Mesodesma donacium* (Bivalvia). *J. Shellfish. Res.* 26: 43–49.
- Richardson, C. A. 1988. Tidally produced growth bands in the subtidal bivalve *Spisula subtruncata* (Da Costa). *J. Mollusc. Stud.* 54: 71–82.
- Robinson, W. E., Wehling, W. E., Morse, M. P., Leod, G. C. 1981. Seasonal changes in soft-body component indices and energy reserves in the Atlantic deep-sea scallop, *Placopecten magellanicus*. *Fish. Bull.* 79: 449–458.
- Rose, R. A., Baker, S. B. 1989. Research and development of hatchery and nursery culture for the pearl oyster, *Pinctada máxima*. FIRTA Project 87/82, Final Report. Fisheries Department of Western Australia, 36 pp.

- Rose, R. A., Baker, S. B. 1994. Larval and spat culture of the western Australian silver-or goldlip pearl oyster, *Pinctada maxima* Jameson (Mollusca): Pteriidae. Aquaculture. 126: 35–50.
- Rowley, R. J., Mackinnon, D. L. 1995. Use of the fluorescent marker calcein in biomineralisation studies of brachiopods and other marine organisms. Bull. Inst. Océanogr (Monaco) Spec. Issue. 14 (2): 111–120.
- Sastry, A. N., Blake, N. J. 1971. Regulation of gonad development in the bay scallop, *Aequipecten irradians* Lamark. Biol. Bull. 140: 274–282.
- Saucedo, L. P. 1995. Crecimiento, relaciones alométricas y reproducción de las ostras perleras *Pinctada mazatlanica* y *Pteria sterna* (Bivalvia: Pteriidae) bajo condiciones de repoblamiento en El Merito, Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, México.
- Saucedo, P., Monteforte, M. 1997. Breeding cycle of pearl oyster *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* (Bivalvia: Pteriidae) at Bahia de La Paz, Baja California Sur, México. J. Shellfish Res. 16: 103–110.
- Saucedo, L. P. 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., Racotta, I., Villarreal, H., Monteforte, M. 2002. Seasonal changes in the histological and biochemical profile of the gonad, digestive gland, and muscle of the Calafia mother-of-pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) associated with gametogenesis. J. Shellfish Res. 21: 127–135.
- Saucedo, P. E. 2006. Optimización de la tecnología para producción de semilla de ostras perleras en el laboratorio. Reporte Final, Proyecto Estratégico del Programa Acuicultura del CIBNOR, La Paz, B.C.S., 12 pp.

- Saucedo, P. E., Southgate, P. C. 2008. Reproduction, Development, and Growth. En: Southgate P.C., Lucas J.S. (Eds.). *The Pearl Oyster: Biology and Culture*. Cap. 5. Elsevier Science Publishers, Australia. 129–184.
- Schöne, B. R., Goodwin, D. H., Flessa, K. W., Dettman, D. L., Roopnarine, P. D. 2002. Sclerochronology and growth of the bivalve mollusks *Chione (Chionista) fluctifraga* and *Chione (Chionista) cortezi* in the northern Gulf of California, Mexico. *The Veliger*. 45: 45–54.
- Serrano-Guzmán, S., Salinas-Ordáz, D. 1993. Cultivo de larvas y producción de semilla de *Pteria sterna* (Bivalvia: Pteriidae) en un criadero comercial. *Rev. Inv. Cient.* 4: 81–90.
- Sevilla, M. L. 1969. Contribución al conocimiento de la madreperla *Pinctada mazatlanica* (Hanley 1856). *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* 30: 223–262.
- Sicard, M. T., Maeda-Martinez, A. N., Lluch-Cota, S. E., Lodeiros-Seijo, C., Roldán-Carrillo, L. M., Mendoza-Alfaro, R. 2006. Frequent monitoring of temperature: an essential requirement for site selection in bivalve aquaculture in tropical-temperate transition zones. *Aqua. Res.* 37: 1040–1049.
- Singh-Cabanillas, J., Bojórquez-Verastica, G., Meza-Domínguez, J. M. 1983. Resultados finales de las actividades de estudios de ostras perleras en la Bahía de La Paz (1981-1982). *Inf. Téc. Sría. De pesca, Del. Fed. Pesca B.C.S. (México)*, Oficina de Desarrollo Acuacultural. 44 pp.
- Sokal, R. R., Rohlf, F. J. 1981. *Biometry*, 2nd edition, W.H. Freeman, San Francisco, CA.
- Sotka, E. E. 2005. Local adaptation in host use among marine invertebrates. *Ecol. Lett.* 8: 59–448.
- Sumpton, W. D., Brown, I. W., Dredge, M. C. L. 1990. Settlement of bivalves spat on artificial collectors in a subtropical embayment in Queensland, Australia, *J. Shellfish Res.* 9 (1): 227–231.

- Sutherland, J. P., Ortega, S. 1986. Competition conditional on recruitment and temporary escape from predators on a tropical rocky shore. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 95: 155–166.
- Tanaka, Y., Kumeta, M., 1981. Successful artificial breeding of the silverlip pearl oyster, *Pinctada máxima* (Jameson). *Bull. Natl. Res. Inst., Aquaculture*. 2: 21–28.
- Taylor, A. C., Venn, T. J. 1979. Seasonal variation in weight and biochemical composition of the tissues of the queen scallop *Chlamys opercularis*, from the Clyde Sea area. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 59: 605–621.
- Thorson, G. 1966. Some factors influencing the recruitment and establishment of marine benthic communities. *Netherlands J. Sea Res.*, 3:267–93. In: J.W. Nybakken (ed) 1971. *Readings in marine ecology. Benthic Ecology*. Harper, Row Pubs. 147–173.
- Torres-Zepeda, M. G., Morales-Salvador, J., Peralta-Montes, L. 2002. Evaluación de la captación estacional y batimétrica de semilla de la madreperla *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) y la concha nácar *Pteria sterna* (Gould, 1851) en colectores artificiales en la Bahía de Acapulco (Guerrero, México). En: I Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura. 388–408.
- Treml, E. A., Halpin, P. N., Urban, D. L., Pratson, L. F. 2008. Modeling population connectivity by ocean currents, a graph-theoretic approach for marine conservation. *Landscape Ecol.* 23: 19–36.
- Vahl, O. 1980. Seasonal variations in seston and in the growth rate of the Iceland scallop, *Chlamys islandica* (O. F. Muller) from Bassfjord, 70°N. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 48: 195 – 204.
- Vedrasco, M. J., Checa, A. G., Kouchinsky, A. V. 2008. Nacre evolved independently in mollusks during an early surge in predator intensity around. In book of abstracts: 41 st Annual Meeting of the Western Society of Malacologist. California, USA. 105 pp.
- Vite-García, M. N. 2005. Variaciones estacionales en el uso de reservas energéticas entre los tejidos relacionados con la gametogenesis en las ostras perleras *Pteria sterna*

- (Gould, 1851) y *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856). Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur, México.
- Vite-García, M. N., Saucedo, P. E. 2008. Energy storage and allocation during reproduction of Pacific winged pearl oyster *Pteria sterna* (Gould, 1851) at Bahía de La Paz, Baja California Sur, Mexico. *J. Shellfish Res.* 27: 375–383.
- Volkman, J. K., Brown, M. R. 2005. Nutritional value of microalgae and applications. In: *Algal Cultures, Analogues of Blooms and Applications* (Subba-Rao, D. V. ed.), Science Publishers, Plymouth, U.K., pp. 407–457.
- Wallace, J. C. 1981/1982. The culture of the Iceland scallop, *Chlamys islandica* (O. F. Muller). I. Spat collection and growth during the first year. *Aquaculture.* 26: 311–320.
- Warner, R. R., Cowen, R. K. 2002. Local retention of production in marine populations: evidence, mechanisms, and consequences. *Bull. Mar. Sci.* 70: 9–245.
- Webb, K. L., Chu, F. E. 1983. Phytoplankton as a food source for bivalve larvae: In: *Biochemical and Physiological Approaches to Shellfish Nutrition* (Pruder, G. D., Langdon, C., Concklin, D. eds.), Proceedings of the 2nd International Conference on Aquaculture Nutrition. Louisiana State University, L. A. 272–291.
- Whyte, M. A. 1975. Time, tide and the cockle. In: Rosenberg, G. D., Runcorn, S. K. (Eds.) *Growth rhythms and the history of the earth's rotation.* John Wiley & Sons. London. 177–189.
- Widdows, S., Fieth, P., Worrall, C. M. 1979. Relationship between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.* 50: 195–207.
- Wright, H., Monteforte, M. 1995. Ecology of pearl oyster spat collection in Bahia de La Paz: South Baja California, Mexico: temporal and vertical distribution, substrate selection, associated species. *Aquaculture '95*, San Diego, California, USA. February 1–4, 1995. Book of Abstracts: 248.

- Wright, H. 1997. Ecología de la captación de semilla de madreperla *Pinctada mazatlanica* y concha nácar *Pteria sterna* (Bivalvia: Pteriidae), en la Isla Gaviota, Bahía de La Paz, BCS., México. Tesis de Maestría CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, 139 pp.
- Zandee, D. I., Kluytmans, J. H., Zurburg, W. 1980. Seasonal variations in biochemical composition of *Mytilus edulis* with reference to energy metabolism and gametogenesis. *Neth. J. Sea Res.* 14: 1–29.