



Instituto Politécnico Nacional

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas

Doctorado en Ciencias Marinas

Efecto de la mortalidad por pesca y la variabilidad climática en la pesquería del abulón

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS MARINAS

PRESENTA

M.C. GERMÁN PONCE DÍAZ

LA PAZ, B.C.S., MÉXICO

NOVIEMBRE DE 2004



CGP/13

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12 horas del día 14 del mes de JUNIO del 2004 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

**"EFECTO DE LA MORTALIDAD POR PESCA Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA
EN LA PESQUERÍA DEL ABULÓN**

Presentada por el alumno:

PONCE
Apellido paterno

DIAZ
materno

GERMÁN
nombre(s)

Con registro:

B	9	7	0	7	4	3
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS MARINAS

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

Director de tesis
PRIMER VOCAL

DR. DANIEL LLUCH BELDA

PRESIDENTE

DR. ERNESTO AARON CHAVEZ ORTIZ

SECRETARIO

DR. FRANCISCO ARREGUIN SANCHEZ

SEGUNDO VOCAL

DR. OSCAR EFRAIN HOLGUIN QUINONES

TERCER VOCAL

DR. SERGIO A. GUZMAN DEL PROO

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. FRANCISCO ARREGUIN SANCHEZ



I. P. N.
CICIMAR
DIRECCION

A Elisa y
Elisita

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Politécnico Nacional y al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, ejemplos de educación pública de México, la oportunidad que me han brindado para superarme académica y profesionalmente a través de la Licenciatura, la Maestría y ahora el Doctorado.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., y sus directivos por propiciar la superación de un servidor mediante el compromiso y apoyo para cursar el Doctorado en Ciencias con énfasis en el estudio de un recurso regional de relevante importancia para el sector social de la pesca. Al Programa de Ecología Pesquera del CIBNOR por su apoyo a través de los Proyectos que lleva a cabo.

Al CONACyT por el apoyo brindado para la realización de esta Tesis (# Reg. 119827). Al Programa Institucional de Formación de Investigadores del Instituto Politécnico Nacional igualmente un agradecimiento.

A mis tutores Dr. Sergio A. Guzmán del Prío, Dr. Oscar Holguín Quiñones, Dr. Ernesto A. Chávez Ortiz, Dr. Francisco Arreguín Sánchez y Dr. Daniel Lluch Belda, por sus atinadas sugerencias y asesoría durante el desarrollo del presente trabajo. A todos ellos mi sincero reconocimiento y aprecio.

Deseo hacer un agradecimiento especial al Dr. Daniel Lluch Belda, director y asesor de la presente Tesis, por su paciencia y confianza y particularmente por su apoyo y consejos brindados a lo largo de diferentes etapas de mi vida profesional.

A las Cooperativas Pesqueras “Leyes de Reforma” y “California de San Ignacio” ubicadas en Bahía Asunción, Baja California Sur, a la Federación Regional de Cooperativas Pesqueras “Baja California”, al M.C. Mario Ramade Villanueva y a Fernando López Salas, por el apoyo recibido para el desarrollo del presente trabajo.

Agradezco el invaluable apoyo y ayuda de amigos y compañeros de trabajo en distintas etapas de este proceso de superación académica: M.C. Jesús Bautista Romero, Ing. Edgar Yuen Sánchez, Ing. Carlos Pacheco Ayub, Dr. Salvador Lluch Cota, Dr. Daniel Lluch Cota, Dr. Sergio Hernández Vázquez, Biól. Teodoro Reynoso Granados, M.C. Pablo Monsalvo Spencer, Biól. Alejandra Mazariegos Villarreal, Dr. Gustavo Hernández Carmona, M.C. Pablo del Monte Luna, Gerardo Hernández García y Adriana Landa Blanco.

INDICE

RELACIÓN DE FIGURAS	vii
RELACIÓN DE TABLAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	6
2.1 Generalidades del recurso.....	6
2.1.1 Descripción biológica y ciclo de vida del abulón.....	6
2.1.2 Evolución y distribución mundial.....	8
2.1.3 Distribución ecológica.....	9
2.1.4 Alimentación.....	9
2.1.5 Crecimiento individual.....	10
2.1.6 Reproducción.....	11
2.1.7 Mortalidad.....	11
2.1.8 Reclutamiento.....	12
2.2 Modelos pesqueros aplicados a la evaluación de poblaciones en especies de <i>Haliotis</i> spp. que se distribuyen en costas mexicanas.....	14
3. HIPÓTESIS DE TRABAJO	21
4. OBJETIVOS	22
4.1 Objetivo general.....	22
4.2 Objetivos particulares.....	22
5. ÁREA DE ESTUDIO	23
6. MATERIAL Y MÉTODOS	25
6.1 Caracterización climática de la zona de Bahía Asunción, B.C.S.	25
6.2 Modelación Pesquera.....	28
6.2.1 Modelos Globales de Producción.....	30
a) Modelo de Schaefer.....	30

b) Modelo de Schaefer considerando el efecto de la variabilidad climática.	31
c) Modelo de Biomasa Dinámica.	32
d) Modelo de Biomasa Dinámica considerando el efecto de la variabilidad climática.	34
6.2.2 Modelos Estructurados.....	35
a) Modelo de Estructura por Edades.	35
b) Modelo de Estructura por Edades considerando el efecto de la variabilidad climática.	38
6.3 Análisis de Residuales.	40
6.4 Relaciones funcionales empíricas entre rendimientos pesqueros y variabilidad climática.	41
6.5 Colecta de postlarvas de abulón en estructuras artificiales.....	41
6.6 Crecimiento de juveniles de abulón azul simulando dos patrones de temperatura de mar.....	43
7. RESULTADOS	46
7.1 Caracterización climática de la zona de Bahía Asunción, B.C.S.	46
7.2 Modelación Pesquera.	48
7.2.1 Modelos Globales de Producción Excedente.....	50
a) Modelo de Schaefer.....	50
b) Modelo de Schaefer considerando el efecto de la variabilidad climática.	51
c) Modelo de Biomasa Dinámica.	52
d) Modelo de Biomasa Dinámica considerando el efecto de la variabilidad climática.	53
7.2.2 Modelos Estructurados.....	53
a) Modelo de Estructura por Edades.	53
b) Modelo de Estructura por Edades considerando el efecto de la variabilidad climática.	54
7.3 Análisis de Residuales.	55
7.4 Relaciones funcionales empíricas entre rendimientos pesqueros y variabilidad climática	57
7.5 Colecta de postlarvas de abulón en estructuras artificiales.....	58
7.6 Crecimiento de juveniles de abulón azul simulando dos patrones de temperatura de mar.....	59
8. DISCUSIÓN	61
9. CONCLUSIONES	96

10. BIBLIOGRAFÍA	100
11. ANEXOS (FIGURAS, TABLAS Y PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS DE GRADO)	112

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. Localización de Bahía Asunción, Baja California Sur, México.

Figura 2. Combinación de valores de K y L_{∞} utilizados en la modelación pesquera (punto en negrita). Transformación de valores a logaritmos de acuerdo a Pauly (1988). Esferas corresponden a combinaciones de K y L_{∞} para abulón azul en zonas abuloneras de México.

Figura 3. Colector artificial para la captación de postlarvas de abulón. a) Vista completa del colector; b) acercamiento a la superficie de fijación o láminas.

Figura 4. Temperaturas observadas en Bahía Asunción, B.C.S. durante años normal (promedio 1992-1996; línea punteada) y durante la presencia de El Niño (1997-1998; línea continua).

Figura 5. Tipos de macroalgas utilizadas como alimento de juveniles de abulón. a) *Macrocystis pyrifera* y b) *Eisenia arborea*.

Figura 6. a) Unidades experimentales; b) abulones con marcas y realización de biometrías.

Figura 7. Mediciones horarias y diarias en el área de Bahía Asunción, B. C. S.

Figura 8. a) Relación entre datos de termógrafo de registro continuo y datos de la estación de registro diario; b) relación entre datos de la Serie Douglas y los registros diarios de temperatura superficial del mar.

Figura 9. Ciclo circadiano de la temperatura de mar como promedio estacional. a) invierno; b) primavera; c) verano; d) otoño y e) promedio anualizado.

Figura 10. Comportamiento intranual de la amplitud del ciclo diario de la temperatura. Valores obtenidos de los promedios mensuales (esferas) y ciclo ajustado para el año 2000 (línea).

Figura 11. a) Ciclo mensual de la temperatura de mar, ajustado al año 2000; b) desviaciones de la serie del ciclo de la temperatura del mar como valor mensual, estimadas con referencia al año 2000.

Figura 12. Comparación entre las anomalías anuales de la serie COADS con tendencias suavizadas (líneas continuas y sombreadas) y datos promedios anuales de la serie Douglas (puntos).

Figura 13. Periodograma (valor de la densidad espectral) de la serie de temperatura superficial del mar de la serie Douglas.

Figura 14. Captura por especie en la pesquería de abulón en Bahía Asunción, B.C.S., con respecto al tiempo.

Figura 15. Esfuerzo pesquero nominal de la pesquería de abulón en Bahía Asunción, B.C.S., con respecto al tiempo.

Figura 16. Relación entre la captura total de abulón en Bahía Asunción, B.C.S. y la captura por unidad de esfuerzo (CPUE).

Figura 17. Relación entre la captura por unidad de pesca (CPUE) y las estimaciones de abundancia independientes de la pesquería.

Figura 18. a) Ajuste del modelo de Schaefer para la pesquería de abulón (todas las especies) en el período 1959-1997 en Bahía Asunción, B.C.S.; b) residuales del ajuste.

Figura 19. a) Ajuste del modelo de Schaefer para la pesquería de abulón (todas las especies) en Bahía Asunción, B.C.S. para el periodo 1959-1972; b) residuales del ajuste.

Figura 20. a) Ajuste del modelo de Schaefer para la pesquería de abulón (todas las especies) en Bahía Asunción, B.C.S. para el periodo 1979-1997; b) residuales del ajuste.

Figura 21. Ajuste del modelo de Schaefer para la pesquería de abulón (todas las especies) en Bahía Asunción, B.C.S. para los distintos periodos 1959-1997; 1959-1972 y 1980-1997.

Figura 22. a) Ajuste del modelo de Schaefer para la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S. para el periodo 1959-1997; b) residuales del ajuste.

Figura 23. a) Ajuste del modelo de Schaefer para la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S. para el periodo 1959-1972; b) residuales del ajuste.

Figura 24. a) Ajuste del modelo de Schaefer para la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S. para el periodo 1980-1997; b) residuales del ajuste.

Figura 25. Ajuste del modelo $CPUE = a*V + b*V^2 + c$ por medio de CLIMPROD a los datos de la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S. Gráfica de la CPUE; valores observados, valores esperados y gráfica de residuales del ajuste. $R^2 = 62$.

Figura 26. Ajuste del modelo $CPUE = a + b \cdot V + c \cdot V^2 + d \cdot E$ por medio de CLIMPROD a los datos de la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S. Gráfica de la CPUE; valores observados, valores esperados y gráfica de residuales del ajuste. $R^2 = 63$.

Figura 27. Ajuste del modelo $CPUE = (a + b \cdot V) \cdot \exp(c \cdot E)$ por medio de CLIMPROD a los datos de la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S. Gráfica de la CPUE; valores observados, valores esperados y gráfica de residuales del ajuste. $R^2 = 60$.

Figura 28. a) Ajuste del modelo de biomasa dinámica transformado (CPUE) para la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S., considerando solamente la mortalidad por pesca; b) residuales del ajuste; c) relación entre los residuales del ajuste contra la anomalía de la TSM sin desfase y d) relación entre los residuales del ajuste contra la anomalía de la TSM con desfase de 5 años.

Figura 29. a) Ajuste del modelo de biomasa dinámica transformado (CPUE) para la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S., considerando la variabilidad climática; b) residuales del ajuste; c) relación entre los residuales del ajuste contra la anomalía de la TSM sin desfase y d) relación entre los residuales del ajuste contra la anomalía de la TSM con desfase de 5 años.

Figura 30. a) Ajuste del modelo de estructura poblacional para abulón azul de Bahía Asunción, B.C.S., considerando solamente la mortalidad por pesca. Capturas observadas (círculos esféricos), capturas simuladas (línea continua) y utilidad de la pesquería (línea punteada con círculos; b) residuales del ajuste; c) relación entre los residuales del ajuste contra la anomalía de la TSM sin desfase y d) relación entre los residuales del ajuste contra la anomalía de la TSM con desfase de 5 años.

Figura 31. Estimación de la biomasa explotable de acuerdo al ajuste del modelo de estructura poblacional para abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S. Biomasa estimada (línea con círculos esféricos) y evaluación de biomasa independiente de la pesquería (cruces) de 1994 a 1997.

Figura 32. Anomalías en el reclutamiento estimado en la pesquería de abulón azul de acuerdo al ajuste del modelo de estructura poblacional en Bahía Asunción, B.C.S.

Figura 33. Rendimientos potenciales; captura (línea continua) y económico (línea punteada) para abulón azul de Bahía Asunción, B.C.S., en función de la mortalidad por pesca (F).

Figura 34. Coeficiente de capturabilidad (q) estimado en el tiempo para la pesquería de abulón en Bahía Asunción, B.C.S.

Figura 35. Coeficiente de capturabilidad (q) estimado por grupo de edad para la pesquería de abulón en Bahía Asunción, B.C.S.

Figura 36. Relación empírica no lineal entre el coeficiente de capturabilidad (q) de la pesquería de abulón azul de Bahía Asunción, B.C.S. y la anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) sin desfase.

Figura 37. Relación empírica no lineal entre el coeficiente de capturabilidad (q) de la pesquería de abulón azul de Bahía Asunción, B.C.S. y la anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) con desfase de 5 años.

Figura 38. a) Ajuste del modelo de estructura poblacional para abulón azul de Bahía Asunción, B.C.S., considerando la variabilidad climática. Capturas observadas (línea continua) y capturas simuladas (línea con círculos); b) residuales del ajuste; c) relación entre los residuales del ajuste contra la anomalía de la TSM sin desfase y d) relación entre los residuales del ajuste contra la anomalía de la TSM con desfase de 5 años.

Figura 39. a) Relación entre el logaritmo de la CPUE y la anomalía de la TSM para abulón azul; b) relación entre la CPUE y la anomalía de la TSM para abulón amarillo, ambas con retraso de 5 años.

Figura 40. Temperatura registrada *in situ* durante el experimento de captación de postlarvas de abulón con colectores artificiales en Bahía Asunción, B.C.S.

Figura 41. Temperaturas simuladas en las unidades experimentales. Año normal (promedio 1992-1996) y año Niño (1997-1998).

Figura 42. Crecimiento en longitud de concha (mm) de juveniles de abulón azul a temperatura “normal” y “Niño” durante 120 días, alimentados con diferentes dietas.

Figura 43. Crecimiento en peso corporal (gr) de juveniles de abulón azul a temperatura “normal” y “Niño” durante 120 días, alimentados con diferentes dietas.

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Valores de parámetros utilizados en el ajuste del modelo de estructura de la población para la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S.

Tabla 2. Registros de temperatura del mar *in situ*, con periodicidad horaria en Bahía Asunción, B.C.S.

Tabla 3. Registros de temperatura del mar *in situ*, como promedio diario en Bahía Asunción, B.C.S.

Tabla 4. Registros de temperatura superficial del mar. Promedios mensuales en la estación de medición dentro de Bahía Asunción, B.C.S.

Tabla 5. Relación de coeficientes de determinación y parámetros derivados de la aplicación del programa CLIMPROD a la pesquería de abulón (todas las especies) en Bahía Asunción, B.C.S.

Tabla 6. Relación de coeficientes de determinación y parámetros derivados de la aplicación del programa CLIMPROD a la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S.

Tabla 7. Relación de coeficientes de determinación y parámetros derivados de la aplicación del programa CLIMPROD a la pesquería de abulón amarillo en Bahía Asunción, B.C.S.

Tabla 8. Revisión de muestras de colectores artificiales de postlarvas de abulón en Isla Asunción, B.C.S.

Tabla 9. Supervivencia, talla y peso inicial, crecimiento y tasas de crecimiento de juveniles de abulón azul (*H. fulgens*) bajo dos patrones de temperatura (Normal y El Niño), alimentados con dos tipos de algas café. NO, año normal; NI, año “El Niño”; MP, *Macrocystis pyrifera*; EA, *Eisenia arborea*.

Efecto de la mortalidad por pesca y la variabilidad climática en la pesquería del abulón.

RESUMEN

La pesquería de abulón en México se inició a finales del siglo XIX por pescadores extranjeros en la región de la costa occidental de la península de Baja California. Con la formación de cooperativas pesqueras, a finales de los años treinta en el siglo pasado, la captura de abulón se llevó a cabo por pescadores mexicanos y se fortaleció la actividad pesquera al grado de originar y formalizar asentamientos humanos en este litoral, particularmente en las zonas más aisladas e inhóspitas de la parte central occidental de la península de Baja California. La captura de abulón ha contribuido de manera sustantiva a la economía regional, debido a su alto precio y demanda en mercados internacionales. Los niveles de captura, han variado desde la cifra record de 6,000 toneladas de callo en 1950 para luego descender hasta aproximadamente 400-350 toneladas de callo en años recientes. Se ha planteado que esta disminución sostenida se debe fundamentalmente a una presión de pesca en exceso. Por otra parte, existen referencias de cambios en el clima marino en la zona de pesca de abulón mexicano, las cuales han sugerido algún tipo de afectación en el crecimiento individual, reclutamiento pesquero y/o mortalidad (entre otros) de abulones y en consecuencia en los rendimientos pesqueros. En el presente trabajo se plantea la hipótesis de que no existe relación entre los rendimientos de la pesquería y la variabilidad climática, por lo que la variabilidad existente en los rendimientos se considera aleatoria. Se hizo un análisis multiescala del clima marino en la zona de Bahía Asunción, B.C.S. a partir de los registros diarios *in situ* y de series históricas con una perspectiva de siglo. Se analizaron los rendimientos pesqueros de *Haliotis fulgens* y *H. corrugata* de la zona de Bahía Asunción, B.C.S. usando metodologías basadas en modelos matemáticos aplicados a las pesquerías. Los modelos utilizados son los de producción excedente de Schaefer "en equilibrio", los de Biomasa Dinámica que toman en cuenta estados de transición y el modelo que considera la estructura poblacional. En los tres casos, se ajustaron los modelos a los datos de los rendimientos pesqueros, tomando en cuenta: a) solo el efecto de la mortalidad por pesca y; b) la inclusión del potencial efecto del clima marino, observando los residuales de los ajustes, esto es los valores observados con respecto de los valores que fueron estimados por los modelos. Se exploraron relaciones empíricas entre los rendimientos pesqueros y la anomalía de la temperatura superficial del mar (ATSM) en tiempo sincrónico y con desfase de cinco años. Adicionalmente, se llevaron a cabo experimentos en campo y laboratorio. El primero relacionado con reclutamiento pesquero, a partir del asentamiento de postlarvas de abulón en colectores artificiales, y el segundo sobre el efecto de la temperatura y disponibilidad de alimento en la sobrevivencia y crecimiento de juveniles de abulón. En este último se simuló dos patrones de temperatura del mar, uno de años normales y otro de cambios extremos como ocurrió en el evento intenso de El Niño 1997-1998.

En la zona de estudio se observó un patrón bimodal en el ciclo circadiano de temperatura. Estacionalmente la temperatura mas baja se registró entre abril-mayo (13

°C) y la más alta entre septiembre-octubre (19 °C). Durante el ENSO 1997-98 se registraron altas temperaturas de hasta 29 °C. En general se observó una variación interanual marcada. Respecto de la variación de baja frecuencia (decadal a siglo), fue evidente que a partir de los años setentas se presenta una condición mucho más cálida que la persistió durante de las décadas anteriores, lo que sugiere estados diferentes de las comunidades biológicas de la región. La aplicación de los modelos pesqueros a los datos de captura y esfuerzo de *H. fulgens* y *H. corrugata* en Bahía Asunción mostró un comportamiento consistente del esfuerzo pesquero sobre los rendimientos pesqueros. Cuando se incluyó la variable ambiental (ATSM) a los modelos no se observó señal clara o contundente de su efecto en la pesca que mejorara substancialmente los ajustes, partiendo de la observación de los residuales con distribución clásica. Por lo que la hipótesis de la influencia del clima en los rendimientos pesqueros en la zona de estudio y para las especies analizadas no puede ser soportada lo suficiente en este estudio. La observación de residuales con distribución no clásica, sino en forma oscilatoria, indican que es necesario explorar otros enfoques para su análisis, como: utilizar otros modelos, otra forma de inclusión de la variable ambiental (ATSM) en la modelación pesquera y/o relacionar los rendimientos pesqueros con otras variables ambientales distintas a la ATSM o una combinación de distintas variables ambientales. Respecto de las relaciones empíricas exploradas, a partir del diagrama de dispersión de datos, se observó un comportamiento diferencial entre las especies, así *H. fulgens*, presenta una relación positiva con respecto a la ATSM, mientras que lo contrario ocurre con *H. corrugata*. La significancia estadística en ambos casos fue menor al 95% de confianza.

En campo, la captación de postlarvas de abulón en los colectores artificiales fue mínima en la temporada 1999-2000, lo cual fue relacionado con aspectos metodológicos y comparado con las condiciones de niveles poblacionales reportados en otras latitudes. En base a esta experiencia, se plantean modificaciones en el método de colecta a fin de generar un indicador temprano de rendimientos pesqueros. Para otros grupos, la mayor diversidad y abundancia relativa de especies se presentó en las muestras de octubre-noviembre, identificándose principalmente gasterópodos, algas calcáreas articuladas, microcrustáceos, hidrozoarios y anélidos poliquetos, entre otros. En laboratorio, el crecimiento en longitud y peso fue mayor en juveniles de abulón azul alimentados con *Macrocystis pyrifera* que en juveniles alimentados con *Eisenia arborea*, en ambos regímenes de temperatura. Sin embargo, el crecimiento (longitud y peso) fue afectado por la dieta de manera diferente con relación al régimen de temperatura. Al final del periodo de estudio, el mayor crecimiento en longitud de concha y peso se obtuvo en juveniles que crecieron bajo condiciones de El Niño alimentados con *Macrocystis pyrifera*, y fue estadísticamente diferente de los juveniles alimentados con *E. arborea*, sugiriendo que las temperaturas observadas durante los eventos El Niño pueden promover el crecimiento de juveniles de abulón azul a altas tasas, sólo si el fenómeno no es lo suficientemente intenso ni duradero como para causar la destrucción y desaparición de *M. pyrifera*. Si el evento El Niño es drástico, el abulón pierde su principal fuente de alimento y esto resultará en el consumo de otras algas y en tasas bajas de crecimiento.

ABSTRACT

The abalone fishery in Mexico began at the end of XIX century by foreign fishermen in the western coast region of the Baja California peninsula. With the integration of fishing cooperatives, at the end of the 30's in the past century, the abalone capture was made by Mexican fishermen and the fishing activity was fortified originating and formalizing human establishment in this coast, particularly in the most isolated and inhospitable zones of the Baja California peninsula western central part. The abalone capture has contributed substantively to the regional economy, due to its high price and demand in international markets. The capture levels have varied from the record number of 6,000 meat tons in 1950 descending to approximately 400-350 tons in recent years. It has been considered that this maintained diminution fundamentally due to the overfishing. On the other hand, references of marine climate changes in the Mexican abalone fishing zone exist, which has suggested some kind of effect in the individual growth, fishing recruitment and/or abalone mortality (among others) and consequently in the fishing yields. This work considers the hypothesis that the relation between fishery yields and the climatic variability does not exist, reason why the existing yields variability is considered random. A marine climate multi-scales analysis took place in Asuncion Bay, B.C.S. zone from the daily registries *in situ* and historical series with century perspective. The fishing yields of *Haliotis fulgens* and *H. corrugata* of Asuncion Bay zone were analyzed using methodologies based on mathematical models applied to fisheries. The used models are those of Schaefer's surplus production "in equilibrium", those of Dynamic Biomass that take into account transition states and the model that considers the population's structure. In the three cases, the models have been fitted to the fishing yields data, considering: a) only the effect of mortality by fishing and; b) inclusion of marine climate potential effect, observing the residuals; the values observed in relation to those that were estimated by the models. Empirical relations between the fishing yields and the anomaly of the sea superficial temperature (ASST) in synchronous time and with five years time lags were explored. Additionally, field and laboratory experiments were carried out. The first one related to fishing recruitment, from the abalone postlarvae settlement in artificial collectors, and the second of the temperature effect and food availability in survival and growth of juvenile abalone. In this, have been simulated two sea temperature patterns, one of normal years and another one of extreme changes as it happened in the intense event of "El Niño" 1997-1998.

In the zone of study a bimodal pattern in the circadian cycle of temperature was observed. Seasonally the low temperature was registered between April-May (13°C) and the highest between September-October (19°C). During ENSO 1997-98 were registered high temperatures until 29°C. In general significative interannual variation was observed. Related to the low frequency variation (decadal to century), was evident that since the 70's a warmer condition appear that persisted during the previous decades, which suggests different states of the biological communities region. The application of fishing models to the capture and effort data of *H. fulgens* and *H. corrugata* in Asuncion Bay showed a consistent behavior of fishing mortality on fishing yields. When the environmental variable was included (ASST) to the models, there was

not a clear signal of their effect in the fishing that improved the model's fits substantially, starting off the residuals with classic distribution observation. That is the reason why the hypothesis of the climate influence in the fishing yields study zone and for the analyzed species cannot be sufficiently supported in this study.

The observation of residual with nonclassic distribution, but in oscillating form, indicates that it is necessary to explore other approaches for its analysis, like: to use other models, another inclusion form of the environmental variable (ASST) in the fishing modeling and/or to relate the fishing yields to other environmental variables different than ASST or a combination of different environmental variables. About the explored empirical relations, from scatter data diagram was observed a differential behavior between the species, thus *H. fulgens*, displays a positive relation in reference to ASST, whereas the opposite happens with *H. corrugata*. The statistical significance in both cases was smaller than the confidence 95%.

In field, the abalone postlarvae settlement in artificial collectors were minimum in 1999-2000 season, which was related to methodologic aspects and compared with the conditions of reported population levels in other latitudes. Based in this experience, modifications in the collect method were considered in order to generate an early indicator of fishing yields. For other groups, the greater diversity and relative abundance of species appeared in the October-November samples, identifying mainly gasteropods, articulated, crustose coralline algae, microcrustaceans and annelids, among others. In laboratory, the length and weight growth was greater in juvenile fed with *Macrocystis pyrifera* than in those fed with *Eisenia arborea*, in both temperature regimes. Nevertheless, the growth (length and weight) was affected by diet in different way related to temperature regime. At the end of the study period, the greater shell length and weight growth were obtained in juvenile that grew under El Niño conditions fed with *Macrocystis pyrifera*, and statistically different than those fed with *E. arborea*, suggesting that temperatures observed during El Niño events can promote juvenile green abalone growth to high rates, only if the phenomenon is not the sufficiently intense nor lasting that can cause *M. pyrifera* destruction and disappearance. If El Niño event is drastic, the abalone loses its mainfood source and this will be in the consumption of other algae and growth lower rates.

1. INTRODUCCIÓN

El análisis pesquero a través de la técnica de evaluación de poblaciones tiene por objeto apoyar el adecuado manejo de recursos pesqueros. La evaluación de poblaciones involucra la realización de estimaciones de carácter estadístico y matemático para hacer predicciones sobre el comportamiento de los recursos pesqueros frente a diferentes decisiones de administración y manejo (Hilborn & Walters, 1992).

El surgimiento del análisis pesquero se debió a la necesidad de utilizar de manera racional las poblaciones de peces a partir de una teoría que brindara sustento a la toma de decisiones. En los primeros años del siglo XX se plantearon acercamientos a las bases de la evaluación de poblaciones pesqueras con las aportaciones realizadas por Hjort, Baranov, Graham y Russel (Nikolski, 1969; Cushing, 1975). Posteriormente, se desarrollaron propuestas analíticas más refinadas sobre la evaluación de poblaciones, como los trabajos de Schaefer (1954, 1957), Beverton & Holt (1957) y Ricker (1975), lo que coincide con la explotación más intensiva que se dió de los recursos pesqueros durante y desde finales de la Segunda Guerra Mundial y con la preocupación sobre la racionalidad de la explotación de los recursos objeto de pesca (Cushing, 1975).

En la evaluación de poblaciones se describen por medio de “modelos” las relaciones entre las entradas, las salidas y los procesos (ej. procesos biológicos y las operaciones de pesca) implicados en las pesquerías. En general, se considera que existen dos grandes tipos de modelos: globales y analíticos. Los primeros (Schaefer, 1954; Fox, 1970) utilizan pocos parámetros poblacionales con relación a los segundos, pues consideran al stock como una biomasa homogénea y no tienen en cuenta la estructura de tallas o de edades de la población. Los métodos estructurados se basan en una descripción más detallada del stock y tienen mayores exigencias de información en cantidad y calidad como datos de entrada al modelo como son la estructura de tallas o

de edades, tasas de mortalidad y tasas de crecimiento, entre otros (Sparre & Venema, 1995)

En la actualidad, los recursos sobre los que se ha orientado principalmente la evaluación de poblaciones pesqueras cubren una amplia gama de organismos marinos; la aplicación de técnicas de análisis pesquero han sido implementadas en recursos pelágicos como el atún (Schaefer, 1954; 1957), sardinas y anchovetas y moluscos (Caddy, 1988).

En las especies sedentarias de importancia comercial, que incluyen aquellos organismos con poca o nula movilidad tales como moluscos bivalvos, gasterópodos y equinodermos, la aplicabilidad del modelo de producción excedente es limitada. Las características inherentes a su biología, dinámica poblacional y estrategias de explotación difieren de aquellas observadas en organismos pelágicos, y por consiguiente imponen importantes restricciones a su aplicación (Caddy, 1988; Seijo et al., 1997).

En el caso de abulón, su evaluación y manejo considera elementos biológicos involucrados o subyacentes en los esquemas de administración aplicados a las pesquerías, pero debido a que es un organismo que vive en el fondo, de poco movimiento, alta vulnerabilidad y de ciclo de vida largo le da características especiales a su manejo.

La mayoría de las pesquerías de abulón han sido manejadas en alguna manera por las agencias reguladoras y entre las restricciones más comúnmente aplicadas que incluso son simples, se encuentran por ejemplo, los límites en la talla mínima legal de captura (TMLC), o bien en los casos de esquemas de administración más complejos se pueden observar un acceso limitado y cuotas individuales.

El análisis pesquero en abulón ha avanzado relativamente despacio con relación a la aplicación de técnicas modernas de evaluación de stocks. En 1965, se aplicó el enfoque de Leslie-DeLury para estimar el tamaño del stock (Breen, 1992); posteriormente el enfoque de rendimiento por recluta se aplicó al abulón en los años setenta (Doi et al., 1977). Los análisis de producción excedente, desarrollados por Schaefer (1954) fueron aplicados al abulón a principios de los años ochenta (Harrison, 1983). La técnica denominada análisis de huevos por recluta (eggs per recruit, EPR por sus siglas en inglés) ha sido aplicada en abulón por diversos autores (Doi et al., 1977; Sluczanowski, 1984; Breen, 1986; Shepherd et al., 1991). Así mismo, se ha incorporado al análisis de la pesquería de abulón el modelo de reducción del stock, cuando es posible calcular el tamaño del stock original y reconstruir la historia de su explotación (Kimura et al., 1984; Kimura, 1985; 1988; Prince & Guzmán del Prío, 1993).

Recientemente se ha tratado de incorporar el efecto de la variabilidad climática en la pesquería del abulón a través de modelación pesquera (Lluch-Belda et al., 1997; Anónimo, 2000). Sin embargo, no se ha medido el desempeño de los ajustes por medio de la utilización de los residuales de los mismos. Por ello en el presente trabajo se explora la incorporación de la variabilidad climática y los residuales que resultan de la modelación pesquera a los modelos de producción excedente, biomasa dinámica y aquellos que consideran la estructura de la población para el caso de la pesquería de abulón.

En los modelos pesqueros, la inclusión de la función de stock-reclutamiento es básica si es que se cuenta con información que permita llevar a cabo este propósito. Respecto de características ecológicas de abulones que influyen en la dinámica poblacional de sus poblaciones explotadas, se considera fundamental la función de reclutamiento-asentamiento. El ciclo de vida de las especies de haliótidos presenta una fase larval con un periodo muy corto, de unos pocos días o semanas en un ambiente planctónico,

para posteriormente asentarse en el fondo marino y permanecer el resto de su vida en el bentos (McShane, 1992).

En abulones, la relación parentela-progenie no ha sido plenamente definida, por lo que es un tema controversial. Trabajos realizados con especies de abulón tanto de Australia como de California resaltan las limitaciones para la definición y cuantificación de dicha relación (Prince et al., 1988; Shepherd, 1990; Shepherd et al., 1992; Tegner et al., 1992). Sin embargo, es reconocido que las poblaciones de las especies del género *Haliotis* spp. presentan una gran variabilidad en su reclutamiento, lo cual influye, en la incertidumbre asociada a los niveles de producción de adultos (McShane, 1992; 1995).

Debido a que los organismos adultos de abulón son prácticamente sedentarios cuyos desplazamientos no exceden de las decenas de metros de los bancos en donde desarrollan su vida (Shepherd, 1986), el aprovisionamiento de larvas y el asentamiento de postlarvas se convierten en fases críticas para el reclutamiento y la subsecuente abundancia de abulones adultos. Por ello, se ha puesto especial atención a estudios recientes que reconocen el papel de la deriva larvaria en el proceso de asentamiento de abulón en distintos ambientes (Sasaki & Shepherd, 1995; Guzmán del Próo et al., 2000).

Recientemente se han realizado esfuerzos para evaluar la intensidad de la producción de larvas de abulón y su asentamiento a partir del uso de colectores artificiales y redes de plancton en Australia y Japón respectivamente (Nash et al., 1995; Keesing et al., 1995; Sasaki & Shepherd, 1995). Sin embargo, no existe información al respecto para las costas del Pacífico mexicano. En el presente estudio se probaron estructuras artificiales para registrar asentamientos de postlarvas de abulón y conocer la variabilidad del reclutamiento larvario durante la época reproductiva de abulón en la zona de Bahía Asunción, B.C.S.

En cuanto a variabilidad climática, series largas de temperatura del mar han mostrado que durante las condiciones oceanográficas de El Niño se presentan aguas superficiales inusualmente cálidas en el este del Océano Pacífico tropical, como uno de los rasgos más distintivos de este fenómeno (Philander, 1990). El incremento anómalo de la temperatura superficial del mar coincide con una caída de la concentración de nutrimento (Jackson, 1977; Zimmerman & Kremer, 1984; Hernández-Carmona et al., 2001). Este cambio de las condiciones normales afecta a componentes de las comunidades bentónicas marinas, como al abulón y a la macroalga café *Macrocystis pyrifera*, la que se considera la mayor fuente de alimento de los abulones en el hemisferio norte (Shepherd & Steinberg, 1992).

En California, los eventos que propician la presencia de aguas cálidas causan declinaciones en la producción o rendimientos de *Macrocystis* debido a un estrés térmico, falta de nutrimentos y a una mortalidad inducida por tormentas (Dayton & Tegner, 1984; Tegner & Dayton, 1987; 1991). A lo largo de la península de Baja California durante los eventos severos de El Niño, se ha observado una desaparición a gran escala de los mantos de *Macrocystis* (North, 1957; 1971; Hernández-Carmona, 1987; Dayton & Tegner, 1990; Ladah et al., 1999; Hernández-Carmona et al., 2001; Guzmán del Prío et al., 2003).

Respecto del abulón se ha descrito que la reducción del desarrollo gonadal de *H. fulgens* en la Península de Palos Verdes, en las cercanías de Los Ángeles, Cal., sugiere que perdieron el desove de verano en 1983 debido a los efectos de El Niño sobre su fuente de alimento (Tegner & Dayton, 1987).

A lo largo de la Península de Baja California, abulones de un año de edad mostraron en este primer estadio (otoño de 1997) una reducción drástica; sin embargo, fueron recuperando lentamente su densidad durante 1998 y 1999. Este grupo de edad mostró una alta variabilidad en la longitud de su concha como un efecto indirecto de El Niño 1997-1998 sobre la fuente de alimento disponible para juveniles (Guzmán del Prío et al., 2003).

En condiciones de laboratorio, Leighton (1974) encontró que los juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) crecieron mejor por arriba de los 20 °C, con un crecimiento diario promedio de la concha de aproximadamente 90 µm a una temperatura de 26 °C. Debido al potencial efecto de la variación climática sobre el crecimiento individual de este recurso, se planteó en el presente estudio, estimar el crecimiento y la sobrevivencia de juveniles de *H. fulgens* bajo dos patrones de temperatura simulando las condiciones marinas contrastantes ocurridas en Bahía Asunción, B.C.S.: un patrón como año normal y otro como el evento de El Niño 1997-1998, alimentándose con dos tipos de algas café *M. pyrifera* o *Eisenia arborea*, las cuales son afectadas por las altas temperaturas durante los eventos El Niño. Se reconoce que durante los eventos severos de El Niño la disponibilidad de estas algas como fuente de alimento es limitada (Ladah et al., 1999; Hernández-Carmona et al., 2001; Guzmán del Prío et al., 2003).

2. ANTECEDENTES

2.1 Generalidades del recurso.

2.1.1. Descripción biológica y ciclo de vida del abulón.

Los abulones pertenecen a la clase Gasteropoda, la cual forma el grupo más grande dentro de los moluscos, están incluidos en la familia Haliotidae y presentan un solo género *Haliotis* spp.. La principal característica de la familia es la forma de oreja de su concha la cual es convexa, pudiendo ser desde altamente arqueada hasta extremadamente plana, presentando una serie de orificios o poros respiratorios alineados lateralmente sobre la cavidad branquial (Cox, 1962).

Los abulones habitan en fondos rocosos adheridos a las rocas mediante un gran pie muscular que realiza también la función locomotora a través de ligeros desplazamientos de corta escala. El gran músculo constituye precisamente la porción comestible (Cox, 1962).

Las larvas de abulón son pelágicas y lecitotróficas, esto es, que tienen la capacidad de alimentarse en los estadios iniciales con sus propias reservas alimenticias. Sin

embargo, estas larvas tienen una breve fase pelágica comparada con larvas cuya alimentación se basa en organismos planctónicos. La tasa de desarrollo de estas larvas lecitotróficas y la duración de vida de la larva planctónica es controlada primariamente por la temperatura y varía de 4 a 15 días (Leighton, 1972; McShane, 1992).

El asentamiento de las larvas de abulón a un ambiente bentónico está relacionado con la transformación y metamorfosis desde la larva pelágica hasta su forma bentónica. En este proceso intervienen aspectos químicos como son sustancias atrayentes y/o estimulantes del asentamiento; físicos como la topografía del sustrato y biológicos como la ocurrencia o no de organismos depredadores (McShane, 1992).

En el caso de especies mexicanas, Muñoz (1976) fue el primer autor que buscando un mecanismo para determinar la edad en abulones, desarrolló un método de raspado de la espira de la concha para el recuento de anillos de crecimiento. Guzmán del Prío (1994) reportó la edad probable y edades máximas de veintiún años en conchas de *H. corrugata* de 179.5 mm de talla.

Se ha demostrado con diversos estudios de ecología experimental que en el caso de juveniles de abulón, éstos requieren de un hábitat críptico que juega un papel importante en la sobrevivencia, ya que los espacios entre grietas de rocas les permiten proteger al abulón juvenil e impedir la entrada de depredadores (Vega et al., 1994).

El sustrato sobre el cual, los abulones adultos habitan usualmente refleja las características rocosas de la línea de costa. En el norte de California, este hábitat es extremadamente rugoso. El fondo consiste de grandes bloques de rocas que se encuentran apiladas unas sobre otras, en estos sitios los abulones se encuentran en asociación con vegetación de macroalgas que crece en esta zonas (Cox, 1962).

2.1.2. Evolución y distribución mundial.

Los antecesores de los haliótidos son desconocidos. En la mayoría de los tratamientos de la sistemática moderna los haliótidos son agrupados con las familias Pleurotomaridae y Scissurellidae en el taxon Pleurotomariacea. Los integrantes de este grupo son reconocidos por la presencia de una abertura o poro excurrente a lo largo del margen de sus conchas y de un desarrollado epipodium, entre otras. Aunque los registros fósiles de miembros de la familia Pleurotomariacea datan del Cámbrico, los primeros haliótidos aparecieron en el Cretácico en California de acuerdo con Lindberg (1992). Este último autor, compila una relación de fósiles de haliótidos que han sido reportados en diferentes partes del mundo como el Pacífico e incluso en Europa y Asia Menor, entre los que se encuentran ejemplares de los periodos que incluyen al Cretácico, Mioceno, Plioceno y Pleistoceno.

No obstante que los taxónomos han identificado entre 60 y 70 especies de haliótidos, los eventos de especiación que supuestamente produjeron este relativamente amplio grupo presenta tenues barreras entre las “especies”. Esto se refleja en la taxonomía del grupo a través de las subespecies y los híbridos dada su condición de organismos marinos que habitan las costas con movimientos considerables de masas de agua y su característica fertilización externa y período de vida larval (Lindberg, 1992).

Los miembros de la familia Haliotidae están globalmente distribuidos en los océanos actuales. Así, es posible encontrar ejemplares de abulones en las costas del Indo-Pacífico, este de África y Océano Indico, Australia y Nueva Zelanda, Japón y China y también en las costas de Norteamérica. En muchos de los casos, la distribución de los abulones corresponde de manera estrecha a gradientes de temperatura. En la mayoría de las regiones los abulones se asocian a aguas tropicales, subtropicales y regiones de aguas templadas, pocas especies de abulón ocurren en aguas estrictamente catalogadas como frías o de condiciones boreales. La talla promedio de la longitud de concha también muestra una fuerte relación con la temperatura, es así que gran parte de los abulones del mundo promedian una longitud de concha de aproximadamente 50

mm en aguas tropicales, mientras que los abulones de mayor talla que presentan un promedio de longitud de concha de 100 mm o más ocurren en sólo cuatro regiones del mundo entre las que se encuentran las costas de Sudáfrica, Australia, Japón y Norteamérica (Lindberg, 1992).

2.1.3. Distribución ecológica.

Respecto de las especies que habitan en aguas mexicanas, los juveniles de abulón, hasta de un tamaño de 50 mm, se distribuyen en orillas someras semiprotegidas, debajo de piedras y rocas sueltas, generalmente de lajas planas, de superficie regular y casi siempre lisas. Abulones adultos con más de 100 mm de longitud de concha, viven usualmente en el interior de los mantos de sargazo (*Macrocystis*) de los cuales dependen en gran medida para su alimentación. Ocupan diversos tipos de microambientes rocosos: grietas, canaletas, cuevas, en general hábitat crípticos. El hábitat puede ser expuesto al oleaje, protegido o semiprotegido (Guzmán del Prío, 1994).

La distribución vertical varía para cada especie. En general, comparten el hábitat varias especies, en especial *H. fulgens* con *H. corrugata* y *H. rufescens* o *H. sorenseni*. Suele haber un traslape en la distribución vertical de todas ellas, sin embargo, se han reportado las siguientes distribuciones: *H. corrugata* de 3 a 30 m de profundidad, con máximas concentraciones entre los 10 y 20 m; *H. fulgens* de 3 a 15 m, en algunas zonas puede llegar hasta los 20 m, con máximas concentraciones entre 8 y 12 m; *H. rufescens* de 4 a 25 m, con máximas concentraciones entre los 8 y 18 m; *H. sorenseni* de 12 a 30 m, con máximas concentraciones de 15 a 25 m y *H. cracherodii* limitado a la zona de entre mareas pero puede alcanzar 2 ó 3 m de profundidad (Guzmán del Prío, 1994).

2.1.4. Alimentación.

Se ha reconocido que los abulones se alimentan sobre la vegetación marina, compartiendo este hábito herbívoro con muchas especies de erizos y caracoles

marinos. Generalmente los abulones juveniles se alimentan ramoneando sobre diatomeas y otros componentes de la micoflora bentónica la cual coloniza las superficies rocosas. Abulones adultos de aguas templadas y frías se alimentan sobre especies de algas marinas del tipo de las algas café (Phaeophyta), rojas (Rhodophyta) y verdes (Chlorophyta). Sin embargo, las preferencias de alimentación varían con las especies, en el hemisferio Norte los abulones en general se alimentan primariamente de las grandes laminariales (algas café), aunque también muchas especies de algas rojas y verdes son consumidas (Leighton, 2000).

2.1.5. Crecimiento individual.

En el caso de abulones de Norteamérica, cuando estos tienen tres meses de edad, su longitud promedio es de 1 mm. Una vez que el primer poro respiratorio empieza a formarse, la tasa de crecimiento se incrementa y cuando se cumplen los seis meses de edad alcanzan aproximadamente 6 mm de longitud (Cox, 1962).

Se han realizado varios estudios sobre crecimiento individual para las poblaciones de *H. corrugata* y *H. fulgens* de la Isla de Cedros, Bahía Tortugas, Punta Abrejos, Bahía Asunción y La Poza en la costa occidental de la Península de Baja California Sur. Las técnicas que se han utilizado para estos estudios se basan en métodos masivos de frecuencia de tallas y experimentos de marcado. La comparación de los valores de K (parámetro del modelo de crecimiento de von Bertalanffy) sugiere que existe un gradiente o clinal en el crecimiento de *H. corrugata* y *H. fulgens*, en el cual las poblaciones más norteñas crecen más lentamente que las del sur de la península (Guzmán del Prío, 1994).

Guzmán del Prío (1994) al reportar valores de K y L_{∞} (longitud infinita) confirma la existencia de este gradiente de crecimiento, ya que para *H. corrugata* se han estimado tasas de crecimiento (K) que van de 0.150 a 0.981 y para *H. fulgens* tasas de 0.342 a 1.386 en el sentido de norte a sur, en abulón amarillo desde I. de Cedros, B.C. a La Poza, B.C.S. y en abulón azul desde Bahía Asunción a La Poza, B.C.S.

respectivamente. Por lo que se refiere a la L_{∞} se reportan estimaciones que van para *H. corrugata* de 210 mm en I. de Cedros, B.C., a 119 mm en La Poza, B.C.S. y para *H. fulgens* estimaciones de 189 mm en Bahía Asunción, B.C.S. a 126 mm en la Poza, B.C.S., respectivamente.

2.1.6. Reproducción.

Las especies del género *Haliotis* de Baja California son dioicas. La proporción de sexos observada en muestras de la captura comercial es variable según la zona de captura y entre años. En la zona central de la costa occidental de la península de Baja California se ha observado una relación 1:1 para *H. corrugata* y *H. fulgens*, en organismos con intervalo de 100 a 180 mm. En Isla Natividad, se ha reportado 1:2 (macho/hembra) y 1:1.8 para *H. fulgens* en la zona de Bahía Asunción, B.C.S. (Guzmán del Prío, 1994).

El abulón azul es la especie que ha sido más estudiada en este aspecto, entre los haliótidos de América del Norte (Vega et al., 1994). A partir de información derivada de estudios histológicos de *H. fulgens*, se ha determinado que para la zona de I. de Cedros la época reproductiva ocurre entre junio y septiembre como los meses de máxima intensidad reproductiva y todavía en el mes de octubre se encuentran evidencias de reciente expulsión de gametos. Así mismo, se ha reportado que esta especie podría presentar más de un desove al año (Sevilla, 1971). Para la misma especie, Belmar-Pérez & Guzmán del Prío (1992) reportan que en Bahía Tortugas, B.C.S., la mayor cantidad de organismos muestreados presentan madurez gonadal principalmente durante otoño e invierno aunque también esta madurez se aprecia en un grado importante durante verano.

2.1.7. Mortalidad.

En dos zonas de pesca de la península de Baja California; I. de Cedros y Punta Abreojos, utilizando como material de análisis datos sobre crecimiento, composición de la captura, esfuerzo de pesca aplicado y algunos elementos del mecanismo de reproducción de la especie, se aplicó un modelo analítico para obtener una estimación

de los parámetros poblacionales (S, Z, F, M y E) y un primer diagnóstico de la pesquería. La población de la especie *H. corrugata* muestra un comportamiento distinto en los dos lugares estudiados. El coeficiente de mortalidad natural (M, 1/año) se estimó en 0.35 en Cedros y 0.43 en Abrejos (Doi et al., 1977). En el caso de la zona de pesca de Bahía Tortugas, B.C.S. se ha reportado para la misma especie de abulón amarillo una mortalidad total de $Z=0.48$ y natural de $M=0.356$ (Marín, 1981).

Shepherd & Breen (1992) llevaron a cabo una revisión de diversos estudios desarrollados sobre mortalidad en abulones; los principales métodos que han sido utilizados para estimar mortalidad natural son experimentos de marcado-recaptura; análisis de las conchas y modelos poblacionales, entre otros. Dentro de las estimaciones de mortalidad reportadas por diversos autores en esta recopilación se tienen valores de M para *H. fulgens* entre 0.53 y 0.07; para *H. corrugata* entre 0.70 y 0.20 y para *H. rufescens* entre 1.0 y 0.15.

En Bahía Tortugas, B.C.S. se llevó a cabo un experimento de marcado-recaptura en *H. fulgens* a partir del cual se estimó una mortalidad natural $M=0.31$, aunque los autores reportan bajos niveles de recuperación de abulones marcados por lo que ésta estimación no difiere significativamente de cero (Shepherd et al., 1991). Se cuenta con una estimación de mortalidad natural de $M=0.57$ para *H. fulgens* en la zona de Bahía Asunción, B.C.S., la cual se derivó de datos sobre la composición de la captura comercial (Ponce-Díaz et al., 2000).

2.1.8. Reclutamiento.

La idea de que el reclutamiento en poblaciones animales depende en alguna medida de la abundancia de los desovadores o de la fracción parental se ha convertido en un tema controversial en las ciencias pesqueras. La declinación de muchas de las poblaciones de abulón bajo explotación ha influido en el planteamiento de la hipótesis de fallas en el reclutamiento, en las cuales la mortalidad por pesca disminuye la abundancia o la densidad de los desovadores a un nivel en el cual la reproducción

puede no sostener al stock en el largo plazo (McShane, 1995). En este sentido las fallas del reclutamiento pueden tener una variedad de causas, probablemente la que más se ha sugerido son las causas naturales, directas o indirectas de efectos ambientales y de los que poco se conoce, además de que se considera que los mismos eventos ambientales pueden ocasionar diferentes efectos sobre diferentes especies de abulones (Dayton & Tegner, 1990).

La relación entre la abundancia de los desovadores y su progenie se ha considerado un tema central a partir del cual se han estimado los rendimientos pesqueros en función de diversas estrategias de pesca (Ricker, 1954; Beverton & Holt, 1957; Hilborn & Walters, 1992). Sin embargo, para diversas especies, en particular invertebrados marinos, la relación stock-reclutamiento raramente se ha demostrado empíricamente. En el caso de abulón se ha reportado que en la variación del reclutamiento intervienen elementos como el nivel de producción de gametos, el éxito de agregación y fertilización en el medio, la dispersión larvaria, la sobrevivencia larvaria, el asentamiento, la mortalidad de larvas en el post-asentamiento entre otros, en donde muchos de estos factores varían estocásticamente más que determinísticamente, incrementando la dificultad en la interpretación de la variación observada del reclutamiento (McShane, 1995).

Se ha reportado que no existen especies de abulones en las cuales sea bien conocida la relación entre el stock y el reclutamiento o asentamiento. La serie más larga de información sobre este tema es la descrita por Shepherd (1990), quien no encontró relación entre el tamaño del stock y la abundancia subsecuente de organismos de 2 años de edad de *H. laevigata* en el Sur de Australia.

El conocimiento sobre el reclutamiento en abulones presenta muchas limitaciones y los estudios de la relación stock-reclutamiento también se complican al contender con la

definición de unidad de stock, la cual depende en gran medida de las características de dispersión de larvas.

2.2. Modelos pesqueros aplicados a la evaluación de poblaciones en especies de *Haliotis* spp. que se distribuyen en costas mexicanas.

Modelos de producción excedente

Estos modelos estiman la relación en estado de equilibrio entre la producción biológica y la intensidad de pesca, donde "producción" es la diferencia entre el incremento de la biomasa causada por el reclutamiento y el crecimiento individual y los decrementos causados por la mortalidad por pesca y la mortalidad natural (Schaefer, 1954).

Estos modelos de acuerdo con Breen (1992) han sido aplicados para *H. rubra* en Tasmania, al sur de Australia y en New South Wales y para especies mexicanas *H. cracherodii* y *H. fulgens* por Rocha (1985) y Rocha & Arreguín-Sánchez (1987).

Estos mismos modelos al considerar estados de transición del recurso, es decir de no equilibrio siguiendo a Hilborn & Walters (1992) han sido aplicados en años recientes a la pesquería mexicana de abulón con objeto de estimar las dimensiones de los stocks, asignar cuotas de captura y dar seguimiento a la pesquería a través de puntos de referencia biológicos (Anónimo, 2000). En cuanto a estos puntos de referencia se distinguen de dos tipos: puntos de referencia objetivos y puntos de referencia límites, todo ello en el marco de las tendencias recientes hacia la estimación y cuantificación de la incertidumbre y del riesgo en el proceso de evaluación de pesquerías (Caddy & Mahon, 1995). Por otra parte se ha planteado incluir la variabilidad climática a través de una transformación de este modelo que ha sido aplicado a la pesca del abulón mexicano (Lluch-Belda et al., 1997; Anónimo, 2000).

Talla crítica y modelos de rendimiento por recluta

La edad de una cohorte a su máxima biomasa, es denotada por "la edad crítica" o de máxima biomasa T_{mb} , está relacionada con la tasa instantánea de mortalidad natural M y los parámetros de crecimiento. El análisis más simple de rendimiento por recluta (RPR) involucra el cálculo de la edad crítica o T_{mb} . Este tamaño de "edad crítica" o máxima biomasa (T_{mb}) podría ser el tamaño mínimo legal de captura (TMLC) que maximice el rendimiento por recluta a una cierta tasa de mortalidad por pesca, esta clase de análisis en abulones fue reportado por Breen (1992). Doi et al. (1977) calcularon la edad crítica y el tamaño respectivo para dos poblaciones de abulón en Isla de Cedros, *H. corrugata* y *H. rufescens* a través del cálculo anual de la estimación de biomasa de cada cohorte leyendo y deduciendo el tamaño crítico o T_{mb} a partir de la curva resultante.

Con relación a la talla mínima de captura, se considera que como en otros organismos, ésta juega un papel importante en la regulación de la explotación de recursos pesqueros como el abulón. Sin embargo, para el caso en donde existe incertidumbre relacionada con información sobre estimaciones de densidad y biomasa pescable se ha sugerido que las tallas mínimas y las vedas son medidas regulatorias menos conflictivas que el establecimiento de cuotas (Guzmán del Prío, 1997).

Particularmente el método de Beverton y Holt para la estimación de rendimiento por recluta ha sido aplicado con diferentes variantes en abulón japonés *H. discus discus*; en *H. rubra* en Tasmania; en abulón australiano del sur *H. laevigata*; en *H. tuberculata* en Saint Malo, Francia; en abulón de la Columbia Británica *H. kamtchatkana*; *H. iris* de Nueva Zelanda; *H. rufescens* y *H. corrugata* de California; *H. rubra* en New South Wales; *H. mariae* en la costa sureste de Omán y en el abulón mexicano *H. corrugata* (Breen, 1992).

Modelos de huevos por recluta

El análisis de rendimiento por recluta brinda estimaciones de rendimientos máximos cuando el reclutamiento se supone como constante, varía independientemente del stock o bien puede ser medido directamente. El método, sin embargo, no tiene la capacidad de indicar el efecto que la pesca puede tener sobre el subsecuente reclutamiento.

El mantenimiento de la capacidad reproductiva de las pesquerías de abulón se ha reconocido como un problema esencial. A partir de esto se deriva la razón principal y la más importante para considerar el establecimiento de regulaciones sobre tallas mínimas de captura (TMC). Para el caso de las especies de abulón japonés se ha buscado que el propósito de una talla mínima legal sea el de permitir que cada abulón se comprometa en al menos un evento reproductivo, para así asegurar la producción de un número suficiente de nuevos abulones. La determinación de la regulación sobre la longitud mínima de captura depende del tamaño al cual un abulón en promedio presenta crecimiento en los órganos reproductivos hasta alcanzar la madurez de los mismos.

Básicamente este mismo criterio es aplicado tanto para el abulón de Australia como para *Haliotis rufescens* de California. Para este último, Tegner (1989) describe el criterio de manejo en donde el departamento de Caza y Pesca de California presupone que un apropiado límite de talla, es aquel lo suficientemente grande como para permitir varios desoves de este fecundo animal pero lo suficientemente pequeño para que el tamaño pueda ser alcanzado dentro de un razonable número de años seguido del reclutamiento (a la población), lo que podría mantener el stock.

Existen problemas con el uso simple e informal de modelos para determinar si la talla mínima de captura (TMC) mantendría suficientemente la capacidad reproductiva de la población. La fecundidad usualmente se relaciona con el peso corporal, y pocos huevecillos serán producidos por los individuos nuevos e inmaduros con relación a las

hembras con más edad. Si la tasa de mortalidad natural es baja, muchos de los huevecillos producidos aumentarán a partir de hembras de más edad y más grandes; inversamente la producción de huevecillos de una población intensamente capturada en la que influye la mortalidad por pesca, dependerá de la reproducción que puedan llevar a cabo fundamentalmente animales jóvenes. El impacto que la actividad pesquera puede tener sobre la producción de huevecillos y en particular la reducción de ésta, debe ser estudiada analíticamente.

Un enfoque de aproximación es analizar la producción de huevecillos asociada con varias combinaciones de talla mínima legal de captura (TMC) y de mortalidad por pesca (F). La relación entre producción de huevecillos y el subsecuente reclutamiento o asentamiento es desde luego desconocido. Pero la escala de reducción en producción de huevecillos causado por la pesca puede ser útil en la determinación de un tipo de estrategia de manejo. Por analogía con el análisis de rendimiento por recluta, esta técnica es llamada análisis de huevos por recluta (Eggs Per Recruit; EPR por sus siglas en inglés), aunque la estimación absoluta de huevos por recluta no es usualmente examinada (Breen, 1986).

Con este método o alguna variación del mismo, se ha estimado el número de huevos por recluta para el abulón *H. corrugata* en Isla de Cedros (Doi et al., 1977); para *H. fulgens* en Baja California (Shepherd et al., 1991); *H. fulgens* y *H. corrugata* en Isla Natividad (Shepherd et al., 1998); para el abulón del Sur de Australia *H. laevigata* (Sluczanowski, 1884) y para el abulón de la Columbia Británica *H. kamtschatkana* (Breen, 1986).

En esencia el indicador que se busca con este método de evaluación es tener una idea del porcentaje de huevos por recluta producidos con relación a la población virgen y determinar algún valor de referencia biológico, a partir del cual un menor porcentaje de huevos por recluta que presentan ciertas pesquerías de abulón debería ser

inaceptable. Se ha manejado que un porcentaje de 50% de huevos por recluta podría ser suficiente para sostener a la población con ciertos márgenes de confianza. Esto se deriva en parte de una percepción arbitraria y en parte analítica, tal como lo plantea Breen (1986; Fig.8) cuando determinó que siguiendo una estrategia combinada de manejo pesquero que considere el máximo rendimiento por recluta y el análisis de huevecillos por recluta, el máximo rendimiento por recluta se alcanza con al menos el 50% de producción de huevecillos posible. Esta suposición se ha manejado en virtud de la relación de este concepto como base del modelo de stock-reclutamiento típico. Sin embargo, en las condiciones actuales de abundancia poblacional de abulón en México, es probable que se incremente la variabilidad e incertidumbre en el reclutamiento (Arreguín-Sánchez, en prensa).

Finalmente, Tegner et al. (1989) hacen notar que los modelos como los descritos anteriormente están todos basados en un equilibrio determinístico, mientras que las poblaciones reales (especialmente aquellas de abulón) tienen patrones altamente variables en asentamiento y en reclutamiento. Estas variaciones pueden significar reducciones de respuesta de poblaciones explotadas por debajo de las expectativas.

Modelos de Leslie y DeLury

Este modelo estima la biomasa original B_0 de un stock en algún punto (ej. en el estado virgen o al comienzo de una temporada de pesca). Utiliza el valor de la captura sobre algún periodo comenzando en algún punto y la declinación en la captura por unidad esfuerzo (CPUE) sobre el mismo periodo. La captura por unidad esfuerzo se supone proporcional al tamaño de la población o del stock. La capturabilidad, q , es también estimada.

Si la CPUE es efectivamente un índice del tamaño de la población o del stock, entonces la declinación de la captura por unidad esfuerzo indicará una declinación en el stock. Básicamente, este tipo de modelo ha sido aplicado para las pesquerías de

abulón en Japón con *H. discus discus* (Breen, 1992). No se conocen referencias de aplicación de este modelo a las especies de México.

Modelos de reducción del stock

Si la cantidad por la cual un stock tiene decrementos (capturas) en un tiempo conocido y pueden hacerse algunas suposiciones acerca de la mortalidad natural y el reclutamiento, entonces sería posible calcular el tamaño del stock original y reconstruir la historia de su explotación. Kimura & Tagart (1982) describen un modelo, el cual ha sido perfeccionado posteriormente (Kimura et al., 1984; Kimura, 1985; 1988). Este modelo estima simultáneamente la biomasa del stock B_i y la tasa de mortalidad por pesca F_i para cada año i del periodo bajo consideración, y una biomasa de reclutamiento constante R .

Este modelo ha sido aplicado para evaluar los stocks de *H. kamtschatkana* de la Columbia Británica en los periodos de 1975-83 (Breen, 1992) y en Bahía Tortugas y Punta Abreojos en México en los abulones *H. corrugata* y *H. fulgens* (Prince & Guzmán del Prío, 1993).

Respecto de otros enfoques metodológicos aplicados en México, se reporta el método para estimar la cuota total disponible de captura por cooperativa (Total Allowable Cooperative Capture; TACCs por sus siglas en inglés) en Ramade-Villanueva et al. (1998), utilizando una expresión desarrollada por Sinclair (1993), así estimó las TACCs fundamentalmente de *H. fulgens* y *H. corrugata* para la zona central de la costa occidental de la península de Baja California. Para la utilización de este enfoque se requirió información del peso de los organismos a la talla i , el número poblacional a la talla i , la tasa instantánea de mortalidad total (Z) y la tasa instantánea de mortalidad por pesca (F) y en donde la cuota total disponible por cooperativa se estima a través de la sumatoria del producto del peso de los individuos, el número poblacional, la sobrevivencia y la mortalidad por pesca, con respecto a la mortalidad total.

En síntesis, en el caso de las pesquerías de abulón entre las medidas de manejo asociadas a las pesquerías que se desarrollan sobre este recurso, se pueden mencionar aplicación de diversos esquemas que incluyen las tallas mínimas de captura y la aplicación de modelos de rendimiento por recluta, análisis de huevos por recluta, de reducción del stock y de producción excedente incluyendo aquellos que consideran estados de transición, de no equilibrio o de biomasa dinámica que integra algunos umbrales o puntos de referencia biológicos.

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La hipótesis nula plantea que no existe relación entre los rendimientos de la pesquería y la variabilidad climática, por lo que la variabilidad existente se considera aleatoria.

La hipótesis alternativa postula que una vez filtrado el efecto de la mortalidad por pesca en la pesquería, existe una variación residual que puede ser vinculada al efecto del medio ambiente.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general.

Analizar la pesquería de abulón en la zona central de la península de Baja California a partir del efecto de la pesca y la variabilidad climática.

4.2 Objetivos particulares.

- a) Evaluar el impacto de la pesquería sobre el recurso abulón, incluido el proceso del reclutamiento.
- b) Analizar la variación residual de los modelos propuestos (de producción excedente y aquellos que consideran la estructura poblacional) para explicar el comportamiento de la pesquería.
- c) Evaluar la relación de la temperatura como factor ambiental, con la variación residual observada en la pesquería, una vez filtrado el efecto de la mortalidad por pesca.
- d) Explorar el efecto del clima marino sobre el reclutamiento y crecimiento individual del recurso abulón.

5. ÁREA DE ESTUDIO

Bahía Asunción, Baja California Sur se encuentra ubicada en la parte central de la costa occidental de la Península de Baja California (Fig. 1), dentro de una zona con características oceanográficas particulares debido a la influencia de dos sistemas de corrientes, la corriente de California que procede del noroeste y se desvía hacia el oeste y por una contracorriente costera superficial (la corriente de Costa Rica), la cual se deriva de la contracorriente Ecuatorial. La convergencia de estas dos corrientes origina una zona de transición, la cual se ubica entre los 15° y 21° de latitud. En invierno, cuando la corriente de California es más fuerte, se localiza más al sur, mientras que en verano, cuando la contracorriente es más intensa, se desplaza hacia el norte (Fernández et al., 1993). La confluencia de ambos sistemas de corrientes y la presencia de eventos oceanográficos particulares determinan que esta zona de transición de aguas templadas y tropicales, sea considerada como una frontera provincial en donde coinciden varios grupos taxonómicos, incluyendo peces costeros, braquiuros, briozoarios y moluscos (Hewitt, 1981). Así mismo, esta zona ha sido caracterizada por la presencia de variaciones de periodo corto de la circulación anticiclónica o giros oceánicos con intensificaciones o relajamientos de surgencias (Amador-Buenrostro et al., 1995).

En Bahía Asunción, a lo largo de su línea costera se alternan litorales rocosos con zonas de playas arenosas, en los que se presentan especies de importancia comercial como el abulón *Haliotis* spp. y la langosta *Panulirus* spp. (León-Carballo & Muciño-Díaz, 1996; Vega-Velázquez et al., 1996). Por lo que respecta a abulón, en el área de Bahía Asunción se han identificado 50 bancos que producen *Haliotis fulgens* y *H. corrugata* (Muñoz, 1976). En los bancos de ésta área, es evidente la presencia de algas pardas del orden de las laminariales, como *Eisenia arborea* y en menor grado *Macrocystis pyrifera*, cuya distribución está limitada a la porción norte de la bahía (Hernández-Carmona et al., 2000). Se ha documentado el papel que tienen los nutrimentos sobre las poblaciones de macroalgas en el área de estudio (Hernández-

Carmona et al., 2000), las cuales son fuente primordial de alimento para abulones (Sherperd & Steinberg, 1992). En la parte sur de Bahía Asunción, Punta San Hipólito, se ha descrito como un área de surgencias temporales y de giros, lo que le da a esta zona una característica de alta productividad (Walsh et al., 1974; Walsh & Whitledge, 1977).

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1. Caracterización climática de la zona de Bahía Asunción, B.C.S.

Fuentes de información

Los datos de la temperatura del mar, se obtuvieron de las siguientes fuentes de información:

- a) Registros de temperatura *in situ* a intervalos de cada hora o dos horas (horaria), en un banco abulonero cercano a Isla Asunción, a una distancia aproximada de 200 metros de la línea de costa ($27^{\circ} 06' 24.8''$ N y $114^{\circ} 17' 30.6''$ W) durante el periodo de 1997 al 2000. Se utilizó un termógrafo de registro continuo, colocado a una profundidad de entre 5 y 6 metros;
- b) Registros de temperatura superficial del mar (TSM) cada 24 horas (diaria) en el interior de Bahía Asunción ($27^{\circ} 08' 20''$ N y $114^{\circ} 17' 38''$ W), en el periodo de 1992 al 2000;
- c) Registros de temperatura superficial del mar (TSM) proveniente de la base de datos integrada y proporcionada por el Dr. A. Douglas del Departamento Nacional de Ciencias Oceánicas y Atmosféricas (National Oceanic Atmospheric Sciences Department) de la Universidad de Creighton, en Omaha, Nebraska, EUA. (serie Douglas en adelante). Esta serie consiste de mediciones de temperatura superficial del mar (TSM) y datos reconstruidos a través del análisis de corteza de árboles, en cuadrados de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ de latitud. Se utilizó la información del sitio más contiguo al área de estudio, a partir de 1959, año en que se tienen datos de la pesquería de abulón hasta 1997, y
- d) Datos de temperatura superficial del mar promedio mensual (TSM) de la base con información de COADS (Comprehensive Ocean-Data Set / National Oceanic & Atmospheric Administration) para el cuadrado 114° W, 26° N a 116° W, 28° N ($2^{\circ} \times 2^{\circ}$ de latitud) contiguo al área de estudio. Esta base de datos contiene información desde el año 1900 hasta 1996, y es resultado de observaciones de muestreos directos y registros con apoyo de barcos de oportunidad.

Variabilidad climática

La información de registros de medición horaria (1997 al 2000) de la temperatura *in situ* y de las mediciones diarias (1992 al 2000) se organizó en tablas a partir de la estimación de los valores promedio, desviación estándar, valor máximo y mínimo de las series de alta frecuencia.

La correspondencia entre pares de series de datos de temperatura fue determinada utilizando un análisis de correlación (Sokal & Rohlf, 1998) entre:

- a) la serie de datos de temperatura horaria y la serie de datos de temperatura diaria,
- b) la serie de datos de temperatura diaria y la serie de datos de temperatura mensual promedio de Douglas y,
- c) ya que las anomalías de la serie Douglas están referidas al periodo 1959 -1997, se calculó la relación entre éstas y las del cuadrado COADS, que cubre desde 1900 hasta 1996.

Ciclo circadiano

El ciclo circadiano tipo se estimó a partir de los promedios de todos los valores horarios registrados por el termógrafo para el año 2000 y se ajustó un ciclo de dos armónicos (StatSoft, 1995). Posteriormente, se calculó la forma en que varían los ciclos diarios a lo largo del año, mediante los promedios de invierno (diciembre a febrero), primavera (marzo a mayo), verano (junio a agosto) y otoño (septiembre a noviembre) del año 2000. Para cada caso se ajustó un ciclo (StatSoft, 1995).

Para evaluar la magnitud de cambios que puede esperarse entre años en el ciclo circadiano, se calculó el valor mensual promedio de la amplitud del ciclo diario (valor máximo-mínimo) y se comparó con el valor estimado de amplitud sobre la base del año 2000.

Ciclo estacional

La variabilidad estacional se estimó mediante el promedio de los datos diarios de la variable registrada, de los que se obtuvieron los valores mensuales de temperatura del mar.

En la serie de mediciones de escala interanual se presentaron al menos dos eventos intensos El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) en el periodo de estudio (1992-1993 y 1997-1998), por esta razón los análisis de escala circadiana y estacional, se realizaron tomando para todos los cálculos el año 2000 como referencia, el cual se puede considerar un año cercano a las condiciones promedio de los años recientes.

Variabilidad interanual

Los valores correspondientes al año 2000 se ajustaron a un ciclo de dos armónicos, mismo que se consideró para estimar desviaciones o anomalías de la temperatura superficial del mar para el periodo 1992 - 2001.

Variabilidad de largo plazo

La variabilidad de largo plazo fue determinada mediante la utilización de los promedios anuales de la TSM derivados a partir de la base de datos de la serie Douglas para el cuadrado $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ más contiguo al área de estudio y de la base COADS para el cuadrado 114°W , 26°N a 116°W , 28°N .

Partiendo de la información de los COADS, para el análisis de la condición general del área con respecto a la variación de largo plazo, se compararon las anomalías anuales obtenidas con las tendencias suavizadas mediante un filtro Hamming de 10 años a lo largo del siglo en el cuadrado seleccionado (Blackman & Tukey, 1958).

Análisis espectral

La serie Douglas, que coincide con los años de información de la pesquería de abulón en el área, fue tratada mediante técnicas de series de tiempo para calcular la contribución relativa de las diferentes escalas de variabilidad a la señal completa de la serie. El procesamiento incluyó la eliminación de la media y la tendencia, la aplicación de un filtro pesado de Hamming de 9 términos y la estimación de las densidades espectrales derivadas de una transformación rápida de Fourier (FFT por sus siglas en inglés). Posteriormente, se agruparon los valores de densidad espectral para regiones definidas por su frecuencia: intra-anual no estacional (< 11 meses), estacional (11-13 meses), oscilación quasi-bianual (QBO por sus siglas en inglés) incluye la alta frecuencia de El Niño Oscilación del Sur (13-36 meses), ENSO (su baja frecuencia, 36-88 meses), decadal (88-180 meses), bidecadal (180-360 meses) y muy baja frecuencia (VLF por sus siglas en inglés, >360 meses). Para cada categoría se promediaron los valores de densidad espectral y se ponderó sobre la base del recorrido correspondiente de las frecuencias. Finalmente, se estimaron los valores de contribución porcentual de cada región espectral a la señal completa y se estimó de nueva cuenta eliminando el estacional.

6.2 Modelación pesquera.

Fuentes de información

La información utilizada en el análisis pesquero proviene de:

Datos de captura y esfuerzo de la pesquería de abulón

Se contó con la serie de datos de captura y esfuerzo de abulón *Haliotis* spp., de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera (S.C.P.P.) Leyes de Reforma y S.C.P.P. California de San Ignacio ubicadas en el área de Bahía Asunción, Baja California Sur y que operan en esta área de la península de Baja California. Esta serie de información comprende de 1959 hasta 1997 y fue uno de los principales insumos para la aplicación de los modelos de análisis pesqueros utilizados en este trabajo. La base de datos sobre capturas y esfuerzo para la zona de pesca de estudio es producto

de un esfuerzo reciente de actualización de la base de datos de la pesquería de abulón, llevado a cabo primordialmente por el sector productivo (sociedades cooperativas que capturan abulón). Dicha información inicia en el año de 1959 y contempla composición por especies a partir del año de 1966. La composición por especies de la captura comercial previo al año de 1966 fue estimada de acuerdo a la tendencia observada a lo largo de la serie histórica, suponiendo porcentajes de abulón azul (10%) y amarillo (90%) de 1965 hacia 1959 (Ponce-Díaz et al., 2000).

Datos de abundancia independientes de la pesquería

Se obtuvieron datos de estimaciones de abundancia de *Haliotis* spp. determinados a través de prospecciones independientes de la pesquería para el área de Bahía Asunción, a partir del año de 1994 hasta 1997 (Federación de Cooperativas Pesqueras “Baja California”), para esos mismos años, en la zona de Bahía Tortugas e Isla de Cedros, se derivaron estimaciones de biomasa a partir de referencias bibliográficas (Gluyas-Millán & Talavera-Maya, 2003; Anónimo, 2000). Estas determinaciones de biomasa se estiman en conjunto entre las cooperativas abulonerías y el Instituto Nacional de la Pesca. Esta información fue valiosa para efectos de comparación y calibración, debido a que sirvió como referencia de abundancia y densidades de abulón determinadas de manera independiente de la pesquería con respecto a las estimaciones realizadas mediante modelación pesquera.

Estimación de captura por unidad de esfuerzo

A partir de los datos de captura y esfuerzo expresado en viajes de pesca, se construyó la serie de información de captura por unidad de esfuerzo (CPUE), resultando este dato de la razón entre la captura y el número de viajes realizados durante el año en cuestión.

Parámetros de crecimiento y mortalidad natural

Los valores de los parámetros de crecimiento (K y L_{∞}) utilizados en la modelación pesquera, fueron tomados a partir de diferentes referencias bibliográficas (Tabla 1), siendo los parámetros seleccionados, aquellos que presentaron valores centrales o medios desde el punto de vista de su variabilidad observada (Fig. 2). Respecto a la mortalidad natural en haliótidos, a partir de la revisión bibliográfica que hacen al respecto Shepherd & Breen (1992) se concluye que las estimaciones no son comparables entre sí directamente debido a la utilización de diferentes metodologías empleadas y los amplios intervalos de valores resultantes y principalmente en áreas que no consideran a México. Por lo tanto, el parámetro utilizado en las estimaciones del modelo de estructura de edades ($M = 0.57$), se derivó de datos propios de la zona de Bahía Asunción, B.C.S. (Ponce-Díaz et al., 2000).

6.2.1 Modelos Globales de Producción.

Los ajustes y la determinación y evaluación de la variación residual observada al filtrar el efecto de la mortalidad por pesca en los rendimientos se estimaron considerando que la especie con mayor aportación actual a la pesquería en el área de estudio es el abulón azul, la cual contribuye con aproximadamente el 90-95% de la producción comercial (León-Carballo & Muciño-Díaz, 1996; Ramade-Villanueva et al., 1998). Sin embargo, cuando fue posible también se ajustó el modelo para abulón amarillo y para ambas especies.

Ajuste del modelo global de producción excedente

a) Modelo de Schaefer

Se ajustaron los datos de la pesquería con el modelo de producción excedente de Schaefer (Gulland, 1983). El modelo considera únicamente la variable del esfuerzo pesquero como el factor único de los rendimientos de la pesquería. Este ajuste se planteó para el caso más simple, en que la captura por unidad de esfuerzo (CPUE)

decrece linealmente con el aumento del esfuerzo de pesca, lo que se puede expresar como:

$$C = a f - b f^2 \dots\dots\dots(1)$$

donde:

- C = captura o rendimiento
- a = ordenada al origen
- b = pendiente de la curva
- f = esfuerzo pesquero

Los ajustes se hicieron considerando tres posibilidades; la serie completa que incluyó los años 1959-1997, el período de 1959-1972 previo al cambio de temperaturas registradas en 1975 y el período 1980-1997 posterior al mismo. Esta separación de las series se hizo debido a que se consideró que durante los años 1973-1979 los rendimientos pesqueros se encontraban en una etapa de transición.

b) Modelo de Schaefer considerando el efecto de la variabilidad climática

El programa CILMPROD (Freón et al., 1993) fue utilizado en este trabajo para evaluar el desempeño de la inclusión de la variable ambiental a un modelo de producción excedente en la pesquería de abulón de Bahía Asunción, B.C.S.

Debido a que las funciones matemáticas que relacionan una variable ambiental con la capacidad portadora del medio (B_{∞}) y con la capturabilidad (q) son por lo general desconocidas, Freón et al. (1993) han propuesto la siguiente función para su inclusión en los modelos de producción excedente:

$$g(V) = \alpha + \beta V^{\lambda} \text{ ó } g(V') = \alpha + \beta V'^{\lambda}$$

donde: V y V' son las variables ambientales bajo consideración y, α , β y λ son parámetros de la ecuación.

Esta función es utilizada como herramienta general para el ajuste de los modelos de producción considerando el efecto del ambiente sobre la biomasa, la capturabilidad o en ambas. A partir del algoritmo desarrollado por Freón et al. (1993) se establecen 31 posibles funciones que relacionan a los rendimientos con el esfuerzo pesquero, así como los rendimientos con el esfuerzo pesquero y la variable ambiental, resultando en relaciones matemáticas funcionales de distinto tipo.

c) Modelo de Biomasa Dinámica

Se aplicó el enfoque de Hilborn & Walters (1992) que considera estados en transición, esto es el "no equilibrio" en las poblaciones. Se considera conceptualmente a la estimación del nivel de la población como:

Nivel poblacional futuro = nivel poblacional previo + reclutamiento + crecimiento individual – mortalidad por pesca.

Este concepto de dinámica de la población, como producción excedente, queda expresado en forma matemática de la siguiente manera:

$$B_{t+1} = B_t + r B_t \left(1 - \frac{B_t}{K}\right) - C_t \dots\dots\dots(2)$$

donde:

B_{t+1} = biomasa al tiempo $t+1$

B_t = biomasa al tiempo t

r = tasa intrínseca de crecimiento poblacional que incluye reclutamiento + crecimiento individual

K = capacidad portadora del medio

C_t = captura al tiempo t

La captura es definida como:

$$C_t = q E_t B_t \dots\dots\dots(3)$$

donde:

- E_t = esfuerzo pesquero al tiempo t
- q = coeficiente de capturabilidad

Debido a la limitación para contar con una serie de información acerca de estimaciones independientes de biomasa a lo largo de toda pesquería, dicho modelo fue transformado para utilizar los datos de captura y esfuerzo (Lluch-Belda et al., 1997) para quedar como:

$$CPUE_t = (1 + r) * CPUE_{t-1} - \left(\frac{r}{CPUE_\infty}\right) * (CPUE_{t-1})^2 - (q * C_{t-1}) \dots\dots\dots(4)$$

donde:

- $CPUE_t$ = captura por unidad de esfuerzo al tiempo t
- $CPUE_\infty$ = captura por unidad de esfuerzo en condiciones de población virgen

Una forma de solución para esta ecuación sería una expresión del tipo de regresión múltiple de tres variables:

$$Y = A_0 + A_1 * X_1 + A_2 * X_2 + A_3 * X_3$$

donde las constantes pueden ser estimadas como:

- A_0 = ordenada al origen igual a cero
- $A_1 = 1 + r$
- $A_2 = r / CPUE_\infty$
- $A_3 = -q$

d) Modelo de biomasa dinámica considerando el efecto de la variabilidad climática

La incorporación de la variable ambiental al modelo de biomasa dinámica transformado se planteó como una función que afecta a la tasa intrínseca de crecimiento natural (r) a partir de la Temperatura Superficial del Mar como el negativo más uno de la anomalía de la temperatura superficial del mar (ATSM) en el año t (Anónimo, 2000), o su equivalente de acuerdo a la expresión:

$$1 - ATSM_t$$

por tanto:

$$CPUE_t = [(1 + r(1 - ATSM_t) * (CPUE_{t-1})) - ((r * (\frac{1 - ATSM_t}{CPUE_\infty}) * (CPUE_{t-1})^2 - (q C_{t-1})))] \dots(5)$$

donde:

ATSM = anomalía de la temperatura superficial del mar

Esta función de influencia del medio ambiente (ATSM) sobre los rendimientos pesqueros, supone la existencia de mecanismos vinculados con la alimentación y el crecimiento individual, la mortalidad natural y la reproducción del abulón entre otros (Tegner & Dayton, 1987; Shepherd et al., 1998; Tegner et al., 1996; 2001; Guzmán del Prío, 1994; Guzmán del Prío et al., 2000).

6.2.2 Modelos Estructurados.

a) Modelo de estructura por edades

En este análisis se modeló la pesquería para desarrollar simulaciones que permitieran estimaciones del stock y el planteamiento de posibles escenarios de pesca. Se aplicó la metodología que considera la estructura de la población y el efecto del reclutamiento aleatorio a la pesquería (Chávez, 1996; Ponce-Díaz et al., 2000). La información utilizada en este apartado inicia en el año de 1959 e incluye datos de captura y esfuerzo y composición por especies.

Para este análisis también fue considerada información sobre estimaciones de abundancia independientes de la pesquería para años recientes (1994-1997) e información sobre costos e ingresos por viaje (Ramade-Villanueva com. pers. Federación de Regional de Sociedades Cooperativas de la Industria Pesquera “Baja California”). Adicionalmente, se utilizó información bibliográfica sobre abulón azul con relación a los parámetros de crecimiento y de la relación peso-longitud, datos sobre la longevidad de la especie, así como la edad de madurez sexual entre otros. Los valores de los parámetros considerados en este trabajo se encuentran en la Tabla 1 en donde se refiere la fuente de información respectiva.

Descripción del modelo que considera la estructura poblacional

Con la información descrita en la Tabla 1, se desarrolló un modelo basado en la estructura por edades utilizando una hoja de cálculo. El objeto de este modelo fue reproducir los niveles que ocurren en la población bajo estudio, sobre la base de las siguientes expresiones:

El cambio del número relativo de individuos en la población fue modelado por las siguientes ecuaciones:

$$N_{g,t} = N_{g-1,t-1} \exp(-M_t) \quad 0 < t < t_r \dots\dots\dots(6)$$

$$N_{g,t} = N_{g-1,t-1} \exp(-(M_t + F_t)) \quad t_r \leq t \leq t_\lambda \dots\dots\dots(7)$$

donde:

- $N_{g,t}$ = el número de individuos del grupo de edad g al tiempo t
- M = la tasa instantánea de mortalidad natural
- F = la tasa instantánea de mortalidad por pesca
- t_r = edad de primera captura
- t_λ = longevidad de la especie

Para modelar la estructura poblacional en términos de biomasa fueron utilizadas las siguientes ecuaciones:

i) El crecimiento en peso, por medio de la ecuación de von Bertalanffy para peso de los organismos de acuerdo a:

$$W_t = W_\infty * [1 - \exp^{-k(t-t_0)}] ^3 \dots\dots\dots(8)$$

donde:

- W_t = peso del organismo al tiempo t
- W_∞ = peso asintótico del organismo
- k = parámetro proporcional a la tasa de crecimiento.
- t_0 = parámetro de intersección con el eje X

ii) La relación peso-longitud: como:

$$W = a * L^b \dots\dots\dots(9)$$

donde:

W = peso del organismo

L = longitud del organismo

a y b = parámetros de la curva; ordenada al origen o factor de condición y pendiente o coeficiente de proporcionalidad entre la longitud y el peso respectivamente.

iii) La biomasa para cada grupo de edad capturado fue estimada mediante:

$$B_t = N_t * \overline{W}_t \dots\dots\dots(10)$$

donde:

B_t = biomasa del grupo de edad t de la población

N_t = número de individuos del grupo de edad t

\overline{W}_t = peso promedio de los organismos del grupo de edad t

Considerando la sumatoria desde la edad de primera captura hasta t_λ , se obtiene la biomasa de la población.

iv) Finalmente, la captura (C)

$$C = F * B \dots\dots\dots(11)$$

El reclutamiento fue modelado mediante la función de reclutamiento de Beverton & Holt (1957) modificada por Ponce-Díaz et al. (2000), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$R_{t+1} = \beta * Ad_t * Ad_{max} / ((Ad_t + (\alpha * Ad_{max})) \dots\dots\dots(12)$$

donde:

R_{t+1} = el nivel de reclutas al tiempo $t+1$

Ad_t = nivel de adultos al tiempo t

Ad_{max} = nivel de adultos en el máximo de capturas

α = parámetro de la curva de reclutamiento

β = parámetro de la curva de reclutamiento

Se estimaron los valores de los parámetros de la relación parentela-progenie, mismos que fueron 0.2 y 4.174 para α y β respectivamente. El reclutamiento se multiplicó por una variable aleatoria con distribución normal con objeto de introducir incertidumbre en este proceso. El coeficiente de variación asignado inicialmente fue de 0.2 para posteriormente modificarlo mediante una rutina de optimización.

Los niveles de mortalidad por pesca fueron estimados en función del ajuste que se realizó con información de reclutamiento calculado para el inicio de la serie, minimizando la diferencia entre capturas observadas y estimadas mediante un proceso iterativo utilizando la opción SOLVER de la hoja de cálculo EXCEL versión 5.

b) Modelo de estructura por edades considerando el efecto de la variabilidad climática

Con la intención de explorar el efecto de la variabilidad del clima marino en el modelo que considera estructura por edades, se supuso que el efecto de la variabilidad climática se expresa en el coeficiente de capturabilidad (q), y partiendo de esta base se procedió a reajustar el modelo originalmente ajustado (Chávez, 1996; Ponce-Díaz et al, 2000) una vez que se calculó el cambio de q en el tiempo de acuerdo a las siguientes expresiones:

Estimación del coeficiente de capturabilidad en cualquier momento:

$$q_t = \frac{F_t}{f_t} \dots\dots\dots(13)$$

donde:

- q_t = coeficiente de capturabilidad al tiempo t
- F_t = mortalidad por pesca al tiempo t
- f_t = esfuerzo pesquero nominal al tiempo t

Estimación del coeficiente de capturabilidad por grupo de edad

Con objeto de observar el comportamiento de la capturabilidad dentro de la estructura poblacional y la contribución de los grupos de edad a la captura, se determinó la capturabilidad por grupos de edad. Tomando en consideración la definición del coeficiente de capturabilidad propuesta por Gulland (1983) y Arreguín-Sánchez (1996) se desarrolló la definición del coeficiente de capturabilidad por grupos de edad a partir de:

$$N_t = N_{t-1} * e^{- (M + F_t)} \dots\dots\dots(14)$$

donde:

- N_t = numero de organismos a la edad t
- N_{t-1} = numero de organismos a la edad $t-1$
- M = mortalidad natural
- F_t = mortalidad por pesca a la edad t
- e = base de los logaritmos naturales

$$N_t = N_{t-1} * e^{- (M + q_t * f_t)} \dots\dots\dots(15)$$

donde:

- q_t = coeficiente de capturabilidad a la edad t
- f_t = esfuerzo de pesca a la edad t

$$\frac{N_t}{N_{t-1}} = e^{- (M + q_t * f_t)} \dots\dots\dots(16)$$

$$\text{Ln} \left[\frac{N_t}{N_{t-1}} \right] = -(M + q_t * f_t) \dots\dots\dots(17)$$

$$\text{Ln} \left[\frac{N_t}{N_{t-1}} \right] = -M - q_t * f_t \dots\dots\dots(18)$$

$$\text{Ln} \left[\frac{N_t}{N_{t-1}} \right] + M = -q_t * f_t \dots\dots\dots(19)$$

$$\left[\text{Ln} \left[\frac{N_t}{N_{t-1}} \right] + M \right] / f_t = -q_t \dots\dots\dots(20)$$

Por tanto el coeficiente de capturabilidad a la edad t será:

$$q_t = - \left[\text{Ln} \left[\frac{N_t}{N_{t-1}} \right] + M \right] / f_t \dots\dots\dots(21)$$

Donde los valores de N_t y N_{t-1} son estimados de las ecuaciones (6) y (7).

6.3 Análisis de residuales.

En todos los ajustes empleados, se hizo la representación gráfica de las diferencias entre los valores observados y los valores estimados de los rendimientos pesqueros (residuales) contra el tiempo para tratar de identificar un patrón en los mismos, y por

otra parte determinar si existe una relación potencial con alguna variable distinta al esfuerzo pesquero como índice de mortalidad por pesca, como puede ser la anomalía de la TSM o bien distinguir si estos residuales se distribuyen de una manera aleatoria y entonces se puede considerar esta variación como “ruido blanco” o variación normal del proceso (Draper & Smith, 1981; Goodall, 1983; Hanke & Reitsch, 1997).

6.4 Relaciones funcionales empíricas entre rendimientos pesqueros y variabilidad climática.

El análisis exploratorio de la existencia potencial de una relación funcional entre los rendimientos pesqueros (logaritmo de CPUE) y las anomalías de la TSM se realizó a través de análisis de regresión y correlación entre estas variables (Sokal & Rohlf, 1998). Se utilizó la transformación logarítmica de la CPUE para considerar distribuciones normales en ambas variables relacionadas.

6.5 Colecta de postlarvas de abulón en estructuras artificiales.

El estudio se realizó en el área de Bahía Asunción, B.C.S. (Fig. 1), en donde operan dos organizaciones cooperativas de pesca; S.C.P.P. Leyes de Reforma y S.C.P.P. California de San Ignacio. Con base en la información proporcionada por los pescadores se seleccionó el sitio denominado Barco Varado ($27^{\circ} 06' 24.8''$ N y $114^{\circ} 17' 30.6''$ W) en las inmediaciones de la Isla Asunción, B.C.S., por ser una zona de crianza de abulón.

En este sitio se colocaron colectores artificiales de larvas, semejantes a los reportados por Keesing et al. (1995). Los colectores presentan en su parte superior dos láminas de policarbonato de 25 x 35 cm. Estas láminas se sujetan mediante tornillos inoxidables a otra placa de material plástico más rígido que sirve tanto de base a las placas superiores, como conexión a una estructura de metal en forma de tubo vertical de 45 cm, la cual se fijó en el fondo con ayuda de un peso muerto elaborado con cemento en forma de un cuadrilátero (Figs. 3a y 3b). Los colectores fueron dispuestos sobre el fondo marino a una profundidad de entre 4 y 6 metros en el sitio seleccionado. En el

sitio de estudio se dispusieron tres colectores a manera de réplicas, separados aproximadamente por 3 m de distancia entre sí.

La disposición de los colectores en el fondo marino fue realizada en la primera quincena del mes de septiembre de 1999. En uno de los colectores se colocó un termómetro de registro continuo (tipo: OPTIC STOW AWAY TEMP) a una profundidad aproximada de 5-6 metros. La colecta de material fijado en los colectores se realizó de octubre de 1999 a marzo del 2000, por ser la principal época de desove del abulón en dicha área (Guzmán del Prío, 1992; Belmar-Pérez & Guzmán del Prío, 1992; León-Carballo & Muciño-Díaz, 1996; Guzmán del Prío et al., 2000). Cada tres o cuatro semanas, se recobraron las placas y se reemplazaron con placas nuevas. Las placas se transportaron en recipientes con agua de mar a instalaciones en tierra, en donde se les agregó sulfato de manganeso al 6% con objeto de anestésiar a los organismos colectados. Posteriormente, las placas fueron limpiadas cuidadosamente con una brocha, para desprender el material asentado en el colector. El material recuperado se fijó en una solución de etanol al 70% con agua de mar y se etiquetó cada muestra.

En el laboratorio, el material colectado fue separado con ayuda de tamices con apertura de malla de 100, 200 y 300 μm . El material se conservó en etanol al 70% y fue revisado con ayuda de un microscopio estereoscópico. De las fracciones separadas se revisó la de 300 μm , ya que en la literatura se ha reportado un tamaño promedio de postlarvas de abulón de reciente asentamiento de 450 μm (Leighton, 1974). En dichos muestreos se buscó la presencia de postlarvas de abulón. En el material recuperado se identificó una gran cantidad de organismos de otras especies de moluscos gasterópodos, de los cuales se realizó una identificación y recuento de las especies más conspicuas y abundantes con apoyo de la literatura para especies de la región (Keen & Coan, 1974; Brusca, 1980; Fischer et al., 1995).

Con la intención de tener una base de reconocimiento en el proceso de identificación, se procedió a formar una colección de referencia directa del desarrollo larvario de

especies de México, particularmente de *H. fulgens* y *H. corrugata*. Las colecciones de referencia se formaron con apoyo de los laboratorios y granjas de producción de la península de Baja California (Abulones Cultivados, S.A. de C.V., Aquam, S.A. de C.V., Laboratorio de Cooperativa Bahía Tortugas y Laboratorio de Cooperativa La Purísima).

6.6 Crecimiento de juveniles de abulón azul simulando dos patrones de temperatura de mar.

El efecto del clima marino, particularmente de la temperatura y de la dieta en el crecimiento de juveniles de abulón azul fue evaluado en laboratorio simulando la temperatura del agua de mar en años normales y en un año Niño intenso.

Patrones de temperatura y dietas naturales

En tanques de laboratorio se simularon dos patrones de temperatura uno como año normal (NO) y otro como año El Niño (NI), de acuerdo a los registros diarios de la temperatura superficial del mar observados en Bahía Asunción, B. C. S. Los datos del año normal fueron obtenidos del promedio observado durante los años de 1992 a 1996, y los del año Niño de los datos obtenidos durante El Niño 1997-1998. El ensayo consideró la fase de incremento de la temperatura (julio-agosto), la máxima temperatura (septiembre) y la fase de decremento (octubre-noviembre) durante el año de 1997 (Fig. 4).

En cada tanque con diferente patrón de temperatura, se utilizaron dos algas café, *Macrocystis pyrifera* (MP) o *Eisenia arborea* (EA), como alimento de los juveniles de *Haliotis fulgens* (Fig. 5). *M. pyrifera*, es considerada como dieta control por ser la mayor fuente de alimento para abulón, en poblaciones naturales y en laboratorio. Esta especie desaparece durante eventos intensos de El Niño (Hernández-Carmona et al., 2001). *Eisenia arborea* es una especie importante en las comunidades de abulón, y representa un alimento potencial a lo largo de la Península de Baja California (Guzmán

del Prío et al., 1972; Serviere-Zaragoza et al., 1998). Las poblaciones de *E. arborea* disminuyen durante los eventos El Niño, sin embargo, no desaparecen totalmente (Hernández-Carmona et al., 2001). Las dietas naturales fueron cosechadas, secadas y almacenadas al comienzo del experimento.

Procedimiento experimental

Se utilizaron juveniles de la especie *Haliotis fulgens*, producidos en cultivo. Sus tallas iniciales promedio fueron de 29.0 mm \pm 4.5 (s) de longitud de concha y 2.4 g \pm 1.2 (s) promedio de peso corporal. El crecimiento y sobrevivencia de estos juveniles se registró durante 120 días en condiciones de laboratorio. Los organismos fueron dispuestos en tanques de fibra de vidrio con capacidad de 16 litros y fondo cóncavo (50 x 30 x 37 cm, largo x ancho x alto) (Fig. 6a). El experimento consideró tres réplicas por tratamiento (NIMP, NIEA, NOMP, NOEA) con 26 abulones, por unidad experimental (UE). Los organismos fueron marcados con una pequeña marca de plástico adherida a la concha (Fig. 6b). La longitud de la concha fue medida con un Vernier y el peso corporal por medio de una balanza electrónica (hasta 0.0001 g) a 0, 30, 58, 97 y 120 días. Los organismos muertos fueron reemplazados con objeto de mantener la densidad. Sin embargo, éstos últimos no fueron considerados en los cálculos de crecimiento y sobrevivencia. Las dietas naturales fueron proporcionadas *ad libitum* cada 48 horas por la tarde.

A las unidades experimentales (UE) se les proveyó de agua de mar filtrada (10 μ m) a un flujo de 70 mL/min. El agua fue aireada vigorosamente. La temperatura del agua de mar fue controlada con un enfriador. Temperaturas altas se consiguieron utilizando calentadores de 100-W (VISI-TERM) en cada UE. La temperatura del agua fue supervisada diariamente con un termómetro durante la duración del experimento. Las algas que crecieron en las paredes de las UE's fueron removidas cada dos días con un raspado suave. El agua de mar utilizada para lavar las unidades experimentales fue calentada a la temperatura específica del ensayo un día antes.

Crecimiento

Las tasas de crecimiento para longitud de la concha y peso total fueron estimadas de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$TC_{LC} = (LC_f - LC_i)/t ; \text{ y}$$

$$TC_{PC} = (PC_f - PC_i)/t$$

donde:

TC_{LC} = tasa de crecimiento de la longitud de la concha;

LC_f = longitud final de la concha;

LC_i = longitud inicial de la concha;

TC_{PC} = tasa de crecimiento del peso del organismo;

PC_f = peso final del organismo;

PC_i = peso inicial del organismo, y

t = tiempo en días.

Análisis estadístico

Al inicio del ensayo no se detectaron diferencias significativas en longitud de concha y peso de juveniles entre las réplicas ($P < 0.05$). Las diferencias significativas de crecimiento, longitud de concha y peso total, entre los tratamientos se analizaron utilizando un análisis de varianza de dos vías con un nivel de significancia de $p = 0.05$. Se utilizó una prueba de Tukey para determinar la diferencia entre medias. El patrón de temperatura (NO, normal y NI, El Niño) y dieta (MP, *M. pyrifera* y EA, *E. arborea*) se consideraron como variables independientes (Sokal & Rohlf, 1998). Los análisis estadísticos fueron realizados con el software STATISTICA 6.0 para computadoras personales.

7. RESULTADOS

7.1 Caracterización climática de la zona de Bahía Asunción, B.C.S.

Variabilidad climática

La serie de datos de mediciones horarias y diarias en la zona de estudio muestra la presencia de dos eventos ENSO intensos, en 1992-1993 y 1997-1998; el intervalo de la temperatura para dichas series oscila entre los 11 °C y 29 °C aproximadamente (Fig. 7). Los análisis de correlación realizados entre: a) la serie de datos de temperatura horaria y la serie de datos de temperatura diaria; b) la serie de datos de temperatura diaria y la serie de datos de temperatura mensual promedio de Douglas y c) la serie de Douglas y la serie de COADS fueron significativos, lo cual le da validez estadística al análisis realizado para la caracterización ambiental en la zona. La relación entre la serie de datos de temperatura horaria y la serie de datos de temperatura diaria en el interior de Bahía Asunción, B.C.S., alcanza un coeficiente de correlación $r=0.952$ con $n=704$ (Fig. 8a). La relación entre la serie de datos de temperatura diaria y la serie de datos de temperatura mensual promedio de Douglas (Fig. 8b), muestra una correlación alta con un coeficiente $r=0.909$ y $n=49$.

Los valores promedio de la temperatura del agua de mar medidos de forma horaria y cada 24 horas variaron entre 11.01 °C como mínimo y 28.06 °C como máximo; los valores de temperatura del agua promediados mensualmente se encontraron entre 18.0 °C como mínimo y 29.0 °C como máximo (Tablas 2, 3 y 4; Ponce-Díaz et al., 2003a).

Ciclo circadiano

El análisis de la variabilidad de la temperatura a escala circadiana y con una perspectiva anual y estacional muestra que en invierno y en primavera se presenta un ciclo circadiano con dos máximos al día. En la estación de primavera se presentan las temperaturas del mar más bajas (Figs. 9 a,b,c,d y e).

El promedio del ciclo circadiano anualizado se comporta de manera muy parecida a lo que ocurre en verano y otoño, por lo que es de suponer que estos patrones unimodales con máximos entre 12:00 y 16:00 hrs., dominan el promedio anual (Figs. 9 a,b,c,d y e).

La presencia de las temperaturas más bajas en primavera coincide con los fenómenos de surgencias reportados para la zona (Walsh et al., 1974; Walsh & Whittledge, 1977). En invierno y primavera se observa un ciclo circadiano con dos máximos durante el día (Fig. 9a y 9b), mientras que en verano y otoño el ciclo está marcado por la presencia de un solo máximo hacia medio día y mínimos en las primeras horas del día (Fig. 9c y 9d). En otoño es la época en la que se tiene reportado el mayor pico del desove en abulón (Guzmán del Prío, 1992; Belmar-Pérez & Guzmán del Prío, 1992) y en este caso es cuando se observan las temperaturas más altas (19.5 °C), por lo que asumimos que bajo estas temperaturas se disparan mecanismos reproductivos de las especies de abulón de Bahía Asunción, B.C.S.

El análisis de la escala circadiana en términos de las variaciones de la amplitud de este ciclo con respecto a una comparación entre años (interanual) muestra que en el año 2000 la amplitud del ciclo diario varió estacionalmente de alrededor de 0.6 °C en el invierno hasta alrededor de 1.5 °C en el verano; mientras que durante el periodo previo (1997-1999) las amplitudes fueron en general más bajas y constantes a lo largo del año, especialmente durante El Niño 1997-1998 (Fig. 10).

Ciclo estacional

El patrón estacional de los datos del año 2000 como representativo de año normal, en relación a las desviaciones de este patrón con los años de 1992 a 1999 muestran que la temperatura más baja se presentó durante el mes de mayo, mientras que la más alta ocurrió en septiembre (Fig. 11a).

Variabilidad interanual

De las desviaciones de la serie con respecto al año 2000, se observan con claridad la presencia de los eventos Niño de 1992-1993 y 1997-1998, así como en fenómeno inverso (La Niña) durante los años 1999-2000 (Fig. 11b).

Variabilidad de largo plazo

En la perspectiva de largo plazo se observa la correspondencia entre las series originales de anomalías de temperatura de COADS y Douglas, mismas que se acercan a los 2 °C en años cálidos y hasta -1 °C en años fríos durante el período 1958-1997. En el período 1900-1997, la serie de COADS suavizada, muestra amplitudes de la anomalía entre 1 °C y -0.75 °C. Sin embargo, lo que importa resaltar aquí es el cambio radical en el ambiente entre los años fríos que predominaron antes de los años 1940 y los cálidos de la última parte del siglo (Fig. 12).

Análisis espectral

La contribución relativa de las señales de los componentes climáticos detectados por esta caracterización ambiental de la zona de estudio, se muestran como valores del periodograma en la Figura 13, en donde se resalta la particular importancia de los componentes estacional e interanual que reporta el análisis espectral.

7.2 Modelación pesquera.

Captura y esfuerzo de la pesquería de abulón

La pesquería de abulón inició en los años cuarenta su etapa más reciente en Bahía Asunción, B.C.S., pero es a partir de finales de los años cincuenta que se cuenta con información estadística sobre capturas y esfuerzo en esta zona geográfica. Los bancos son aprovechados por dos organizaciones de pescadores a través de cooperativas pesqueras (California de San Ignacio y Leyes de Reforma).

En la pesquería de abulón de la zona de estudio se capturan diversas especies, siendo abulón azul y abulón amarillo las especies relevantes. Otras especies como abulón negro y abulón chino reportan cantidades no significativas. En la actualidad el abulón azul participa con aproximadamente el 85-90% de la producción. Se ha distinguido un proceso de cambio en la proporción de las especies en la captura que tuvo su efecto más conspicuo durante la segunda mitad de la década de los años setenta (Figura 14).

Las capturas de abulón de todas las especies en esta zona entre los años de 1959 a 1965 alcanzaron 500 toneladas anuales. Durante los años de 1966 a 1973 las capturas bajaron de manera ligera para situarse en cifras entre las 400 y 500 toneladas de callo anuales. Sin embargo, a partir de 1974 hasta 1985, las capturas de abulón declinaron de manera sostenida desde cerca de las 400 ton/año hasta 60-70 toneladas en 1984. Entre los años de 1986 y 1997 se observa un ligero repunte en las capturas para posteriormente bajar de nueva cuenta hasta el nivel de 40 toneladas capturadas en 1997 (Fig. 14). Al considerar la trayectoria de las capturas de abulón azul, se observan tres picos de capturas en 1971, 1975 y 1990-92, después de los cuales se presentan bajas sensibles.

En general dadas las características homogéneas en las embarcaciones y modo de operación de los buzos en la pesquería de abulón en México, se ha considerado en diversos análisis al esfuerzo nominal (mareas o viajes de pesca) como esfuerzo efectivo de pesca (Rocha & Arreguín-Sánchez, 1987; Shepherd et al., 1998; Ramade-Villanueva et al., 1998; Ponce-Díaz et al., 2000).

El esfuerzo pesquero total registrado en la pesquería de abulón de Bahía Asunción, B.C.S., muestra que la magnitud de los viajes realizados a principios de la década de los años 1960 fue del orden de los 1,000 viajes de pesca por año. Posteriormente, se mantuvieron en un promedio de 3,500-4,000 viajes durante varios años, para luego dispararse hasta los 8,200 viajes aproximadamente a mediados de los años 1970. Pocos años después bajó el esfuerzo de pesca de una manera abrupta, para luego del

año de 1980 a 1993 oscilar entre los 2,000 y 3,000 viajes y por último descender durante 1996-1997 a los 1,000 viajes anuales. Esto es, en 1997 se aplicó un esfuerzo de pesca de aproximadamente 12% con respecto al máximo ejercido (Figura 15).

La información sobre captura, esfuerzo y estimaciones de biomasa independientes de la pesquería permitió construir la serie de datos de captura por unidad de esfuerzo. Los diagramas de dispersión y análisis de correlación a partir de esta información mostraron una alta proporcionalidad entre la CPUE y la captura total, $r^2=0.73$ (Fig. 16) y entre la CPUE y las estimaciones de biomasa de abulón $r^2=0.67$ (Fig. 17) ambas con significancia estadística ($\alpha=0.05\%$).

7.2.1 Modelos Globales de Producción Excedente.

a) Modelo de Schaefer

En la exploración del comportamiento de los rendimientos pesqueros, al utilizar el diagrama de dispersión y del ajuste de los datos de todas las especies de la pesquería de *Haliotis* spp. en Bahía Asunción, B.C.S., con el modelo de Schaefer se estimó un rendimiento máximo sostenido cercano a las 400 toneladas y un esfuerzo óptimo alrededor de 6,600 viajes de pesca (Fig. 18). De acuerdo a la trayectoria de la curva de captura, se identificaron tres períodos; uno de altos rendimientos, otro de transición y uno de bajas capturas. El período de mayores rendimientos pronosticados por el ajuste, se encuentra entre 1959 y 1972 (Fig. 19a), mientras que los rendimientos estimados más bajos son entre 1978 y 1997 (Fig. 20a)

De manera conjunta el ajuste del modelo de Schaefer en sus tres distintas etapas, se aprecia en la figura 21, de la que resultan tres condiciones distintas en rendimientos. De acuerdo a las capturas observadas y a los ajustes realizados, se distinguen tres etapas en la pesquería: años de altos rendimientos con alrededor de 500-600 toneladas, asociados a los inicios de la pesquería; años de transición de capturas medias, aproximadamente entre 300 y 400 toneladas y años de bajos rendimientos con

alrededor de 100-150 toneladas de captura, las cuales son observadas en la época más reciente. Lo anterior sugiere, con esta metodología, la existencia de estados poblacionales distintos a lo largo de la serie de datos, observándose una amplia variabilidad en los ajustes, por lo que se presume que habría efectos ambientales que al considerarlos en los ajustes, podrían disminuir la variabilidad observada.

En el caso de *H. fulgens*, el ajuste del modelo a toda la serie, genera capturas máximas estimadas en alrededor de las 110 toneladas por año. Mientras que el ajuste por periodos muestra que durante 1959-1972 los rendimientos máximos estimados por el modelo se situaron alrededor de las 90 t por año, y que durante el período de 1980-1997 aumentaron de nueva cuenta a 110 t por año aproximadamente (Figs. 22a, 23a, 24a).

b) Modelo de Schaefer considerando el efecto de la variabilidad climática

Se usó el algoritmo desarrollado por Freón et al. (1993), el cual utiliza la información original de captura y esfuerzo para, mediante diferentes posibilidades, ajustar distintos modelos a datos y proponer el más adecuado de acuerdo al criterio de ajuste de coeficiente de correlación. El algoritmo de ajuste se aplicó a la pesquería en su conjunto (todas las especies), así como al abulón azul (*H. fulgens*) y amarillo (*H. corrugata*). A partir de 31 posibles funciones o modelos originales que contempla el programa CLIMPROD, se realizaron los ajustes del modelo respectivo y se obtuvieron los residuales de dichos ajustes que variaron de 69 unidades como mínimo a 834 unidades como máximo. Se seleccionaron los tres modelos que brindaron mayor ajuste considerando su alto coeficiente de determinación (≥ 0.60). Estos ajustes y sus residuales se presentan en las figuras 25 a 27, en éstas se aprecian los valores de la CPUE observada y la estimada por el modelo así como los residuales del mismo, también se presenta el tipo de relación, según las figuras: $CPUE=a*V+b+V^2+c$; $CPUE=a+b+V+c*V^2+d*E$ y $CPUE=(a+b*V)\exp(c*E)$ respectivamente, donde la CPUE es la captura por unidad de esfuerzo, V la variable ambiental y E el esfuerzo pesquero, mientras que a, b, c y d son parámetros de ajuste. En las tablas 5, 6 y 7, se reportan,

de acuerdo al modelo utilizado, los parámetros estimados por el programa, el valor de éstos y su coeficiente de determinación, asimismo en el caso de identificar algún peso de la variable ambiental sobre la función de producción o rendimiento, se sugiere si ésta opera sobre la abundancia, la capturabilidad o ambas.

En el proceso exploratorio de inclusión de la variable ambiental por medio del algoritmo desarrollado por Freón et al. (1993), el ajuste con mayor coeficiente de determinación para el caso de todas las especies juntas es de $r^2=0.12$ (Tabla 5); en el caso del abulón azul resultó con los ajustes que presentaron los coeficientes de determinación más altos, en general por arriba de 0.40 (12 modelos ajustados), incluso en algunos casos los coeficientes alcanzaron niveles de 0.60 a 0.63 de r^2 , entre los tres seleccionados, en donde se identifica la acción de la variable climática (anomalía de la TSM) como un factor que tiene influencia sobre la abundancia de la población (Tabla 6). Por su parte para *H. corrugata*, el coeficiente de determinación más alto es de $r^2=0.27$ (Tabla 7).

c) Modelo de Biomasa Dinámica

En su forma original, no fue posible ajustar el modelo de Biomasa Dinámica a la pesquería de *H. fulgens*. Al intentarlo, se obtuvieron resultados imposibles biológicamente, como valores de tasas de crecimiento (r), coeficientes de capturabilidad (q) o biomazas negativas, lo que pudiera sugerir alguna limitación en la estructura de la información, tal como la requiere este tipo de modelo (Hilborn & Walters, 1992; Hernández-Herrera et al., 2001). Por lo anterior, se probó con los datos de captura y esfuerzo, ajustando a través de la transformación del modelo original, expresado en términos de CPUE. El ajuste logrado mediante un proceso iterativo (método cuasi-Newton de la función SOLVER de la hoja de cálculo EXCEL) permitió minimizar la suma de cuadrados entre la diferencia de la CPUE observada y la CPUE calculada (SDC=3,090 unidades) y con ello la estimación de los parámetros del modelo y un mejor ajuste. En las figuras 28 a, b, c, y d, se presenta el ajuste del modelo, los residuales respecto al tiempo y los residuales respecto a la anomalía de la TSM, tanto en tiempo sincrónico como con un desfase de 5 años. Este último es el tiempo

estimado de reclutamiento a la pesquería para *H. fulgens*, de acuerdo al conocimiento biológico pesquero de la especie en la zona de estudio y al resultado de un análisis realizado de correlación cruzada entre las variables de rendimientos y ATSM.

d) Modelo de Biomasa Dinámica considerando el efecto de la variabilidad climática

Al incluir la variabilidad ambiental en este modelo, se observó que al hacer el ajuste del modelo a los datos observados de CPUE para la pesquería de abulón azul, la suma de cuadrados disminuyó aproximadamente un 11% con respecto al ajuste que considera solamente el esfuerzo pesquero (SDC=2,746). Se observa que la inclusión de la variable ambiental para este caso mejora sólo ligeramente el ajuste obtenido previamente (Fig. 29a), respecto de los residuales estos no difieren mayormente. Lo que se identifica con la inclusión de la variable ambiental (ATSM) al modelo es que lo hace más estable numéricamente.

7.2.2 Modelos Estructurados.

a) Modelo de Estructura por Edades

El modelo desarrollado sobre la base de la estructura por edades considera dos matrices básicas; una con la estructura por edades en términos de número de individuos y la otra en función de la biomasa (Ponce-Díaz et al., 2000). Este modelo para la pesquería de abulón azul, presenta un ajuste alto con respecto a las capturas observadas y estimadas para todo el periodo de estudio. Se considera a la mortalidad por pesca (F), como el factor que explica el comportamiento de los rendimientos (Fig. 30). Asimismo, se observa un ajuste razonable entre la biomasa explotable estimada por el modelo y las biomásas anuales estimadas de manera independiente de la pesquería (Fig. 31).

Las capturas del año t se encuentran directamente relacionadas con el esfuerzo de pesca y con la cantidad de organismos disponibles en la población en el año anterior $t-1$, debido a la importancia del proceso de retroalimentación que ocurre en la población al incorporarse al stock cada nuevo periodo, organismos jóvenes o nuevos reclutas.

Con este enfoque se estimó el nivel de reclutamiento anual y las anomalías de éste para el período de estudio evidenciando un patrón con ciclos (Fig. 32).

A partir de la información de composición por especie en la pesquería señalada en el capítulo de material y métodos y con los parámetros a que se refiere la Tabla 1 (Ponce-Díaz et al., 2000), se llevó a cabo la estimación de los rendimientos potenciales en función de la mortalidad por pesca, la cual mostró que el rendimiento óptimo de la pesquería de abulón azul está situado en aproximadamente las 126 toneladas, con una mortalidad por pesca de $F=1.3$, mientras que el máximo rendimiento económico se obtiene con una menor mortalidad de $F=0.9$ aproximadamente (Fig. 33).

b) Modelo de Estructura por Edades considerando el efecto de la variabilidad climática

La estimación del coeficiente de capturabilidad en función del tiempo mostró valores relativamente bajos al inicio de la pesquería, variaciones marcadas en este índice durante la década de los años 1970 y por último un aumento significativo desde el año de 1985 hasta el 1992, para luego bajar abruptamente a niveles observados en la década de los años 1970 (Fig. 34). Con el análisis del comportamiento de la capturabilidad por grupo de edad, se observa una función exponencial negativa muy pronunciada, con valores altos de capturabilidad en las edades entre 5 y 7 años, para luego disminuir a valores muy bajos entre la edad nueve y hasta 20 años del abulón azul (Fig. 35).

La relación entre el coeficiente de capturabilidad y la anomalía de la temperatura superficial del mar, fue explorada en tiempo sincrónico y con un desfase de cinco años. Cuando los datos del coeficiente de capturabilidad y de la anomalía de la TSM son sincrónicos, se observa una relación funcional con características de parábola cóncava, encontrando los máximos de la función hacia valores relativamente bajos y altos de la anomalía de la TSM (Fig. 36). En el caso de la relación con un desfase de cinco años, se aprecia un ajuste distinto, de hecho, el de una parábola con signo contrario a la

anterior, no muy pronunciada, con un ligero máximo alrededor del valor promedio de la TSM (Fig. 37). No obstante ambos ajustes no son significativos al 95% de confianza.

A partir del vector del coeficiente de capturabilidad en el tiempo (q_t), se procedió a reajustar el modelo que considera estructura por edades (Ponce-Díaz et al., 2000) e incluir la variabilidad observada en este coeficiente, afectando a la mortalidad por pesca al considerar en los cálculos el esfuerzo pesquero nominal (Fig. 38a). De esta forma consideramos la inclusión de la variable ambiental al modelo estructurado, a partir del coeficiente de capturabilidad y a su vez del efecto de éste sobre la mortalidad por pesca. De la gráfica se desprende que, tomando en consideración la suma de cuadrados, el ajuste que incluye la variabilidad ambiental no es mejor que aquel que solo considera la mortalidad por pesca (SCD=101,112,427,079 unidades con variabilidad ambiental y SDC=56,521,321 unidades sin variabilidad ambiental respectivamente).

7.3 Resultados de Residuales.

Los residuales del ajuste del modelo de Schaefer para todas las especies respecto del tiempo, considerando todo el periodo de estudio de la pesquería (1959-1997), muestran una etapa desde principios de los años 1960 hasta mediados de los años 1970, en la que los rendimientos son más altos que los que pronosticó el modelo y a partir de la segunda mitad de la década de los años 1970, en donde los rendimientos son más bajos que los estimados por la modelación pesquera (Fig. 18b). Los residuales de los ajustes para los períodos 1959-1972 y 1979-1997 se presentan en las figuras 19b y 20b respectivamente. En estas figuras (18b, 19b y 20b) es posible apreciar que los residuales no son clásicamente aleatorios para cada período (Draper & Smith, 1981; Goodall, 1983; Hanke & Reitsch, 1997).

Los residuales del modelo aplicado a los datos de abulón azul en diferentes series de tiempo se observan en las figuras 22b, 23b y 24b. En el caso del ajuste a toda la serie;

1958-1997 existe variabilidad en los residuales. Este ajuste de *H. fulgens* no presenta el caso que se observó en el ajuste de todas las especies de un cambio en los rendimientos durante la mitad de los años 1970. Por otra parte en las figuras 23b y 24b, se observan valores por debajo de lo estimado durante el período de 1958 a 1968, alta variabilidad en los residuales entre 1970 a 1972 y residuales positivos de 1988 a 1993 para luego presentar de nuevo valores negativos en el último período de 1994 a 1997.

En los residuales que resultan de la aplicación del algoritmo CLIMPROD, tampoco es factible identificar distribuciones aleatorias clásicas con claridad. De hecho los residuales de todos los ajustes no presentan la serie completa debido a que el algoritmo “acorta” la longitud de la serie. De los modelos seleccionados por su alto coeficiente de determinación, las distribuciones de los residuales se aprecian oscilatorias (Figs. 25, 26 y 27).

En el ajuste del Modelo de Biomasa Dinámica con influencia de la mortalidad por pesca, los residuales observados respecto al tiempo mostraron mayor variabilidad al principio de la década de los años 1970 y durante la década de los años 1980 (Fig. 28b). Por otra parte, se procedió a identificar la existencia de relaciones entre los residuales y la variable ambiental. Se obtuvieron las funciones lineales derivadas de un análisis de regresión y correlación considerando ajustes sincrónico y con desfase de cinco años; en el primer caso no se observa una relación claramente (Fig. 28c) y en el segundo caso hay una tendencia a un ligero aumento de los residuales hacia los valores extremos de la variable ambiental aunque esta relación es poco intensa con $r^2=0.037$ y no es significativa estadísticamente con una α de 0.05%, (Fig. 28d).

Los residuales observados al aplicar el Modelo de Biomasa Dinámica que considera los efectos de la mortalidad por pesca y la variabilidad climática presentan una tendencia similar a la observada en el caso en que se toma en cuenta sólo la mortalidad por pesca y los residuales no se consideran significativamente diferentes (Fig. 29b). La relación entre los residuales y la variable ambiental indica una relación positiva de los

residuales, conforme aumentan los valores extremos de la anomalía de la temperatura superficial del mar, sin embargo presentan coeficientes de determinación bajos. No presentan significancia estadística (α de 0.05%), ni en tiempo sincrónico ni cuando se considera el retraso de 5 años (Figs. 29c y 29d).

En el caso del ajuste del modelo de estructura por edades, dado que al esfuerzo se le atribuye un gran peso en la explicación del comportamiento de los rendimientos debido al método de solución, los residuales respecto al tiempo prácticamente son mínimos, salvo al inicio de la pesquería y a mitad de los años 1970 (Fig. 30b).

Al aplicar el modelo de estructura poblacional que incorpora la variable ambiental, se generan residuales del ajuste que se presentan en la Fig. 38b. Estos residuales son mayores a los modelos previamente utilizados dado que consideran capturas totales. En ellos se observa un comportamiento con ciclos, en los que ocurren predominantemente valores negativos, salvo los últimos años de la simulación. Respecto a una posible relación entre los residuales del rendimiento pesquero y la variable del clima marino, se observan diagramas con alta dispersión y bajo coeficiente de determinación tanto para tiempo sincrónico como con desfase de 5 años (α de 0.05%), lo que indica, a partir de éste modelo, una muy pobre relación o inexistente entre la variable ambiental, los rendimientos pesqueros y los residuales de los mismos con respecto a la anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) (Figs. 38c y 38d). Lo anterior, sugiere una potencial relación con alguna otra variable ambiental de comportamiento cíclico u oscilatorio.

7.4 Relaciones funcionales empíricas entre rendimientos pesqueros y variabilidad climática.

De la regresión y correlación entre los rendimientos de la pesquería de abulón azul y amarillo (logaritmo de la CPUE), considerando un desfase de 5 años con respecto a la anomalía de la temperatura superficial del mar (ATSM) observada en la zona de

estudio de acuerdo a la serie de temperatura de Douglas se obtuvieron los ajustes para cada especie (Figs. 39a, 39b). Se observa una alta dispersión de los puntos; sin embargo, se aprecia una relación de aumento en los rendimientos de abulón azul con respecto al aumento de la anomalía de la temperatura superficial del mar. En el caso de abulón amarillo, aunque también se aprecia una alta dispersión, se presenta un comportamiento contrario de los rendimientos con respecto a la ATSM, es decir una disminución del logaritmo de la CPUE, sin embargo, ambas relaciones no son significativas al 95%, sino a un menor nivel de confianza (89% y 78% para abulón azul y amarillo respectivamente).

7.5 Colecta de postlarvas de abulón en estructuras artificiales.

Las colecciones de referencia para *Haliotis* spp., utilizadas para identificación, incluyen etapas desde larva trocófora hasta postlarvas o juveniles de 50 días, en las que se observan ya los poros respiratorios completamente formados.

En la tabla 9 se presentan los resultados cualitativos y cuantitativos de la revisión de las muestras obtenidas en los colectores. Cuando fue posible la identificación, ésta fue realizada al máximo nivel taxonómico posible, debido a que fundamentalmente se trabajó con organismos de tallas pequeñas y algunos de ellos son organismos en desarrollo, por lo que no se logran evidenciar todas las características definitivas para su correcta identificación.

En todo el periodo, de octubre de 1999 a marzo del 2000, se registraron solamente 2 postlarvas de abulón, en las muestras del mes de diciembre de 1999. Las muestras con mayor diversidad y abundancia relativa de especies fueron las de octubre-noviembre, identificándose principalmente gasterópodos, algas calcáreas articuladas (Abbott & Hollenberg, 1976), microcrustáceos (Brusca, 1980), hidrozoarios y anélidos poliquetos (Salazar-Vallejo et al., 1988), entre otros.

Dentro del abundante grupo de gasterópodos presentes en las muestras, se distinguen organismos cuya morfología externa se asemeja a componentes de las familias Naticidae, Trochidae y Turbinidae (Fischer et al., 1995). Organismos que aparecieron con una alta frecuencia fueron identificados como integrantes del género *Sinezona* spp. (Keen & Coan, 1974).

El registro de temperatura *in situ*, en las inmediaciones del banco de abulonero mostró temperaturas cercanas a 20-21 °C en el mes de septiembre de 1999, con algunas variaciones importantes (4 °C aproximadamente) entre septiembre y octubre, para luego presentar una tendencia general de descenso hasta los 13 °C aproximadamente en el mes de febrero del 2000 (Fig. 40).

7.6 Crecimiento de juveniles de abulón azul simulando dos patrones de temperatura de mar.

Las temperaturas simuladas en los tanques de laboratorio mostraron una variación máxima de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, lo cual está relacionado con la precisión del equipo utilizado para el control de la temperatura del agua de mar (Fig. 41).

Crecimiento

El crecimiento en longitud de concha y peso total fue mayor en juveniles alimentados con *Macrocystis pyrifera* (MP) que en juveniles alimentados con *Eisenia arborea* (efecto principal: $p < 0.01$), en ambos regímenes de temperatura (Figs. 42 y 43). Sin embargo, el crecimiento (longitud y peso) fue afectado por la dieta de manera diferente con relación al régimen de temperatura (interacción: $p < 0.05$). Al final del periodo de estudio, el mayor crecimiento en longitud de concha y peso se obtuvo en juveniles que crecieron en el tratamiento NIMP, 34.94 mm \pm 0.60 (s) y 4.61 g \pm 0.24 (s), y fue estadísticamente diferente de los juveniles alimentados con *E. arborea*; NIEA, y NOEA. El menor crecimiento fue en juveniles que crecieron en el tratamiento NIEA, 30.12 mm \pm 0.91 (s) y 2.83 g \pm 0.33 (s), el cual presentó diferencias significativas con juveniles creciendo en

los tratamientos NOMP en longitud de concha, pero no en peso (Figs. 42 y 43). Las tasas de crecimiento diaria en longitud y peso (efecto principal: $p < 0.01$) fueron mayores en juveniles alimentados con MP que en juveniles alimentados con EA, en ambos regímenes de temperatura. Aunque, ambas tasas de crecimiento fueron afectadas por la dieta en forma diferente con relación a la temperatura (interacción: $p < 0.05$). La mayor tasa de crecimiento se observó en juveniles creciendo en el tratamiento NIMP, $39 \mu\text{m día}^{-1} \pm 3$ (s) y $16 \text{ mg} \pm 1$ (s), la cual fue estadísticamente diferente a la obtenida en juveniles alimentados con *E. arborea*; NOEA, y NIEA. La menor tasa de crecimiento se registró en juveniles del tratamiento NIEA, $11 \mu\text{m día}^{-1} \pm 3$ (s) y $4 \text{ mg} \pm 1$ (s), siendo estadísticamente diferente de la de juveniles alimentados con *M. pyrifera*; NOMP, y NIMP (Figs. 42 y 43). El porcentaje promedio de sobrevivencia fue de 96% en NOMP, 95% en NIMP, 94% en NOEA y 93% en NIEA (Tabla 9). No se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos.

8. DISCUSIÓN

Caracterización climática de la zona de estudio

De estudios llevados a cabo en la región de Bahía Asunción a Punta San Hipólito se desprende que esta zona costera es influenciada tanto por la Corriente de California con dirección de norte a sur durante primavera-otoño así como por la Corriente de Davison con dirección sur a norte durante noviembre-febrero cuando el viento dominante del norte deja de soplar con intensidad (Walsh et al., 1974).

La Corriente de California es el flujo de agua del norte hacia el sur entre las latitudes 48° y 23°, y en este límite sureño es donde aguas subárticas convergen con aguas de origen ecuatorial (Svedrup et al., 1942). Esta característica, entre otras, hace que la zona de estudio se encuentre dentro de una zona de transición de aguas templadas y subtropicales que se presentan a lo largo de la costa occidental de la Península de Baja California.

Los límites de sobrevivencia reportados para postlarvas de abulón rojo *H. rufescens* están entre 10 y 19.5 °C; en *H. corrugata* y *H. fulgens* los límites inferiores son similares a *H. rufescens*, pero con diferentes límites superiores, 23.5 y 26.0 °C, respectivamente. La sobrevivencia de *H. corrugata* y *H. fulgens* fue cercana al 100% sobre un rango amplio e intermedio de temperaturas declinando abruptamente en las vecindades de los 2 °C respecto de los extremos (Leighton, 1974). Estos datos sugieren un efecto negativo de los fenómenos ENSO de gran intensidad sobre las postlarvas de abulón con menor tolerancia a valores altos de temperatura, como las alcanzadas en la zona de estudio (28 – 29 °C) durante el ENSO 1997-1998.

El efecto de la temperatura sobre juveniles de abulón es diferente entre especies. Las mayores tasas de crecimiento se alcanzan entre los 18 - 19 °C para *H. rufescens*, 24 °C para *H. corrugata* y hasta 27-28 °C para *H. fulgens* (Leighton, 1974), lo que indica que los juveniles de *H. fulgens* son eventualmente favorecidos con incrementos de

temperatura asociados a eventos ENSO no intensos si, por supuesto, existe alimento adecuado disponible. Rodríguez-Valencia & Caballero-Alegría (2002) mencionan un efecto positivo del incremento de la temperatura sobre el reclutamiento de abulón en Islas Benitos, B.C.

Es importante mencionar que, si bien la variación en magnitud de la temperatura entre mínimos y máximos se encuentra prácticamente en todas las estaciones del año dentro de los límites de un grado centígrado, en valores absolutos se registró desde aproximadamente los 12.5 °C como mínimo en primavera hasta aproximadamente 19 °C como máximo en otoño, lo que hace una diferencia de hasta 6.5 grados centígrados cuando se compara entre estaciones del año (Fig. 9 a,b,c y d).

Respecto al comportamiento intranual de la temperatura del mar, referido al año 2000 (Fig. 10), se aprecia que particularmente las diferencias en la amplitud del ciclo diario son menores en los años 1997-1998 o año Niño que en otro periodo; esto significaría que las altas temperaturas que se presentaron en estos años se mantuvieron relativamente constantes a diferencia de lo observado en los otros años; adicionalmente, la variación es más amplia hacia la época invernal.

El ciclo mensual ajustado muestra claramente la estacionalidad de la temperatura del mar, siendo abril y mayo los meses de temperaturas más bajas; en contraste con agosto, septiembre y octubre que son los de mayor magnitud de temperatura. Las desviaciones de la serie de temperaturas diarias con respecto al año 2000 muestran claramente desviaciones positivas durante los años de 1992-1993 y 1997-1998, tal y como era de esperar dada la presencia en esos años del fenómeno de El Niño a los que les sigue un periodo de temperaturas más bajas en general (Fig. 11a y 11b).

Es de resaltar que en cuanto a las condiciones de largo plazo, en general se puede identificar una tendencia de relativas bajas temperaturas hasta finales de los años 1930, posteriormente se presenta una etapa de marcada variabilidad (alternancia de

ciclos fríos y ciclos cálidos) desde principios de los años 1940 hasta mediados de los años 1970. A partir de la segunda mitad de dicha década se presenta un cambio hacia temperaturas más altas como lo muestran las anomalías de la temperatura superficial del mar (Fig. 12). Esta condición de aumento de temperatura de manera constante y sostenida sugiere que las condiciones de la comunidad donde el abulón se desarrolla pudiesen verse paulatinamente alteradas y potencialmente afectar en alguna medida, la biología poblacional de cada una de las especies de este gasterópodo que se distribuyen en la zona de estudio o bien de alguna otra especie relevante de la comunidad (Guzmán del Prío, 1994; Shepherd et al., 1998; Lluch-Belda et al., 1997).

En la perspectiva del siglo, es evidente que los años recientes (después de mediados de los años 1970) representan una condición mucho más cálida que la que persistió durante las décadas anteriores. De hecho, la región era alrededor de 1.3 °C más fría durante las primeras décadas del siglo (1900-1935) que en los tiempos recientes (1978-1996). El periodo de inicio y desarrollo de la pesquería (1950-1975) fue, en promedio, 0.7 °C más frío que el actual (Ponce-Díaz et al., 2003b).

Considerando la caracterización ambiental con perspectiva de siglo, cabe la hipótesis de que particularmente la flora y la fauna bentónicas características de la comunidad rocosa de bancos pesqueros de abulón pudieran haberse visto afectadas por un aumento sostenido de la temperatura en los últimos años. Esto, es debido a que las especies mencionadas como características o dominantes de la comunidad de bancos abuloneros, en áreas aledañas, como son: *Marcocystis pyrifera*, *Eisenia arborea*, *Astrea undosa*, *Haliotis fulgens*, *H. corrugata*, *Corallina officinalis*, *C. pinnatifolia*, *Bossiella orbigniana*, coralináceas costrosas, *Megathura crenulata* y *Phyllospadix torreyi* son de origen templado, salvo las del género *Corallina* spp., las cuales se identifica como de origen subtropical (Guzmán del Prío et al., 1991). Esta hipótesis es coherente con los resultados del trabajo de Barry et al. (1995) quienes reportan un cambio de largo plazo en la composición de especies de invertebrados en una comunidad rocosa intermareal en la parte central de California, E.U., en donde la

abundancia de ocho de nueve especies con distribución sureña se incrementó significativamente, mientras que la abundancia de cinco de ocho especies de afinidad norteña decreció de forma significativa entre 1931-33 y 1993-94, periodo en el que se registró un aumento de la temperatura media del mar.

Adicionalmente, uno de los componentes más relevantes de la comunidad como es *Macrocystis pyrifera*, ha sido estudiado con una perspectiva de largo plazo en la parte sur de California y se concluyó que la biomasa de esta macroalga disminuyó su magnitud en aproximadamente dos tercios con respecto a 1957. Esta disminución se ha relacionado estrechamente con un aumento de la temperatura del mar y la limitación concomitante de nutrimento clave para el desarrollo de esta especie (Tegner et al., 1996).

En la actualidad, *H. fulgens* es la especie que domina la pesquería en Bahía Asunción con alrededor de 90% mientras que *H. corrugata* aporta aproximadamente un 9% (León-Carballo & Muciño-Díaz, 1996; Ramade-Villanueva et al., 1998). Sin embargo, *H. corrugata* fue el principal componente de la pesquería durante los inicios de ésta y fue reduciendo su aportación de manera continua y de forma más evidente a mediados de los años setenta (Ponce-Díaz et al., 2000). Por otro lado, en California recientemente se ha prohibido la captura del abulón ya que se observó una tendencia de disminución de sus poblaciones desde principios de los años cincuenta para *H. corrugata* y a mediados de los años setenta para *H. fulgens* hasta llegar al punto de cerrar la pesquería (Karpov et al., 2000). Esta situación indica que estas especies presentan una tolerancia diferencial a las condiciones del clima en la región. Así, *H. fulgens* tiene una mayor adaptación a esta zona de transición que otras especies de abulones según lo demuestra su proporción en las capturas de años recientes, mismos que se distinguen por ser más cálidos de lo normal, de acuerdo a la serie histórica de las anomalías de la TSM, así como por su distribución más sureña al llegar la especie hasta los límites de Bahía Magdalena (Cox, 1962). No obstante, esta posibilidad de un efecto de largo plazo (por temperatura) en la reducción de las poblaciones de *H. corrugata* no elimina

una relación causal de la pesca en la disminución de abulón amarillo o bien que esta disminución sea resultado de una interacción de estos dos factores.

Por su parte, el análisis de densidad espectral indica que la mayor contribución a la variabilidad de la serie es el componente estacional, quizás esto se deba en gran medida a la propia variabilidad de la temperatura dentro del año y a la resolución de las mediciones utilizadas en este trabajo; sin embargo, conviene subrayar que el componente interanual es el segundo factor que explica la mayor variabilidad de los datos, lo cual se identifica seguramente con la presencia de fenómenos tipo ENSO en la zona y el consecuente efecto de estos fenómenos sobre el abulón en particular y la comunidad en general.

Ante la presencia de eventos tipo ENSO, Guzmán del Prío et al. (2003) han sugerido que ocurren cambios como la reducción de ciertas poblaciones de pelágicos menores, disminución de alimento, cambios temporales en la estructura trófica de los sistemas, invasión de especies tropicales hacia zonas templadas e incluso cambios en la biodiversidad; sin embargo, todos estos cambios, deletéreos para ciertas especies, tienen un carácter episódico como el propio fenómeno de El Niño y su efecto en la comunidad biótica depende de su intensidad y duración.

En relación a los efectos del severo Niño 1997-1998 se ha reportado para la costa occidental central de la península de Baja California, un efecto directo sobre la comunidad de los mantos de *Macrocystis pyrifera*, los cuales desaparecieron totalmente hacia finales de otoño (noviembre de 1997) y en el caso de *Eisenia arborea*, la especie quedó reducida a unos cuantos especímenes desfoliados en la zona contigua de Bahía Tortugas (Guzmán del Prío et al., 2003). Sin embargo, para zonas más al sur, el efecto sobre *Eisenia arborea* no fue tan drástico (Hernández-Carmona et al., 2000). Este efecto deletéreo sobre estas macroalgas es relevante por su condición de ser fuente de dietas naturales para el abulón (Guzmán del Prío et al., 1991; Serviere-Zaragoza et al., 1998). Otro efecto directo observado sobre los componentes

de la comunidad, producto de la variación interanual de la temperatura del mar, es la disminución en el reclutamiento de juveniles de abulón para la zona de Bahía Tortugas, B.C.S., durante el fenómeno ENSO más intenso (Carreón-Palau, 2000; Guzmán del Prío et al., 2003). Lo anterior destaca la relevancia de la variación interanual detectada en el análisis espectral.

En el área de estudio es notoria la ausencia de información o análisis sobre aspectos de clima marino, particularmente acerca de mediciones finas o de alta frecuencia; la información disponible esta asociada a datos de gran escala y de baja frecuencia como son las series de temperatura superficial del mar de los COADS o la serie Douglas. Por tanto consideramos que este trabajo es una aportación al conocimiento de la variabilidad climática de la zona que brindará más elementos cuantitativos para análisis relacionados con los organismos que conforman las comunidades presentes en estos sistemas costeros altamente productivos.

Con base en lo anterior, es posible argumentar que la condición del clima marino, tanto en la perspectiva interanual con sus eventos de variabilidad asociada (fenómenos ENSO) como en el largo plazo particularmente a partir de mediados de los años 1970, pudieron afectar a las distintas especies de abulón que habitan en la zona de estudio o a las comunidades en las que éstas se desarrollan reflejándose esto en el desempeño de la pesquería. Por otra parte, no se omite la posibilidad de que los rendimientos pesqueros tengan una relación más intensa con la mortalidad por pesca que el clima marino o bien una combinación de ambos procesos sobre la pesquería.

Captura por unidad de esfuerzo como indicador de abundancia

Hilborn & Walters (1992) plantean la existencia de tres tipos de relación entre la CPUE y la abundancia de los recursos pesqueros: a) hiperestabilidad, b) proporcionalidad y c) hiperdisminución. El primer tipo de relación, lo asocian a existencias o stocks que se encuentran distribuidos en una escala espacial pequeña, en donde la captura ocurre en tiempos relativamente largos. Esta relación puede esperarse casi en cualquier

pesquería donde la búsqueda sea altamente eficiente y donde el recurso pesquero permanezca relativamente concentrado mientras la abundancia declina, casos particulares de este comportamiento se identifican con la explotación de mamíferos y clupeidos.

El segundo tipo de relación muestra una CPUE proporcional a la abundancia. Esta captura por unidad de esfuerzo aumenta cuando el tiempo de pesca es corto y la búsqueda del recurso es aleatoria. En algunos tipos de redes de pesca y palangres pesqueros podría esperarse que mostraran un comportamiento de este tipo de relación dentro de un sitio particular.

El tercer tipo de relación, denominada hiperdisminución, se presenta cuando la CPUE disminuye mucho más rápido que la abundancia. La existencia o stock parece estar agotado; sin embargo, la abundancia no ha disminuido tanto como la CPUE. Este proceso se ha asociado a recursos que presentan una respuesta diferencial a las artes de pesca, es el caso de invertebrados crípticos en los que gran parte de la población puede permanecer oculta y no vulnerable a la pesca.

Particularmente, en Bahía Asunción, B.C.S., se presentó una relación de proporcionalidad entre los rendimientos pesqueros (CPUE) y la captura total de abulón (Fig. 16; $r^2=0.73$); y entre las estimaciones de biomasa del recurso independientes de la pesquería y la CPUE (Fig. 17; $r^2=0.67$). Este tipo de comportamiento justificó el uso la CPUE como un índice de la abundancia relativa del recurso en los análisis de modelación pesquera. Existen referencias del uso de la CPUE como indicador de abundancia relativa en abulón en otras zonas geográficas (Shepherd et al., 1998; Breen et al., 2003).

Sin embargo, en haliótidos se ha sugerido que la CPUE es un pobre indicador de la abundancia de las poblaciones bajo aprovechamiento. La información sobre CPUE en la pesquería de abulón en general ha sido utilizada en diversos métodos de estimación

y evaluación de la biomasa de recursos pesqueros; aunque, no ha estado exenta de limitaciones y críticas, ya que subestima supuestos que frecuentemente no se cumplen (Breen, 1992), por esta razón algunos autores (Prince, 1992), no consideran a la CPUE como buen indicador del nivel de biomasa poblacional.

En el caso de la pesquería de abulón en Bahía Tortugas, B.C.S. y Punta Abrejos, B.C.S., Prince & Guzmán del Prío (1993) concluyen que la CPUE subestima la magnitud en la declinación de las poblaciones, al comparar el seguimiento de este índice en el tiempo, con respecto al método de análisis de reducción de stock propuesto por Kimura & Tagart (1982).

En un análisis llevado a cabo en California, U.S.A., la abundancia relativa (CPUE) en general no se comportó de manera paralela con respecto a las descargas de abulón, particularmente en el período comprendido entre los años 1983-1996; de hecho todas las especies (*H. corrugata*, *H. fulgens*, *H. cracherodii* y *H. sorenseni*) excepto *H. rufescens*, disminuyeron hasta el cierre de la pesquería en 1997. No obstante esta declinación en las descargas totales de estas especies, la CPUE aumentó tanto para *H. rufescens* como para *H. corrugata* (Karpov et al., 2000). Estos mismos autores atribuyen este efecto a: i) la mejora en los mecanismos de localización de los bancos por medio de Loran y los Sistemas de Posicionamiento Global o GPS por sus siglas en inglés, y ii) el incremento del tiempo de búsqueda en los bancos de pesca por los pescadores de abulón y erizo en una pesquería que incluye actualmente a las dos especies.

En la zona de estudio, la CPUE ha sido empleada como un indicador crudo de la abundancia en la pesquería de abulón (Shepherd et al., 1998), debido a que se ha considerado que, por las características tecnológicas de la captura (buceo con botas y no con aletas), la búsqueda no es totalmente dependiente de las agregaciones. Shepherd et al. (1998) concluyen que en Isla Natividad, una área en la costa central de la península de Baja California, se observó una alta correlación entre la abundancia

relativa (CPUE) y la captura total de abulón ($r=0.90$; $p<0.0001$), por lo que en ese estudio la captura total fue utilizada como índice crudo de la abundancia en dicho trabajo.

Una razón adicional para utilizar la CPUE en este trabajo fue la limitación de no contar con una serie larga de estimaciones de abundancia independientes de la pesquería que permitieran la aplicación de modelos con requerimientos de datos de biomasa. Aunque también se reconoce que existe cierto nivel de incertidumbre en la determinación de las biomásas poblacionales, por lo que se ha propuesto trabajar en líneas de investigación que aborden la determinación de las áreas efectivas de los bancos de abulón, así como el análisis de métodos alternativos para la estimación de biomásas (Guzmán del Prío, 1997; Anónimo, 2000).

Esfuerzo de pesca

Al discutir aspectos del esfuerzo pesquero, se abordan conceptos relacionados con el stock como son la captura, la mortalidad por pesca y la captura por unidad de esfuerzo (Gulland, 1983).

Existen medidas de manejo pesquero que consideran al esfuerzo pesquero como un control de entrada que es visto como una restricción a la pesca a través de la limitación del número de unidades, restricciones en las artes de pesca o límites de esfuerzo que pueden pescar en una unidad de tiempo. Medidas para limitar, a partir del esfuerzo pesquero, la mortalidad por pesca son elementos de regulación y manejo muy importantes en el contexto de la pesca responsable (Anónimo, 1997).

En la pesquería de abulón en Bahía Asunción, B.C.S., el esfuerzo de pesca ejercido a lo largo del tiempo alcanzó su máximo en alrededor de los 8,000 viajes durante la mitad de la década de los años setentas, para luego bajar sostenidamente hasta llegar a los 2,000-3,000 viajes durante las décadas de los años ochenta y principios de los noventa, para disminuir hasta 1,000 viajes de pesca aproximadamente durante 1996 y

1997. Este comportamiento, en cuanto a su tendencia general, es similar en otras áreas aledañas de la parte central de la Península de Baja California en donde operan otras cooperativas abuloneras; ésta es la zona de mayor producción de abulón a lo largo de la costa occidental de la Península de Baja California (M. Ramade-Villanueva com. personal; FEDECOOP).

La aplicación del esfuerzo pesquero máximo durante la mitad de los años setentas ha sido relacionada con la presencia de un cambio en las condiciones del clima marino de largo plazo y la falta de observancia de la regulación vigente en cuanto a vedas, tallas y cuotas (Rodríguez de la Cruz, 1988; Guzmán del Prío, 1992; León-Carballo & Muciño-Díaz, 1996) y con la posibilidad de disminuciones de abundancia y en consecuencia un aumento de esfuerzo para mantener niveles de producción, precios atractivos en el mercado y bajos costos de operación (Álvarez-Uriarte & Ferrusquía-Villafranca, 1972; León-Carballo & Muciño-Díaz, 1996). Sierra & Sierra-Zepeda (1977) lo han asociado con la situación financiera de las unidades económicas, así como a programas gubernamentales de fomento a la producción en este período, entre otras razones.

Modelos Globales de Producción Excedente

a) Modelo de Schaefer

En este estudio, la aplicación del modelo de Schaefer (1954) se llevó a cabo con objeto de observar la señal de los rendimientos pesqueros que son explicados por el esfuerzo pesquero como variable independiente, así como el de determinar la variabilidad no explicada por este enfoque. La aplicación del modelo de producción excedente para todas las especies de abulón capturado en Bahía Asunción, B.C.S., hace evidente, en forma magnificada, la variación no explicada de los rendimientos pesqueros e identifica a partir de los residuales generados por el modelo una tendencia de capturas por debajo de lo pronosticado a partir de la segunda mitad de los años setenta, aproximadamente. Asimismo permite separar los rendimientos de esta pesquería en tres etapas; altos rendimientos de 1959-1972, años de transición durante 1973-1979 y

años con bajas capturas de 1980-1997 (Figs. 18, 19 y 20 a y b respectivamente y Fig. 21).

Bajo el enfoque aquí tratado de modelo global de producción excedente, se observa una señal, basada en el patrón general en los residuales, que podría estar asociada tanto con la mortalidad por pesca como con una tendencia de cambio climático en la región. Por otra parte, considerando las limitaciones del modelo de Schaefer en el análisis de evaluación de pesquerías, en el presente estudio se dio énfasis a distinguir la señal no explicada de los rendimientos pesqueros por parte del esfuerzo de pesca, más que a los indicadores de administración pesquera que resultan de la aplicación del mismo.

En el presente análisis, la aplicación del modelo global de producción excedente de Schaefer a la pesquería en su conjunto ilustra a través de las diferencias entre valores observados y valores calculados (residuales) que existe una señal que indica un cambio en la tendencia de los rendimientos y que van de un estado positivo de 1959 a 1973 a una condición negativa de 1974 a 1997 (Fig. 18 a y b). Se ha especulado que esta situación puede estar asociada a un incremento del esfuerzo pesquero ocurrido en el primer periodo y a un cambio a gran escala de las condiciones del clima marino ocurrido en la región que coincide con tendencia hacia anomalías negativas de la temperatura superficial de mar de 1960 a 1975 y tendencia hacia anomalías positivas de 1976 a 1997 (Lluch-Cota et al., 2001 y Fig. 12 del presente trabajo). En un área próxima a Asunción, en Isla Natividad, se ha abordado el análisis del impacto del clima en la pesquería de abulón a través del análisis de huevos-por-recluta, el cual concluye que las bajas en rendimientos se relacionarían principalmente con una sobrepesca de reclutamiento ocurrida desde los años 1971 a 1973, lo cual produjo declinaciones importantes durante los años 1978 a 1980 y que la variabilidad climática contribuyó a una mayor variabilidad en el reclutamiento (Shepherd et al., 1998).

En el caso de la pesquería de abulón azul, el ajuste al modelo de Schaefer (1954) estima capturas óptimas en alrededor de las 110-120 toneladas para los períodos de 1959-1997 y 1980-1997; esto significa mayores rendimientos que los estimados para el periodo 1959-1972 en los que la aportación de *H. corrugata* a la pesquería fue mayor y por tanto su abundancia sobrepasaba la de *H. fulgens* (Prince & Guzmán del Prío, 1993; Ponce-Díaz et al., 2000). Esta relación de abundancias aparentes se invirtió, posteriormente, en la última etapa analizada de la pesquería (León-Carballo & Muciño-Díaz, 1996; Ponce-Díaz et al., 2000); sin embargo, los rendimientos de *H. fulgens* son relativamente bajos y las diferencias entre los valores observados en la pesquería y los valores estimados por el modelo (residuales en toneladas) después de ser positivos aproximadamente a partir de 1987, tienden a disminuir hasta prácticamente desaparecer en 1996 y 1997 (Figs. 22, 23 y 24 a y b respectivamente).

La explicación de estas diferencias puede analizarse desde los supuestos del modelo, los cuales son los siguientes:

Existen condiciones de equilibrio poblacional que compensan los procesos de disminución de la población (mortalidad) con los de aumento de la misma (crecimiento y reclutamiento); la mortalidad por pesca (F) es directamente proporcional al esfuerzo de pesca (f), siendo q una constante de proporcionalidad, denominada coeficiente de capturabilidad; la captura por unidad esfuerzo es directamente proporcional a la abundancia de la población; el recurso se mantiene en un ambiente físico estable determinado por una capacidad de carga constante; el recurso lo compone una sola especie y la tecnología utilizada en este sector se mantiene constante (Seijo et al., 1997).

Varios de estos supuestos no se cumplen en la práctica, por lo que la aplicación de este modelo tiene limitaciones, de hecho la más importante es la condición de equilibrio, la cual raramente se cumple (Hilborn & Walters, 1992). Si embargo, una de los principales atractivos para utilizar este tipo de modelos es la escasa información

requerida para su aplicación como son datos de captura y esfuerzo (Polacheck et al., 1993), lo que es aplicable al presente análisis, en virtud de existir limitaciones en la disponibilidad de información en esta pesquería.

La pesquería de abulón en la zona central de la Península de Baja California ha sido analizada aplicando el modelo de Schaefer (1954) para las temporadas 1972-73 a 1981-82 con la modificación de Walter (1975) para condiciones de no equilibrio y para la época estable de la pesquería en donde se buscó que las premisas del modelo fueran satisfechas (Rocha, 1985; Rocha & Arreguín-Sánchez, 1987). Estos autores concluyeron que se observaba un estado de pesca intensiva sobre todos los bancos abuloneros y sugirieron alternativas de administración y manejo como la reducción del esfuerzo de pesca de entre 36% y 25% y la potencial inclusión en el modelo de Schaefer de algún parámetro de densidad poblacional que reflejara el nivel de población necesario para garantizar la fecundación.

Es claro que el enfoque de Schaefer presenta limitaciones que no pueden ser obviadas, que conducen a una alta incertidumbre asociada a este tipo de análisis, por tanto la conclusión principal al utilizar el modelo de Schaefer, como modelo de caja negra, y con las limitaciones propias de un modelo en equilibrio, es que magnifica la señal no explicada por el propio modelo (residuales) lo que sirve de apoyo para tomar en consideración la influencia de otros potenciales factores que operan sobre los rendimientos pesqueros.

b) Modelo de Schaefer que considera la variabilidad climática

Los modelos de producción excedente convencionalmente empleados en evaluación de poblaciones pesqueras utilizan sólo una variable explicatoria, normalmente el esfuerzo de pesca, por lo que la variabilidad no asociada a la pesquería se considera como ruido aleatorio (Freón & Yáñez, 1995). Existen esfuerzos por incluir la variabilidad ambiental que afectan a las pesquerías en este tipo de modelos; en esta categoría se encuentra el algoritmo incluido en el programa CILMPROD (Freón et al., 1993), el cual

fue utilizado en este trabajo con objeto de evaluar el desempeño de la inclusión de la variable ambiental a un modelo de producción excedente en la pesquería de abulón de Bahía Asunción, B.C.S. También se ha reportado la inclusión de la variable ambiental al modelo global de producción en su versión bioeconómica (Gordon-Schaefer) para la langosta en la forma de una función que se resuelve a través de regresión lineal múltiple (Anderson, 1986).

La incorporación de la variable ambiental al modelo de producción excedente en la pesquería de abulón resultó en ajustes complejos ya que son parte de funciones matemáticas que dificultan la interpretación y el significado biológico de los parámetros estimados (Figs. 25, 26 y 27, Tabla 7)

El programa CLIMPROD estima de manera ponderada información sobre el esfuerzo y la variable ambiental, de modo que cuando este algoritmo trata con especies de larga longevidad se “pierde” una cantidad importante de datos y esto se reflejó en las series ajustadas en este trabajo en la pesquería de abulón (com. pers. E. Yañez R. Universidad Católica de Valparaíso, Chile)

c) Modelo de Biomasa Dinámica

El modelo de biomasa dinámica es una variante del modelo de Schaefer que considera situaciones de transición o de no equilibrio (Hilborn & Walters, 1992). Este modelo se aplicó específicamente a la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S. debido a que esta especie en la actualidad representa mayores descargas en la captura comercial con aproximadamente 85-90% de la captura total (León-Carballo & Muciño-Díaz, 1996; Ramade-Villanueva et al., 1998).

Primeramente se intentó un ajuste directo al modelo de biomasa dinámica con valores de captura y esfuerzo a partir de la aproximación de Schnutte (Hilborn & Walters, 1992; Hernández-Herrera et al., 2001); sin embargo, las salidas que resultaron fueron imposibles biológicamente; esto es, valores de tasas de crecimiento (r), coeficientes de

capturabilidad (q) o biomasa negativa. Aunado a lo anterior y a que no se contó con una serie de tiempo lo suficientemente larga de valores de biomasa estimadas independientemente de la pesquería, se aplicó el modelo de biomasa dinámica a partir de una transformación del algoritmo original para utilizar datos de captura por unidad de esfuerzo (Lluch-Belda et al., 1997; Lluch-Cota & Ponce-Díaz, 2000).

El ajuste al modelo de biomasa dinámica a la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S., que considera solamente la mortalidad por pesca, permitió una optimización en la estimación de los parámetros del modelo al minimizar la suma de cuadrados (diferencia de valores observados y estimados de la CPUE) en 3,090 unidades, lo que resultó en un adecuado desempeño del ajuste que representa con fidelidad el comportamiento de los rendimientos de la pesquería (Fig. 28a).

Al observar las diferencias entre los valores observados en la pesquería y los de CPUE estimados por el modelo (residuales), no se aprecia una distribución aleatoria clásica o con tendencia lineal, exponencial u otra forma convencional (Draper & Smith, 1981; Goodall, 1983; Hanke & Reitsch, 1997), sino una con forma cíclica (Fig. 28b), no obstante esto, se trató de identificar la asociación de estos residuales con la variable ambiental. A pesar de que se observa una potencial relación positiva, la señal no es lo suficientemente clara ni fuerte dado que presenta coeficientes de determinación r^2 bajos de 0.013 y 0.037 ($r = 0.11$ y $r = 0.19$ respectivamente) dependiendo de si se considera o no el retraso de 5 años en la anomalía de la temperatura superficial del mar (Fig. 28 c y d). De no haber efecto del medio ambiente sobre los rendimientos pesqueros, este resultado sería consistente con los análisis que se han hecho de la pesquería de abulón en México con diferentes metodologías que consideran sólo la mortalidad por pesca como variable explicatoria de los rendimientos pesqueros (Doi et al., 1977; Prince & Guzmán del Prío, 1993; Marín, 1981; Shepherd et al., 1991) o bien, cabe la hipótesis de que aun existiendo efecto del clima sobre el recurso pesquero, los datos de capturas no permiten observar con claridad la señal del clima marino y por tanto estos datos tienen limitaciones para resolver este tipo de interrogantes.

d) Modelo de biomasa dinámica que considera la variabilidad climática

El modelo que incorpora la variable ambiental al modelo de biomasa dinámica transformado, incluyó la expresión: $(1 - ATSM)$ que afecta a la tasa intrínseca de crecimiento poblacional. Este enfoque permitió un 11% de mejora en el ajuste (Figs. 29 a y b) que aquel modelo de biomasa dinámica transformado que sólo considera la mortalidad por pesca (Figs. 28 a y b), lo que lo hace más estable numéricamente. La comparación de la bondad de ajuste que fue medida utilizando la suma de cuadrados de los residuales (Fig. 29; $SDC=2,746$ y Fig. 28; $SDC=3,090$ unidades respectivamente).

Debido a lo grueso de su estimación, es importante discutir los niveles de resolución que presentan las estimaciones de las anomalías de la temperatura superficial del mar que fueron utilizadas en los análisis pesqueros de abulón.

Por una parte las series de datos de esta variable proveniente de los COADS se derivan de mediciones realizadas durante décadas en áreas de $2^\circ \times 2^\circ$ de coordenadas lo que equivale a $38,690 \text{ km}^2$ (com. pers. MC Patricia González-Zamorano, Lab. de Sistemas de Información Geográfica del CIBNOR). Al tomar medidas de administración del recurso abulón y erizo en México, esta variable es la que se ha incluido en ajustes del Modelo de Biomasa Dinámica, que afecta a la tasa de crecimiento poblacional bajo las siguientes formas: $1 - TSM$ ó $[1 - TSM]^\beta$, en donde TSM es la anomalía de la temperatura superficial del mar (Anónimo, 2000).

En segundo término están los datos de temperatura de la serie Douglas, también recopilados durante décadas con resolución de $1^\circ \times 1^\circ$, lo que equivale a $10,847 \text{ km}^2$ (com. pers. MC Patricia González Zamorano, Lab. de Sistemas de Información Geográfica del CIBNOR), de esta manera la incorporación de la variable climática a los modelos pesqueros tiene una resolución aproximadamente 75% menos gruesa (en este trabajo) que la que brindan los COADS. Por otra parte, existen datos de la

temperatura de mar *in situ* que aunque son series muy cortas de sólo unos cuantos años, esta información proviene de las inmediaciones de los bancos abuloneros propiamente y por tanto representan las condiciones térmicas más reales en las que se desarrolla este recurso y en las que se ha determinado variaciones extremas de entre 12 y 29 °C para la zona de Bahía Asunción, B.C.S. (Ponce-Díaz et al., 2003a; 2003b).

Tal como se mencionó, en el proceso de inclusión de la variable climática al modelo de Biomasa Dinámica aplicado a la pesquería de abulón en México (Anónimo, 2000), se ha tomado a la anomalía de la temperatura superficial del mar derivada de la base COADS como variable ambiental de referencia. Es pertinente mencionar que las variaciones de este factor ambiental, según los datos disponibles para la zona de estudio se encuentran dentro del intervalo de -2 °C a 2 °C (Fig. 12). De acuerdo al planteamiento de inclusión de la variable a este modelo (1-ATSM) (Anónimo, 2000), si la variable sobrepasa este intervalo, el modelo arrojará valores inconsistentes. Este efecto es resultado de que los valores de la ATSM de los COADS como ya se apuntó, son representativos de condiciones promedio de áreas sumamente grandes que probablemente tienen poco que ver con las condiciones particulares de variación de la temperatura en las inmediaciones de los bancos abuloneros en donde se presentan variaciones marcadas, en un intervalo de varios grados como ya se señaló (Ponce-Díaz et al., 2003a; 2003b). Por tanto es conveniente explorar la forma de incluir la variable ambiental al Modelo de Biomasa Dinámica observando la variación registrada específicamente en el entorno donde se desarrolla el abulón y/o explorar algún método de estandarización de las variaciones de la temperatura a lo largo del tiempo.

Se considera indispensable generar un programa de monitoreo a niveles de resolución *in situ*, de manera sistemática en las zonas abuloneras de la Península de Baja California a fin de que en un futuro esta variable potencialmente sea utilizada en los modelos pesqueros, ya que representa con mayor fidelidad las condiciones térmicas que afectan al recurso abulón.

Existen antecedentes de incorporar la variable ambiental a la modelación de procesos biológicos (Hilborn & Walters, 1992) como es el caso del modelo de reclutamiento de Ricker (1954), sin embargo, se ha mencionado que existen riesgos en la práctica, al incluir a esta relación variables ambientales, el argumento es que un biólogo tiene muchas y diversas series de tiempo de variables ambientales que pueden ser introducidas a esta relación, sin embargo, es frecuente que sea difícil distinguir entre aparentes correlaciones que pueden ser artificiales por lo que habrá que tener en cuenta esta posible limitación.

Modelos estructurados

a) Modelo de estructura por edades

La simulación de pesquerías es una herramienta adecuada que ha permitido identificar la influencia de factores clave en el desempeño de la pesquería de abulón en Bahía Asunción, B.C.S., como es el caso del esfuerzo pesquero y de su efecto sobre el recurso natural, así como la respuesta de éste a los diferentes niveles de mortalidad por pesca y en otros procesos en la biología del recurso, como es el caso del proceso de reclutamiento reproductor.

Dos factores que se identificaron como determinantes sobre el desempeño del modelo fueron la mortalidad por pesca y el reclutamiento. En este sentido, la mortalidad por pesca estimada por el modelo, presenta un periodo de valores elevados (cerca de $F=1.3$) durante la segunda mitad de la década de los años setenta, al igual que otras estimaciones sobre la mortalidad por pesca en áreas de pesca contiguas (Shepherd et al., 1991) coincidiendo estos años con aumentos de capturas de abulón azul.

El reclutamiento es uno de los procesos que permite la renovación de la pesquería; cuando este proceso genera un bajo número de reclutas, las mortalidades tanto natural como por pesca tienen un impacto sensible en la biomasa de la población y particularmente en aquellos organismos que se encuentran entre los grupos de edad entre 5 y 20 años. En el presente estudio se detectaron reclutamientos por debajo del

promedio estimado a lo largo de la serie, específicamente durante mediados de los años setenta así como a finales de los ochenta y principios de los noventa. De estas anomalías negativas estimadas, las de mayor magnitud se dieron en los años 1975-77 y 1991-92, lo que sugiere cierta relación con fenómenos tipo ENSO, situación de efecto potencialmente negativo sobre el recurso pesquero y su medio ambiente como ha sido sugerido por diversos autores (Tegner & Dayton, 1987; Guzmán del Próo, 1994; Lluch-Belda et al., 1997).

De acuerdo con lo anterior, el reclutamiento se identifica en este estudio como una variable fundamental en el desempeño de esta pesquería si consideramos que las larvas de abulón tienen un periodo de vida pelágica sumamente corto que va de una a dos semanas antes de su asentamiento definitivo en el fondo, por lo que este lapso deberá ser sumamente crítico con respecto a condiciones de temperatura, corrientes, etc. (Prince & Guzmán del Próo, 1993). La anterior circunstancia plantea una línea de investigación a desarrollar y que bien puede complementar la explicación acerca de la magnitud del impacto del esfuerzo pesquero sobre las poblaciones de abulón explotadas en esta zona.

La estimación del rendimiento potencial en el largo plazo que se deriva de la aplicación del modelo de estructura de la población, es del orden de las 126 toneladas de *H. fulgens*, por lo que el nivel actual de capturas se encontraría por debajo de dicho punto. El máximo rendimiento económico fue estimado en aproximadamente \$1.05 millones de dólares, con una mortalidad por pesca aproximada de $F=0.9$. Conviene destacar que el modelo predice los rendimientos biológicos y económicos con base en la biomasa pescable estimada (Fig. 30 a), siendo esta última comparada con respecto a las estimaciones de biomasa (organismos > 92 mm) realizadas de manera independiente de la pesquería en los últimos años (Fig. 31). De esta comparación se observa que existe un ajuste razonable; por lo que este resultado se considera como una adecuada "calibración del modelo". Sin embargo, es preciso admitir que esta cifra de rendimiento óptimo puede estar sobreestimada, en virtud de que las estimaciones de biomasa

independientes de la pesquería toman en consideración organismos menores a la talla comercial y que en el caso de la zona de estudio puede ser que la biomasa pescable estimada a partir de muestreos, sea alrededor de un 80% de la evaluación en campo (com. pers. M. Ramade-Villanueva, FEDECOOP).

El nivel de capturas en la pesquería durante 1997 fue del orden de las 41 ton con una mortalidad por pesca de $F=0.13$ y utilidades en la fase extractiva de cerca de \$410,000 dólares. Por tanto, desde el punto de vista de la curva del rendimiento potencial determinada por el modelo aquí presentado, habría posibilidades de aumentar la mortalidad por pesca logrando con ello aumentos de los rendimientos pesqueros y económicos en el largo plazo. Sin embargo, en los últimos años la pesquería se ha desarrollado bajo un ambiente de precautoriedad debido a la drástica disminución de las capturas registradas a partir de los años setenta, lo cual ha resultado en el establecimiento de cuotas de captura.

Los resultados del análisis que considera la estructura poblacional, indican una mayor capacidad de utilización del recurso abulonero en esta zona, de acuerdo tanto a la información histórica de captura y esfuerzo como de los parámetros utilizados en el modelo. Sin embargo, esta situación por si misma no desconoce la variabilidad que pueden presentar procesos biológicos tan importantes como el reclutamiento, el crecimiento individual, el asentamiento de larvas como período crítico de vida del abulón, la mortalidad natural, el error presente en las estimaciones de abundancia independientes de la pesquería, así como otros más que se sumen a la incertidumbre inherente y propia de los modelos. La salida del modelo en cuanto a rendimiento potencial y la operación de la pesquería en un nivel a la izquierda de éste en lo biológico y económico son situaciones que tienen que ver con elementos que van más allá de este análisis, ya que este último procura una aportación al conocimiento de este recurso en el área de estudio bajo el enfoque de modelo estructurado. Adicionalmente, para el caso, es pertinente mencionar que en años pasados la captura permitida era del 25-30% de la biomasa pescable estimada, mientras que en años recientes, a partir de

la aplicación del enfoque precautorio, las capturas se han reducido hasta representar alrededor de un 10-15% respecto de la biomasa pescable estimada (Ramade-Villanueva et al., 1998; Shepherd et al., 1998).

b) Modelo de estructura por edades que considera la variabilidad climática

Se desagregó la información relacionada con la mortalidad por pesca y a partir del esfuerzo pesquero y las capturas observadas se estimó el coeficiente de capturabilidad (q) el cual es la porción de la población total que es capturada por una unidad de esfuerzo (Gulland, 1983; Seijo et al., 1997; Haddon, 2001). El coeficiente de capturabilidad es constante sólo bajo condiciones ideales (ej. si las técnicas de captura no cambian) por lo que tiene diversas fuentes de variación. Dos de ellas que se estimaron en este trabajo fueron con respecto al tiempo y al grupo de edad (Figs. 34 y 35).

La variación de (q) respecto al tiempo (Fig. 34) indicó que los mayores valores de este coeficiente se encontraron a principios de los años 1990 y esto puede relacionarse con mejoras en las embarcaciones, artes de pesca o en las prácticas de captura, este aumento de la capturabilidad, podría haber conducido a ocasionar una baja en la abundancia (Gulland, 1983). Esta última situación es posible advertirla en virtud de la tendencia de disminución de la biomasa del recurso abulón en la costa central de la Península de Baja California, de acuerdo a los análisis de diversos autores (Prince & Guzmán del Prío, 1993; León-Carballo & Muciño-Díaz, 1996).

Existe otra fuente de variación del coeficiente de capturabilidad que está asociada a los grupos de edad del recurso bajo aprovechamiento. En el caso de este análisis, la estimación de (q) mostró que los valores más altos de (q) se identifican con las edades de primera captura (5 y 7 años; Fig. 35) y luego baja de manera exponencial hasta presentar valores muy cercanos a cero en virtud de que en la pesquería también puede estar afectando tanto la capturabilidad como la menor cantidad de organismos de tallas grandes (edades) producto de la acción de la pesca y la mortalidad natural (Shepherd & Turrubiates, 1997).

Por otra parte, se presenta la variación del coeficiente de capturabilidad con respecto de la anomalía superficial de mar (Figs. 36 y 37) considerando o no el desfase de 5 años. Al realizar el análisis de regresión y correlación se concluyó que no existe relación estadísticamente significativa ($\alpha= 0.05\%$) entre estas variables tanto para el tiempo sincrónico como para el desfase de 5 años. De acuerdo con Gulland (1983) (q) puede variar en función a fuentes como: cambios cíclicos en el tiempo (día, estacionales, etc.), tendencias en el tiempo, cambios relacionados con la abundancia del stock, cambios relacionados con la cantidad total de captura y variaciones aleatorias. Según los resultados aquí presentados, la razón de variación de este coeficiente con respecto a la anomalía de la temperatura superficial del mar pudiera ser aleatoria al no distinguirse ninguna tendencia clara de comportamiento estadísticamente.

Si se toma en cuenta una tasa de captura aproximadamente constante para los últimos años, de acuerdo al otorgamiento de cuotas de captura, deberíamos considerar que la variabilidad del coeficiente de capturabilidad (q), pudiera estar relacionada con factores denso-dependientes o a la experiencia del buzo.

El ajuste realizado al modelo que considera la estructura poblacional a partir de la incorporación de la variabilidad del coeficiente de capturabilidad con respecto al tiempo resulta en pobre desempeño comparativamente con aquel ajuste que sólo considera la mortalidad por pesca, ya que presenta una suma de cuadrados menor en el segundo caso (Figs. 30 a y 38 a). Tal situación, a diferencia del enfoque de Biomasa Dinámica transformado tratado en este trabajo, indica que utilizando el ajuste del modelo estructurado no fue posible reducir la variación explicada al incorporar la variabilidad del clima marino (ATSM). Esto puede deberse a que los datos que sirven de insumo para este modelo no capturan esta señal del clima marino en los rendimientos cuando desagregamos el coeficiente de capturabilidad (q), no obstante que el ajuste original sugiere algún tipo de relación con el medio ambiente (ATSM u otro índice) al estimar el

reclutamiento de forma cíclica tal como se observa en la figura 31 (Ponce-Díaz et al., 2000).

Análisis de residuales

Los residuales en el tiempo que resultan de la aplicación del modelo de producción excedente, de acuerdo a una visión global, se encuentran incluidos en bandas o límites esencialmente equivalentes formando una banda horizontal (Draper & Smith, 1981; Goodall, 1983; Hanke & Reitsch, 1997).

Si bien el modelo de Schaefer presenta limitaciones importantes para su aplicación a la modelación pesquera (Hilborn & Walters, 1992; Seijo et al., 1997), los residuales resultantes de este enfoque en la pesquería de abulón se pueden interpretar como la magnificación de la señal que no explica el modelo por la sola la acción del esfuerzo pesquero y el supuesto de equilibrio. A pesar de esta limitante, es notorio que bajo una perspectiva global se manifiesta una correspondencia entre los cambios de signo (de positivo a negativo) de los residuales a mediados de los años 1970 (Fig. 18b) y un cambio en las condiciones del clima marino en la región, lo que pudo haber impactado las condiciones en las que se desarrolla el recurso abulón en la zona de estudio (Lluch-Belda et al., 1997; Ponce-Díaz et al., 2000; Lluch-Cota & Ponce-Díaz, 2000; Ponce-Díaz et al., 2003a; 2003b).

El análisis más fino del comportamiento de los residuales derivados del modelo excedente de producción indican, por su tendencia marcada en el tiempo (ej. Fig. 18b), que es posible que esta serie de tiempo pueda presentar autocorrelación, es decir que esta serie de tiempo esté correlacionada consigo misma con algún periodo de retraso (Hanke & Reitsch, 1997).

La suposición de independencia se viola frecuentemente porque una serie de tiempo no es una muestra elegida al azar. En una buena cantidad de series de tiempo, existe una relación entre el valor de la variable dependiente en un periodo y su valor en el

siguiente periodo (Hanke & Reitsch, 1997). Tal puede ser el caso de una variable como los rendimientos pesqueros al tiempo $t+1$, que dependen en buena medida del nivel de población del tiempo t .

Así mismo, con este análisis al detalle, se observan distribuciones de residuales con tendencias no clásicas, que pueden interpretarse como distribuciones no aleatorias, sino en forma oscilatoria como es el caso de los residuales de las figuras 19b, 20b, 22b, 23b y 24b.

Respecto a los residuales en el tiempo que resultan de la aplicación del algoritmo CLIMPROD, esencialmente se presentan también residuales dentro de una banda horizontal, sin embargo, no es factible identificar distribuciones aleatorias claras, aparecen también variaciones de residuales con forma cíclica, no comunes en el análisis tradicional de residuales (Draper & Smith, 1981; Goodall, 1983; Hanke & Reitsch, 1997). De entre los modelos seleccionados, con mayor coeficiente de determinación, el mejor ajuste está representado por una función cuadrática que incorpora el esfuerzo pesquero y la variable ambiental (ATSM), sin embargo, contiene cuatro parámetros respecto de los cuales no se puede deducir un significado biológico claro (Fig. 26).

Aunado a lo anterior, se identifica la limitación del sistema de graficado que se ha señalado en este módulo de la versión (v1) del CLIMPROD (www.fao.org/fi/statist/fisoft/CLIM.asp). La aplicación de esta técnica de análisis, no nos brindó información sobre alguna relación potencial entre los rendimientos pesqueros y la influencia del clima marino (ATSM).

La detección de tendencias oscilatorias en los residuales, producto de los ajustes a modelos de producción excedente, no pueden ser explicados en este trabajo con la inclusión de la variable de la ATSM. Se sugiere como línea futura de investigación, la exploración de otras variables del clima en el análisis de rendimientos pesqueros.

En el ajuste del Modelo de Biomasa Dinámica, los residuales observados respecto al tiempo mostraron mayor variabilidad al principio de la década de los años 1970, a finales de década de los ochentas y principios de los noventas (Fig. 28b); sin embargo, dentro de una banda de rendimientos de 20 kg/viaje. En los residuales no se observa una varianza que aumente con el tiempo o que éstos se manifiesten como una banda con un patrón lineal positivo, negativo o curvo, se infiere que este comportamiento de residuales tampoco brinda información sobre una distribución claramente aleatoria (Hoaglin et al., 1982). La disposición de estos residuales presenta una distribución no aleatoria clásica, observando una tendencia cíclica, al igual que ocurrió en los casos mencionados del modelo de producción excedente.

Cuando se incorpora al modelo de Biomasa Dinámica el efecto de la variabilidad climática, los residuales presentan en general una tendencia similar a la observada en el caso que considera sólo la mortalidad por pesca (Fig. 29b).

Para el caso del ajuste del modelo de estructura por edades, dado que al esfuerzo se le atribuye un gran peso en la explicación del comportamiento de los rendimientos debido al método de solución, los residuales respecto al tiempo prácticamente nulos salvo al inicio de la pesquería y a mitad de los años 1970 (Fig. 30b).

Una vez que la variabilidad del clima es tomada en cuenta en el ajuste del modelo de estructura por edades, en parte la magnitud de los residuales en el tiempo son mayores a los modelos previamente utilizados por que consideran capturas totales. En ellos se observan predominantemente valores negativos, salvo los últimos años de la simulación, aunque también con una forma cíclica (Fig. 38b).

Una vez aplicados los diferentes modelos, los residuales observados que cumplen mejor con los supuestos de aleatoriedad y varianza uniforme, son aquellos derivados del ajuste al modelo de Biomasa Dinámica en su versión transformada (datos de

CPUE). Sin embargo, aún en este caso la señal del clima marino no es tan fuerte o clara a partir de la inclusión de la variable ambiental al modelo, el cual mejora pero no de manera significativa.

Con base en lo anterior, se tiene que el análisis de residuales aplicado a los modelos aquí tratados y sus ajustes correspondientes, no brindan información contundente sobre la influencia de la TSM en los rendimientos pesqueros. Esta circunstancia, evidenciaría que al menos para los modelos pesqueros seleccionados, en la zona de estudio y las especies tratadas, el análisis de residuales no encontró otra variable más determinante en los rendimientos pesqueros que la mortalidad por pesca. Si aceptamos la hipótesis de que potencialmente el clima marino en la realidad impacta a estos rendimientos, podemos decir que el análisis de residuales fue poco sensible al comportamiento de las desviaciones o residuales generadas por los modelos pesqueros o que los datos de rendimientos no capturan la señal ambiental en la zona de estudio.

Los residuales derivados de los modelos empleados (Modelos Globales; Biomasa Dinámica y Modelos Estructurados) no presentan distribución aleatoria clásica. Se observa en la mayor parte de los casos una tendencia de residuales con forma oscilatoria. La variable ambiental que es manejada en este trabajo es sólo la ATSM, no hay información adicional de variables ambientales (ej. vientos, surgencias, etc). Los modelos explican parcialmente los rendimientos pesqueros (captura; CPUE) sólo con esfuerzo y ATSM, sin embargo hay residuales que tendrán que ser estudiados utilizando variables ambientales con desempeño oscilatorio o comportamiento de este tipo.

Relaciones funcionales empíricas entre rendimientos pesqueros y la variabilidad climática

En cuanto a los rendimientos pesqueros observados a lo largo del tiempo, expresados en forma de logaritmo de la captura por unidad de esfuerzo (kg / viaje) como relación empírica (con retraso 5 años) respecto de la anomalía de la temperatura superficial del

mar, las principales especies de abulón (azul y amarillo) capturadas en la zona, presentan comportamientos distintos en sus diagramas de dispersión. Mientras que en el *H. fulgens* se observa una tendencia positiva con respecto a la anomalía de la TSM ($r=0.27$; Fig. 39a), *H. corrugata* presenta una tendencia negativa ($r=0.21$; Fig. 39b) aunque en ambos casos, estas relaciones no fueron significativas con una $\alpha= 0.05\%$, sino a menores niveles de confianza. Si bien en los años con valor de la anomalía igual a 0, la variabilidad es sumamente alta, lo que importa resaltar aquí fue el comportamiento global, esto es, las tendencias generales derivadas de los diagramas de dispersión, ya que prácticamente no se han analizado los efectos que pueda tener el clima marino sobre los rendimientos pesqueros utilizando relaciones funcionales empíricas (Breen, 1992; Guzmán del Prío, 1994; Lluch-Belda et al., 1997; Shepherd, 1998).

A partir del análisis de relaciones empíricas, se plantea la posibilidad de que las condiciones del clima marino expresadas en el índice de la anomalía de la TSM, pudieran tener un efecto sobre estas especies, y que esta influencia fuera una tendencia de respuesta diferencial, por especie, en los rendimientos pesqueros (logaritmo de CPUE). En el caso particular de zona de estudio y especies estudiadas, esta señal no fue estadísticamente significativa al nivel de 95% de confianza, sino a niveles menores, 89% y 78% para *H. fulgens* y *H. corrugata* respectivamente.

Se ha sugerido la hipótesis que en México para el abulón azul y amarillo, el clima marino ha impactado de manera diferencial su reclutamiento (Shepherd, et al., 1998; Rodríguez-Valencia & Caballero-Alegría, 2002). Este efecto potencial podría tener explicación si tomamos en cuenta las características de afinidad climática de dichas especies dada su distribución batimétrica y geográfica a lo largo de la costa occidental de la Península de Baja California. Mientras que *H. fulgens* se distribuye batimétricamente a una profundidad preferencial de 8-15 metros, *H. corrugata* se localiza con mayor frecuencia a profundidades de 10-20 metros (Guzmán del Prío, 1992), mientras que Cox (1962) los reporta en su mayor abundancia en

aproximadamente de 3 a 6 metros de profundidad para *H. fulgens* y de 6 a 24 metros de profundidad para *H. corrugata*. De esta manera, si en las capas más superficiales de agua existe mayor variabilidad y temperaturas más altas del clima marino, *H. fulgens* estaría mejor adaptado a estas variaciones con relación a *H. corrugata* que habita en aguas más profundas.

Lindberg (1992) reporta que *H. fulgens* ocurre desde Punta Concepción en California hasta Bahía Magdalena, B.C.S., mientras que, *H. corrugata* presenta una distribución menos amplia, desde Punta Concepción en California hasta Isla de Cedros en la Península de Baja California. Para México, se ha descrito que *H. corrugata* y *H. fulgens* tienen su rango de distribución desde Isla Coronado, B.C. hasta Isla Margarita, B.C.S. siendo más abundantes en la parte central de la Península de Baja California desde Isla Cedros a Punta Asunción; sin embargo, antes de los años 1970, *H. corrugata* fue abundante hacia el sur hasta la localidad de Punta Abreojos (Guzmán del Prío et al., 1976; Guzmán del Prío, 1992).

Se observa una disminución de norte a sur en la presencia de *H. corrugata* hacia áreas sureñas de la península de Baja California la cual es referida por León-Carballo & Muciño-Díaz (1996) quienes citando datos de Lelevier et al. (1989) brindan información sobre densidades de abulón amarillo entre los años de 1984-1989 desde Ensenada hasta Bahía Magdalena.

Aunque *H. corrugata* es registrada geográficamente hasta la región de Bahía Magdalena, su presencia es baja comparada con *H. fulgens* después de los años 1970 (Guzmán del Prío et al., 1976; León-Carballo & Muciño-Díaz, 1996), y esta presencia diferencial potencialmente puede ser asociada y explicada con los intervalos y los óptimos de la temperatura que se reportan para el crecimiento de larvas y juveniles de estas dos especies de abulón (Leighton, 1974).

Leighton (1974) reporta que la temperatura de sobrevivencia de larvas es más alta para abulón azul que para el abulón amarillo siendo estas de 23.5 °C y 26.0 °C respectivamente. En cuanto al crecimiento de los juveniles, el mismo autor reporta que *H. fulgens* creció a tasas más altas en el óptimo de 26-27 °C, mientras que *H. corrugata* lo hizo en el óptimo de 20-21 °C. Esto sugiere respuestas específicas diferentes ante incrementos anómalos de temperatura del mar durante eventos intensos de El Niño y ante el aumento constante y sostenido de la temperatura –factor climático global– durante las últimas décadas. Lo cual, afectaría en mayor magnitud los rendimientos del abulón amarillo, con respecto del azul. En otros abulones de afinidad de aguas frías, como el abulón rojo se ha reportado un efecto negativo en los rendimientos con relación a incrementos de temperatura interanuales (ENSO) y de largo plazo (Hobday & Tegner, 2002; Vilchis et al., 2001; Tegner et al., 2001).

Colecta de postlarvas de abulón en estructuras artificiales

El proceso de asentamiento de las postlarvas de abulón se ha relacionado con factores químicos, como atracción y estimulación química para la inducción al asentamiento; físicos, como el sustrato y topografía, y biológicos como la presencia de especies relacionadas (agregaciones) o de depredadores (limitativo) (McShane, 1992).

En el presente trabajo, la captación de postlarvas de abulón en los colectores artificiales utilizados en la zona de estudio fue mínima en la temporada 1999-2000. Ante este bajo registro de postlarvas nos planteamos dos hipótesis que pudieran explicar las razones de tales resultados, una está relacionada con aspectos metodológicos y otra con las condiciones de niveles poblacionales comparados de estudios similares en otras latitudes.

Dentro de la primera, hay que señalar que en el presente trabajo se utilizaron placas de policarbonato de 25x30 cm para colecta sin una previa preparación o “curado” con diatomeas. Esto pudo generar que la superficie de dicha placa no tuviese la película microbiana que se ha referido como adecuada para un proceso ideal de asentamiento y

tampoco diatomeas del género *Nitzschia* y *Navicula* (Nash et al., 1995). No obstante, existen trabajos en estudios similares que refieren que las placas utilizadas han sido dispuestas, igual que en este caso, de manera directa en el mar en donde se forma una película de bacterias de manera natural al paso de varios días (Rodda et al., 1997). En estudios de laboratorio se han registrado asentamientos de abulón aún en láminas limpias (McShane, 1995).

Otro aspecto que pudo afectar la escasa presencia de larvas de *Haliotis* es la frecuencia de colecta o tiempo de cambio de los colectores artificiales. En el presente estudio se retiraron los colectores cada tres o cuatro semanas en promedio. Existen trabajos que recomiendan el cambio de las láminas cada quince días (Keesing et al., 1995) considerando que éstas han sido curadas previamente, aunque el mismo autor reporta registros de asentamientos de postlarvas de abulón cuando dichas placas han sido retiradas o cambiadas con una frecuencia de hasta ocho semanas. Sin embargo, en ese trabajo se concluye que con esta última frecuencia, el asentamiento no es el de mayores proporciones. Existe evidencia derivada del trabajo de Keesing et al. (1995) de que con láminas curadas, dispuestas y retiradas entre una y dos semanas se han detectado hasta 35 asentamientos de postlarvas. Por otra parte, una vez pasado este periodo se pueden presentar mortalidades de abulón que pueden llegar hasta aproximadamente el 50% de acuerdo a lo que reportan las granjas comerciales (Nash et al., 1995). Por tanto, pensamos que en cuanto al tiempo de permanencia en el mar, las placas dispuestas en este estudio, se encontraron dentro de los parámetros de tiempo de recambio recomendados en general (Keesing et al., 1995), por lo que esperábamos mayores asentamientos larvarios que los observados en este estudio.

Respecto de los materiales de los colectores artificiales, es necesario precisar que en nuestro estudio se eligió el modelo de dos placas reportado por Keesing et al. (1995), con ligeras modificaciones en la base del colector (hecha de cemento en forma de cuadrilátero) para adecuarlo a las condiciones de oleaje de la zona de trabajo. En otros estudios se han utilizado para la colecta redes de plancton (Sasaki & Shepherd, 1995);

colectores con cuatro placas (Nash et al., 1995) y el colector utilizado por Rodda et al., (1997), el cual es una estructura compleja de 13 niveles, construida con policarbonato negro, lo cual resulta en una superficie de colecta aproximada de 3 m² y un volumen de 0.3 m³, lo que aumenta notoriamente la capacidad de registro de asentamientos.

Los máximos observados con los distintos métodos de colecta varían desde 7 postlarvas con redes de plancton por arrastre (Sasaki & Shepherd, 1995); 35-40 postlarvas por cada colector de policarbonato de dos placas, utilizando dos o cuatro semanas como periodo de colecta (Keesing et al., 1995); 400 larvas con colectores de superficie compleja (Rodda et al., 1997) hasta 1,281 postlarvas por colector de cuatro placas (Nash et al., 1995). Esto indica, salvo los dos últimos casos, que en general la captación de postlarvas de abulón en estructuras artificiales no es muy numerosa.

Otro elemento que seguramente influye en las diferentes magnitudes de asentamiento larvario, consiste en las diferentes densidades poblacionales de abulones adultos en reproducción en las diferentes latitudes en donde se reportan estos trabajos. Las disminuidas existencias de abulón en el área de Asunción, lo cual se refleja en las limitadas capturas en los últimos años (ej. 50 t de callo durante 1997) pueden ser una causa del escaso asentamiento observado. Sería de esperar mayor probabilidad de captación de postlarvas de abulón en Australia o Tasmania que en Canadá, California, E.U.A. o México (Guzmán del Prío, 1992; Tegner et al., 1992; Parker et al., 1992; Farlinger & Cambell, 1992; Prince & Shepherd, 1992).

Por otra parte, si atendemos la hipótesis de que la dispersión larvaria es muy limitada (McShane, 1995) y en consecuencia prácticamente cada banco de abulón puede considerarse como una subunidad poblacional con escasa interacción con sus alrededores, es posible que en el banco abulonero específico donde se llevó el estudio, los colectores artificiales no hayan tenido capacidad de captar larvas de otras áreas.

A este organismo se le ha definido como un desovador total con máxima actividad en otoño y primavera en la zona de estudio (Belmar & Guzmán del Prío, 1992) también es posible que la fecundación y asentamiento se haya llevado a cabo sólo unos días antes de que los colectores artificiales utilizados en este trabajo pudieran registrar de manera más conspicua el proceso de asentamiento.

En general es posible que aún considerando que en aguas mexicanas se tiene una baja probabilidad de captación de postlarvas de abulón debido a las bajas densidades poblacionales actuales, el número de postlarvas captadas en este trabajo es anormalmente bajo, por lo que se sugiere llevarse a cabo nuevas pruebas y ensayos. Por lo anterior, se han identificado como líneas futuras de investigación algunas modificaciones a los colectores artificiales, inoculación de placas con diatomeas con objeto de aumentar la probabilidad de éxito en el registro de asentamientos, selección de nuevas áreas y sitios con mayores abundancias de reproductores y modificación de las frecuencias de recambio de los colectores artificiales. Asimismo sería conveniente explorar la utilización directa de rocas de los bancos abuloneros como superficies indicadoras de asentamientos, en vez de colectores artificiales (Shepherd et al., 1985). Consideramos que estas acciones permitirán afinar una metodología de monitoreo de asentamiento postlarvario de abulón más eficiente que ayude a construir una serie de tiempo y en consecuencia, conformar una base de datos que contribuya a la predicción de reclutamientos futuros a la pesquería.

Atendiendo algunas sugerencias derivadas de esta experiencia, se realizaron modificaciones al sistema de colecta durante la temporada 2001-2002 que incluyó además de láminas, la utilización de rocas dentro de una estructura de cuadrilátero que las contiene, así como distintos tiempos de colecta. No obstante que no se ha concluido el análisis de las muestras, se reportan estaciones positivas con registros de hasta cincuenta postlarvas, es decir, mucho mayor número que las observadas durante el período de muestreo de 1999-2000 (Guzmán del Prío, datos no publicados).

Crecimiento de juveniles de H. fulgens simulando dos patrones de temperatura de mar

Si bien en condiciones naturales, la disponibilidad de dietas está asociada a la condición de la temperatura particularmente en casos extremos, el objeto de este ensayo en laboratorio fue el de estimar la sobrevivencia y crecimiento de abulón azul observando con mayor énfasis el factor de variación temperatura y que la disponibilidad de alimento no fuese limitativa. En este contexto se han desarrollado experimentos de laboratorio con enfoques similares en cuanto a fuentes alimenticias (Leighton, 1974; 1998; Vilchis et al., 2001).

El mayor crecimiento tanto en longitud de la concha como en peso corporal de los juveniles de abulón azul fue obtenido bajo condiciones de El Niño alimentados con *Macrocystis pyrifera*, sugiriendo que las temperaturas observadas durante los eventos El Niño pueden promover el crecimiento de juveniles de abulón azul a altas tasas, sólo si el fenómeno no es lo suficientemente intenso como para causar la destrucción y desaparición de *M. pyrifera*. Si el evento El Niño es drástico, el abulón pierde su principal fuente de alimento y esto resultará en el consumo de otras algas y en tasas bajas de crecimiento. El crecimiento de juveniles alimentados con *M. pyrifera* bajo ambas temperaturas fue más alto que en los dos tratamientos con juveniles alimentados con *E. arborea*. El valor alimenticio de especies comunes a lo largo de la costa de Baja California Sur, *Eisenia arborea*, *Gelidium robustum* y el pasto marino *Phyllospadix torreyi*, se ha reportado inferior al de las especies dominantes de algas en el sur de California, como el caso de *M. pyrifera* (Serviere-Zaragoza et al., 2001). Estos autores sugieren que las diferencias en el crecimiento de los juveniles alimentados con *M. pyrifera* y *E. arborea* pueden ser causadas principalmente por diferencias en palatabilidad debido a la baja cantidad consumida utilizando *E. arborea*. Otros factores relacionados con el valor nutricional de las raciones alimenticias son la composición química, disponibilidad y digestibilidad.

El promedio de la tasa de crecimiento de los juveniles analizados varió de 11 $\mu\text{m día}^{-1}$ y 4 mg día^{-1} para NIEA hasta 39 $\mu\text{m día}^{-1}$ y 16.9 mg día^{-1} para NIMP. Tasas de

crecimiento de $12 \mu\text{m día}^{-1}$ y $16 \mu\text{m día}^{-1}$ han sido reportadas para juveniles alimentados con el alga café fresca, *M. pyrifera* (Viana et al., 1993; 1996) y $19 \mu\text{m día}^{-1}$ con *E. arborea* y $46 \mu\text{m día}^{-1}$ con *M. pyrifera*, para juveniles alimentados con alga rehidratada (Serviere-Zaragoza et al., 2001). Las diferencias en la tasa de crecimiento entre juveniles alimentados con *E. arborea* o *M. pyrifera* pueden estar relacionadas con cambios en la composición química de las algas utilizadas en el ensayo.

La alta sobrevivencia observada en el ensayo sugiere que las temperaturas máximas alcanzadas durante El Niño 1997-1998 y el periodo de duración de este máximo no causaron mortalidad directa en las poblaciones naturales. Leighton (1974) reportó que los juveniles de abulón azul crecieron mejor por arriba de los $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$; las temperaturas durante el experimento alcanzaron hasta los $28\text{-}30 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Factores como la falta de alimento y la depredación pueden considerarse en la explicación de los decrementos de biomasa debido a pérdida de peso corporal de los abulones o a la mortalidad individual. En abulón azul, el desarrollo gonadal limitado, reducciones drásticas en la densidad y la alta variabilidad en la longitud de la concha de juveniles son algunos de los efectos de El Niño reportados en la literatura (Tegner & Dayton 1987; Guzmán del Prío et al., 2003).

En particular, la sobrepesca ha sido relacionada con el colapso de poblaciones de abulón (Prince & Guzmán del Prío, 1993; Shepherd et al., 1991; 1998; Guzmán del Prío, 1992; McShane, 1995); sin embargo, la variación ambiental y los impactos de los eventos severos de El Niño sobre los bosques de macroalgas y de sus comunidades, sugieren que el ambiente también puede contribuir en este proceso (Lafferty & Kuris, 1993; Parker et al., 1992; Hayasi, 1980; Foster et al., 1982; Hines & Pearse, 1982; Tegner et al., 1989; 1996; Tegner et al., 1992; McShane, 1995). En este sentido se ha comenzado a explorar este potencial efecto del clima marino sobre el recurso por diversos autores (Guzmán del Prío, 1994; Lluch-Belda et al., 1997; Shepherd et al., 1998; Ponce-Díaz et al., 2000; Anónimo, 2000). En todo caso, los efectos de la variabilidad ambiental como las condiciones de El Niño deberían ser incorporadas en el

manejo del abulón considerando las características de la especie en particular, su fase de desarrollo ontogénico, así como la duración y la intensidad del evento climático.

En este trabajo, los datos derivados de la pesquería y analizados a través de ajustes a distintos modelos pesqueros no lograron reflejar con suficiente claridad el efecto potencial del clima sobre los rendimientos, situación que contrasta con los análisis realizados con información documental de la caracterización climática de la zona de estudio y la experimentación de campo y de laboratorio llevada a cabo, lo que sugiere un impacto más evidente de la variable ambiental sobre el recurso abulón a través de mecanismos como el reclutamiento y el crecimiento individual y en consecuencia sobre los niveles poblacionales.

Es muy probable que tanto el esfuerzo de pesca como las condiciones del medio ambiente interactúen incluso de manera sinérgica modificando los niveles poblacionales de abulón en la costa occidental de la Península de Baja California. Este forzamiento tecnológico (esfuerzo pesquero) y abiótico sobre las poblaciones de abulón, no excluye la influencia que otros factores puedan tener sobre los niveles de abundancia de estos recursos, entre estos factores adicionales se encuentran la pesca furtiva, las condiciones de mercado (demanda, oferta, precio), la situación financiera de las unidades económicas concesionarias del recurso, los costos asociados a su operación (Ponce-Díaz et al., 1998), particularmente aquellos considerados “costos sociales” como arreglos de caminos, generación de energía eléctrica, potabilización de agua, etc., por lo que la pesca de abulón ocurre en un contexto multifactorial, al que habrá de abordarse en sus distintos elementos.

9. CONCLUSIONES

1. Hay evidencia de que existe una tendencia de largo plazo en la zona de estudio, desde principios del siglo pasado hasta el año de 1997, de un aumento de la temperatura superficial del mar en una magnitud de 1-1.5 °C. Considerando la caracterización ambiental con perspectiva de siglo, se plantea que la flora y la fauna bentónica característica de la comunidad rocosa de bancos pesqueros de abulón se ha visto afectada por un aumento sostenido de la temperatura en los últimos años como resultado de un fenómeno de cambio climático global.

2. En la zona de estudio, la abundancia relativa (CPUE) y la captura total de abulón, así como las estimaciones de biomasa independientes de la pesquería guardan una relación de proporcionalidad. El esfuerzo de pesca ejercido ha variado considerablemente a lo largo de los años de la pesquería, teniéndose la mayor cantidad de viajes de pesca durante la mitad de la década de los años setenta. Actualmente se ejerce aproximadamente un 10% del nivel de viajes de pesca respecto al máximo histórico.

3. La aplicación del modelo de producción excedente para todas las especies magnifica la señal de la variación no explicada para los rendimientos pesqueros e identifica tres etapas de producción de la pesquería y eventualmente de distintos niveles poblacionales: años de altos rendimientos (1959-1972); años de transición (1973-1979) y años de bajos rendimientos (1980-1997). En particular, en este tipo de modelos los residuales analizados brindaron información de interés sobre un período de transición identificado, lo que permite concluir que dichos residuales podrían estar asociados tanto a cambios en la mortalidad por pesca como a una tendencia de cambio climático observada en la región de estudio a partir de mediados de los años setenta.

4. La incorporación de la variable ambiental al modelo de producción excedente (CLIMPROD) resultó en algunos ajustes con adecuados coeficientes de determinación

(≥ 0.60) aunque poco realistas. Varios de ellos son matemáticamente complejos debido a que la variable ambiental es parte de funciones que hacen complicada la interpretación de un significado biológico de los parámetros estimados para dichos modelos.

5. La aplicación del modelo de biomasa dinámica transformado (datos de CPUE) sin considerar la variable climática presentó un adecuado ajuste, obteniéndose una buena representación del comportamiento de los rendimientos de la pesquería de abulón azul en la zona de estudio. Al aplicarse este mismo modelo tomando en consideración la variabilidad climática se obtuvo una suma de cuadrados de las diferencias entre los valores observados y estimados menor que el ajuste que sólo consideró la mortalidad por pesca como variable independiente, por lo que la incorporación de la variable ambiental tal como se planteó en este caso, resultó en un mejor ajuste, si bien de sólo 11%, esto hace más estable el modelo numéricamente.

6. El enfoque aplicado que considera la estructura de la población y el esfuerzo de pesca presentó el mejor ajuste a los datos de la pesquería de abulón de la zona de estudio. Este modelo resuelve la minimización de las diferencias entre valores observados y estimados de manera muy eficiente, dado que considera toda la explicación de la variabilidad a la mortalidad por pesca; sin embargo, cuando se introduce la variabilidad climática en este enfoque a través de la estimación del coeficiente de capturabilidad (q) en el tiempo, el modelo presentó una variabilidad importante no explicada.

7. En la zona de estudio y para las especies consideradas los modelos pesqueros utilizados en este trabajo no permitieron ver una señal lo suficientemente fuerte con respecto a la influencia del medio ambiente (ATSM) sobre las capturas o rendimientos pesqueros. Por lo que la hipótesis de la influencia del clima en los rendimientos pesqueros no puede ser todavía soportada lo suficiente pues se requieren datos más finos y experimentos con resultados más consistentes. La observación de residuales

con distribución no clásica, en forma oscilatoria, indican que se requieren explorar otros enfoques para su análisis, como: utilizar otros modelos, otra forma de inclusión del efecto de la variable ambiental (ATSM) en los modelos y/o relacionar los rendimientos pesqueros con otras variables ambientales distintas a la ATSM o a una combinación de variables ambientales.

8. El coeficiente de capturabilidad (q) para la pesquería de abulón azul mostró una relación de forma polinomial con respecto a la anomalía de la TSM sin desfase, con valores máximos en los valores extremos de la anomalía y mínimo en la cercanía del valor promedio (0) de la misma. Al considerar el desfase de 5 años entre el coeficiente de capturabilidad (q) y la anomalía de la TSM no se encontró relación estadísticamente significativa, lo que indica que no existe relación entre este componente de la mortalidad por pesca y la variable del clima marino y por tanto esta actúa por si misma sobre la población de abulón bajo explotación y en los rendimientos pesqueros.

9. La relación entre los rendimientos pesqueros transformados a logaritmos (\log CPUE) con retraso de 5 años y la anomalía de la temperatura superficial del mar (ATSM) no fue estadísticamente significativa al 95%. Se observan comportamientos distintos entre las especies de abulón a partir del diagrama de dispersión de los datos, con una tendencia positiva para *H. fulgens* y negativa para *H. corrugata*.

10. El asentamiento larvario registrado en la zona de estudio fue bajo. Esto se relacionó con aspectos metodológicos (artes de colecta) y/o bajos niveles poblacionales. En ensayos posteriores a los realizados en el presente estudio, pero utilizando modificaciones en los métodos y períodos de colecta, se registro un incremento preliminar de al menos 2,500 % en la captación de postlarvas. Por ello, se considera factible el desarrollo de un indicador temprano de rendimientos potenciales de la pesquería de abulón.

11. El crecimiento y sobrevivencia bajo temperaturas simuladas (normales 1992-1996 y del intenso Niño 1997-1998) indicaron que los juveniles de *H. fulgens* no presentaron mortalidades en relación a la elevación de la temperatura en los patrones simulados. El crecimiento fue mayor en juveniles mantenidos en temperatura alta y alimentados con *Macrocystis pyrifera* en relación con los crecimientos registrados con temperaturas normales y alimentados con *Eisenia arborea*, identificándose un efecto diferencial del clima marino. Esto es, si el evento ENSO no es de suficiente intensidad y duración como para generar la desaparición de *M. pyrifera*, el abulón azul no presentará mortalidad directa como efecto de este evento y crecerá a tasas relativamente altas. Si el evento es intenso y duradero, la desaparición de la fuente principal de alimento (*M. pyrifera*) afectará su crecimiento y muy probablemente su condición de salud general.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Abbot, I.A. & G. J. Hollenberg. 1976. Marine algae of California. Stanford University Press. California, U.S.A.
- Alvarez-Uriarte, M. & A. Ferrusquía-Villafranca. 1972. Abulón. In: Revista de Comercio Exterior. Mercados y productos. pp. 175-183.
- Amador-Buenrostro, A., M.L. Argote-Espinoza, M. Mancilla-Peraza & M. Figueroa-Rodríguez. 1995. Variaciones de período corto de la circulación anticiclónica en Bahía Vizcaíno, B.C. Ciencias Marinas 21(2): 201-223.
- Anderson, L.G. 1986. The economics of fisheries management. Revised and enlarged edition. The Johns Hopkins University Press. Baltimore and London. 297 pp.
- Anónimo. 1997. Fisheries Management. Technical guidelines for responsible fisheries No.4. FAO. Rome, Italy. 82 pp.
- Anónimo, 2000. La pesquería de abulón. In: Sustentabilidad y pesca responsable en México, evaluación y manejo 1999-2000. CD-ROM. Instituto Nacional de la Pesca. México. pp. 119-158.
- Arreguín-Sánchez, F. 1996. Catchability: a key parameter for fish stock assessment. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 6: 221-242.
- Arreguín-Sánchez, F. Scientific advice for the management of benthic fisheries in Mexico: present status and perspectives. In: Symposium on Effects of Fishing Activities on Benthic Habitats: Linking Geology, Biology, Socioeconomics, and Management. November 12-14, 2002. Tampa-St. Petersburg, FL (*in press*).
- Barry, J.P., C.H. Baxter, R.D. Sagarin & S.E. Gilman. 1995. Climate-related, long-term changes in a California rocky intertidal community. Science 267: 672-675.
- Belmar-Pérez, J. & S.A. Guzmán del Prío. 1992. Madurez sexual y ciclo gonádico en *Haliotis fulgens* y *Astraea undosa* en Bahía Tortugas. In: S.A. Guzmán del Prío, editor. Taller México-Australia sobre reclutamiento de recursos bentónicos de Baja California. pp. 121-129.
- Beverton, R.J.H. & S.J. Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Fisheries Investment Series 2, Vol. 19 U.K. Ministry of Agriculture and Fisheries, London.
- Blackman, R.B. & J. Tukey. 1958. The measurement of power spectral from the point of view of communication engineering. New York, Dover.
- Breen, P.A. 1986. Management of the British Columbia fishery for northern abalone (*Haliotis kamtschatkana*). In: G.S. Jaimenson & N.F. Bourne, editors. North Pacific Workshop on Stock Assessment and Management of Invertebrates. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 92: 300-312.

- Breen, P.A. 1992. A review of models used for stock assessment in abalone fisheries. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner & S.A. Guzmán del Prío, editors. *Abalone of the world: biology, fisheries and culture*. Oxford, U.K.: Blackwell. pp. 253-275.
- Breen, P.A., S. W. Kim & N.L. Andrew. 2003. A length-based Bayesian stock assessment model for the New Zealand abalone *Haliotis iris*. *Marine and Freshwater Research* 54: 619-634.
- Brusca, C.R. 1980. *Common intertidal invertebrates of the Gulf of California*. The University Of Arizona Press. Tucson, Arizona. 1-513 p.
- Caddy, J.F. 1988. Recent developments in research and management for wild stocks of bivalves and gasteropods. In: J. Caddy, editor. *Marine Invertebrate Fisheries; their assessment and management*. John Wiley and Sons. pp. 665-700.
- Caddy, J.F. & R. Mahon. 1995. Reference points for fisheries management. FAO Fisheries Technical Paper No. 347. 83 pp.
- Carreón-Palau, L. 2000. Microhabitat, distribución y abundancia de juveniles de abulón. *Haliotis fulgens* y *H. corrugata* en Bahía Tortugas, B.C.S., México. Tesis de Maestría. ENCB-IPN. 79 pp.
- Chávez, E.A., 1996. Simulating fisheries for the assessment of optimum harvesting strategies. *Fishbyte*: 33-35.
- Cox, K.W. 1962. California abalones, family Haliotidae. Department of Fish and Game. Fish Bulletin No. 118. 1-133 pp.
- Cushing, D.H. 1975. *Ecología Marina y Pesquerías*. Ed. ACRIBA. Zaragoza, Esp. 1-252 pp.
- Dayton, P.K. & M.J. Tegner. 1984. Catastrophic storms, El Niño, and patch stability in a southern California kelp community. *Science* 224: 283-384.
- Dayton, P.K. & M.J. Tegner. 1990. Botton beneath troubled waters: impacts of the 1982-83 El Niño in the temperate zone. In: P.W. Glynn, editor. *Global ecological consequence of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation*. Elsevier, Amsterdam. pp. 433-465.
- Doi, T., S.A. Guzmán del Prío, V. Marín, M. Ortíz Quintanilla, J. Camacho A. & T. Muñoz. 1977. Análisis de la población y diagnóstico de la pesquería de abulón amarillo (*Haliotis corrugata*) en el área de Punta Abreojos e Isla Cedros, B.C. Serie Científica - Instituto Nacional de la Pesca. No.18. 1-17 p.
- Draprer, N.R. & H. Smith. 1981. *Applied Regression Analysis*. John Wiley & Sons. pp. 141-192.
- Farlinger, S. & A. Cambell. 1992. Fisheries management and biology of northern abalone, *Haliotis kamtschatkana*, in the northeast Pacific. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner & S.A. Guzmán del Prío, editors. *Abalone of the world: biology, fisheries and culture*. Oxford, U.K.: Blackwell. pp. 395-406.

- Fernández-Eguiarte, A., A. Gallegos-García & J. Zavala-Hidalgo. 1993. Oceanografía física de México. Ciencia y Desarrollo. Enero-Febrero. 24-35 pp.
- Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter & V.H. Niem. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Vol. 1. Plantas e invertebrados. Roma, FAO. 1995. Vol. I. pp. 646.
- Foster, G.R., G.W. Potts & R. Swinfen. 1982. Changes in the ormer populations of Guernsey and Jersey. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 62: 717-727.
- Fox, W.W. 1970. An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. Trans. Am. Fish. Soc. 90: 80-88.
- Freón, P. & E. Yáñez R. 1995. Influencia del medio ambiente en la evaluación de stock: una aproximación con modelos globales de producción. Invest. Mar., Valparaíso, Chile. 23: 25-47.
- Freón, P., C. Mullon & G. Pichon. 1993. Experimental interactive software for choosing and fitting surplus production models including environmental variables. FAO Computerized Information Series (Fisheries). No. 5. Rome, FAO, 1993. 76 pp.
- Gluyas-Millán, M.G. & J. Talavera-Maya. 2003. Composición por tallas y edades de las poblaciones de abulón *Haliotis fulgens* y *H. corrugata* de la zona de Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. Ciencias Marinas 29(1): 89-101.
- Goodall C. 1983. Examining residuals. In: D.C. Hogalin, F. Mosteller & J.W. Tukey, editors. Understanding robust and exploratory data analysis. Wiley Series in probability and mathematical statistics. pp. 211-246.
- Gulland, 1983. Fish Stock Assessment. A Manual of Basic Methods. John Wiley & Sons. 223 pp.
- Guzmán del Prío, S.A. 1992. A review of the biology of abalone and its fishery in Mexico. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner & S.A. Guzmán del Prío, editors. Abalone of the world: biology, fisheries and culture. Oxford, U.K.: Blackwell. pp. 341-360.
- Guzmán del Prío, S.A. 1994. Biología, ecología y dinámica de población del abulón (*Haliotis* spp.) de Baja California, México. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Tesis Doctoral. 188 pp.
- Guzmán de Prío, S.A. 1997. ¿Son la cuotas de captura la mejor opción para regular la pesquería de abulón?. Zoología Informa. ENCB-IPN. (36-37): 107-120.
- Guzmán del Prío, S.A., S. De la Campa & J. Pineda. 1972. Flora macroscópica asociada a los bancos de abulón (*Haliotis* spp.) en algunas áreas de la costa occidental de Baja California. Memorias IV Congreso Nacional de Oceanografía. 257-263 pp.

- Guzmán del Prío, S.A. & V. Marín. 1976. Resultados preliminares sobre crecimiento de abulón amarillo y azul (*Haliotis corrugata* y *H. fulgens*) en Punta Abreojos, B.C.S. Inst. Nal. De Pesca. Serie Científica 17: 1-11.
- Guzmán del Prío, S.A., V. Marín, A. & Castro, A. 1976. Estructura y abundancia de la población de *Haliotis* spp. de Baja California, en 1968-1970. Memorias del Primer Simposio Nacional sobre Recursos Pesqueros masivos de México. Vol. Esp. Abulón/Langosta. INP: 219-278.
- Guzmán del Prío, S.A., S.R. Mille-Pagaza, R. Guadarrama-Granados, S. de la Campa-de-Guzmán, A. Pererira-Corona, J. Belmar-Pérez, M. de J. Parra-Alcocer & A.C. Luque-Guerrero. 1991. La comunidad bentónica de los bancos de abulón (*Haliotis* spp. mollusca: gasteropoda) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. An. Esc. Nac. Cienc. Biol., México. 36: 27-59.
- Guzmán del Prío, S.A. & F. López-Salas. 1993. Crecimiento de *Haliotis fulgens* en Bahía Asunción, Baja California Sur, México. An. Esc. Nac. de Cienc. Biol., México. 38: 59-66.
- Guzmán del Prío, S.A., F. Salinas, O. Zaytsev, J. Belmar-Pérez & J. Carrillo-Laguna. 2000. Potential dispersión on reproductive products and larval stages of abalone (*Haliotis* spp.) as a function of the hydrodynamics of Bahia Tortugas, Mexico. Journal of Shellfish Research 19(2): 869-881.
- Guzmán del Prío, S.A., L. Carreón-Palau, J. Belmar-Pérez, J. Carrillo-Laguna & R. Herrera-Fragoso. 2003. Effects of the "El Niño" event on the recruitment of benthic invertebrates in Bahía Tortugas, Baja California Sur. Geofísica Internacional 42(3): 429-438.
- Haddon, M. 2001. Modeling and quantitative methods in fisheries. Chapman & Hall / CRC. Boca Raton, Fla. pp. 1-406.
- Hanke, J.E. & A. G. Reitsch. 1997. Estadística para negocios. (2ª Ed.) McGraw Hill / Interamericana. Madrid. 961 pp.
- Harrison, A.J. 1983. The Tasmanian abalone fishery. Tasmanian Fish. Res. 1: 1-42.
- Hayasi, I. 1980. The reproductive biology of the ormer, *Haliotis tuberculata*. Journal of Marine Biological Assocoation of the United Kindom 60: 415-430.
- Hernández-Carmona, G. 1987. Recuperación de los mantos de sargazo gigante *Macrocystis pyrifera* en Baja California, después del fenómeno de "El Niño" de 1982-83. In: M.E. Ramírez-Rodríguez, editor. Simposium sobre investigación en biología y oceanografía pesquera en México. CICIMAR, La Paz, B.C.S., México. pp. 147-154.
- Hernández-Carmona, G., O. García, D. Robledo & M. Foster. 2000. Restoration techniques for *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyceae) populations at the Southern limit of their distribution in Mexico. Botanica Marina 43: 273-284.

- Hernández-Carmona, G., D. Robledo, & E. Serviere-Zaragoza. 2001. Effect of nutrient availability on *Macrocystis pyrifera* recruitment and survival near its southern limit off Baja California. *Botanica Marina* 44: 221-229.
- Hernández-Herrera, A., M. Ramírez-Rodríguez & F. Arreguín-Sánchez. 2001. Simulación de producción pesquera basada en el modelo dinámico de Biomasa (SIMOD 1.0). Número de Registro Derechos de Autor (INDAUTOR) 03-2001-053116290000-01.
- Hewitt, R. 1981. Eddies and speciation in the California Current. *CalCOFI Rep.*, Vol. XXII: 96-98.
- Hilborn, R. & C.J. Walters. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. New York. Chapman and Hall. pp. 570.
- Hines, A.H. & Pearse J.S. 1982. Abalones, shells, and sea otters: dynamics of prey populations in Central California. *Ecology* 63(5): 1547-1560.
- Hoaglin, D.C., F. Mosteller & J.W. Tukey. 1982. Understanding robust and exploratory data analysis. Wiley Series I Probability and mathematical statistics. New York. pp. 447.
- Hobday, A.J. & M.J. Tegner. 2002. The warm and the cold: influence of temperature and fishing on local population dynamics of red abalone. *CalCOFI Rep.* 43: 74-96.
- Jackson, G.A. 1977. Nutrients and production of the giant kelp *Macrocystis pyrifera*, off southern California. *Limnol. Oceanogr.* 22: 979-995.
- Karpov, K.A., P.L. Haaker, I.K. Tanaguchi & L. Rogers-Bennett. 2000. Serial depletion and the collapse of the California abalone (*Haliotis* spp.) fishery. In: A. Cambell, editor. Workshop on Rebuilding Abalone Stocks in British Columbia. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 130: 11-24.
- Keen, A. M. & E. Coan. 1974. Marine Molluscan genera of western North America. An illustrated key. Sec. Edition. Stanford Univesity Press. Stanford, Cal. U.S.A. pp. 208.
- Keesing, J.K., R. Grove-Jones & P. Tagg. 1995. Measuring settlement intensity of abalone: results of a pilot study. *Marine Freshwater Research* 46: 539-543.
- Kimura , D.K. & J.V. Tagart. 1982. Stock reduction analysis, another solution to the catch equations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 1467-1472.
- Kimura, D.K., J.W. Balsiger & D.H. Ito. 1984. Generalizad stock reduction analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41: 1325-1333.
- Kimura, D.K. 1985. Changes to stock reduction analysis indicated by Schnute's general theory. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42: 2059-2060.
- Kimura, D.K. 1988. Stock-recruitment curved as used in the stock-reduction analysis model. *J. Cons. int. Explor. Mer.* 44: 253-258.

- Ladah, L.B., J. Zertuche-González & G. Hernández-Carmona. 1999. Giant kelp (*Macrocystis pyrifera*, Phaeophyceae) recruitment near its southern limit in Baja California after mass disappearance during ENSO 1997-1998. *J. Phycol.* 35: 1106-1112.
- Lafferty, K.D. & A.M. Kuris. 1993. Mass mortality of abalone *Haliotis cracherodii* on the California Channel Islands: tests of epidemiological hipótesis. *Marine Ecology Progress Series.* 96: 239-248.
- Leighton, D. 1972. Laboratory observations on early growth of the abalone, *Halotis sorenseni*, and the effect of temperature on larval development and settling success. *Fishery Bulletin* 70(2): 373-381.
- Leighton, D. 1974. The influence of temperature on larval and juvenile growth in three species of southern California abalones. *Fishery Bulletin* 72(4): 1137-1145.
- Leighton, D.L. 1998. Control of sabellid infestation in green and pink abalones, *Haliotis fulgens* and *H. corrugata*, by exposure to elevated water temperatures. *Journal of Shellfish Research* 17(3): 701-705.
- Leighton, D.L. 2000. *The Biology and Culture of the California Abalones.* Dorrance Publishing Co., Inc. Pittsburgh, Penn. pp. 1-216.
- Lelevier, G.A.L., J.G. León, M Ortiz, J.R Turrubiates, J.G. González & M.A. Reineke. 1989. Análisis biológico pesquero del stock de abulón en la península de Baja California durante las temporadas de pesca 1981-1988. Evaluación y diagnóstico. Documento Interno. CRIP-Ensenada/La Paz. INP. SEPESCA.
- León-Carballo, G. & M. Muciño-Díaz. 1996. Pesquería de abulón. In: Casas-Valdez y G. Ponce-Díaz, editores. *Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur.* SEMANRAP / GOB. DEL EDO. DE B.C.S./ FAO / INP / UABCS /CIB / CICIMAR / CETmar. pp. 14-41.
- Lindberg, D.R. 1992. Evolution, distribution and systematics of Haliotidae. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner & S.A. Guzmán del Prío, editors. *Abalone of the world: biology, fisheries and culture.* Oxford, U.K.: Blackwell. pp. 3-18.
- Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota, S.E. Lluch-Cota & S. Hernández-Vázquez. 1997. Análisis de la pesquería de abulón de la Península de Baja California. Informe Técnico presentado ante SEMARNAP y FRSCIPBC, F.C.L. (inédito) pp. 31.
- Lluch-Cota, B.D. & G. Ponce-Díaz. 2000. Situación actual y perspectivas de la pesquería de abulón. In: *Memorias del Taller Cultivo Intensivo y de Repoblamiento del abulón.* FIRA-Banco de México / CIBNOR. pp. 1-16.
- Lluch-Cota, D.B., W. S. Wooster & S.R. Hare. 2001. Sea surface temperature variability in coastal Northeastern related to the El Niño-Southern Oscillation and Pacific Ddecadal Oscillation. *Geophysical Research Letters* 28(10): 2029-2032.

- Marín, V. 1981. Parámetros poblacionales y diagnóstico de la pesquería de abulón amarillo (*Haliotis corrugata*) en Bahía Tortugas, B.C.S. Ciencia Pesquera. Inst. Nal. de Pesca, México. 1(2): 67-79.
- McShane, P.E. 1992. Early life history of abalone: a review. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner & S.A. Guzmán del Prío, editors. Abalone of the world: biology, fisheries and culture. Oxford, U.K.: Blackwell. pp. 120-137.
- McShane, P.E. 1995. Recruitment variation in abalone: its importance to fisheries management. Marine Freshwater Research 46: 555-570.
- Muñoz, L.T. 1976. Los bancos abuloneros de la parte central de Baja California. Memorias del Primer Symposium sobre recursos pesqueros Masivos de México. Vol. Esp. sobre Abulón/Langosta. INP 1: 161-184.
- Nash, W. J., J.C. Sanderson, J. Bridley, S. Dickinson & B. Hilsop. 1995. Post-larval recruitment of blacklip abalone (*Haliotis rubra*) on artificial collectors in Southern Tasmania. Mar. Freshwater Res. 46: 531-538.
- Nikolski, 1969. Fish population dynamics. R. Jones, editor. Oliver & Boyd. Edimburgh. 323 pp.
- North, W. 1957. Experimental Ecology. In: Fish and the kelps beds. Quarterly report Oct 1-Dec 31. pp. 5.
- North, W. 1971. Introduction and background. In: W. North, editor. The biology of giant kelp beds (*Macrocystis*) in California. J. Cramer, Lehre. pp. 1-97.
- Parker, D.O., P.L. Haaker & H.A. Togstad. 1992. Case histories for three species of California abalone, *Haliotis corrugata*, *H. fulgens* and *H. cracherodii*. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner & S.A. Guzmán del Prío, editors. Abalone of the world: biology, fisheries and culture. Oxford, U.K.: Blackwell. pp. 384-393.
- Philander, S.G. 1990. El Niño, La Niña and the Southern Oscillation. Academic Press, Inc. U.S.A. pp. 289.
- Polacheck, T., R. Hilborn & A. E. Punt. 1993. Fitting Surplus Production Models: Comparing Methods and Measuring Uncertainty. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50: 2597-2607.
- Ponce-Díaz, G., A. Vega-Velázquez, M. Ramade-Villanueva, G. León-Carballo & R. Franco-Santiago. 1998. Socioeconomic characteristics of the abalone fishery along the west coast of Baja California Peninsula, Mexico. Journal of Shellfish Research 17(3): 853-857.
- Ponce-Díaz, G., E.A. Chávez & M. Ramade-Villanueva. 2000. Evaluación de la pesquería de abulón azul *Haliotis fulgens* en Bahía Asunción, Baja California Sur, México. Ciencias Marinas 26(3): 393-412.
- Ponce-Díaz, G., F. López-Salas, G. Hernández-Carmona, S. Lluch-Cota, J. Bautista-Romero & D. Lluch-Belda. 2003a. Base de datos de la temperatura del mar en

- Bahía Asunción, Baja California Sur, México. Instituto de Investigaciones Oceanológicas-U.A.B.C. Reporte Técnico 2003-01. pp. 16.
- Ponce-Díaz, G., S. Lluch-Cota, J. Bautista-Romero y D. Lluch-Belda. 2003b. Caracterización multiescala de la temperatura del mar en una zona de bancos de abulón (*Haliotis* spp.) en Bahía Asunción, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 29(3): 291-303.
- Prince, J.D. 1992. Using a spatial model to explore the dynamics of an exploited stock of abalone *Haliotis rubra*. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner & S.A. Guzmán del Prío, editors. *Abalone of the world: biology, fisheries and culture*. Oxford, U.K.: Blackwell. pp. 305-317.
- Prince, J.D., Sellers T. L., Ford W.B. & Talbot S.R. 1988. Confirmation of a relationship between the localized abundance of breeding stock and recruitment for *Haliotis rubra* Leach (Mollusca: Gasteropoda). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 122: 91-104.
- Prince, J.D. & S.A. Shepherd. 1992. Australian abalone fisheries and their management. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner & S.A. Guzmán del Prío, editors. *Abalone of the world: biology, fisheries and culture*. Oxford, U.K.: Blackwell. pp. 407-426.
- Prince, J.D. & S.A. Guzmán del Prío. 1993. A stock reduction analysis of the Mexican (Haliotid) fishery. *Fisheries Res.* 16: 25-49.
- Ramade-Villanueva, R., D.B. Lluch-Cota, S.E. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez, A. Espinoza-Montes & A. Vega-Velázquez. 1998. An evaluation of the annual quota mechanism as a management tool in the Mexican abalone fishery. *Journal of Shellfish Research* 17(3): 847-851.
- Ricker, W. E. 1954. Stock and recruitment. *Journal of Fisheries Research Board of Canada* 30: 409-434.
- Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 191. pp 382.
- Rocha Coghlan, E. 1985. Diagnóstico de la pesquería de abulón (*Haliotis* spp.) en Baja California, de los años 1972-73 a 1981-82, por medio de modelos globales de rendimiento. Escuela Superior de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Tesis de licenciatura. 191 pp.
- Rocha, E. & F. Arreguín-Sánchez. 1987. Diagnóstico de la pesquería de abulón (*Haliotis* spp.) de la península de Baja California, México. *Investigaciones Marinas. CICIMAR* 3(2): 65-77.
- Rodda, K.R., J.K. Keesing, & B.L. Foureur. 1997. Variability in larval settlement of abalone on artificial collectors. *Moll. Res.* 18: 253-264.
- Rodríguez de la Cruz, Ma. C. 1988. Los Recursos Pesqueros de México y sus Pesquerías. Secretaría de Pesca. 237 pp.

- Rodríguez-Valencia, J.A. & F. Caballero-Alegría. 2002. Temporal fluctuations (1989-1999) in the populations of *Haliotis fulgens* and *H. corrugata* (Gastropoda: Haliotidae), at Islas San Benito (Baja California, Mexico). *Journal of Shellfish Research* 21(1): 163-171.
- Salazar-Vallejo, S., J.A. de León-González & H. Salices-Polanco. 1988. Poliquetos (Annelida: Polichaeta) de México. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Libros Universitarios. 1-212 pp.
- Sasaki, R. & S.A. Shepherd. 1995. Larval dispersal and recruitment of *Haliotis discus hannai* and *Tegula* spp. On Miyagi coasts, Japan. *Mar. Freshwater Res.* 46: 519-529.
- Seijo, J.C., O. Defeo & S. Salas. 1997. Bioeconomía pesquera. Teoría, modelación y manejo. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 368. Rome. 176 pp.
- Serviere-Zaragoza, E., D. Gómez-López & G. Ponce-Díaz. 1998. The natural diet of the green abalone (*Haliotis fulgens* Philippi) in the southern part of its range, Baja California Sur, México, assessed by analysis of gut contents. *Journal of Shellfish Research* 17(3): 777-782.
- Serviere-Zaragoza, E., A. Mazariegos-Villareal, G. Ponce-Díaz & S. Montes-Magallón. 2001. Growth of juvenile abalone, *Haliotis fulgens* Philippi, fed different diets. *Journal of Shellfish Research* 20(2): 689-693.
- Sevilla, M.L. 1971. Desarrollo gonádico del abulón azul (*Haliotis fulgens*) Philippi. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural, México* XXXI: 129-139 pp.
- Schaefer, M.B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. *Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm.* 1(3): 27-56.
- Schaefer, M.B. 1957. A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean. *Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm.* 1(6): 261-286.
- Shepherd, S.A. 1986. Movement of the Southern Australian abalone *Haliotis laevigata* in relation to cervix abundance. *Australian Journal of Ecology* 11: 295-302.
- Shepherd, S.A. 1990. Studies on southern Australian abalone (genus *Haliotis*) XII. Long-term recruitment and mortality dynamics of an unfished population. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 41: 475-492.
- Shepherd, S.A., P.S. Clarkson & J.A. Tuner. 1985. Studies on Southern Australian abalone (genus *Haliotis*). V. Spawning, settlement, and early growth of *H. scalaris*. *Trans. R. Soc. S. Aust.* 109: 61-62.
- Shepherd, S.A., S.A. Guzmán del Prío, J. Turrubiates, J. Belmar, J.L. Maker & P.R. Sluczanowski. 1991. Growth, size at sexual maturity, and egg-per-recruit analysis of the abalone *Haliotis fulgens* in Baja California. *The Veliger* 34(4): 324-330.

- Shepherd, S.A. & P.A. Breen. 1992. Mortality in abalone: its estimation, variability and causes. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner & S.A. Guzmán del Prío, editors. *Abalone of the world: biology, fisheries and culture*. Oxford, U.K.: Blackwell. pp. 276-304.
- Shepherd, S.A. & P.D. Steinberg. 1992. Food preferences of three Australian abalone species with a review of the algal food abalone. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner & S.A. Guzmán del Prío, editors. *Abalone of the world: biology, fisheries and culture*. Oxford, U.K.: Blackwell. pp. 169-181.
- Shepherd, S.A., D. Lowe & D. Partington. 1992. Studies on southern Australian abalone (genus *Haliotis*) XIII: larval dispersal and recruitment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 164: 247-260.
- Shepherd, S.A. & J.M. Turrubiates. 1997. A practical chronology for the abalone *Haliotis fulgens*. *Moll. Res.* 18: 219-226
- Shepherd, S.A., J.R. Turrubiates & K. Hall. 1998. Decline of abalone fishery at La Natividad, Mexico: overfishing or climate change?. *Journal of Shellfish Research* 17(3): 839-846.
- Sierra, C. & J. Sierra-Zepeda. 1977. *Reseña histórica de la pesca en México (1821-1977)*. Departamento de Pesca. México. 1-95 pp.
- Sinclair A.F. 1993. Partial recruitment considerations in setting match quotas. *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.* 50: 734-742.
- Sluczanowski, P.R. 1984. A management oriented model of an abalone fishery whose substoks are sujet to pulse fishing. *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.* 41: 1008-1014.
- Sokal, R.R. & J.F. Rohlf. 1998. *Biometry. The principles and practice of statistics in Biological research*. New York: W.H. Freeman and Company. 886 pp.
- Sparre, P. & S. C. Venema. 1995. *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1 Manual*. Documento Técnico de Pesca 306/1. FAO. Valparaíso, Chile. pp. 420.
- StatSoft, Inc. 1995. *STATISTICA for Windows [Computer program manual]*. Tulsa, Ok. StatSoft, Inc. 2325 East 13th Street, Tulsa, OK. 74104.
- Svedrup, H.U., M.W. Johnson & R.H. Fleming. 1942. *The Oceans. Their physics, chemistry and general biology*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. USA. Eleven printing. 1-1060 pp.
- Tegner, M.J. 1989. The California abalone fishery: production, ecological interactions, and prospects for the future. In: J. F. Caddy, editor. *Marine Invertebrate Fisheries: Their Assessment and Management*. Wiley & Sons. New York. pp. 401-420.
- Tegner, M.J. & P. Dayton. 1987. El Niño effects on Southern California kelp communities. *Adv. in Ecol. Research.* 17: 243-279.

- Tegner, M. J., P. A. Breen & C.E. Lennert. 1989. Population biology of reed abalone, *Haliotis rufescens*, in southern California and management of red and pink, *H. corrugata*, abalone fisheries. *Fishery Bulletin* 87(2): 313-339.
- Tegner, M.J. & P. Dayton. 1991. Sea urchins, El Niños, and long term stability of southern California kelp forest communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 77: 49-63.
- Tegner, M.J., J. D. DeMartini & K. A. Karpov. 1992. The California red abalone fishery: a case study in complexity. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner & S.A. Guzmán del Prío, editors. *Abalone of the world: biology, fisheries and culture*. Oxford, U.K.: Blackwell. pp. 370-383.
- Tegner, M.J., P. Dayton, P.B. Edwards & K.L. Riser. 1996. Is there evidence for long-term climatic change in southern California kelp forest?. *CalCOFI Rep.* 37: 111-126.
- Tegner, M.J., P.L. Haaker, K.L. Riser & L.I. Vilchis. 2001. Climate variability, kelp forest, and the southern California red abalone fishery. *Journal of Shellfish Research* 20(2): 755-763.
- Turrubiates, J.M. & J.L. Castro-Ortiz. 1992. Growth of *Haliotis fulgens* in Bahía Tortugas, Baja California Sur. México. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner & S.A. Guzmán del Prío, editors. *Abalone of the world: biology, fisheries and culture*. Oxford, U.K.: Blackwell. Supplementary papers. pp. 10-15.
- Vega, V.A., G. León & M. Muciño. 1994. Sinopsis de información biológica, pesquera y acuacultural de los abulones (*Haliotis* spp.) de la Península de Baja California, México. Documento Interno. SEPESCA/CIBNOR.
- Vega, A., D. Lluch-Belda, M. Muciño, G. León, S. Hernández, D. Lluch-Cota, M. Ramade & G. Espinoza. 1996. Development, perspectives and management of lobster and abalone fisheries off northwest Mexico, under a limited access system. *Proceedings of 2nd World Fisheries Congress*. Australia. 136-142 pp.
- Viana, M.T., L.M. López & A. Salas. 1993. Diet development for juvenile abalone *Haliotis fulgens*. Evaluation of two artificial diets and macroalgae. *Aquaculture*. 117: 49-156.
- Viana, M.T., L.M. López, Z. García-Esquivel & E. Mendez. 1996. The use of silage made from fish and abalone viscera as an ingredient in abalone feed. *Aquaculture* 140: 87-98.
- Vilchis, L.I., K.L. Riser & P.K. Dayton. 2001. Incorporating environmental variability into fisheries management: the role of El Niño in the collapse of the California red abalone. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations (CalCOFI) Annual Conference 2001. Abstracts. Symposium Papers*. San Diego, Cal. 5-8 Nov. 2001.
- Walter, G.G. 1975. Graphical methods for estimating parameters in simple models of fisheries. *J. Fish. Res. Board Can.* 32: 2163-2168.

- Walsh, J.J., J.C. Kelly, T.E. Whitley & J.J. MacIsaac. 1974. Spin-up of Baja California upwelling ecosystem. *Limnology and Oceanography* 19(4): 553-573.
- Walsh, J.J. & T.E. Whitley. 1977. Further transition states of the Baja California upwelling ecosystem. *Limnology and Oceanography*. 22(3): 264-280.
- Zimmerman, R.C. and J.N. Kremer. 1984. Episodic nutrient supply to kelp forest ecosystem in Southern California. *J. Mar. Res.* 42: 591-604.

ANEXOS

FIGURAS

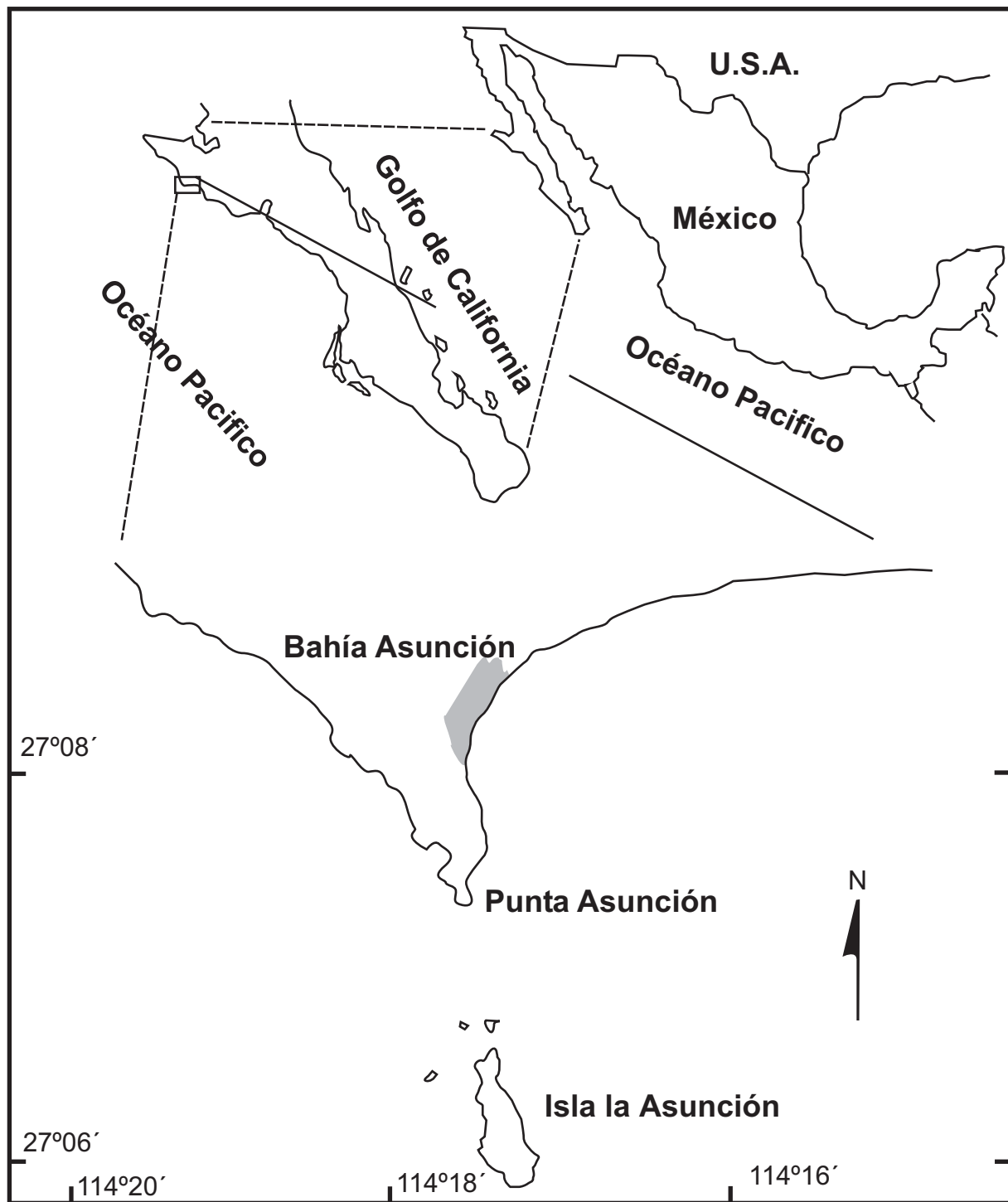


Figura 1. Localización de Bahía Asunción, Baja California Sur, México

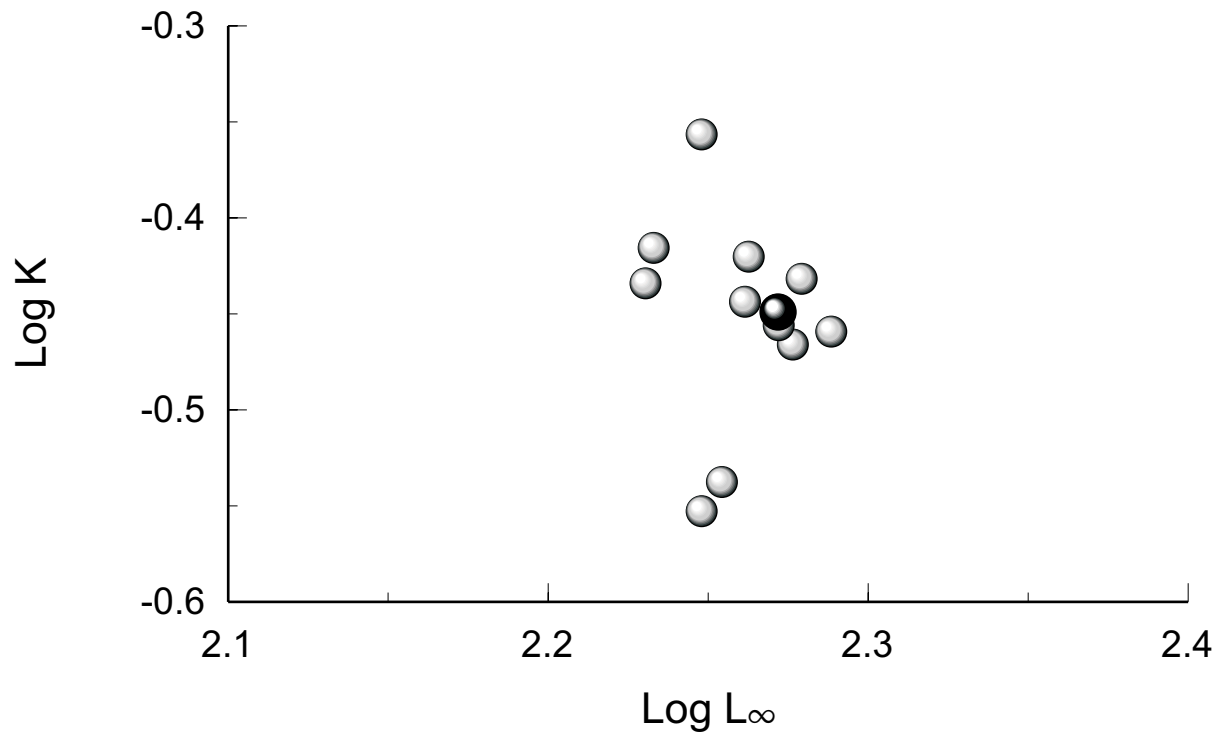


Figura 2. Combinación de valores de K y L_{inf} utilizados en la modelación pesquera (punto en negrita). Transformación de valores a logaritmos de acuerdo a Pauly (1988). Esferas corresponden a combinaciones de valores de K y L_{inf} para abulón azul para zonas abuloneras de México.

a)



b)



Figura 3. Colector artificial para la captación de postarvas de abulón. a) Vista completa del colector; b) acercamiento a la superficie de fijación o láminas.

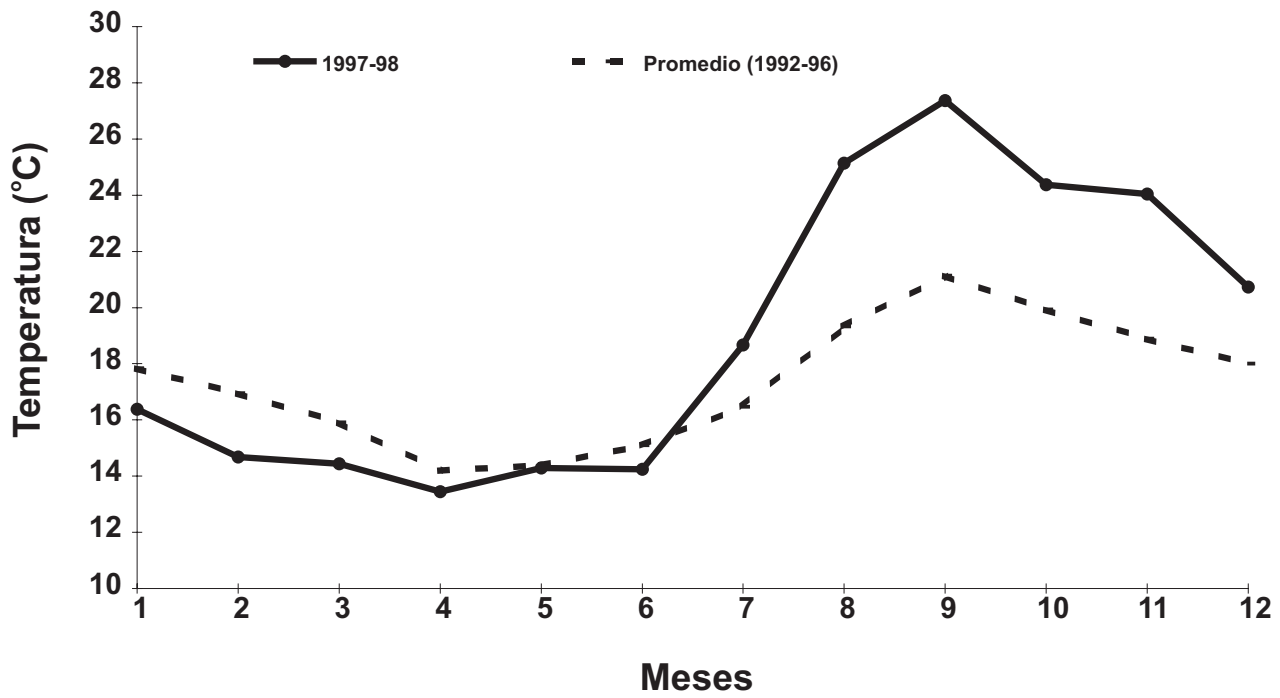


Figura 4. Temperaturas observadas en Bahía Asunción, B.C.S. durante años normal (promedio 1992-1996; línea punteada) y durante la presencia de El Niño (1997-1998; línea continua).

a)



Macrocyctis pyrifera

b)



Eisenia arborea

Figura 5. Tipos de macroalgas utilizadas como alimento de juveniles de abulón; a) *Macrocyctis pyrifera* y b) *Eisenia arborea*.

a)



b)



Figura 6. a) Unidades experimentales; b) abalones con marcas y realización de biometrías.

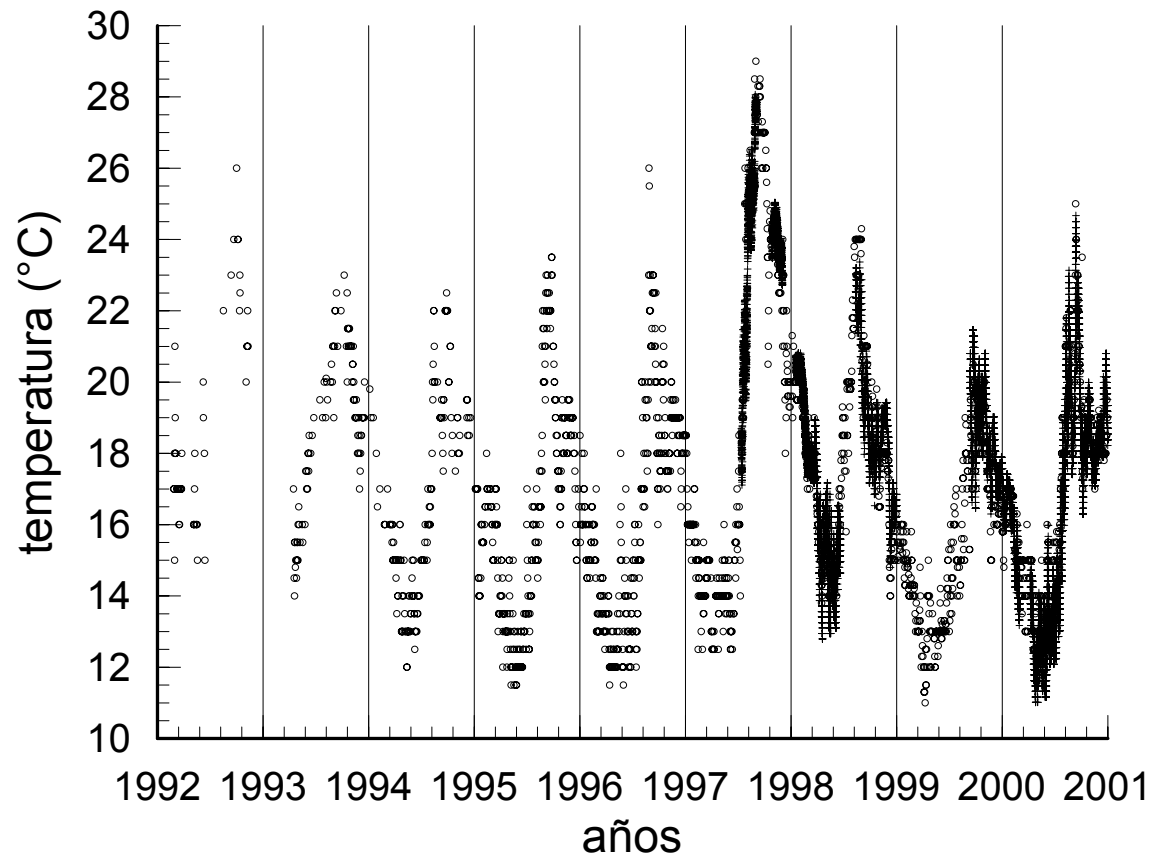


Figura 7. Mediciones horarias y diarias en el área de Bahía Asunción, B. C. S.

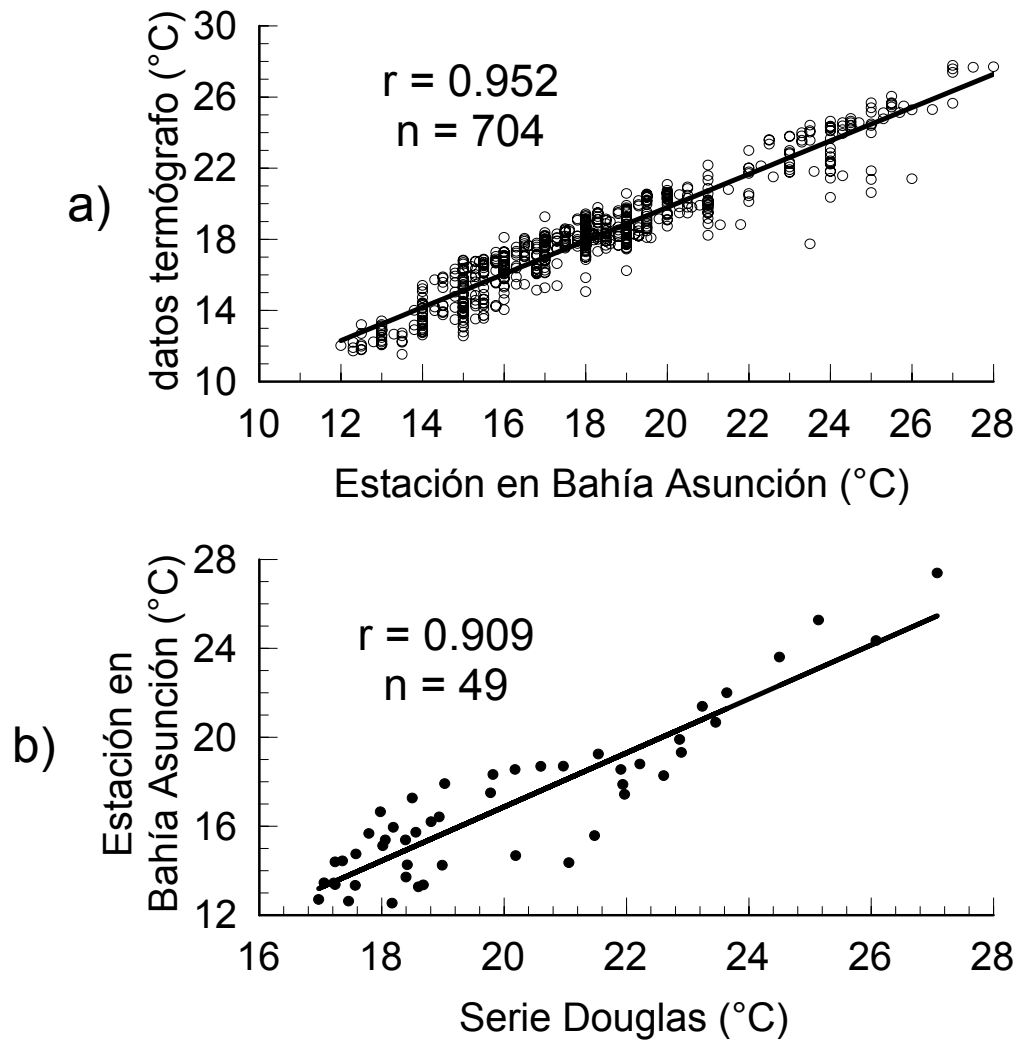


Figura 8. a) Relación entre datos de termógrafo de registro continuo y datos de la estación de registro diario; b) relación entre datos de la Serie Douglas y los registros diarios de temperatura superficial del mar.

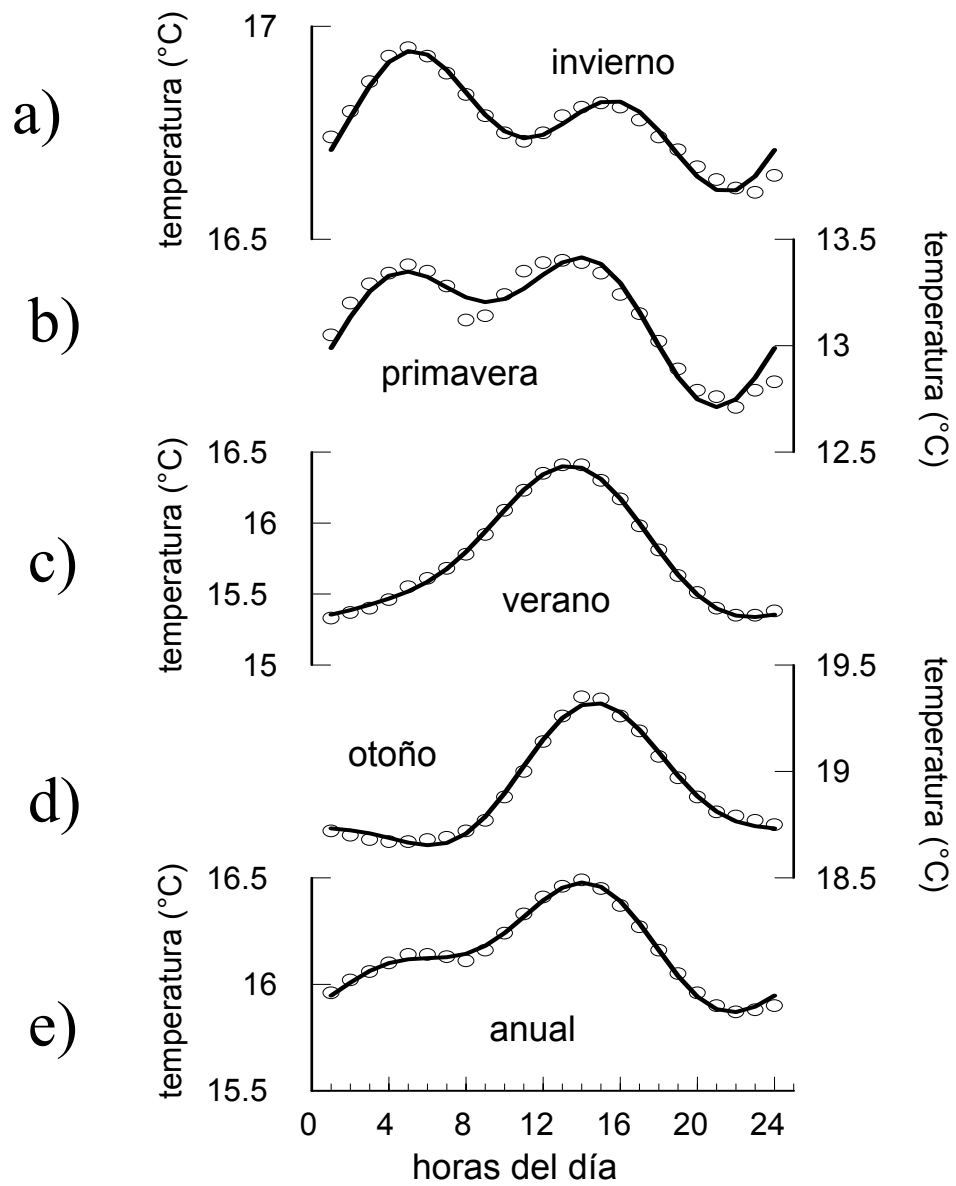


Figura 9. Ciclo circadiano de la temperatura de mar como promedio estacional. a) invierno; b) primavera; c) verano; d) otoño y e) promedio anualizado.

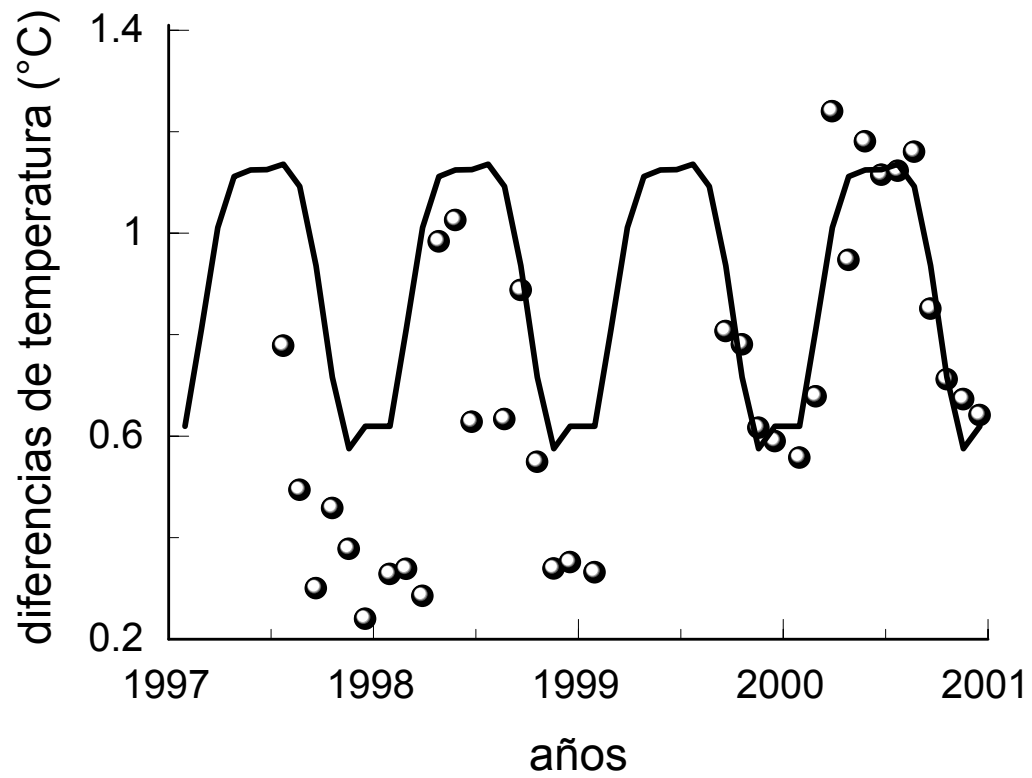


Figura 10. Comportamiento intranual de la amplitud del ciclo diario de la temperatura. Valores obtenidos de los promedios mensuales (esferas) y ciclo ajustado para el año 2000 (línea).

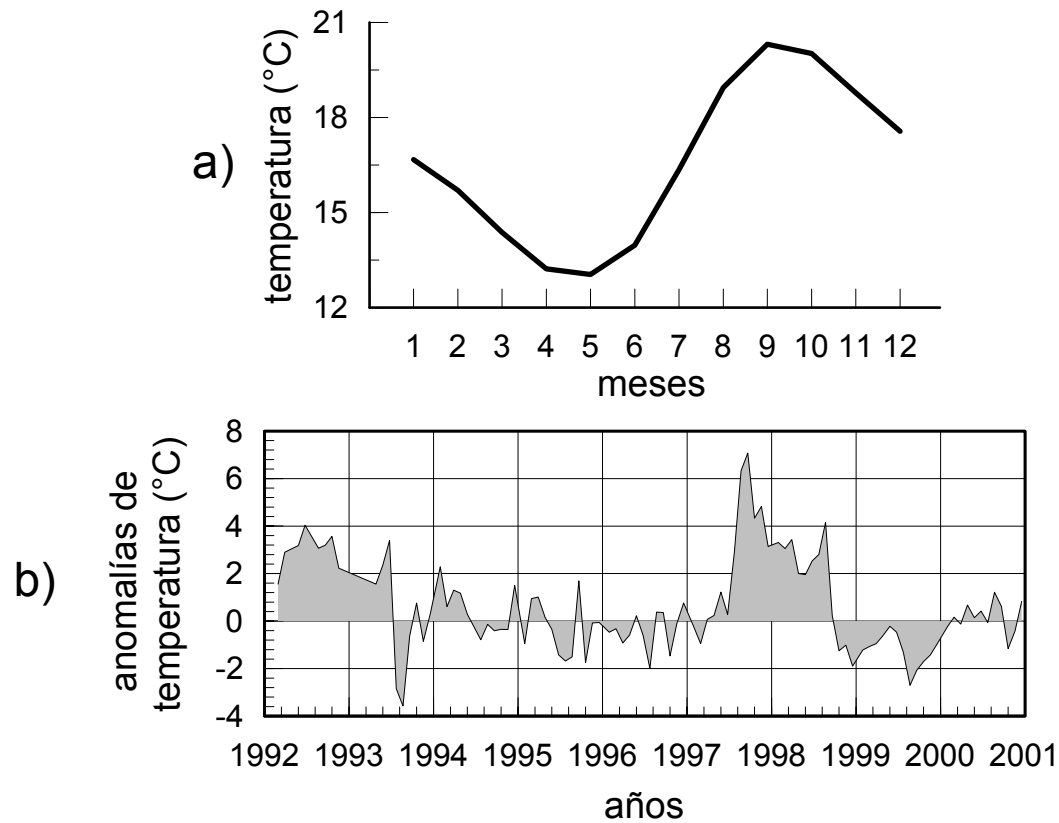


Figura 11. a) Ciclo mensual de la temperatura de mar, ajustado al año 2000; b) desviaciones de la serie del ciclo de la temperatura del mar como valor mensual, estimadas con referencia al año 2000.

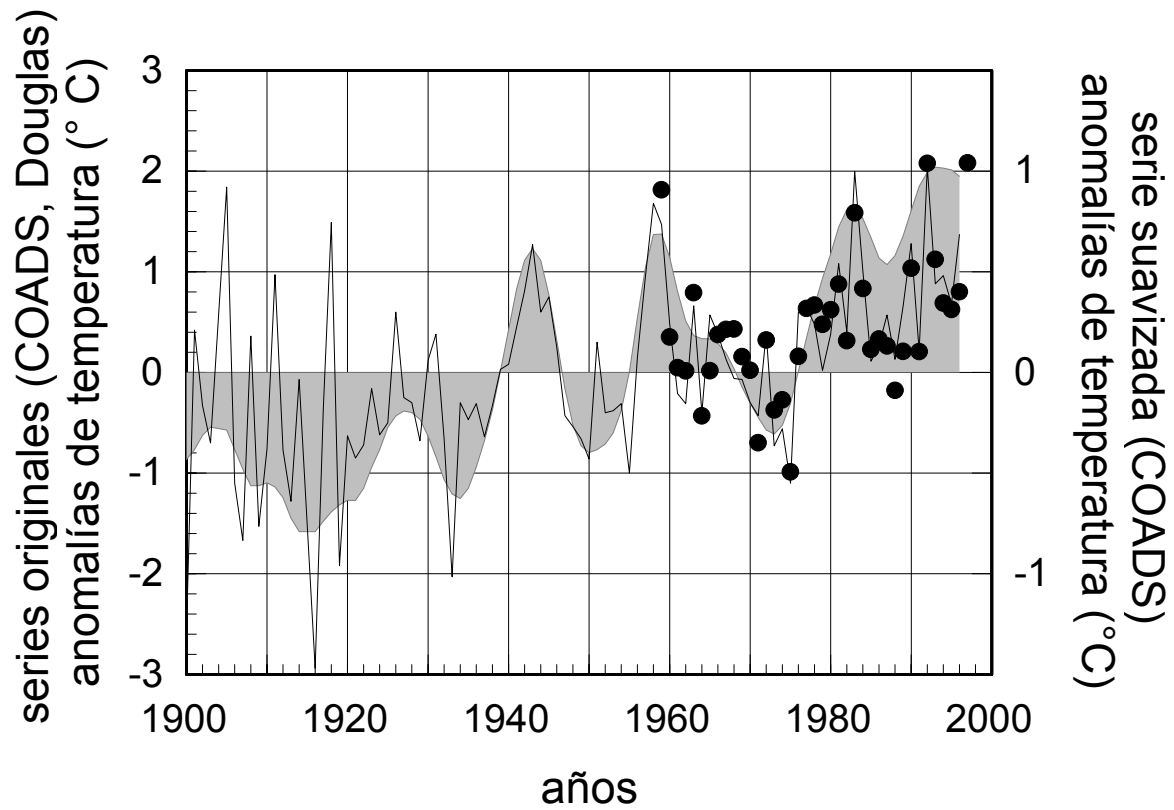


Figura 12. Comparación entre las anomalías anuales de la serie COADS con tendencias suavizadas (líneas continuas y sombreadas) y datos promedios anuales de la serie Douglas (puntos).

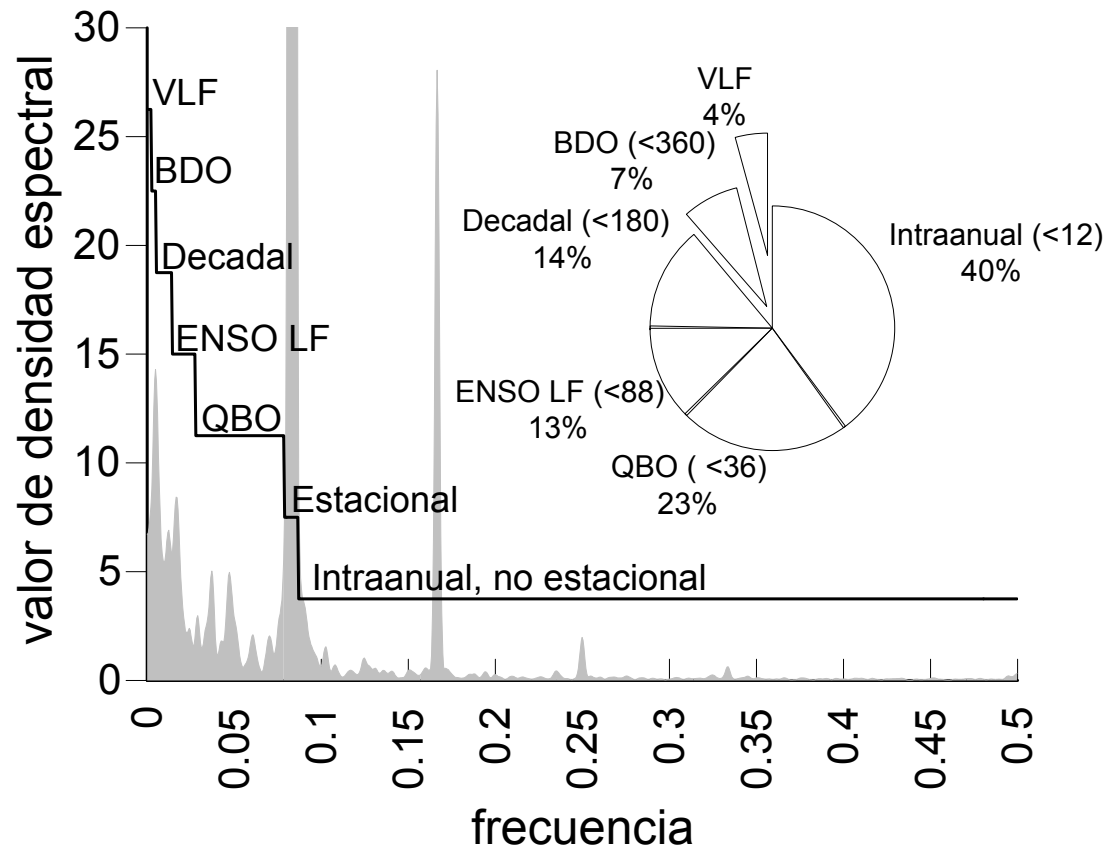


Figura 13. Periodograma (valor de la densidad espectral) de la serie de temperatura superficial del mar de la serie Douglas.

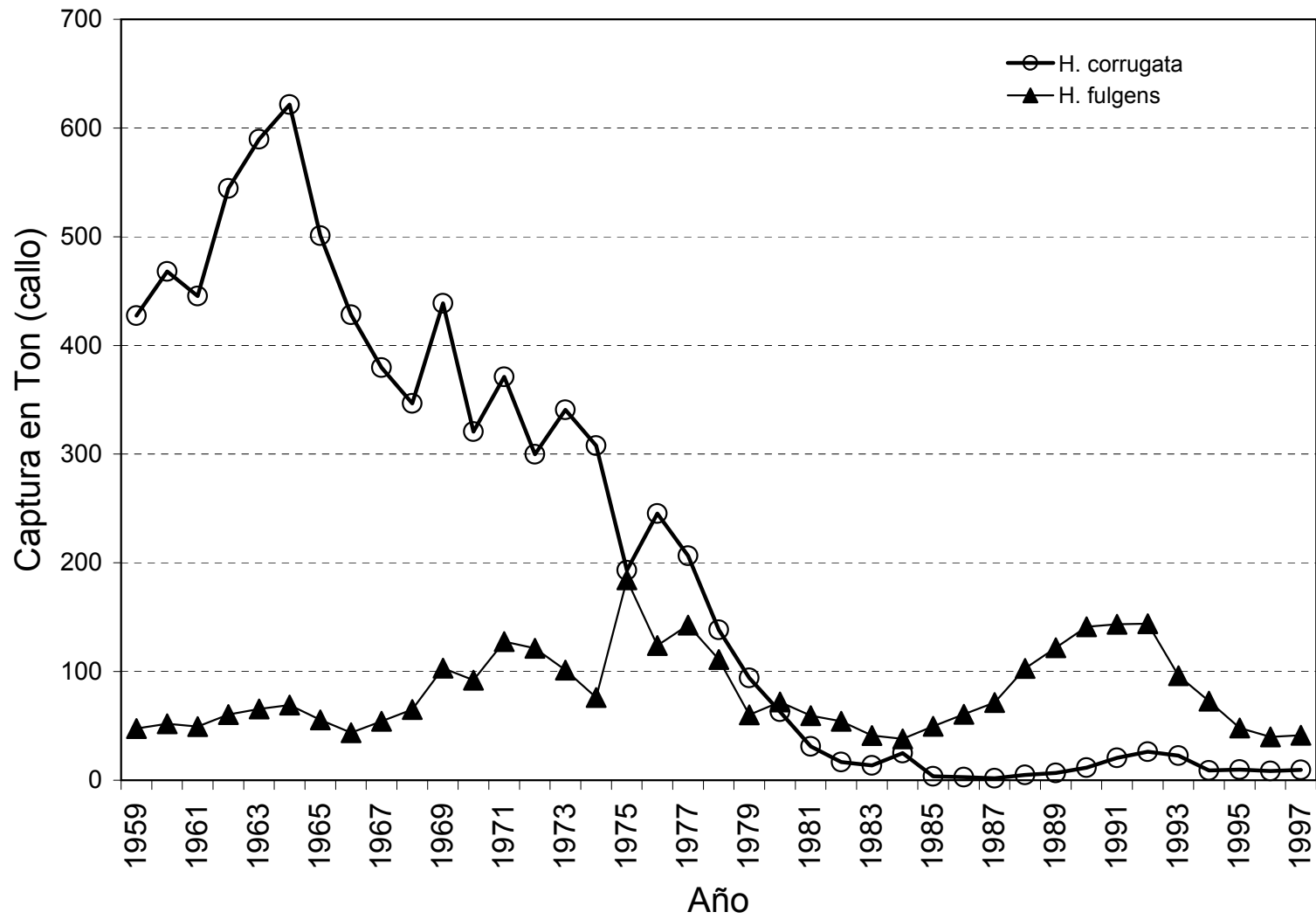


Figura 14. Captura de abulón por especie en Bahía Asunción, Baja California Sur, México.

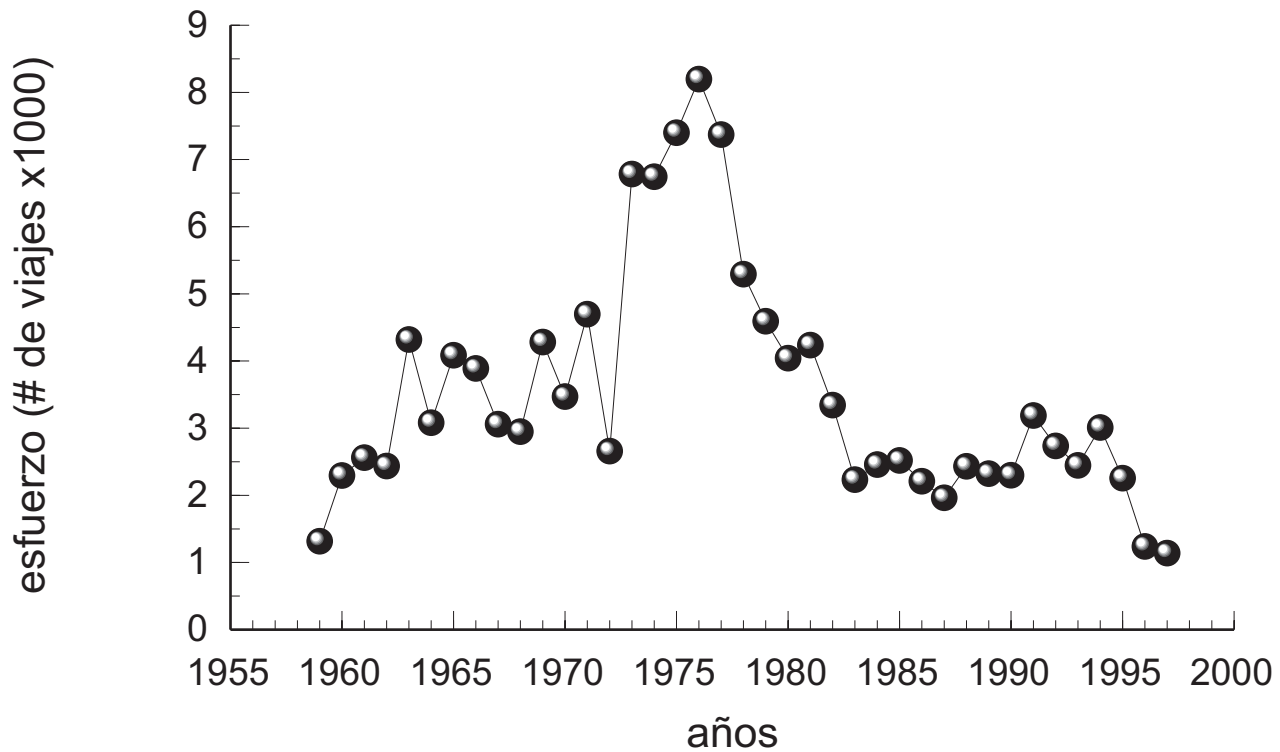


Figura 15. Esfuerzo pesquero nominal de la pesquería de abulón en Bahía Asunción, B.C.S., con respecto al tiempo.

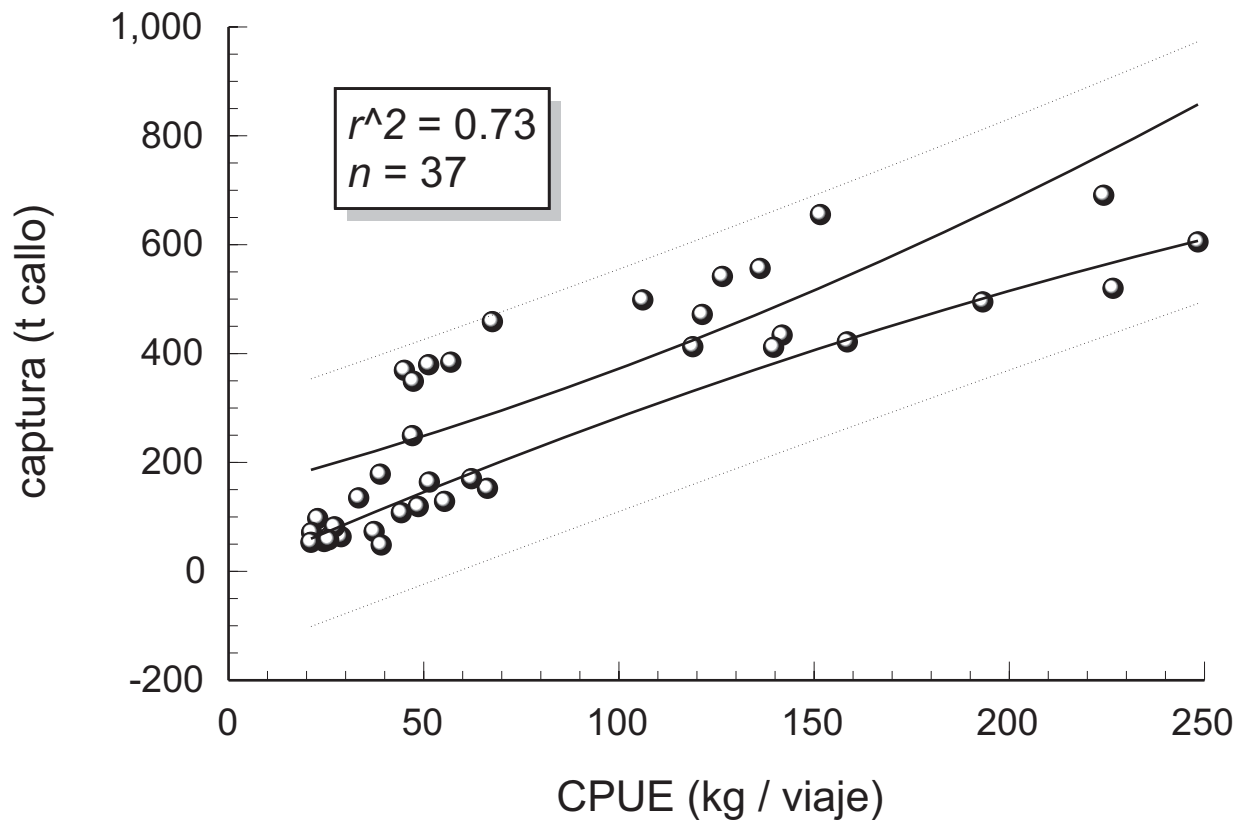


Figura 16. Relación entre la captura total de abulón en Bahía Asunción, B.C.S. y la captura por unidad de esfuerzo. Límites de confianza al 90% y 95%.

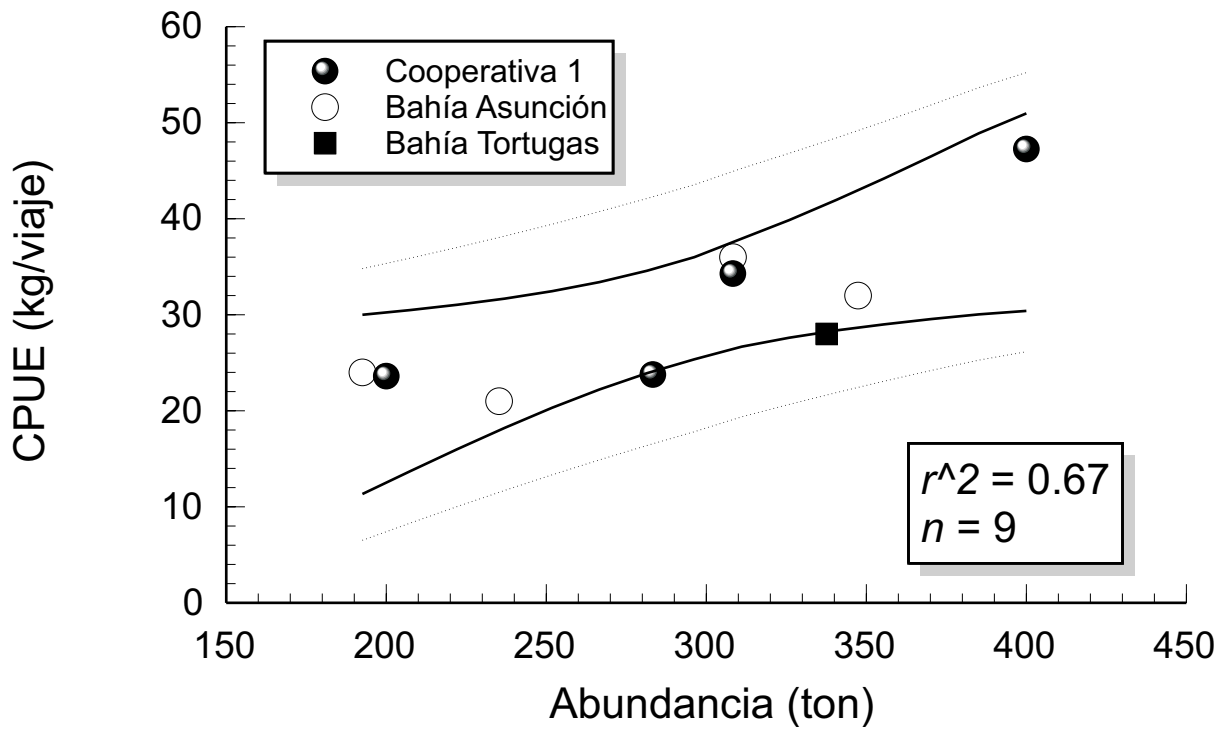


Figura 17. Relación entre la captura por unidad de pesca (CPUE) y las estimaciones de abundancia independientes de la pesquería. Límites de confianza al 90% y 95%.

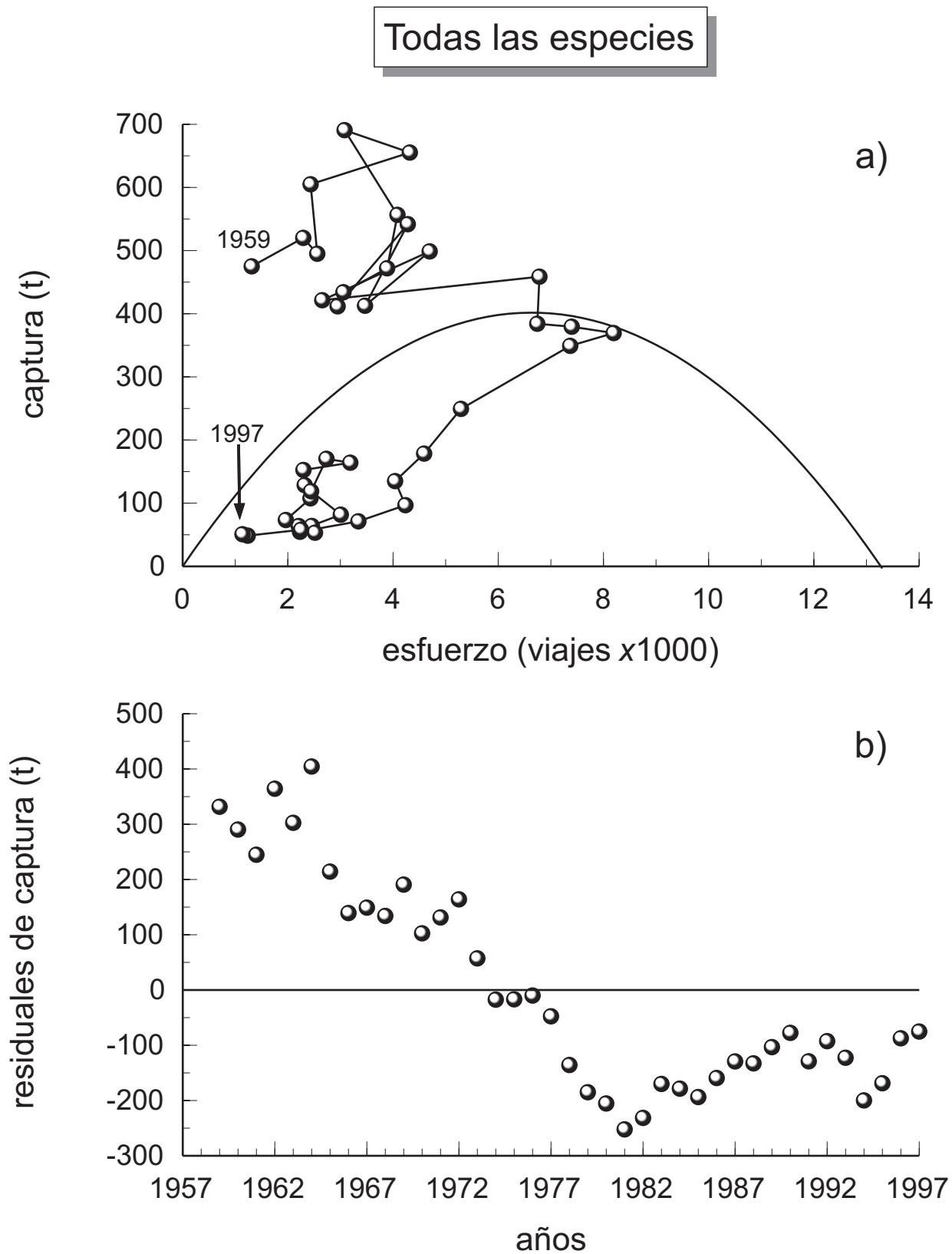


Figura 18. a) Ajuste del modelo de Schaefer para la pesquería de abulón (todas las especies) en el período 1959-1997 en Bahía Asunción, B.C.S.; b) residuales del ajuste.

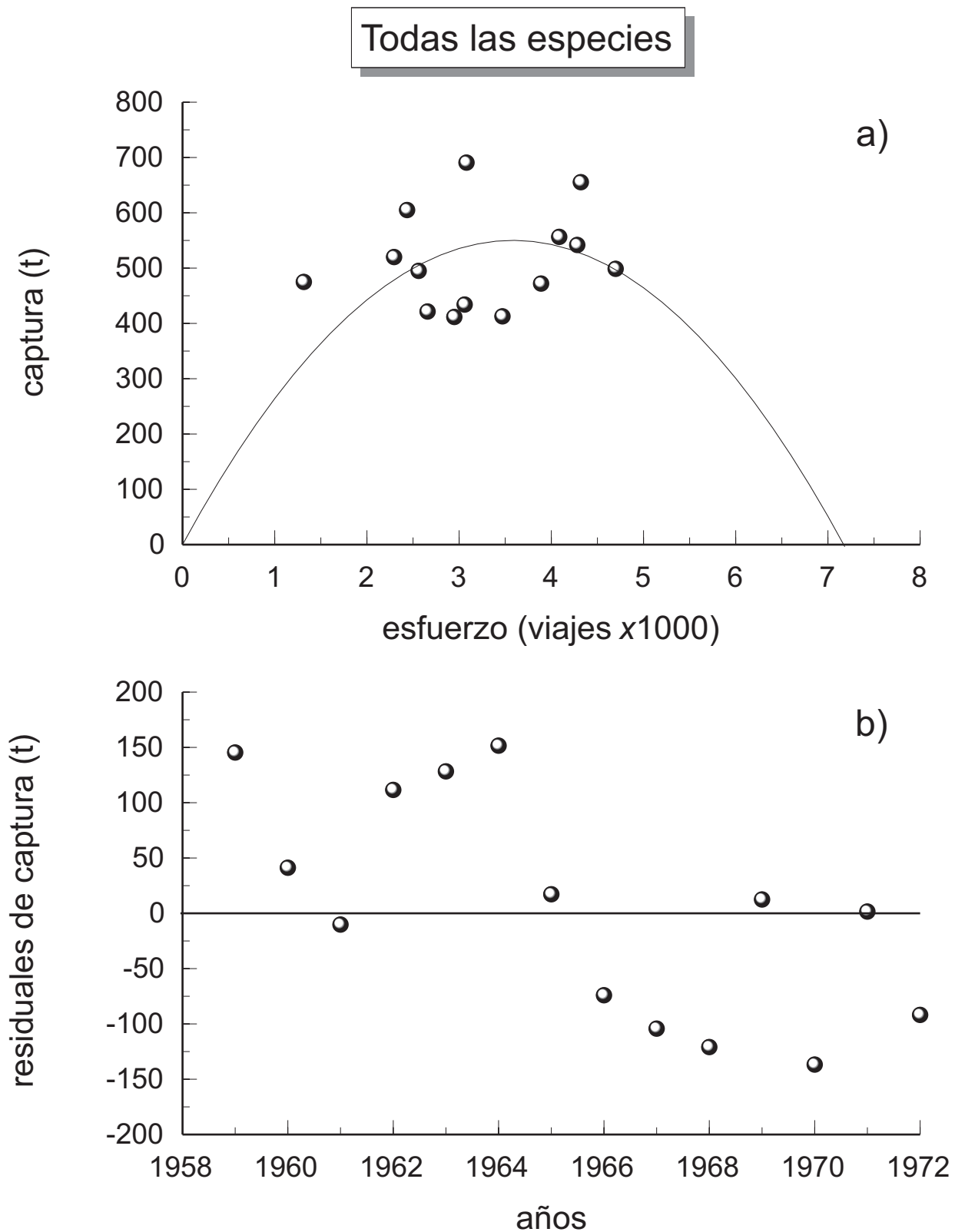


Figura 19. a) Ajuste del modelo de Schaefer para la pesquería de abulón (todas las especies) en Bahía Asunción, B.C.S. para el período 1959-1972; b) residuales del ajuste.

Todas las especies

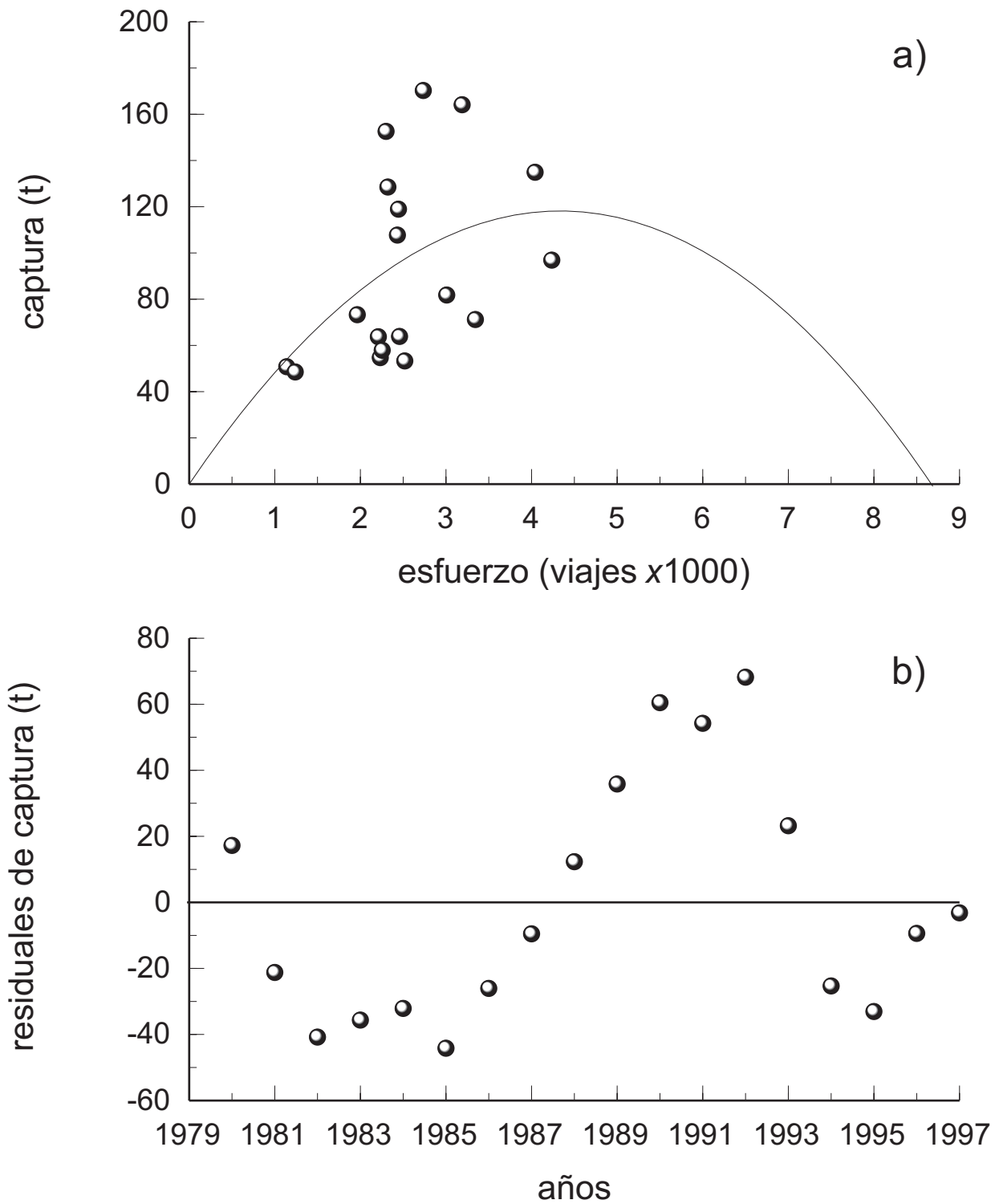


Figura 20. a) Ajuste del modelo de Schaefer para la pesquería de abulón (todas las especies) en Bahía Asunción, B.C.S. para el período 1979-1997; b) residuales del ajuste.

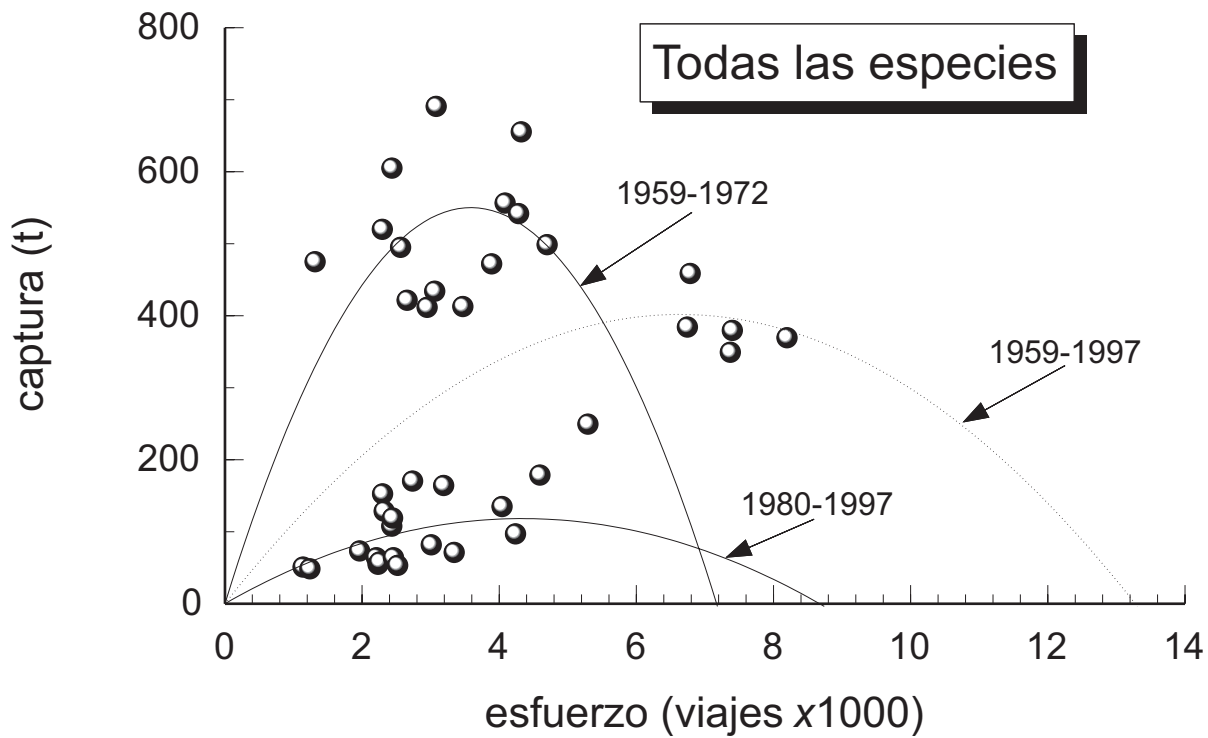


Figura 21. Ajuste del modelo de Schaefer para la pesquería de abulón (todas las especies) en Bahía Asunción, B.C.S. para los distintos periodos 1959-1997; 1959-1972 y 1980-1997.

Abulón azul

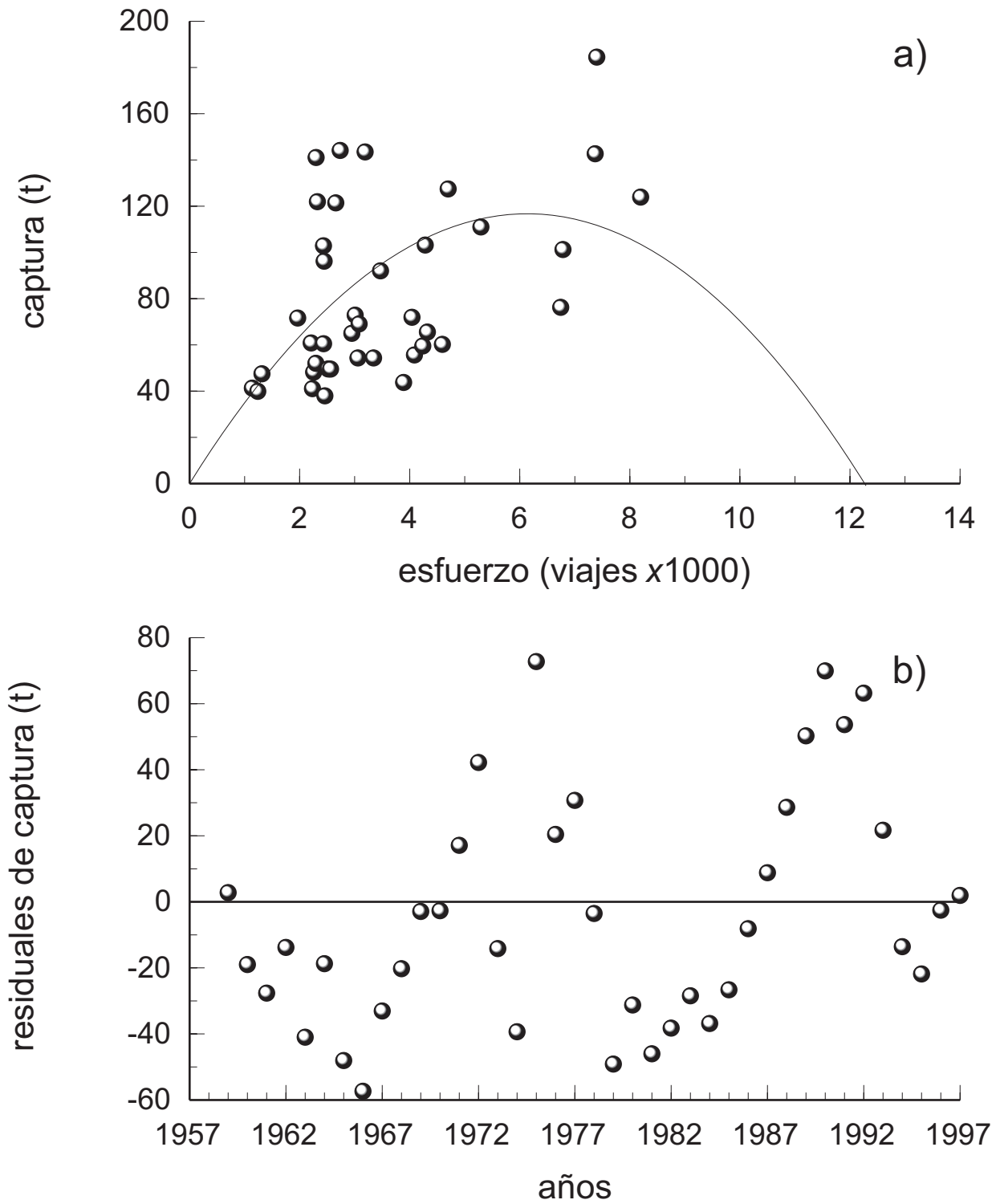


Figura 22. Ajuste del modelo de Schaefer para la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S. para el periodo 1959-1997; b) residuales del ajuste.

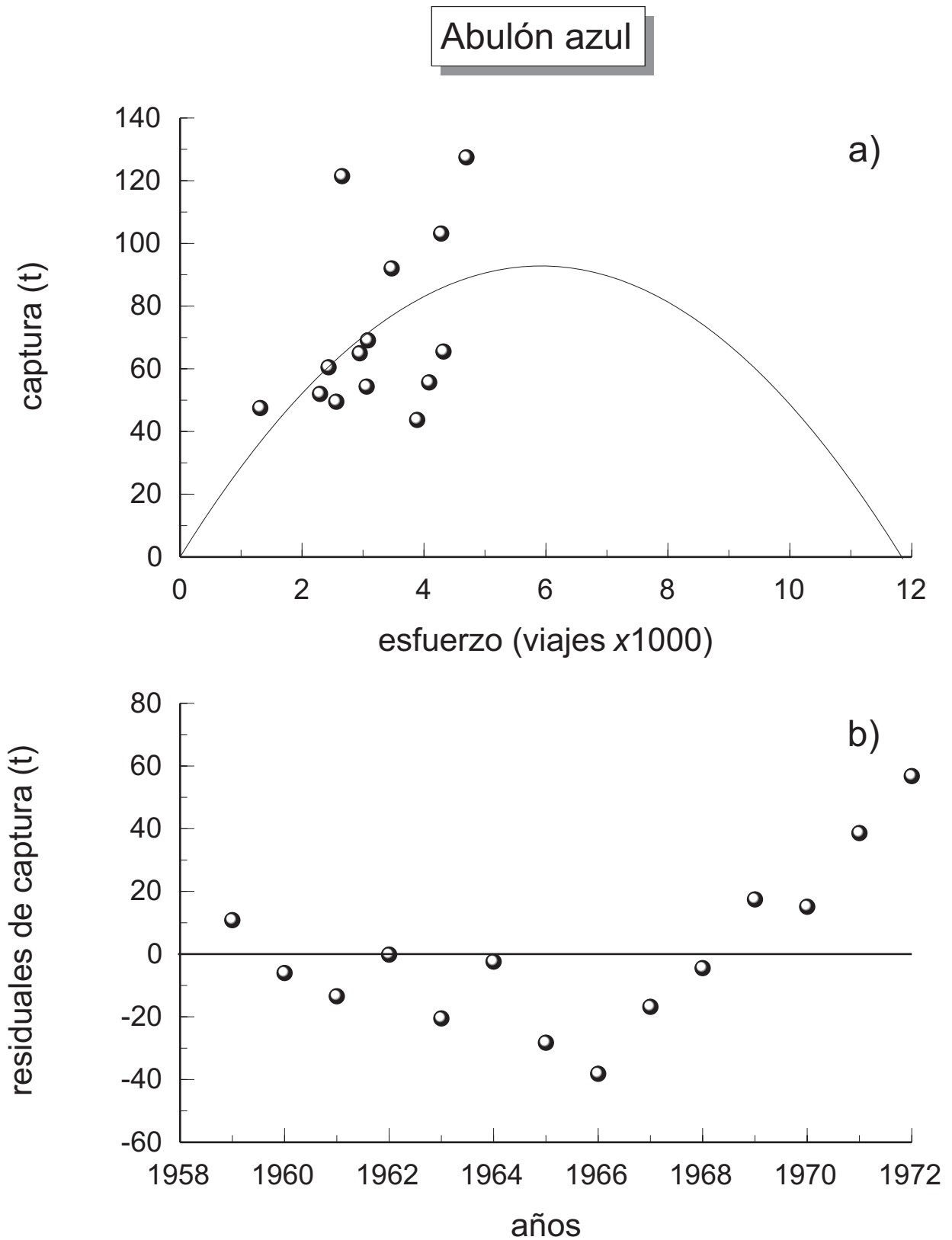


Figura 23. Ajuste del modelo de Schaefer para la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S. para el periodo 1959-1972; b) residuales del ajuste.

Abulón azul

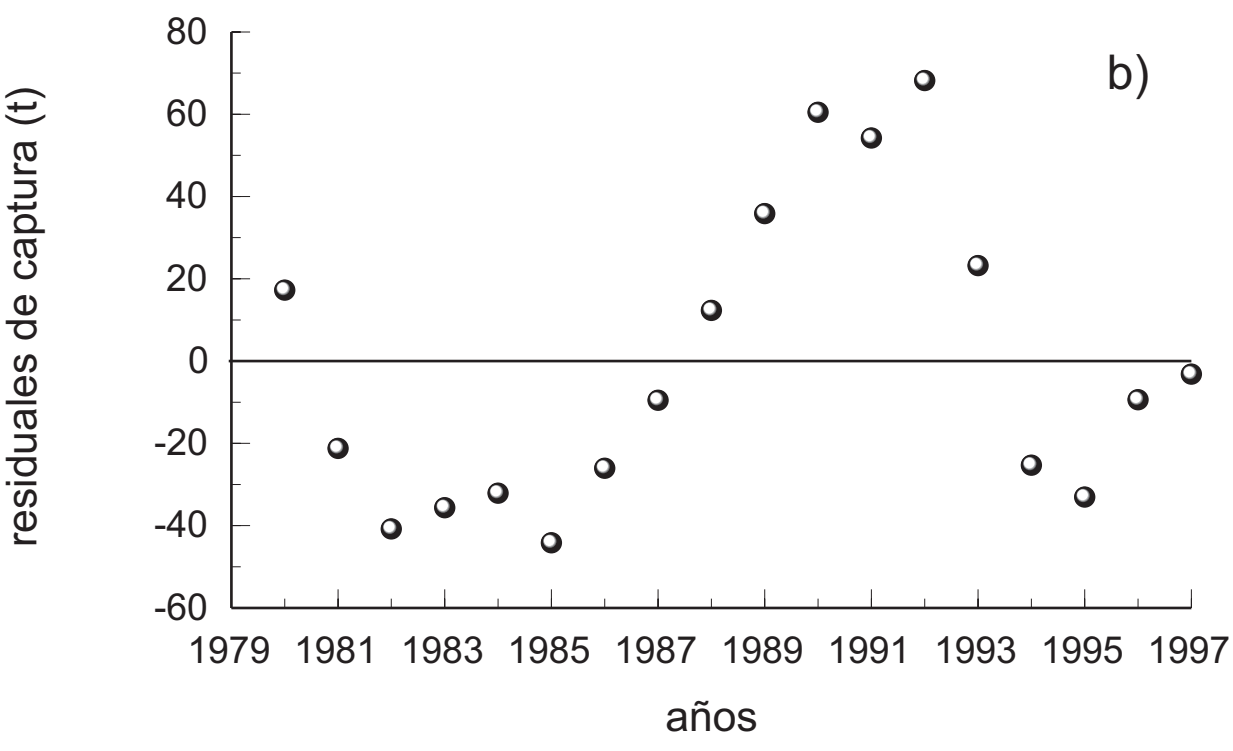
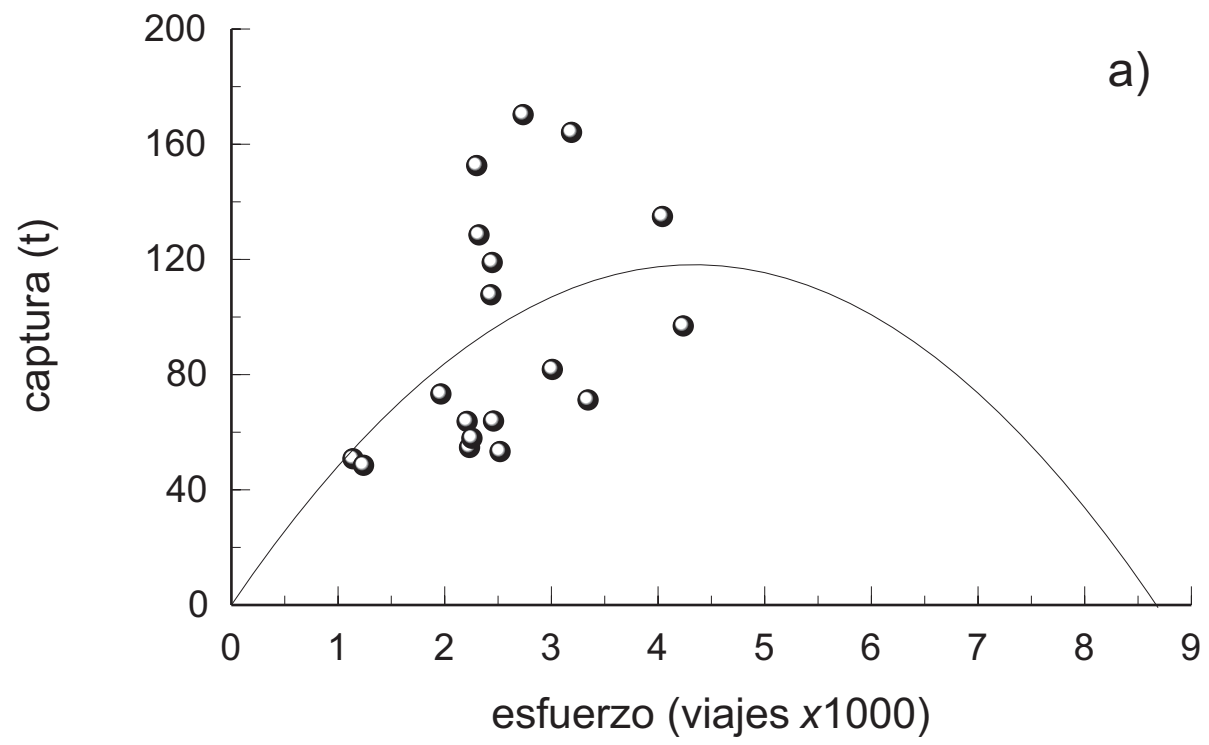


Figura 24. Ajuste del modelo de Schaefer para la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S. para el periodo 1980-1997; b) residuales del ajuste.

+-----CLIMPROD-----+

Current known facts

Model = CPUE=a.V+b.V^2+c	Min_E = 1140.000000
File = C:\CLIMPROD\ASUNCI2.CLI	Nb_years = 39
Max_E = 8197.000000	Age_rec = 5
Nb_exploit = 8	End = 1
Begin = 1	Var.residuals = 69.799040
Variance = 185.618816	a = 36.9513831205
R2 = 62	c = 25.0777086776
b = 36.6133698595	

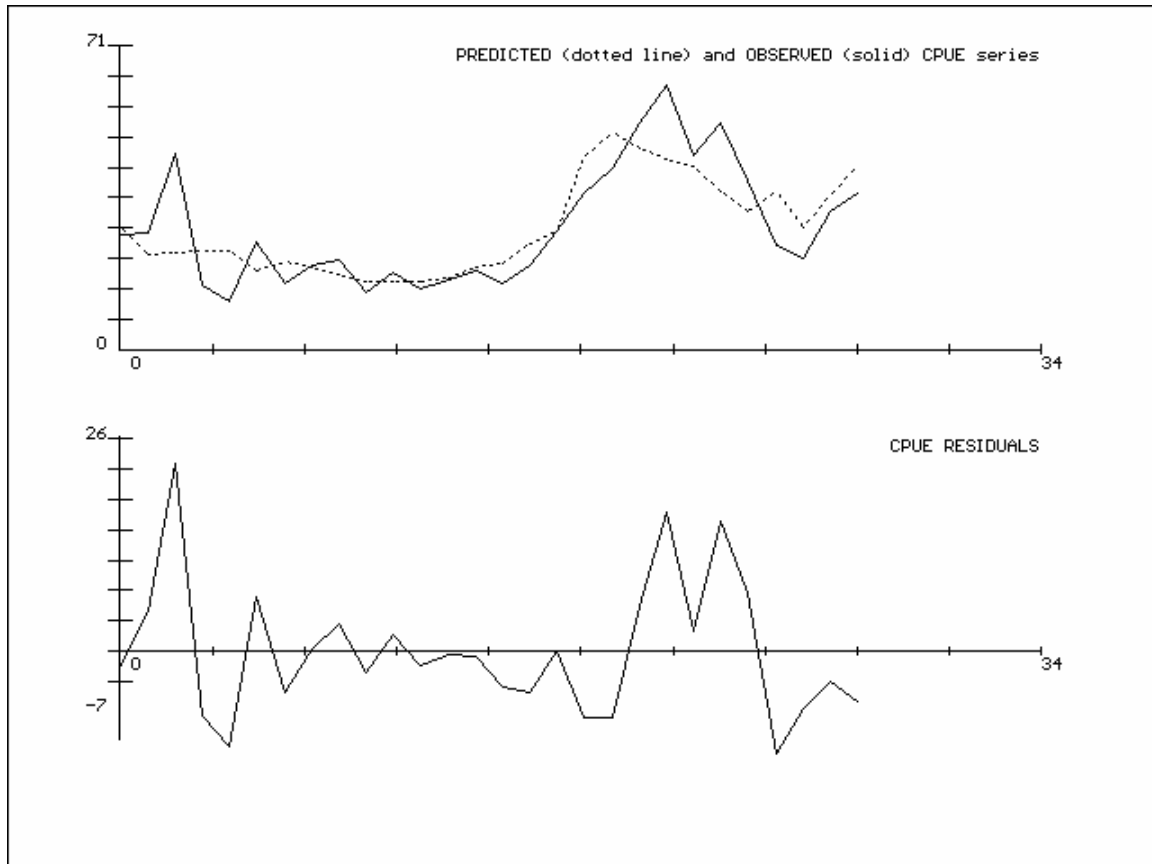


Figura 25. Ajuste del modelo $CPUE = a \cdot V + b \cdot V^2 + c$ por medio de CLIMPROD a los datos de la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S. Gráfica de la CPUE; valores observados, valores esperados y gráfica de residuales del ajuste. $R^2 = 62$.

+-----CLIMPROD-----+

Current known facts

Model = CPUE=a+b.V+c.V^2+d.E	Min_E = 1140.000000
File = C:\CLIMPROD\ASUNCI2.CLI	Nb_years = 39
Max_E = 8197.000000	Age_rec = 5
Nb_exploit = 8	Begin = 1
Climatic_infl = abundance	Variance = 185.618816
End = 1	R2 = 63
Var.residuals = 69.144254	b = 32.1783911793
a = 29.0266787867	d = -0.0010441803
c = 37.9250407037	

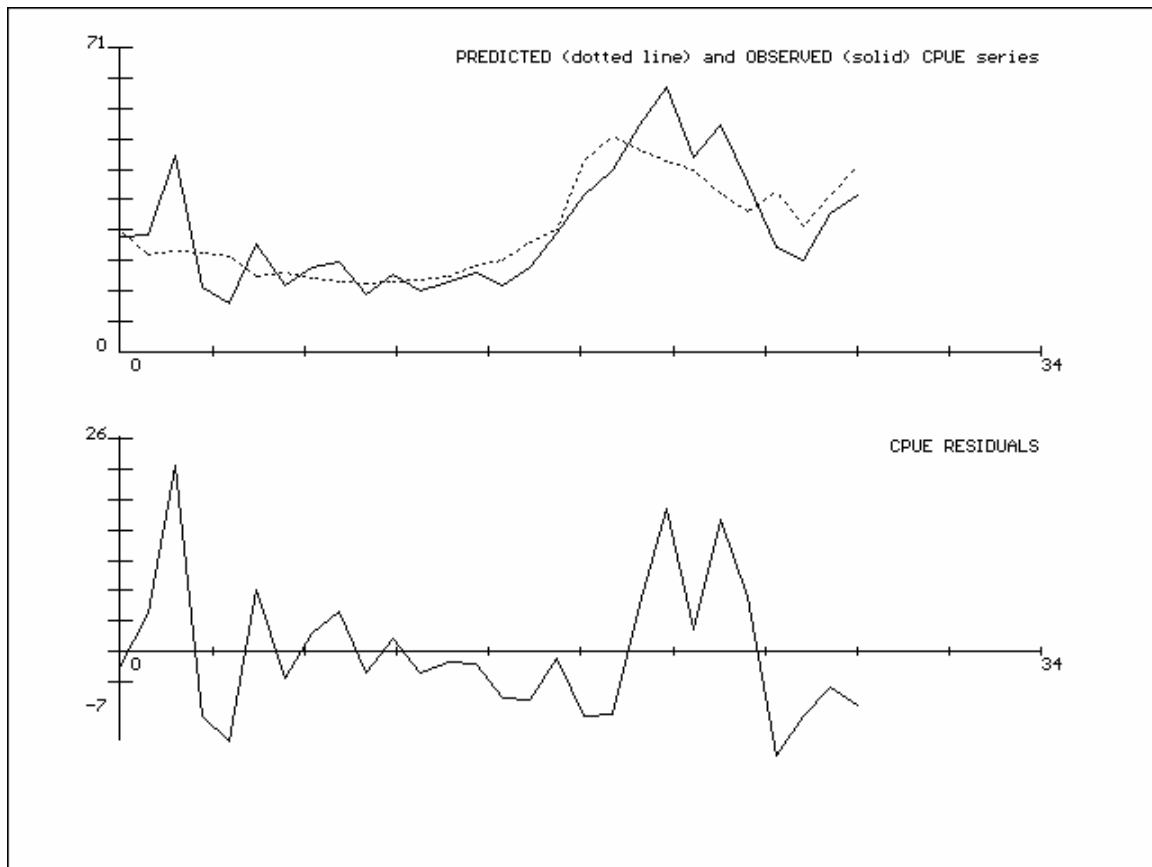


Figura 26. Ajuste del modelo $CPUE = a + b \cdot V + c \cdot V^2 + d \cdot E$ por medio de CLIMPROD a los datos de la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S. Gráfica de la CPUE; valores observados, valores esperados y gráfica de residuales del ajuste. $R^2 = 63$.

+-----CLIMPROD-----+

Current known facts

Model = CPUE=(a+b.V).exp(c.E)	Min_E = 1140.000000
File = C:\CLIMPROD\ASUNCI2.CLI	Nb_years = 39
Max_E = 8197.000000	Age_rec = 5
Nb_exploit = 8	Begin = 1
Climatic_infl = abundance	Variance = 185.618816
End = 1	R2 = 60
Var.residuals = 73.911158	b = 38.2194138048
a = 37.9392243586	c = -0.0000897425

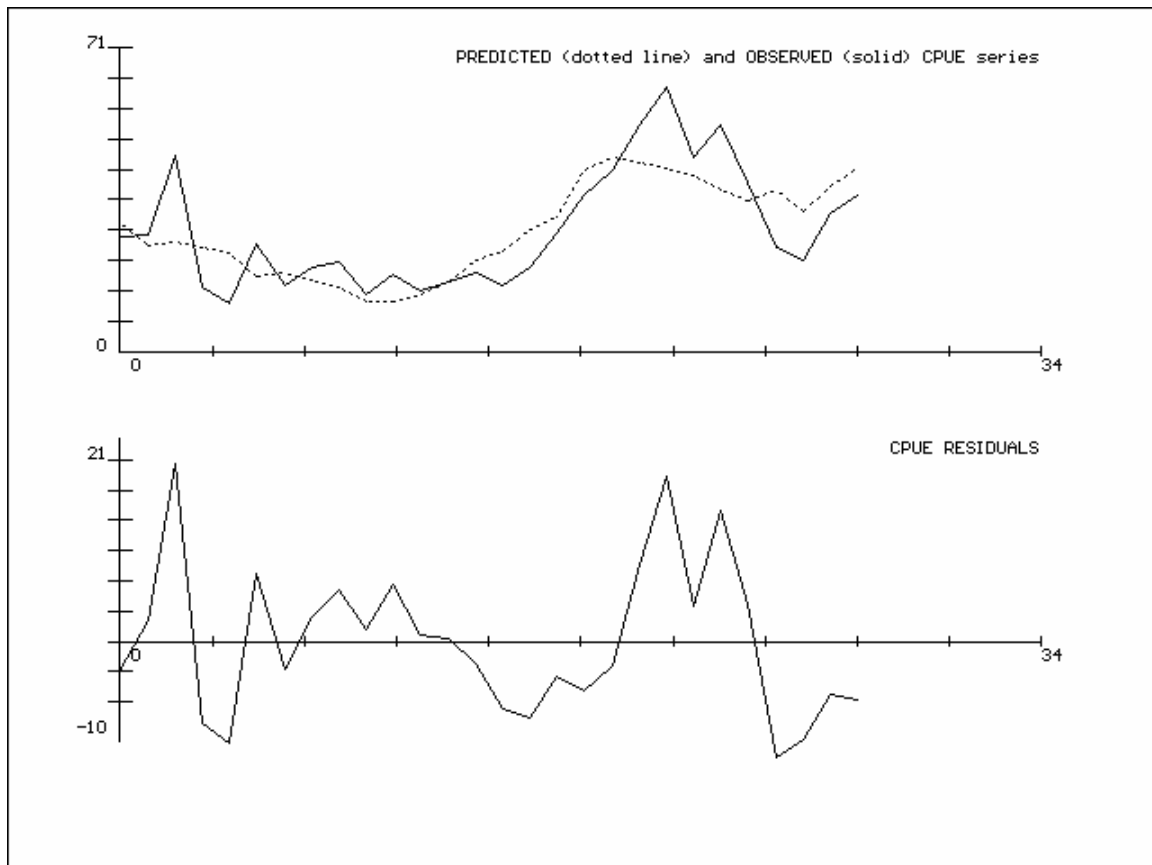


Figura 27. Ajuste del modelo $CPUE = (a + b \cdot V) \cdot \exp(c \cdot E)$ por medio de CLIMPROD a los datos de la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S. Gráfica de la CPUE; valores observados, valores esperados y gráfica de residuales del ajuste. $R^2 = 60$.

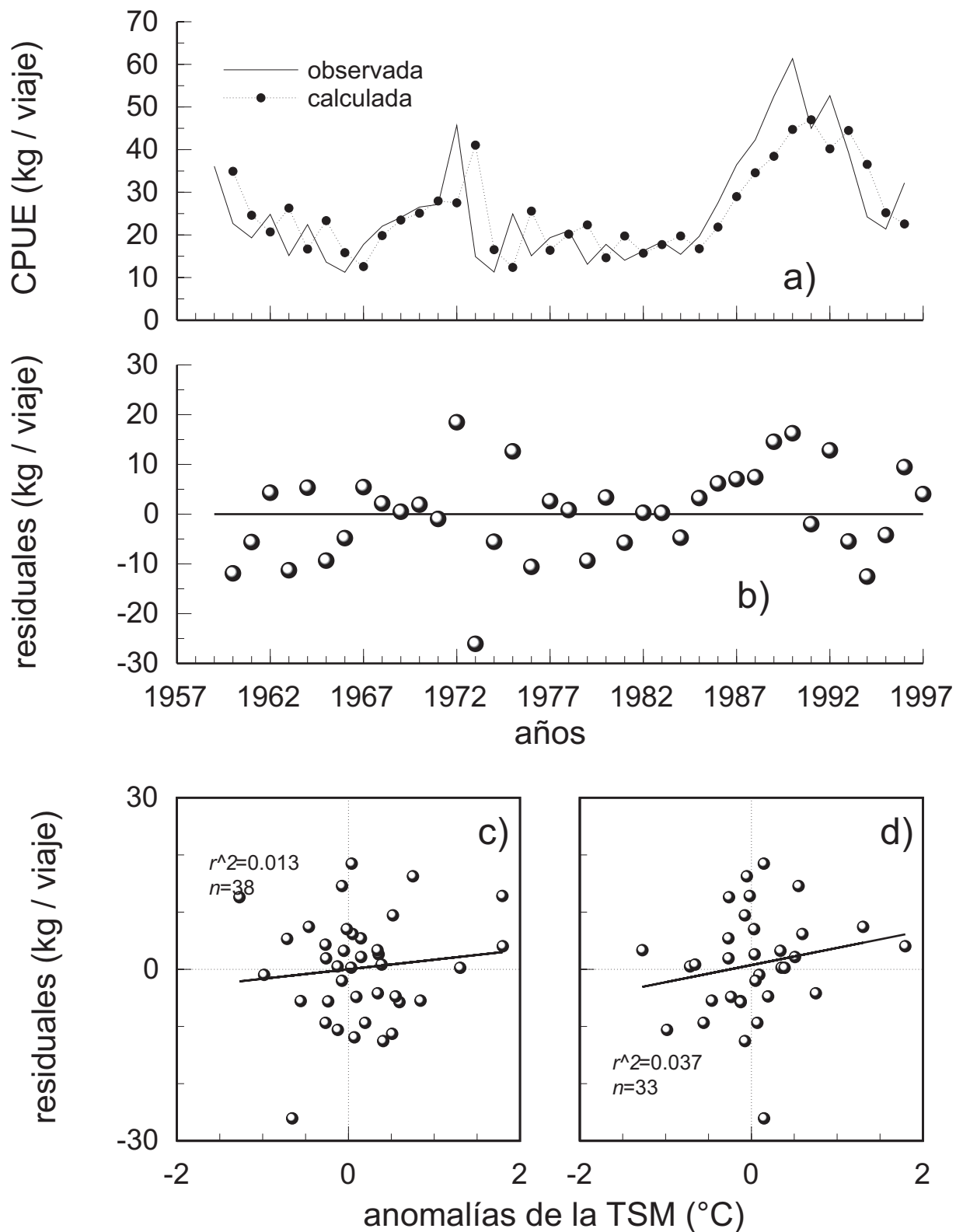


Figura 28. a) Ajuste del modelo de biomasa dinámica transformado (CPUE) para la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S., considerando solamente la mortalidad por pesca; b) residuales del ajuste; c) relación entre los residuales del ajuste contra la anomalía de la TSM sin desfase y d) relación entre los residuales del ajuste contra la anomalía de la TSM con desfase de 5 años.

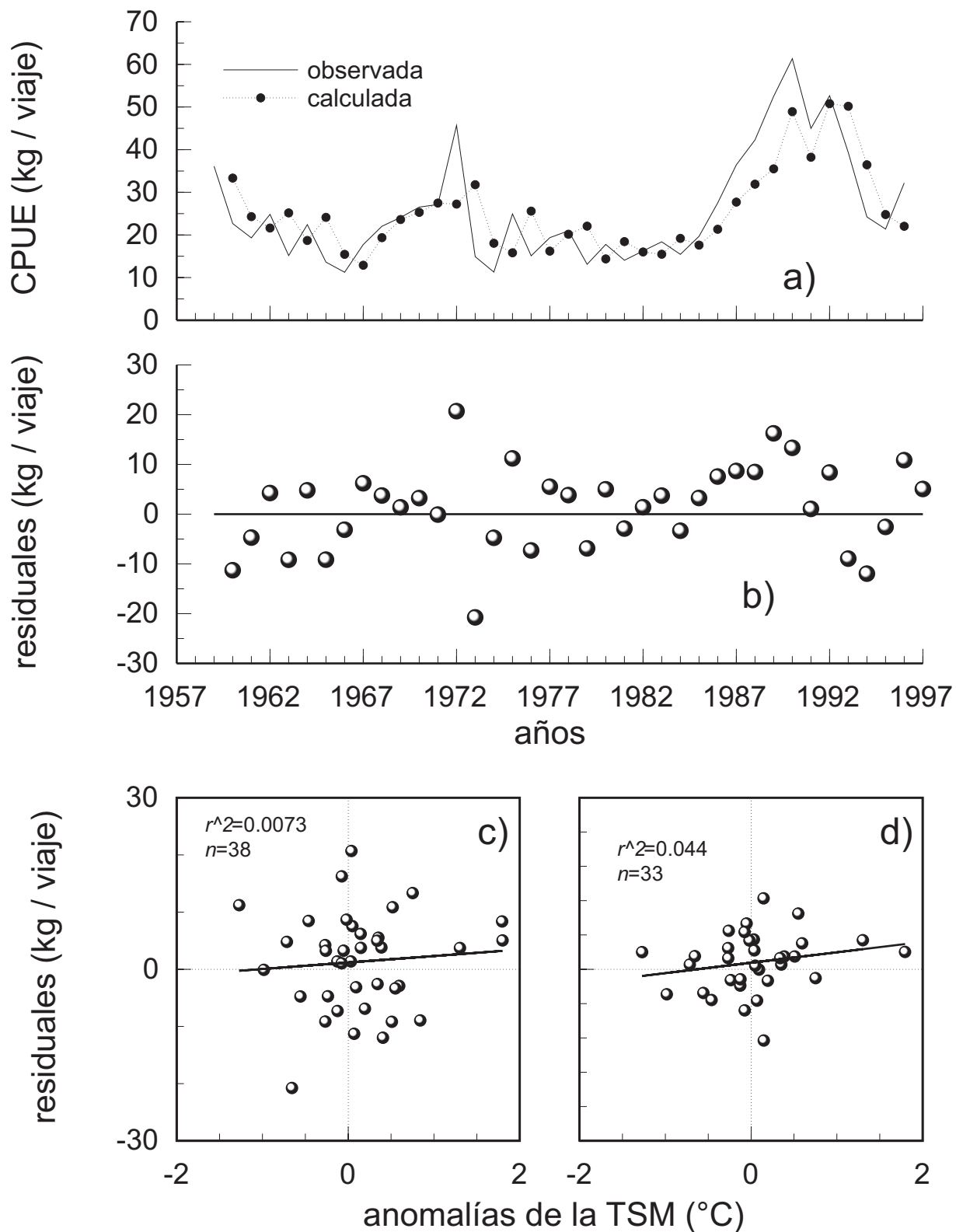


Figura 29. a) Ajuste del modelo de biomasa dinámica transformado (CPUE) para la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S., considerando la variabilidad climática; b) residuales del ajuste; c) relación entre los residuales del ajuste contra la anomalía de la TSM sin desfase y d) relación entre los residuales del ajuste contra la anomalía de la TSM con desfase de 5 años.

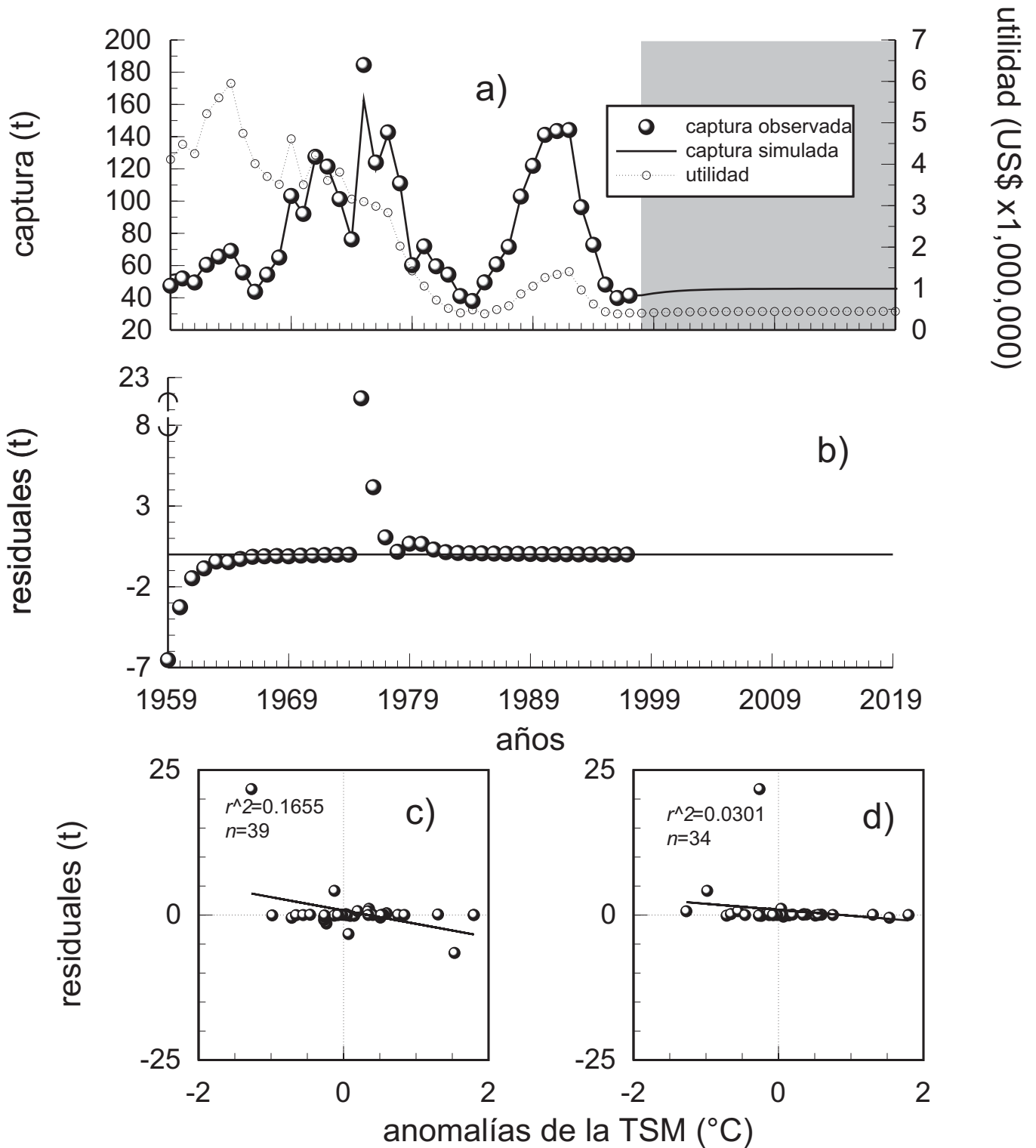


Figura 30. Ajuste del modelo de estructura poblacional para abulón azul de Bahía Asunción, B.C.S., considerando solamente la mortalidad por pesca. Capturas observadas (círculos esféricos), capturas simuladas (línea continua) y utilidad de la pesquería (línea punteada con círculos; b) residuales del ajuste; c) relación entre los residuales del ajuste contra la anomalía de la TSM sin desfase y d) relación entre los residuales del ajuste contra la anomalía de la TSM con desfase de 5 años.

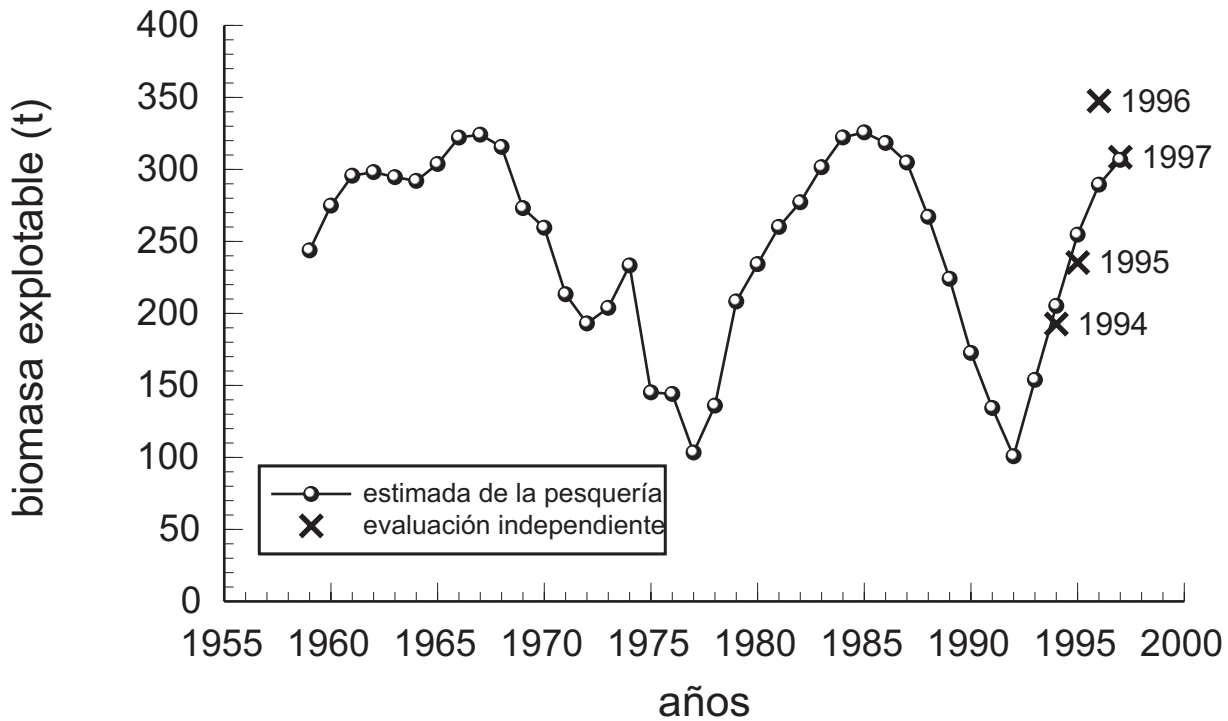


Figura 31. Estimación de la biomasa explotable de acuerdo al ajuste del modelo de estructura poblacional para abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S. Biomasa estimada (línea de círculos esféricos) y evaluación de biomasa independiente de la pesquería (cruces) de 1994 a 1997.

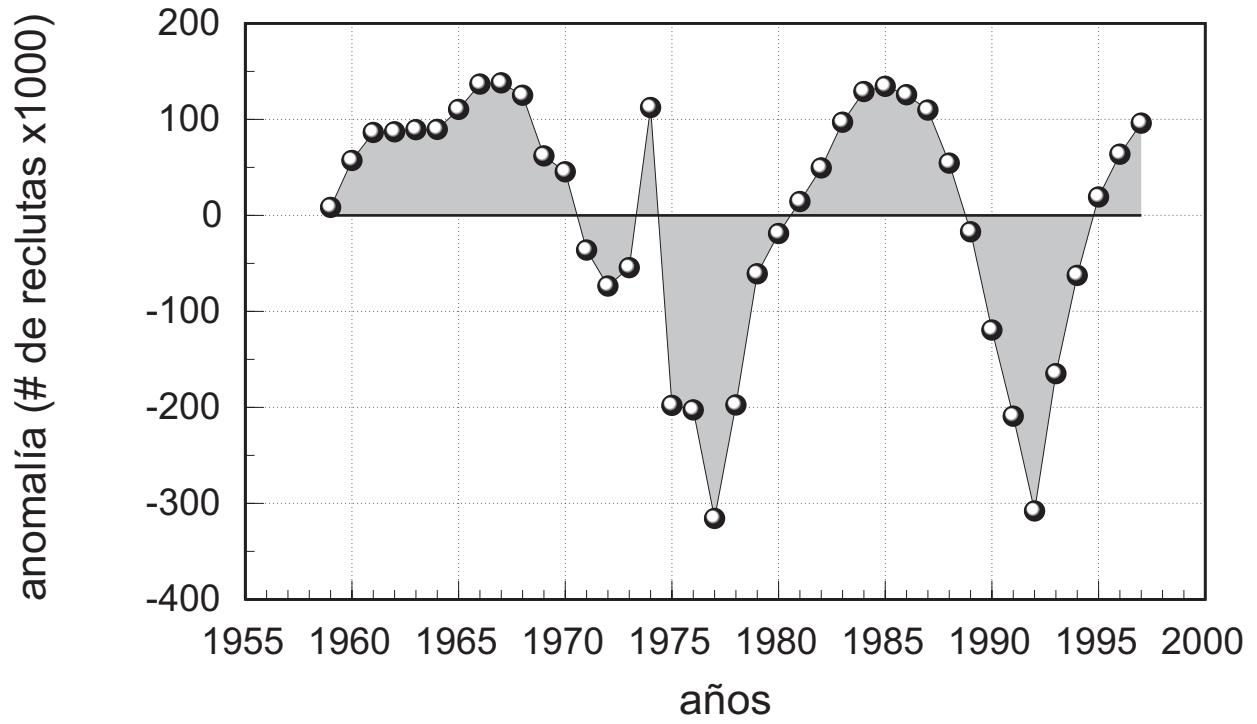


Figura 32. Anomalías en el reclutamiento estimado en la pesquería de abulón azul de acuerdo al ajuste del modelo de estructura poblacional en Bahía Asunción, B.C.S.

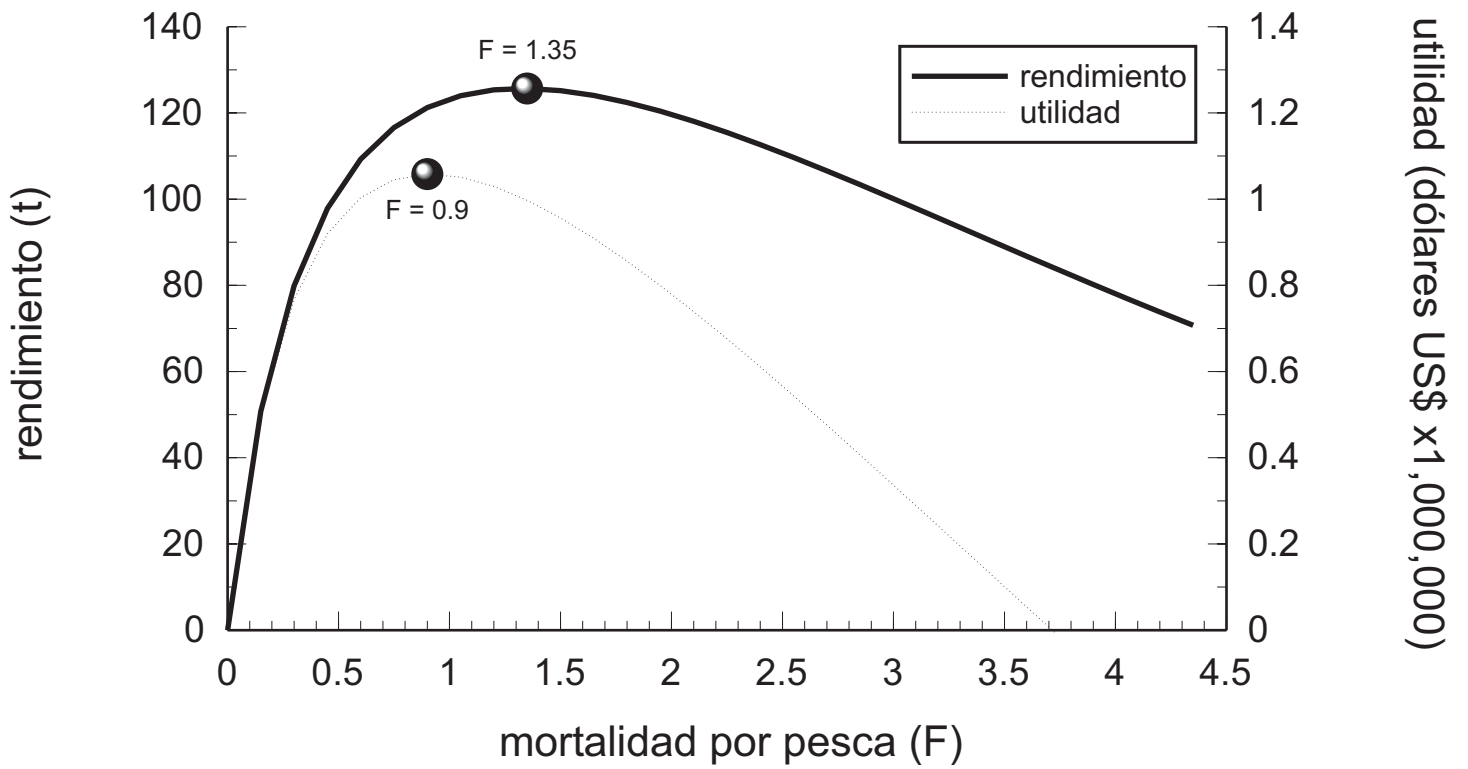


Figura 33. Rendimientos potenciales; captura (línea continua) y económico (línea punteada) para abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S., en función de la mortalidad por pesca (F).

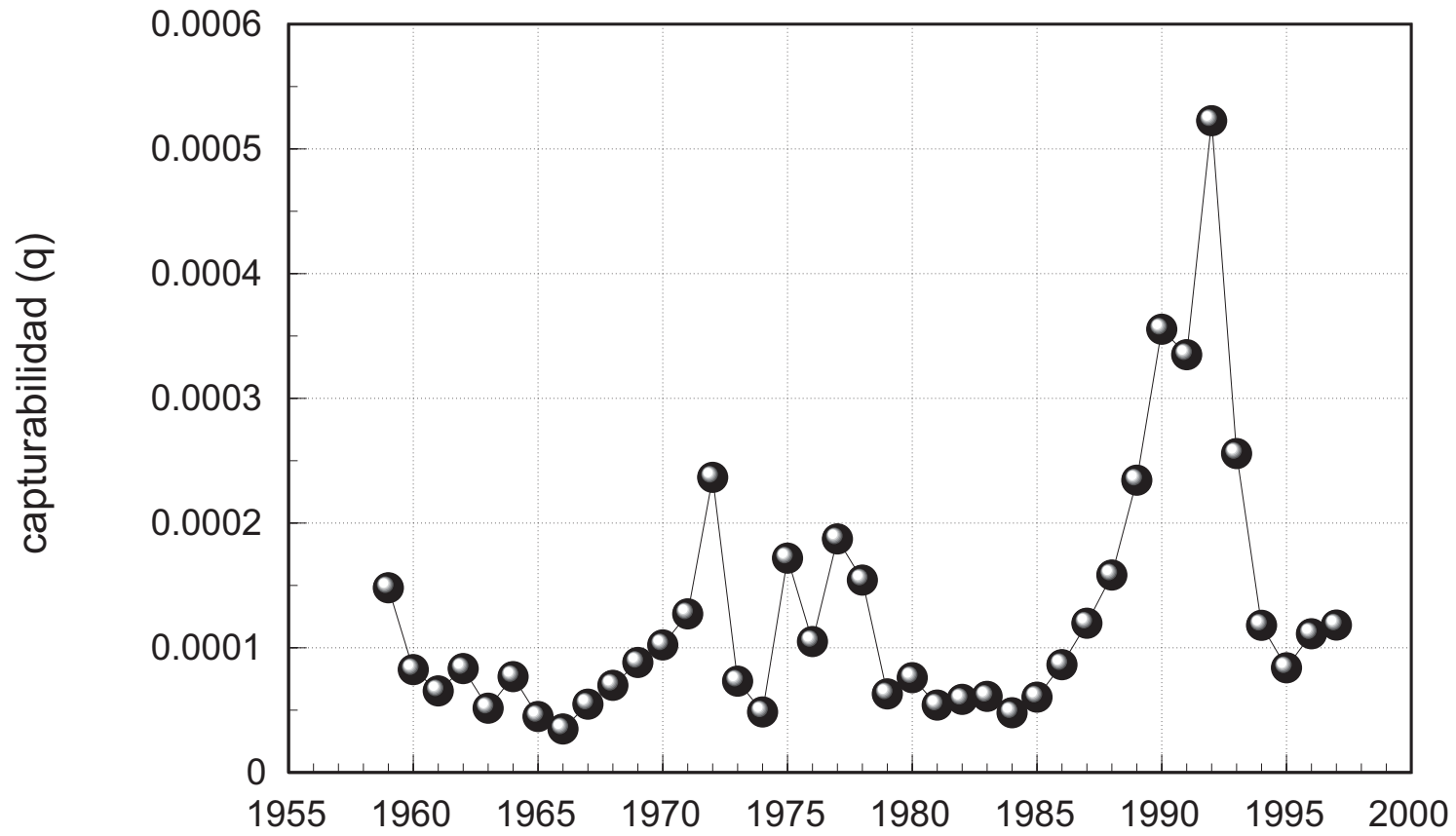


Figura 34. Coeficiente de capturabilidad (q) estimado en el tiempo para la pesquería de abulón en Bahía Asunción, B.C.S.

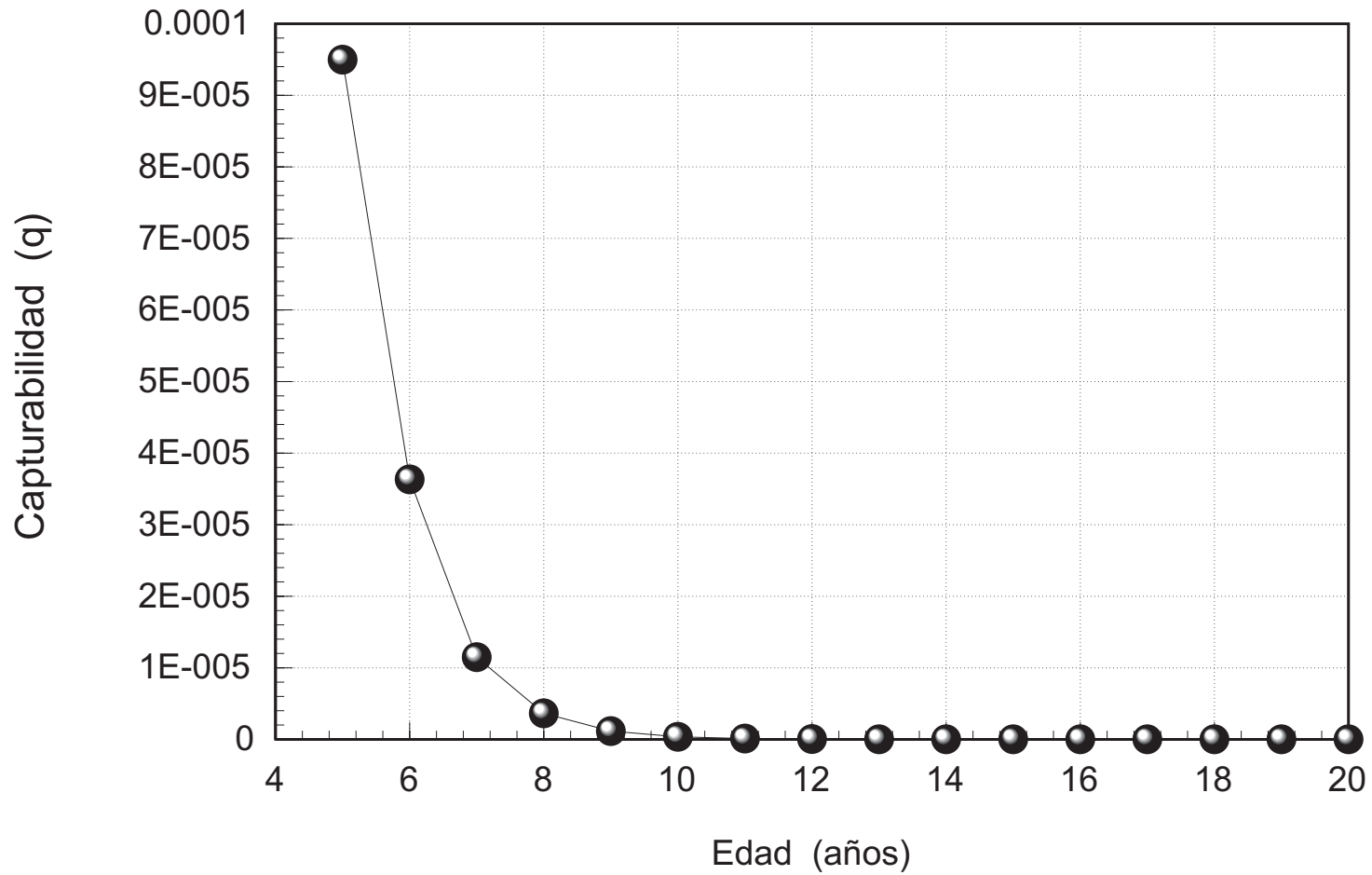


Figura 35. Coeficiente de capturabilidad (q) estimado por grupo de edad para la pesquería de abulón en Bahía Asunción, B.C.S.

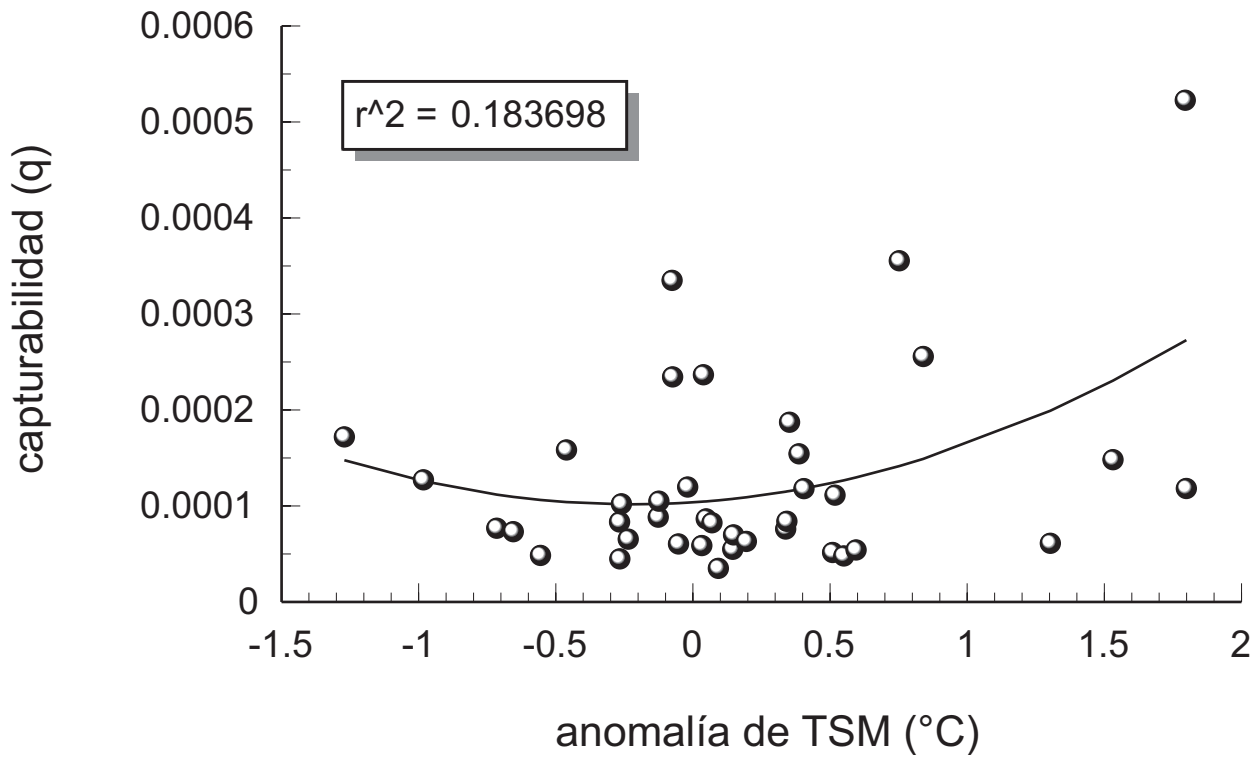


Figura 36. Relación empírica no lineal entre el coeficiente de capturabilidad (q) de la pesquería de abulón azul de Bahía Asunción, B.C.S. y la anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) sin desfase.

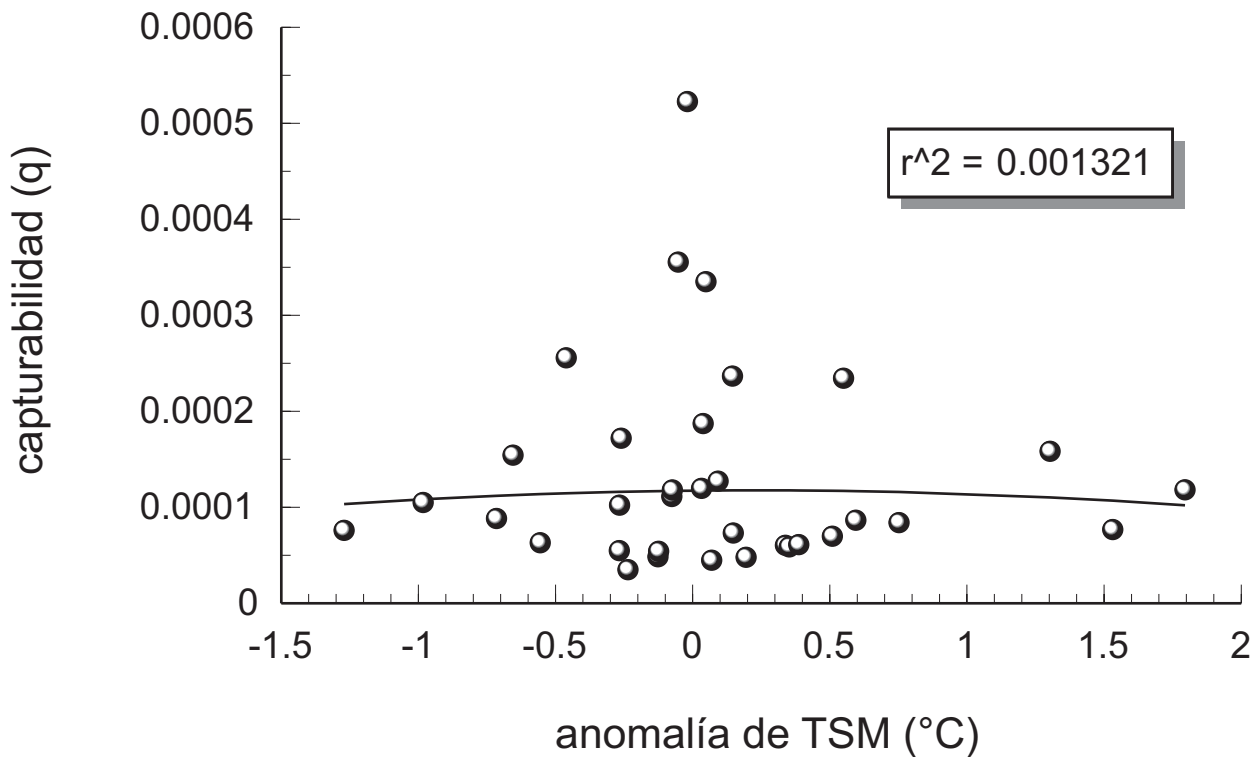


Figura 37. Relación empírica no lineal entre el coeficiente de capturabilidad (q) de la pesquería de abulón azul de Bahía Asunción, B.C.S. y la anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) con desfase de 5 años.

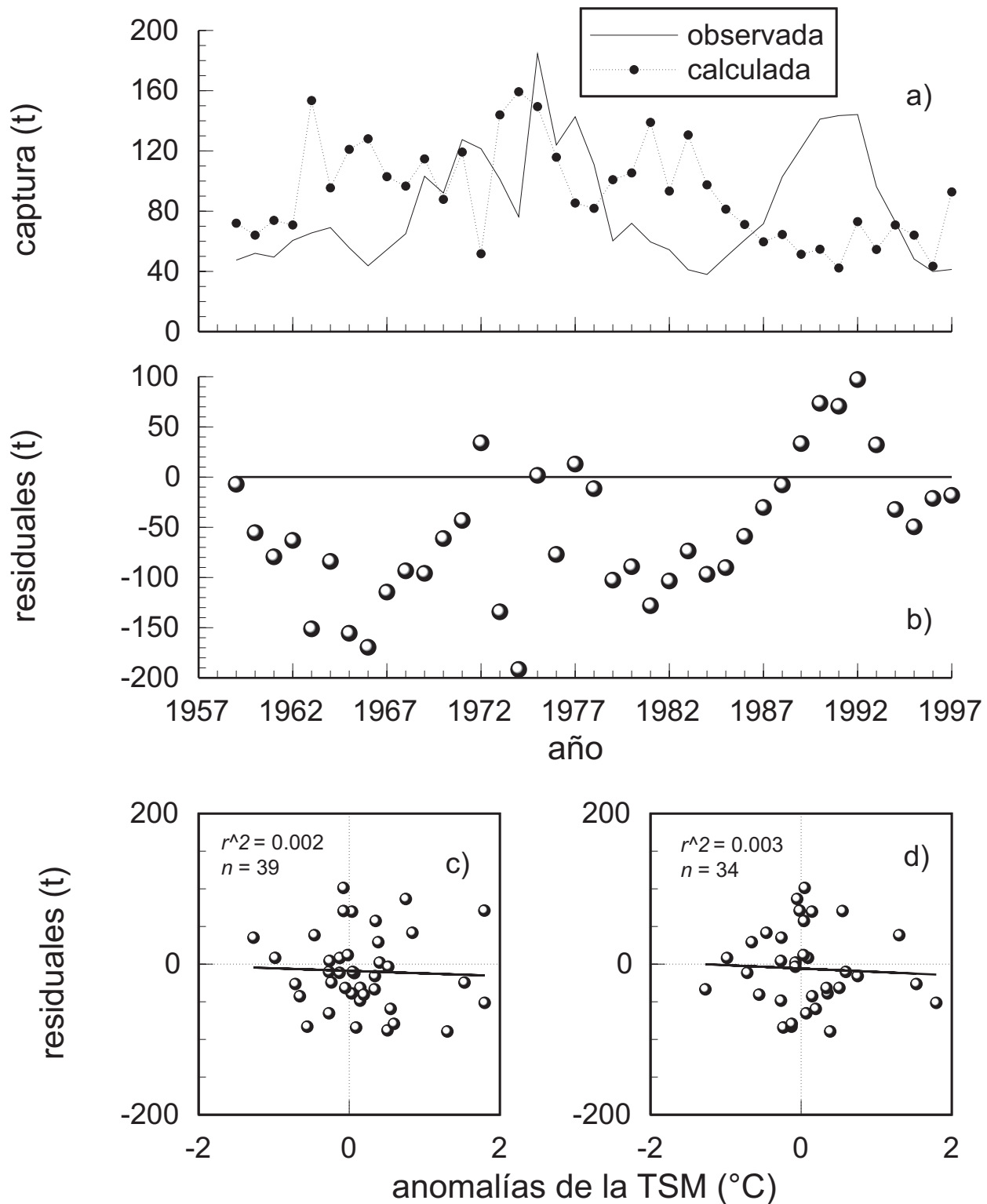


Figura 38. a) Ajuste del modelo de estructura poblacional para abulón azul de Bahía Asunción, B.C.S., considerando la variabilidad climática. Capturas observadas (línea continua) y capturas simuladas (líneas con círculos); b) residuales del ajuste; c) relación entre los residuales del ajuste contra la anomalía de la TSM sin desfase y d) relación entre los residuales del ajuste contra la anomalía de la TSM con desfase de 5 años.

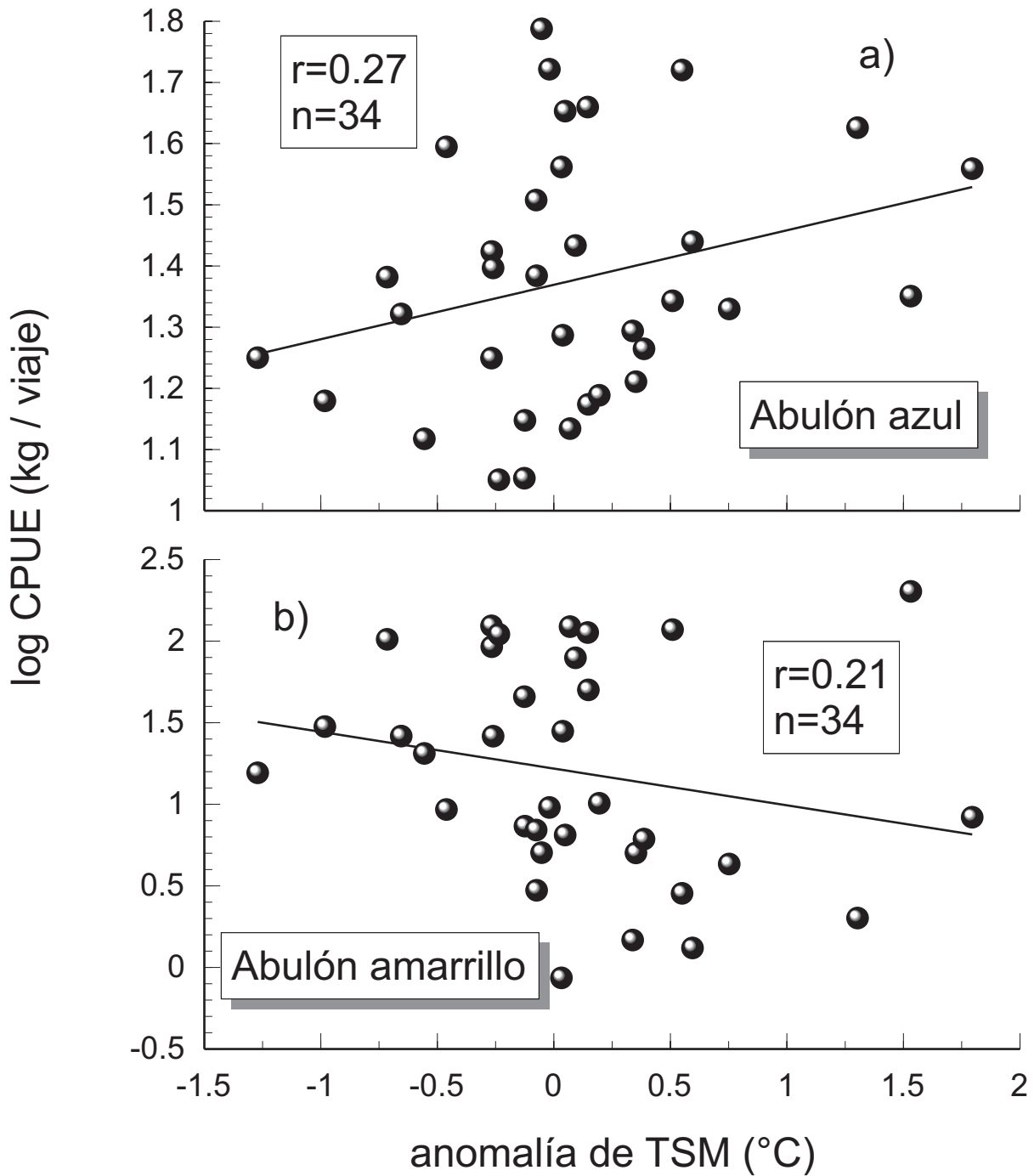


Figura 39. a) Relación entre el logaritmo de la CPUE y la anomalía de la TSM para abulón azul; b) relación entre la CPUE y la anomalía de la TSM para abulón amarillo, ambas con retraso de 5 años.

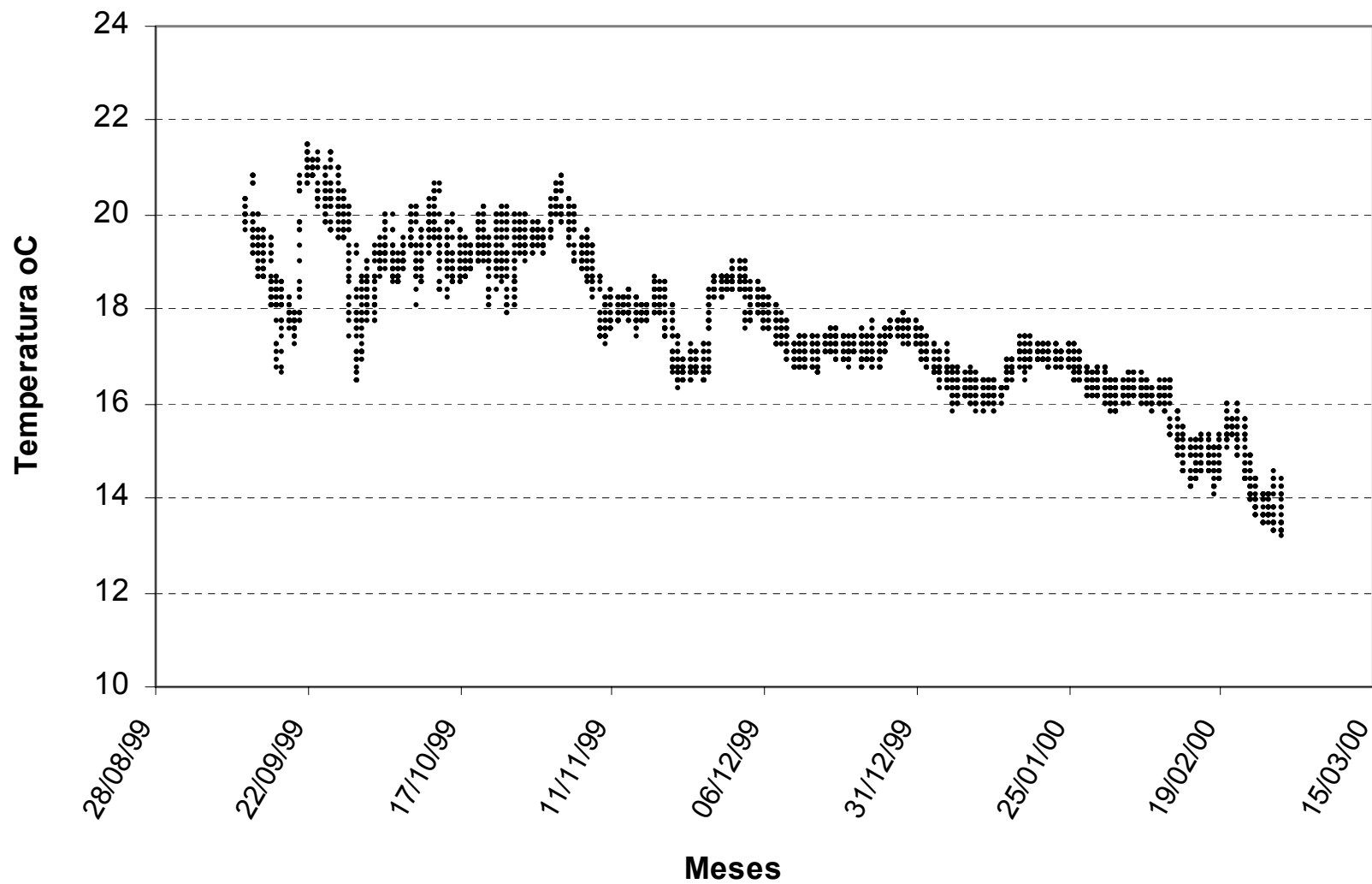


Figura 40. Temperatura registrada *in situ* (5-6 m de profundidad) durante el experimento de captación de postlarvas de abulón con colectores artificiales en Bahía Asunción, B. C. S.

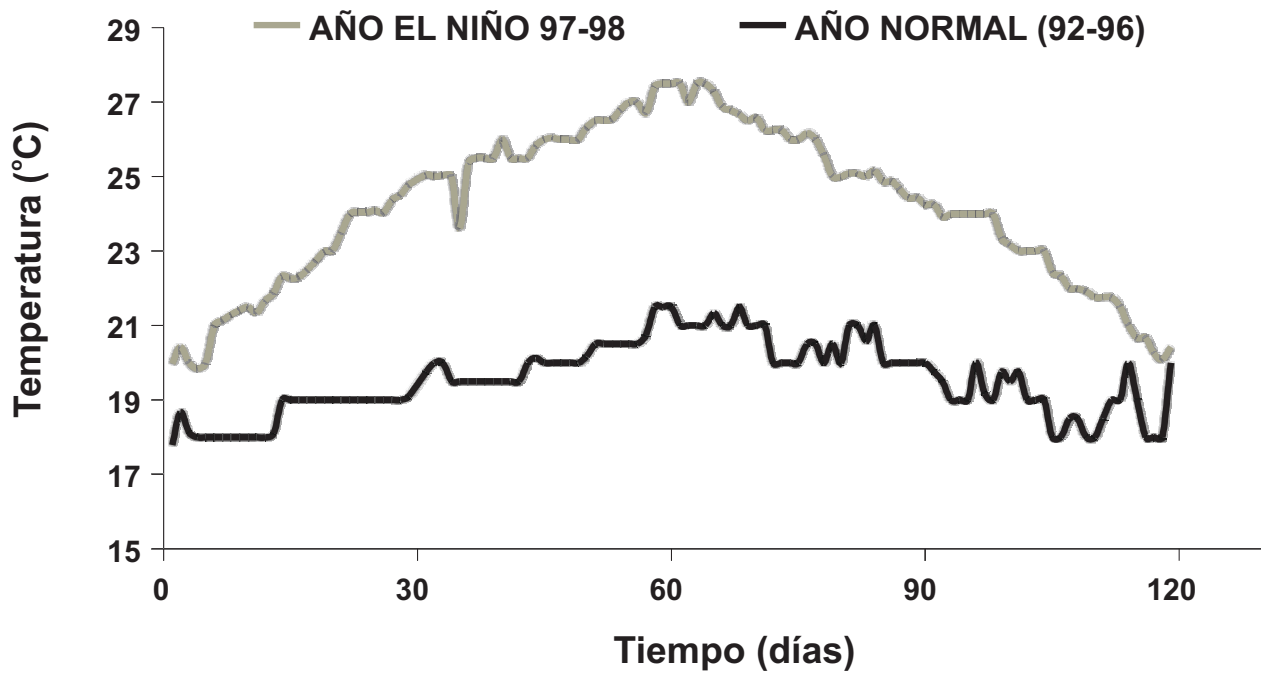


Figura 41. Temperaturas simuladas en las unidades experimentales. Año normal (promedio 1992-1996) y año Niño (1997-1998).

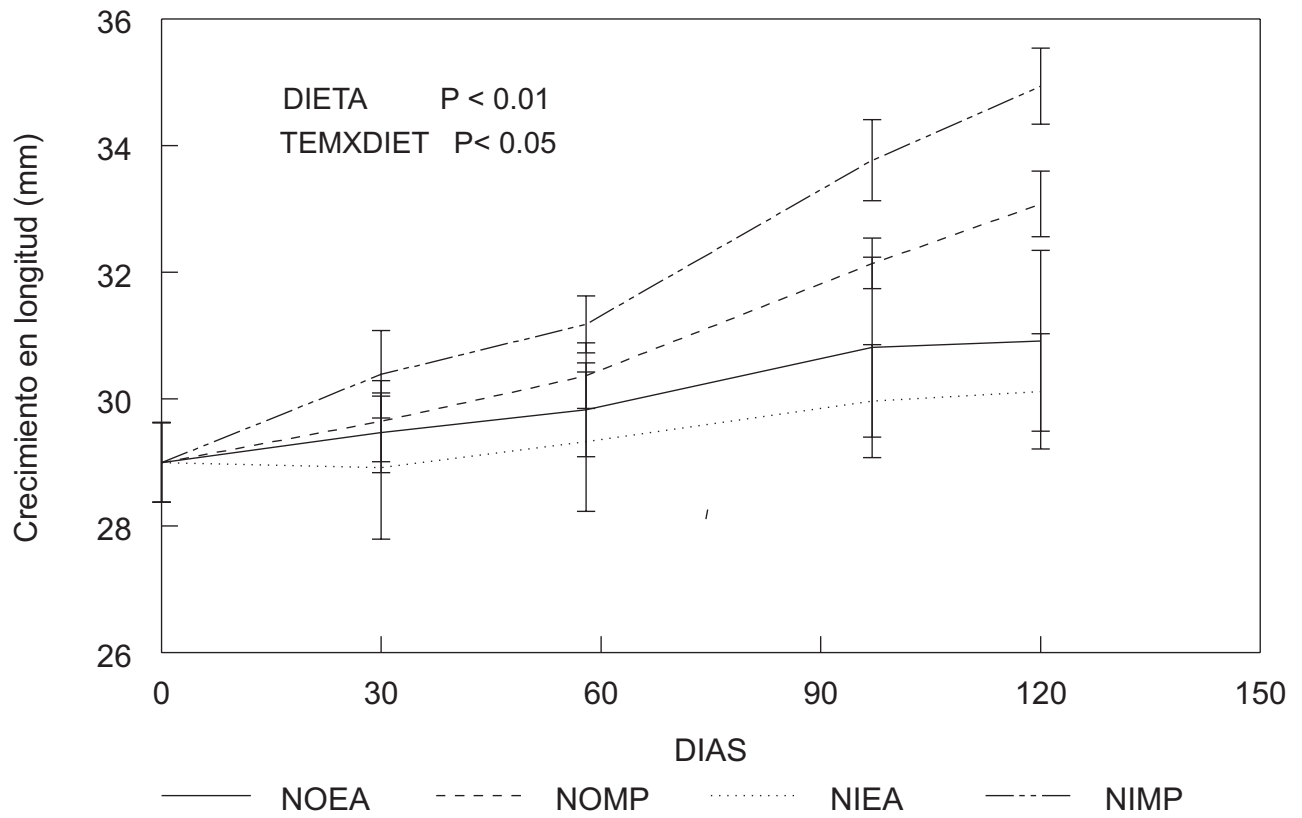


Figura 42. Crecimiento en longitud (mm) de juveniles de abulón azul a temperatura “normal” y “Niño” durante 120 días, alimentados con diferentes dietas.

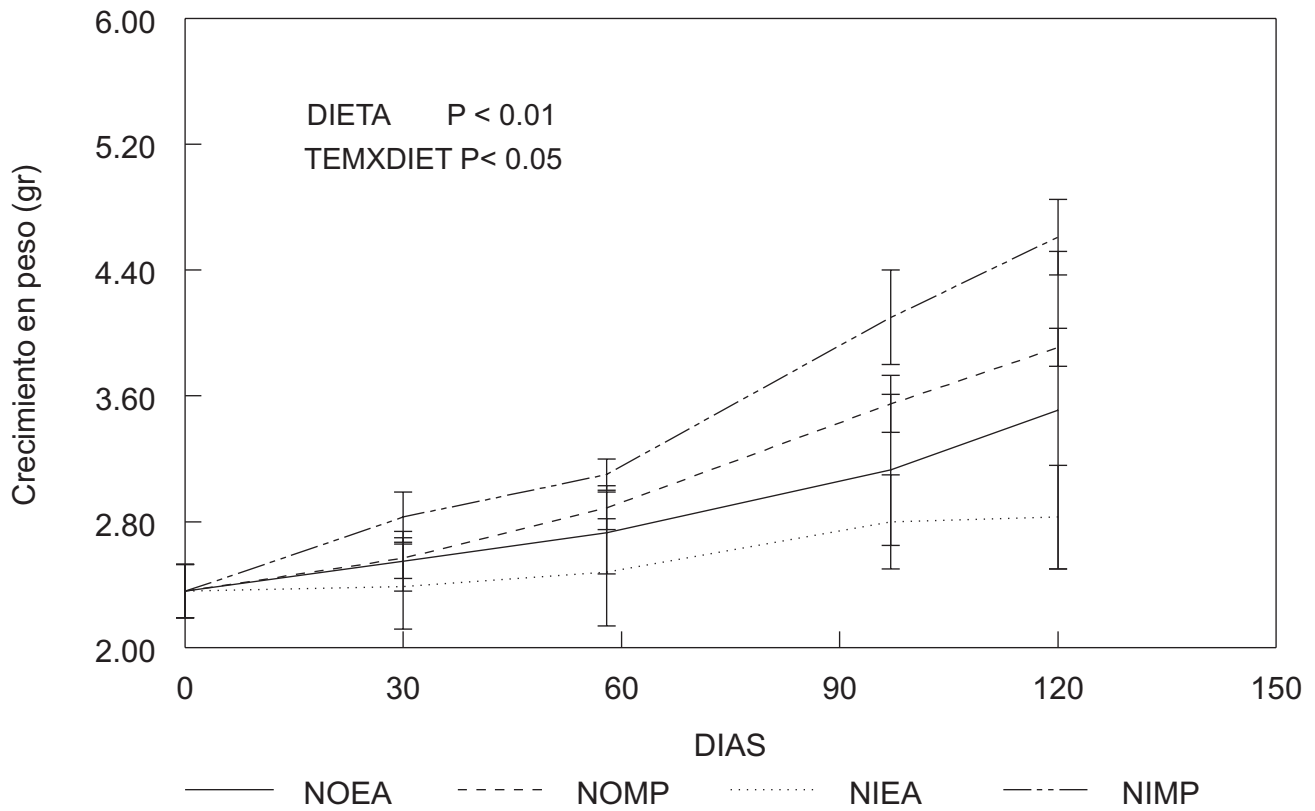


Figura 43. Crecimiento en peso (gr) de juveniles de abulón azul a temperatura “normal” y “Niño” durante 120 días, alimentados con diferentes dietas.

TABLAS

Tabla # 1. Valores de parámetros utilizados en el ajuste del Modelo de estructura por edades para la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S.

Linf (mm)	k	sexo*	Rel. peso-longitud a b		Longevidad	Edad de reclutamiento a la pesquería	Edad / longitud de reclutamiento reproductor	Mortalidad natural	Zona	Fuente
183.1	0.380	m-h	2.72E-05	3.430		5 años	3-4 años	0.10-0.30	Bahía Tortugas, B.C.S.	Shepherd et al., 1991
189.0	0.342	m-h							Bahía Asunción, B.C.S.	Guzmán del Próo & Salas, 1993.
170.0	0.368	h	6.10E-04	2.729					Punta Abreojos, B.C.S.	Guzmán del Próo & Marín (1976)
171.0	0.384	m	6.10E-04	2.729					Punta Abreojos, B.C.S.	Guzmán del Próo & Marín (1976)
177.0	0.440	nd							Bahía Tortugas, B.C.S.	Turrubiates & Castro-Ortíz (1992) Técnica 1**
177.0	0.280	nd							Bahía Tortugas, B.C.S.	Turrubiates & Castro-Ortíz (1992) Técnica 2**
190.2	0.370	nd							Bahía Tortugas, B.C.S.	Shepherd & Turrubiates-Morales, 1997. Técnica 3**
182.6	0.360	nd							Bahía Tortugas, B.C.S.	Shepherd & Turrubiates-Morales, 1997. Técnica 4**
187.1	0.350	nd							Isla Natividad, B.C.S.	Shepherd & Turrubiates-Morales, 1997. Técnica 3**
179.6	0.290	nd							Isla Natividad, B.C.S.	Shepherd & Turrubiates-Morales, 1997. Técnica 4**
194.3	0.347	m-h							Bahía Asunción, B.C.S.	Guzmán del Próo & López-Salas (1993)
	0.356									Promedio
187.0			7.04E-06	3.414					Bahía Asunción, B.C.S.	Ponce-Díaz et al., 2000, a partir de M. Ramade(datos no publicados)
			2.72E-05	3.430	20 años		141 mm	0.310	Bahía Tortugas, B.C.S.	Guzmán del Próo (1994)
								0.576	Bahía Asunción, B.C.S.	Ponce-Díaz et al., 2000

Nota: los valores en negritas son los parámetros utilizados en el modelo de estructura poblacional descrito en esta tesis.

* m = machos

h = hembras

nd = no distingue

** Se refiere a diferentes métodos de estimación

julio 1997						agosto 1997					septiembre 1997				
h	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1	19.71	1.33	21.70	17.52	19	24.96	1.35	27.67	21.37	31	27.70	0.08	27.79	27.63	3
2	19.86	1.41	21.94	17.48	19	24.98	1.35	27.62	21.48	31	27.68	0.07	27.76	27.63	3
3	19.91	1.36	21.94	17.59	19	25.00	1.35	27.52	21.49	31	27.66	0.09	27.75	27.57	3
4	19.95	1.28	21.49	17.54	19	25.01	1.33	27.50	21.57	31	27.64	0.10	27.74	27.55	3
5	19.95	1.33	21.51	17.57	19	25.01	1.31	27.47	21.58	31	27.62	0.10	27.72	27.53	3
6	20.08	1.36	21.77	17.56	19	25.01	1.32	27.42	21.58	31	27.62	0.08	27.70	27.55	3
7	20.20	1.39	21.89	17.32	19	25.02	1.31	27.37	21.62	31	27.58	0.05	27.61	27.52	3
8	20.31	1.43	21.96	17.19	19	25.01	1.33	27.32	21.66	31	27.58	0.07	27.65	27.52	3
9	20.37	1.45	22.07	17.11	19	25.06	1.31	27.38	21.86	31	27.59	0.06	27.66	27.56	3
10	20.32	1.46	22.28	17.24	20	25.14	1.26	27.39	21.94	31	27.60	0.07	27.68	27.56	3
11	20.36	1.38	22.42	17.48	20	25.23	1.22	27.50	22.06	31	27.65	0.06	27.72	27.61	3
12	20.41	1.32	22.49	18.06	20	25.30	1.22	27.63	22.02	31	27.74	0.06	27.79	27.68	3
13	20.49	1.27	22.25	18.34	20	25.41	1.20	27.78	22.31	31	27.80	0.05	27.83	27.74	3
14	20.46	1.21	21.94	18.36	20	25.45	1.22	27.95	22.41	31	27.83	0.02	27.85	27.81	3
15	20.33	1.21	21.88	18.27	20	25.46	1.24	27.99	22.39	31	27.88	0.01	27.89	27.87	3
16	20.19	1.28	22.03	18.15	20	25.40	1.28	28.06	21.91	31	27.87	0.03	27.90	27.84	3
17	19.97	1.28	21.93	17.97	20	25.31	1.35	27.99	21.47	31	27.85	0.04	27.88	27.81	3
18	19.89	1.26	22.22	17.48	20	25.19	1.35	27.90	21.41	31	27.86	0.05	27.92	27.83	3
19	19.81	1.30	22.30	17.25	20	25.07	1.36	27.85	21.38	31	27.85	0.07	27.91	27.77	3
20	19.84	1.17	22.29	17.82	20	25.02	1.34	27.81	21.46	31	27.81	0.07	27.85	27.73	3
21	19.81	1.18	21.93	17.62	20	25.01	1.35	27.86	21.50	31	27.81	0.06	27.84	27.74	3
22	19.74	1.25	21.96	17.49	20	25.03	1.33	27.78	21.52	31	27.78	0.06	27.83	27.72	3
23	19.73	1.30	22.04	17.48	20	25.05	1.32	27.70	21.57	31	27.77	0.07	27.83	27.70	3
24	19.74	1.39	22.04	17.38	20	25.10	1.30	27.70	21.58	31	27.77	0.08	27.85	27.70	3
octubre 1997						noviembre 1997					diciembre 1997				
h	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1	23.99	0.30	24.20	23.54	4	23.97	0.46	24.68	23.20	30	23.0	0.3	23.2	22.8	2
2	23.95	0.31	24.25	23.52	4	23.96	0.48	24.66	23.17	30	23.0	0.2	23.1	22.8	2
3	23.95	0.33	24.29	23.50	4	23.95	0.49	24.61	23.16	30	22.9	0.3	23.1	22.7	2
4	23.93	0.33	24.28	23.48	4	23.92	0.49	24.60	23.14	30	22.9	0.2	23.0	22.7	2
5	23.93	0.33	24.26	23.47	4	23.91	0.47	24.57	23.12	30	22.9	0.3	23.1	22.8	2
6	23.90	0.31	24.22	23.48	4	23.89	0.47	24.65	23.10	30	22.9	0.2	23.1	22.7	2
7	23.90	0.29	24.21	23.51	4	23.87	0.46	24.61	23.09	30	22.8	0.1	22.9	22.8	2
8	23.88	0.24	24.12	23.54	4	23.87	0.46	24.55	23.09	30	22.9	0.1	22.9	22.8	2
9	23.92	0.25	24.17	23.58	4	23.89	0.47	24.60	23.10	30	23.0	0.0	23.0	23.0	2
10	24.07	0.19	24.26	23.80	5	23.93	0.48	24.66	23.12	30	23.0	0.0	23.0	23.0	2
11	24.19	0.10	24.33	24.08	5	24.01	0.48	24.76	23.16	30	23.1				1
12	24.25	0.07	24.34	24.15	5	24.10	0.48	24.87	23.24	30	23.0				1
13	24.30	0.08	24.41	24.20	5	24.19	0.49	24.95	23.37	30	23.0				1
14	24.34	0.10	24.49	24.26	5	24.24	0.49	25.02	23.46	30	22.9				1
15	24.29	0.17	24.49	24.02	5	24.24	0.48	25.04	23.47	30	23.0				1
16	24.26	0.19	24.46	23.94	5	24.23	0.48	25.02	23.46	30	22.9				1
17	24.24	0.22	24.49	23.90	5	24.21	0.47	25.00	23.44	30	22.9				1
18	24.23	0.23	24.45	23.85	5	24.18	0.47	25.01	23.44	30	22.9				1
19	24.19	0.25	24.39	23.77	5	24.14	0.48	25.00	23.32	30	22.8				1
20	24.17	0.25	24.36	23.73	5	24.10	0.48	24.97	23.26	30	22.9				1
21	24.15	0.26	24.34	23.69	5	24.06	0.47	24.87	23.24	30	22.9				1
22	24.11	0.25	24.28	23.67	5	24.03	0.47	24.84	23.25	30	22.9				1
23	24.08	0.24	24.24	23.65	5	24.00	0.47	24.79	23.24	30	23.0				1
24	24.05	0.25	24.20	23.60	5	23.97	0.47	24.76	23.24	30	22.9				1

Tabla # 2. Registros de temperatura del mar *in situ*, con periodicidad horaria en Bahía Asunción, B.C.S. (h= hora; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones).

h	enero 1998					febrero 1998					marzo 1998				
	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1	20.40	0.13	20.62	20.20	13	19.15	1.02	20.65	17.34	28	17.79	0.36	18.93	17.29	31
2	20.38	0.14	20.62	20.16	13	19.14	1.01	20.64	17.39	28	17.77	0.37	18.93	17.25	31
3	20.35	0.16	20.62	20.05	13	19.12	1.00	20.63	17.44	28	17.75	0.37	18.93	17.17	31
4	20.35	0.15	20.63	20.13	13	19.10	0.99	20.59	17.42	28	17.72	0.35	18.77	17.17	30
5	20.35	0.12	20.62	20.13	13	19.09	0.98	20.55	17.42	28	17.70	0.34	18.61	17.17	31
6	20.34	0.12	20.62	20.10	13	19.08	0.97	20.50	17.42	28	17.68	0.33	18.61	17.17	31
7	20.34	0.12	20.64	20.12	13	19.07	0.97	20.46	17.43	28	17.67	0.34	18.61	17.01	31
8	20.35	0.11	20.64	20.19	13	19.08	0.97	20.46	17.39	28	17.66	0.34	18.61	16.85	31
9	20.39	0.09	20.65	20.26	13	19.13	0.96	20.51	17.44	28	17.68	0.34	18.61	16.85	31
10	20.48	0.11	20.75	20.31	14	19.19	0.96	20.56	17.52	28	17.74	0.36	18.45	16.53	30
11	20.53	0.07	20.62	20.35	14	19.27	0.95	20.63	17.65	28	17.80	0.37	18.45	16.53	30
12	20.60	0.09	20.71	20.37	14	19.33	0.95	20.65	17.71	28	17.84	0.38	18.45	16.53	30
13	20.64	0.09	20.76	20.42	14	19.37	0.96	20.71	17.74	28	17.86	0.39	18.61	16.53	30
14	20.67	0.09	20.81	20.45	14	19.39	0.96	20.81	17.78	28	17.88	0.40	18.61	16.53	30
15	20.66	0.08	20.78	20.46	14	19.36	0.97	20.77	17.69	28	17.89	0.40	18.61	16.53	30
16	20.65	0.08	20.81	20.45	14	19.34	0.98	20.76	17.62	28	17.93	0.38	18.61	16.69	30
17	20.62	0.10	20.76	20.38	14	19.29	0.97	20.68	17.62	28	17.95	0.36	18.77	17.17	30
18	20.58	0.11	20.73	20.32	14	19.24	0.98	20.62	17.59	28	17.95	0.38	18.77	17.17	30
19	20.54	0.11	20.67	20.28	14	19.17	1.02	20.62	17.48	28	17.93	0.39	18.77	17.17	30
20	20.52	0.11	20.64	20.29	14	19.13	1.03	20.64	17.42	28	17.93	0.43	18.93	17.33	30
21	20.49	0.11	20.62	20.27	14	19.10	1.04	20.63	17.43	28	17.91	0.45	18.93	17.17	30
22	20.46	0.10	20.62	20.28	14	19.07	1.04	20.62	17.40	28	17.89	0.44	18.93	17.17	30
23	20.44	0.10	20.62	20.26	14	19.06	1.03	20.66	17.33	28	17.85	0.42	18.93	17.17	30
24	20.43	0.11	20.61	20.26	14	19.05	1.03	20.63	17.35	28	17.82	0.40	18.93	17.17	30
h	abril 1998					mayo 1998					junio 1998				
	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1	15.77	0.80	17.33	13.41	30	15.25	0.84	16.53	13.41	31	15.04	1.02	16.53	13.10	20
2	15.75	0.76	17.17	13.56	30	15.08	0.92	16.53	13.72	31	14.95	0.98	16.53	13.25	20
3	15.67	0.78	17.17	13.56	30	14.89	0.91	16.53	13.72	31	14.89	0.89	16.38	13.25	20
4	15.56	0.86	17.17	13.25	30	14.76	0.91	16.53	13.41	31	14.95	0.85	16.38	13.41	20
5	15.45	0.90	17.17	13.10	30	14.65	0.88	16.22	13.25	31	14.89	0.84	16.38	13.41	20
6	15.37	0.91	17.17	13.10	30	14.59	0.86	16.38	13.41	31	14.80	0.79	16.22	13.25	20
7	15.28	0.92	17.17	12.94	30	14.55	0.85	16.38	13.25	31	14.76	0.76	15.90	13.25	20
8	15.17	0.90	16.69	12.94	30	14.52	0.85	16.22	13.10	31	14.77	0.71	15.90	13.25	20
9	15.12	0.89	16.53	12.94	30	14.43	0.82	15.90	13.10	31	14.77	0.65	15.59	13.25	20
10	15.09	0.87	16.38	12.79	30	14.36	0.81	15.90	12.94	31	14.77	0.62	15.59	13.41	20
11	15.06	0.83	16.22	12.79	30	14.35	0.84	15.90	12.94	31	14.76	0.64	15.59	13.41	20
12	15.00	0.83	16.38	12.79	30	14.38	0.84	15.90	12.94	31	14.67	0.63	15.74	13.41	20
13	15.00	0.85	16.53	12.94	30	14.47	0.82	15.90	13.10	31	14.66	0.62	15.90	13.72	20
14	15.16	0.90	16.53	13.25	30	14.71	0.99	16.53	13.10	31	14.74	0.64	16.06	13.72	20
15	15.33	0.94	16.85	13.41	30	14.81	1.10	17.17	13.25	31	14.96	0.70	16.38	13.56	20
16	15.51	0.93	17.01	13.41	30	14.95	1.15	17.17	13.41	31	15.10	0.84	16.53	13.56	20
17	15.69	0.86	17.17	13.56	30	15.05	1.11	17.01	13.56	31	15.17	0.81	16.38	13.56	20
18	15.87	0.80	17.49	13.87	30	15.12	1.01	17.01	13.87	31	15.29	0.70	16.22	14.02	20
19	15.94	0.72	17.49	14.02	30	15.23	0.91	16.85	14.02	31	15.27	0.78	16.53	13.25	20
20	15.98	0.71	17.49	14.02	30	15.27	0.91	16.85	13.72	31	15.25	0.91	16.53	13.10	20
21	15.93	0.71	17.49	14.02	30	15.28	0.94	16.85	13.72	31	15.13	0.96	16.38	13.10	20
22	15.88	0.71	17.49	14.18	30	15.33	1.00	16.85	13.41	31	15.12	0.96	16.38	13.10	20
23	15.79	0.80	17.49	13.56	30	15.37	0.98	16.85	13.41	31	15.11	0.96	16.38	13.10	20
24	15.76	0.79	17.33	13.41	30	15.30	0.88	16.69	13.41	31	15.20	0.94	16.53	13.10	20

Tabla # 2. Registros de temperatura del mar *in situ*, con periodicidad horaria en Bahía Asunción, B.C.S. (h= hora; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones). Continuación

h	agosto 1998					septiembre 1998					octubre 1998				
	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1	22.07	0.43	23.20	21.53	20	19.35	0.97	21.70	17.49	30	18.08	0.53	19.26	17.01	31
2															
3	22.12	0.43	23.03	21.37	20	19.45	0.95	22.03	17.64	30	18.09	0.51	19.26	17.17	31
4															
5	22.18	0.46	23.03	21.37	20	19.47	1.00	22.03	17.81	30	18.12	0.49	19.26	17.17	31
6															
7	22.21	0.46	22.87	21.37	20	19.54	1.01	22.20	17.81	30	18.09	0.46	19.26	17.17	31
8															
9	22.33	0.45	23.03	21.53	20	19.67	0.99	22.53	17.81	30	18.17	0.50	19.42	17.17	31
10															
11	22.42	0.44	23.20	21.87	20	19.85	1.06	22.87	17.97	30	18.25	0.52	19.26	17.01	31
12															
13	22.42	0.45	23.37	21.70	20	19.85	1.08	22.53	17.81	30	18.37	0.56	19.42	17.17	31
14															
15	22.23	0.47	23.03	21.37	20	19.60	1.12	22.03	17.49	30	18.29	0.58	19.42	17.01	31
16															
17	22.11	0.51	23.20	21.04	20	19.26	1.04	21.87	17.33	30	18.11	0.66	19.26	16.85	31
18															
19	21.93	0.57	23.20	20.71	20	19.00	1.03	21.70	17.17	30	17.85	0.67	19.26	16.85	31
20															
21	21.78	0.61	23.03	20.38	20	18.96	0.94	21.20	17.17	30	17.82	0.54	18.93	16.85	31
22															
23	21.93	0.55	23.20	20.71	20	19.14	0.90	21.37	17.49	30	17.95	0.57	19.09	16.53	31
24															
h	noviembre 1998					diciembre 1998					enero de 1999				
	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1	18.61	0.60	19.42	17.01	30	16.57	0.90	18.61	15.27	31	16.52	0.29	16.85	15.74	30
2															
3	18.56	0.62	19.42	17.17	30	16.54	0.93	18.61	15.12	31	16.44	0.32	16.85	15.59	30
4															
5	18.53	0.60	19.26	17.01	30	16.49	0.90	18.45	14.96	31	16.43	0.34	16.85	15.59	30
6															
7	18.55	0.54	19.26	17.49	30	16.46	0.91	18.45	14.96	31	16.40	0.33	16.85	15.59	30
8															
9	18.55	0.50	19.26	17.64	30	16.39	0.92	18.45	14.80	31	16.37	0.36	16.85	15.43	30
10															
11	18.66	0.47	19.26	17.81	30	16.46	0.88	18.45	14.96	31	16.42	0.36	16.85	15.43	30
12															
13	18.83	0.49	19.42	17.81	30	16.62	0.85	18.45	15.12	31	16.60	0.33	17.01	15.59	29
14															
15	18.86	0.54	19.42	17.64	30	16.75	0.84	18.61	15.59	31	16.70	0.28	17.17	15.90	29
16															
17	18.76	0.60	19.42	17.33	30	16.74	0.79	18.61	15.59	31	16.69	0.25	17.01	15.90	29
18															
19	18.71	0.58	19.42	17.33	30	16.65	0.83	18.61	15.59	31	16.63	0.27	17.01	15.74	29
20															
21	18.67	0.51	19.26	17.64	30	16.62	0.83	18.45	15.43	31	16.59	0.26	16.85	15.74	29
22															
23	18.67	0.54	19.42	17.33	30	16.58	0.84	18.45	15.27	31	16.56	0.31	16.85	15.74	29
24															

Tabla # 2. Registros de temperatura del mar *in situ*, con periodicidad horaria en Bahía Asunción, B.C.S. (h= hora; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones). Continuación

h	septiembre 1999					octubre 1999					noviembre 1999				
	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1	19.64	1.17	21.13	17.73	18	19.44	0.52	20.47	18.22	31	18.33	1.07	20.47	16.62	30
2	19.68	1.24	21.46	17.73	18	19.54	0.52	20.64	18.06	31	18.44	1.08	20.64	16.77	30
3	19.81	1.22	21.46	17.73	19	19.63	0.48	20.47	18.38	31	18.55	1.06	20.80	16.93	30
4	19.80	1.31	21.46	17.89	19	19.66	0.42	20.64	18.70	31	18.58	1.08	20.80	16.93	30
5	19.72	1.32	21.46	17.57	19	19.54	0.61	20.47	17.09	31	18.57	1.06	20.80	16.93	30
6	19.72	1.29	21.29	17.73	19	19.46	0.65	20.31	16.93	31	18.54	1.02	20.64	16.93	30
7	19.63	1.26	21.29	17.73	19	19.34	0.62	20.15	17.09	31	18.42	1.02	20.47	16.93	30
8	19.50	1.21	21.13	17.57	19	19.14	0.58	19.99	17.09	31	18.32	1.02	20.47	16.77	30
9	19.32	1.16	21.13	17.57	19	19.01	0.60	19.83	17.09	31	18.23	1.06	20.31	16.62	30
10	19.23	1.16	21.13	17.41	19	18.95	0.56	19.67	17.09	31	18.19	1.06	20.31	16.62	30
11	19.18	1.15	20.97	17.09	19	18.94	0.57	19.83	17.09	31	18.15	1.05	20.31	16.46	30
12	19.13	1.20	20.97	16.77	19	18.94	0.59	19.83	17.09	31	18.13	1.04	20.31	16.46	30
13	19.10	1.14	20.97	16.93	19	18.91	0.60	19.83	17.09	31	18.08	1.03	20.15	16.46	30
14	19.02	1.18	20.80	16.93	19	18.88	0.56	19.83	17.25	31	18.05	1.03	20.15	16.46	30
15	19.09	1.23	20.80	16.62	19	18.90	0.51	19.83	17.41	31	18.03	1.01	20.15	16.46	30
16	19.13	1.24	21.29	16.62	19	18.92	0.51	19.83	17.57	31	18.02	1.02	20.15	16.46	30
17	19.10	1.32	21.29	16.46	19	18.91	0.53	19.99	17.73	31	18.01	1.02	19.99	16.46	30
18	19.07	1.39	21.29	16.46	19	18.89	0.53	19.83	17.73	31	18.03	1.00	20.15	16.46	30
19	19.05	1.44	21.13	16.46	19	18.94	0.50	19.83	17.73	31	18.00	1.02	20.15	16.46	30
20	19.00	1.47	20.97	16.46	19	18.96	0.46	19.83	17.89	31	17.98	1.00	19.99	16.46	30
21	19.12	1.29	20.97	16.93	19	18.98	0.46	19.99	17.89	31	17.96	0.99	19.99	16.46	30
22	19.23	1.20	20.80	17.25	19	19.05	0.44	20.15	18.06	31	18.00	1.02	20.15	16.30	30
23	19.34	1.13	20.80	17.73	19	19.20	0.44	20.31	18.22	31	18.04	1.00	20.15	16.46	30
24	19.46	1.10	20.97	17.73	19	19.35	0.44	20.31	18.38	31	18.15	1.03	20.31	16.46	30
h	diciembre 1999					enero 2000					febrero 2000				
	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1	17.48	0.52	18.70	16.77	31	16.60	0.37	17.41	15.98	31	15.24	0.84	16.30	13.78	29
2	17.58	0.56	19.02	16.77	31	16.70	0.35	17.41	16.14	31	15.37	0.83	16.46	13.78	29
3	17.70	0.54	19.02	17.09	31	16.83	0.35	17.41	16.30	31	15.48	0.82	16.62	13.94	29
4	17.76	0.53	19.02	17.09	31	16.93	0.36	17.57	16.30	31	15.58	0.82	16.62	14.09	29
5	17.81	0.53	19.02	17.25	31	16.96	0.35	17.57	16.30	31	15.62	0.83	16.62	14.09	29
6	17.79	0.50	19.02	17.25	31	16.96	0.35	17.57	16.30	31	15.60	0.85	16.62	13.78	29
7	17.76	0.49	18.86	17.25	31	16.94	0.35	17.57	16.30	31	15.53	0.91	16.62	13.32	29
8	17.72	0.48	18.86	17.25	31	16.88	0.34	17.41	16.30	31	15.44	0.95	16.46	13.17	29
9	17.67	0.49	18.86	17.09	31	16.84	0.33	17.41	16.30	31	15.33	0.97	16.46	13.32	29
10	17.63	0.49	18.86	17.09	31	16.78	0.35	17.41	16.30	31	15.21	1.00	16.30	13.32	29
11	17.58	0.48	18.70	17.09	31	16.73	0.35	17.25	16.14	31	15.14	0.98	16.30	13.32	29
12	17.56	0.50	18.70	16.93	31	16.70	0.36	17.25	16.14	31	15.10	0.99	16.30	13.32	29
13	17.50	0.50	18.70	16.77	31	16.66	0.37	17.25	16.14	31	15.07	0.99	16.30	13.32	29
14	17.45	0.48	18.54	16.77	31	16.62	0.35	17.25	16.14	31	15.07	0.99	16.30	13.32	29
15	17.41	0.50	18.54	16.77	31	16.58	0.37	17.25	16.14	31	15.04	0.96	16.30	13.48	29
16	17.39	0.48	18.54	16.77	31	16.56	0.37	17.25	16.14	31	15.03	0.96	16.30	13.48	29
17	17.34	0.49	18.54	16.77	31	16.54	0.37	17.09	15.98	31	15.02	0.95	16.14	13.48	29
18	17.31	0.47	18.54	16.77	31	16.53	0.37	17.09	15.98	31	14.99	0.94	16.14	13.48	29
19	17.28	0.47	18.54	16.62	31	16.50	0.37	17.09	15.98	31	14.98	0.96	16.14	13.32	29
20	17.25	0.45	18.38	16.62	31	16.45	0.39	17.09	15.83	31	14.96	0.94	16.14	13.48	29
21	17.24	0.45	18.38	16.62	31	16.44	0.38	17.09	15.98	31	14.94	0.93	16.14	13.48	29
22	17.22	0.45	18.38	16.62	31	16.41	0.39	17.09	15.83	31	14.95	0.91	16.14	13.48	29
23	17.22	0.46	18.38	16.77	31	16.43	0.40	17.09	15.83	31	14.97	0.90	16.14	13.48	29
24	17.31	0.48	18.54	16.77	31	16.48	0.38	17.09	15.98	31	15.05	0.86	16.14	13.63	29

Tabla # 2. Registros de temperatura del mar *in situ*, con periodicidad horaria en Bahía Asunción, B.C.S. (h= hora; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones). Continuación

h	P	marzo 2000				n	abril 2000					n	mayo 2000					n
		DE	Máx	Min	P		DE	Máx	Min	P	DE		Máx	Min	P	DE	Máx	
1	14.25				1	12.62	0.84	13.78	11.32	23	12.29	0.60	13.32	11.32	31			
2	14.56				1	12.66	0.86	13.94	11.32	23	12.37	0.55	13.32	11.32	31			
3	14.72				1	12.70	0.88	14.09	11.47	23	12.44	0.55	13.32	11.47	31			
4	14.72				1	12.76	0.92	14.25	11.47	23	12.53	0.55	13.32	11.47	31			
5	14.72				1	12.80	0.94	14.25	11.47	23	12.62	0.53	13.48	11.62	31			
6	14.56				1	12.80	0.92	14.25	11.47	23	12.67	0.49	13.48	11.62	31			
7	14.25				1	12.81	0.92	14.41	11.47	23	12.77	0.47	13.63	11.62	31			
8	13.63				1	12.86	0.92	14.41	11.47	23	12.87	0.45	13.78	11.78	31			
9	13.48				1	12.98	0.91	14.41	11.62	23	12.98	0.47	13.94	11.93	31			
10	13.48				1	13.11	0.93	14.56	11.78	23	13.12	0.52	14.09	12.08	31			
11	13.63				1	13.23	0.93	14.56	11.93	23	13.18	0.51	13.94	12.08	31			
12	13.63				1	13.33	0.93	14.72	11.93	24	13.21	0.50	13.94	12.24	31			
13	13.63				1	13.37	0.91	14.72	12.08	24	13.19	0.49	13.94	12.24	31			
14	13.63				1	13.39	0.97	14.88	12.08	24	13.14	0.48	13.94	12.39	31			
15	13.63				1	13.36	1.02	14.72	11.93	24	13.02	0.52	13.94	12.08	31			
16	13.63				1	13.27	1.01	14.72	11.78	24	12.82	0.56	13.94	11.78	31			
17	13.78				1	13.07	0.97	14.56	11.47	24	12.59	0.64	13.78	11.47	31			
18	13.78				1	12.86	0.97	14.25	11.32	24	12.41	0.67	13.94	11.47	31			
19	13.78				1	12.70	0.98	14.09	11.16	24	12.20	0.67	13.48	11.16	31			
20	13.78				1	12.52	0.93	13.94	11.01	24	12.06	0.61	13.17	11.01	31			
21	13.78				1	12.46	0.91	13.94	11.01	24	12.03	0.63	13.17	11.01	31			
22	13.63				1	12.45	0.88	13.78	11.01	24	12.05	0.65	13.32	11.16	31			
23	13.78				1	12.47	0.88	13.78	11.01	24	12.13	0.64	13.32	11.16	31			
24						12.52	0.86	13.78	11.16	24	12.20	0.62	13.32	11.16	31			
h	P	junio 2000				n	julio 2000					n	agosto 2000					n
		DE	Máx	Min	P		DE	Máx	Min	P	DE		Máx	Min	P	DE	Máx	
1	12.84	0.76	14.56	11.16	30	14.27	1.37	17.09	12.24	31	18.88	1.48	21.63	15.98	31			
2	12.92	0.84	14.72	11.16	30	14.28	1.37	17.25	12.24	31	18.91	1.48	21.63	16.14	31			
3	12.96	0.84	14.56	11.16	30	14.33	1.38	17.25	12.39	31	18.91	1.50	21.63	16.46	31			
4	13.03	0.85	14.72	11.32	30	14.39	1.38	17.41	12.39	31	18.96	1.49	21.63	16.46	31			
5	13.08	0.86	14.72	11.32	30	14.50	1.43	18.06	12.55	31	19.07	1.49	21.63	16.30	31			
6	13.12	0.88	14.72	11.32	30	14.56	1.45	18.06	12.55	31	19.16	1.48	21.63	16.14	31			
7	13.16	0.87	14.72	11.32	30	14.63	1.40	18.22	12.55	31	19.23	1.50	21.63	16.14	31			
8	13.25	0.85	14.88	11.32	30	14.72	1.39	18.38	12.55	31	19.35	1.45	21.63	16.14	31			
9	13.37	0.83	15.03	11.62	30	14.85	1.42	18.54	12.55	31	19.54	1.45	22.63	16.30	31			
10	13.55	0.79	15.35	12.08	30	15.02	1.44	18.54	12.71	31	19.69	1.45	22.96	16.30	31			
11	13.68	0.79	15.51	12.39	30	15.16	1.42	18.22	13.02	31	19.86	1.45	22.96	16.46	31			
12	13.74	0.74	15.51	12.55	30	15.30	1.46	18.54	13.17	31	19.99	1.43	22.79	16.46	31			
13	13.82	0.75	15.67	12.55	30	15.38	1.51	18.70	13.02	31	20.03	1.45	22.79	16.77	31			
14	13.83	0.82	15.98	12.55	30	15.39	1.56	18.86	12.86	31	19.99	1.46	22.79	16.93	31			
15	13.70	0.82	15.98	12.39	30	15.35	1.57	18.86	12.71	31	19.85	1.58	23.13	17.25	31			
16	13.53	0.75	15.51	12.39	30	15.29	1.58	18.54	12.71	31	19.70	1.56	22.96	17.41	31			
17	13.33	0.67	14.88	12.24	30	15.08	1.56	18.38	12.71	31	19.53	1.54	22.63	17.09	31			
18	13.17	0.69	14.56	12.08	30	14.93	1.51	17.89	12.55	31	19.33	1.42	21.96	17.09	31			
19	12.97	0.63	14.09	11.78	30	14.74	1.48	17.57	12.39	31	19.20	1.37	21.79	16.93	31			
20	12.83	0.59	13.94	11.62	30	14.59	1.46	17.41	12.39	31	19.10	1.41	21.79	16.62	31			
21	12.74	0.57	13.78	11.47	30	14.48	1.46	17.41	12.24	31	18.99	1.46	21.79	16.62	31			
22	12.72	0.57	14.09	11.47	30	14.41	1.43	17.25	12.24	31	18.93	1.46	21.63	16.46	31			
23	12.77	0.60	14.56	11.62	30	14.40	1.41	17.09	12.24	31	18.87	1.43	21.46	16.46	31			
24	12.85	0.68	14.72	11.78	30	14.38	1.44	17.09	12.24	31	18.90	1.46	21.63	16.30	31			

Tabla # 2. Registros de temperatura del mar *in situ*, con periodicidad horaria en Bahía Asunción, B.C.S. (h= hora; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones). Continuación

		septiembre 2000				octubre 2000					noviembre 2000				
h	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1	20.24	1.77	23.81	17.89	30	18.05	0.82	19.51	16.30	31	17.87	0.32	18.38	17.41	30
2	20.20	1.72	23.64	17.73	30	18.06	0.78	19.51	16.30	31	17.84	0.34	18.38	17.41	30
3	20.18	1.70	23.64	17.73	30	18.05	0.75	19.34	16.30	31	17.81	0.35	18.38	17.25	30
4	20.17	1.70	23.64	17.73	30	18.08	0.73	19.34	16.30	31	17.76	0.34	18.38	17.09	30
5	20.20	1.72	23.64	17.73	30	18.08	0.72	19.34	16.30	31	17.73	0.34	18.38	17.09	30
6	20.24	1.77	23.81	17.73	30	18.09	0.70	19.34	16.30	31	17.69	0.34	18.38	17.09	30
7	20.29	1.81	23.81	17.73	30	18.11	0.69	19.34	16.30	31	17.66	0.33	18.22	17.09	30
8	20.35	1.81	23.98	17.73	30	18.14	0.66	19.34	16.46	31	17.65	0.34	18.22	17.09	30
9	20.43	1.84	23.98	17.73	30	18.19	0.64	19.34	16.46	31	17.68	0.33	18.38	17.09	30
10	20.57	1.85	24.16	17.73	30	18.32	0.64	19.51	16.62	31	17.73	0.35	18.38	17.25	30
11	20.71	1.86	24.33	17.89	30	18.44	0.63	19.51	16.77	31	17.86	0.35	18.54	17.25	30
12	20.83	1.86	24.33	17.89	30	18.54	0.65	19.67	16.93	31	18.03	0.33	18.70	17.57	30
13	20.95	1.85	24.50	17.89	30	18.66	0.65	19.83	17.09	31	18.17	0.37	19.02	17.73	30
14	21.02	1.89	24.67	18.06	30	18.76	0.68	19.99	17.09	31	18.27	0.37	19.18	17.73	30
15	20.95	1.91	24.50	18.06	30	18.76	0.68	19.99	17.09	31	18.32	0.40	19.34	17.73	30
16	20.79	1.91	24.33	18.06	30	18.67	0.71	19.83	16.93	31	18.32	0.39	19.18	17.89	30
17	20.71	1.93	24.33	18.06	30	18.56	0.78	19.83	16.77	31	18.30	0.36	19.02	17.89	30
18	20.54	1.86	24.16	18.06	30	18.42	0.82	19.83	16.46	31	18.25	0.34	19.02	17.73	30
19	20.43	1.86	23.98	17.73	30	18.31	0.83	19.83	16.62	31	18.18	0.32	18.86	17.73	30
20	20.33	1.85	23.81	17.73	30	18.21	0.83	19.67	16.46	31	18.10	0.34	18.70	17.57	30
21	20.23	1.88	23.64	17.73	30	18.12	0.86	19.67	16.30	31	18.07	0.33	18.70	17.57	30
22	20.23	1.84	23.64	17.73	30	18.10	0.86	19.67	16.30	31	18.03	0.32	18.54	17.57	30
23	20.23	1.83	23.81	17.89	30	18.08	0.85	19.51	16.30	31	17.99	0.33	18.54	17.41	30
24	20.26	1.80	23.81	17.89	30	18.07	0.83	19.51	16.30	31	17.92	0.34	18.54	17.41	30
		diciembre 2000													
h	P	DE	Máx	Mín	n										
1	18.37	0.24	19.02	17.89	31										
2	18.34	0.24	19.02	17.73	31										
3	18.30	0.22	18.86	17.89	31										
4	18.27	0.25	18.86	17.57	31										
5	18.26	0.25	18.86	17.73	31										
6	18.21	0.27	18.70	17.41	31										
7	18.20	0.22	18.70	17.73	31										
8	18.19	0.21	18.54	17.73	31										
9	18.21	0.18	18.54	17.89	31										
10	18.24	0.19	18.70	17.89	31										
11	18.33	0.22	18.70	17.73	31										
12	18.46	0.21	18.86	17.89	31										
13	18.62	0.24	19.18	18.06	31										
14	18.74	0.24	19.18	18.38	31										
15	18.82	0.21	19.34	18.54	31										
16	18.83	0.20	19.34	18.54	31										
17	18.78	0.19	19.18	18.54	31										
18	18.69	0.21	19.18	18.38	31										
19	18.65	0.20	19.02	18.38	31										
20	18.61	0.20	19.02	18.38	31										
21	18.55	0.22	19.02	18.22	31										
22	18.49	0.22	19.02	18.06	31										
23	18.44	0.23	19.02	18.06	31										
24	18.42	0.25	19.02	17.89	31										

Tabla # 2. Registros de temperatura del mar *in situ*, con periodicidad horaria en Bahía Asunción, B.C.S. (h= hora; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones). Continuación

d	julio 1997					agosto 1997					septiembre 1997				
	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1						21.79	0.44	22.69	21.37	24	27.70	0.10	27.88	27.56	24
2						22.17	0.35	22.86	21.66	24	27.72	0.15	27.90	27.52	24
3						23.31	0.60	24.06	22.41	24	27.77	0.08	27.92	27.61	24
4						24.26	0.51	25.01	23.38	24					
5						24.49	0.25	25.21	24.13	24					
6						25.27	0.32	25.82	24.63	24					
7						24.77	0.42	25.42	24.06	24					
8						24.55	0.34	25.38	24.19	24					
9						25.12	0.36	25.60	24.42	24					
10						25.50	0.39	26.38	25.08	24					
11						25.67	0.25	26.11	25.15	24					
12	18.07	0.36	18.51	17.49	15	25.55	0.14	25.79	25.17	24					
13	18.28	0.32	18.69	17.53	24	25.29	0.28	25.64	24.79	24					
14	18.17	0.29	18.66	17.61	24	24.64	0.50	25.13	23.69	24					
15	17.72	0.43	18.50	17.11	24	24.39	0.44	24.89	23.69	24					
16	18.45	0.49	19.27	17.48	24	24.20	0.37	24.88	23.79	24					
17	19.13	0.69	20.26	17.76	24	24.40	0.37	25.21	23.96	24					
18	19.90	0.72	21.47	18.86	24	26.04	0.30	26.53	25.48	24					
19	20.55	0.53	21.26	19.47	24	25.67	0.35	26.34	25.07	24					
20	20.42	0.50	21.48	19.72	24	25.11	0.40	25.58	24.32	24					
21	20.57	0.50	21.12	19.61	24	25.14	0.14	25.31	24.77	24					
22	20.37	0.41	20.85	19.72	24	25.39	0.21	25.57	24.87	24					
23	20.84	0.53	21.94	19.80	24	25.49	0.28	25.94	25.01	24					
24	21.58	0.40	22.26	20.79	24	25.47	0.28	25.84	24.82	24					
25	21.85	0.28	22.30	21.05	24	25.43	0.15	25.77	25.21	24					
26	21.40	0.62	22.03	19.71	24	25.62	0.16	25.93	25.38	24					
27	20.61	0.71	21.67	19.47	24	25.64	0.22	26.12	25.42	24					
28	20.19	0.45	20.79	19.49	24	26.17	0.53	26.81	25.46	24					
29	20.35	0.20	20.62	20.01	24	27.38	0.37	27.86	26.71	24					
30	20.62	0.17	21.00	20.39	24	27.66	0.23	28.06	27.32	24					
31	21.36	0.60	22.49	20.50	24	27.58	0.18	27.89	27.23	24					

Tabla # 3. Registros horarios de temperatura del mar *in situ*, como promedio diario en Bahía Asunción, B.C.S. (d= día; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones).

d	octubre 1997					noviembre 1997					diciembre 1997				
	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1						24.12	0.12	24.28	23.91	24					
2						24.38	0.19	24.67	24.13	24	22.99	0.10	23.21	22.84	24
3						24.54	0.17	24.82	24.25	24	22.80	0.11	23.00	22.72	10
4						24.41	0.14	24.77	24.19	24					
5						24.52	0.16	24.71	24.23	24					
6						24.79	0.18	25.04	24.54	24					
7						24.65	0.13	24.89	24.43	24					
8						24.56	0.15	24.75	24.30	24					
9						24.55	0.15	24.78	24.31	24					
10						24.53	0.15	24.79	24.35	24					
11						24.64	0.15	24.90	24.45	24					
12						24.41	0.13	24.60	24.12	24					
13						24.36	0.16	24.62	24.11	24					
14						24.32	0.13	24.57	24.13	24					
15						24.10	0.15	24.36	23.80	24					
16						23.99	0.18	24.31	23.72	24					
17						23.81	0.21	24.11	23.41	24					
18						23.77	0.15	24.02	23.54	24					
19						23.66	0.10	23.82	23.48	24					
20						23.56	0.09	23.70	23.42	24					
21						23.46	0.07	23.55	23.36	24					
22						23.32	0.10	23.47	23.13	24					
23						23.35	0.23	23.69	23.09	24					
24						23.56	0.30	23.99	23.12	24					
25						23.76	0.13	23.92	23.56	24					
26						23.81	0.11	24.03	23.69	24					
27	23.94	0.26	24.26	23.60	15	23.60	0.11	23.80	23.46	24					
28	24.02	0.43	24.49	23.47	24	23.57	0.19	23.89	23.29	24					
29	24.26	0.07	24.38	24.12	24	23.58	0.14	23.79	23.38	24					
30	24.10	0.13	24.27	23.90	24	23.41	0.09	23.52	23.24	24					
31	24.15	0.13	24.32	23.95	24										
30															
31															

Tabla # 3. Registros horarios de temperatura del mar *in situ*, como promedio diario en Bahía Asunción, B.C.S. (d= día; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones). Continuación

d	enero 1998					febrero 1998					marzo 1998				
	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1						20.56	0.11	20.72	20.38	24	17.48	0.07	17.60	17.34	24
2						20.60	0.10	20.81	20.45	24	17.66	0.19	17.97	17.40	24
3						20.46	0.13	20.65	20.23	24	17.87	0.18	18.13	17.58	24
4						20.21	0.06	20.30	20.10	24	17.88	0.15	18.11	17.66	24
5						20.16	0.13	20.41	19.98	24	17.82	0.10	17.97	17.63	24
6						20.10	0.14	20.32	19.90	24	17.89	0.16	18.16	17.71	24
7						20.09	0.14	20.35	19.91	24	17.79	0.13	17.98	17.57	24
8						20.04	0.09	20.21	19.95	24	17.76	0.14	17.97	17.56	24
9						19.94	0.10	20.12	19.78	24	17.74	0.15	17.94	17.47	24
10						19.77	0.15	20.06	19.57	24	17.79	0.11	17.96	17.61	23
11						19.69	0.16	19.95	19.49	24	17.80	0.13	17.99	17.58	24
12						19.58	0.13	19.79	19.41	24	17.90	0.23	18.32	17.61	24
13						19.58	0.15	19.83	19.38	24	17.96	0.16	18.24	17.76	24
14						19.50	0.18	19.82	19.24	24	17.86	0.16	18.16	17.66	24
15						19.37	0.11	19.56	19.18	24	17.88	0.16	18.16	17.71	24
16						19.21	0.07	19.34	19.09	24	17.72	0.12	17.99	17.48	24
17						18.88	0.23	19.11	18.48	24	17.51	0.15	17.77	17.28	24
18	20.64	0.08	20.75	20.52	15	18.69	0.14	18.87	18.44	24	17.43	0.20	17.82	17.23	24
19	20.54	0.11	20.71	20.37	24	18.82	0.12	19.00	18.64	24	17.54	0.17	17.73	17.22	24
20	20.34	0.07	20.46	20.26	24	18.60	0.18	18.91	18.25	24	17.71	0.10	17.96	17.59	24
21	20.38	0.18	20.67	20.10	24	18.24	0.20	18.58	17.95	24	17.46	0.02	17.51	17.43	9
22	20.43	0.20	20.77	20.05	24	18.10	0.18	18.38	17.85	24	17.49	0.36	18.13	17.17	24
23	20.42	0.17	20.66	20.16	24	18.12	0.20	18.51	17.82	24	18.02	0.44	18.77	17.64	24
24	20.50	0.14	20.68	20.24	24	18.12	0.11	18.35	17.98	24	18.41	0.25	18.77	18.13	24
25	20.47	0.11	20.62	20.31	24	17.91	0.14	18.09	17.67	24	18.60	0.20	18.93	18.45	24
26	20.59	0.13	20.81	20.43	24	17.61	0.13	17.78	17.33	24	18.63	0.21	18.93	18.13	24
27	20.48	0.10	20.66	20.36	24	17.53	0.14	17.83	17.34	24	18.10	0.29	18.61	17.81	24
28	20.42	0.09	20.62	20.32	24	17.55	0.15	17.87	17.41	24	18.06	0.20	18.29	17.64	24
29	20.47	0.14	20.70	20.30	24						17.90	0.09	17.97	17.64	24
30	20.51	0.17	20.73	20.26	24						17.45	0.25	17.81	17.17	24
31	20.63	0.03	20.69	20.57	24						16.98	0.30	17.33	16.53	24

Tabla # 3. Registros horarios de temperatura del mar *in situ*, como promedio diario en Bahía Asunción, B.C.S. (d= día; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones). Continuación

d	abril 1998					mayo 1998					junio 1998				
	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1	17.04	0.42	17.49	16.22	24	16.08	0.18	16.38	15.90	24	14.16	0.52	15.12	13.41	24
2	16.38	0.44	16.85	15.74	24	16.11	0.36	16.69	15.43	24	14.26	0.43	14.96	13.41	24
3	16.08	0.49	16.69	15.27	24	16.39	0.41	16.85	15.74	24	13.43	0.31	14.33	13.10	24
4	16.07	0.45	16.69	15.27	24	16.19	0.59	17.01	15.27	24	13.95	0.54	14.96	13.10	24
5	16.05	0.44	16.53	15.43	24	15.85	0.75	16.85	14.64	24	13.84	0.34	14.33	13.10	24
6	16.10	0.33	16.53	15.43	24	16.00	0.69	17.17	14.96	24	14.39	0.35	15.12	14.02	24
7	15.53	0.21	15.74	15.12	24	15.77	0.78	16.85	14.64	24	14.89	0.34	15.59	14.18	24
8	15.12	0.35	15.59	14.64	24	15.21	0.58	16.06	14.49	24	15.05	0.33	15.59	14.64	24
9	15.04	0.82	16.06	13.87	24	15.03	0.90	16.22	14.02	24	15.28	0.42	15.90	14.64	24
10	15.47	0.72	16.53	14.49	24	14.70	0.53	15.43	14.02	24	15.24	0.55	15.90	14.18	24
11	16.11	0.40	16.85	15.74	24	14.42	0.61	15.27	13.72	24	15.34	0.71	16.38	14.18	24
12	16.28	0.19	16.69	15.90	24	14.15	0.80	15.27	13.10	24	16.07	0.41	16.53	15.12	24
13	15.77	0.21	16.22	15.43	24	14.72	1.22	16.38	13.56	24	15.18	0.40	16.06	14.64	24
14	15.38	0.49	16.06	14.80	24	14.28	0.70	15.74	13.41	24	15.62	0.57	16.53	14.80	24
15	15.26	0.41	15.90	14.49	24	14.19	1.30	16.85	12.94	24	15.78	0.28	16.38	15.27	24
16	14.19	0.66	15.43	13.41	24	14.24	0.69	15.27	13.25	24	15.14	0.40	16.06	14.64	24
17	14.00	0.39	14.80	13.41	24	14.18	0.87	15.27	12.94	24	15.27	0.35	16.22	14.80	24
18	13.98	0.72	15.27	13.25	24	14.64	0.31	15.27	14.02	24	15.47	0.48	16.38	14.96	24
19	13.93	0.97	15.27	12.79	24	15.27	0.49	16.06	14.02	24	15.40	0.37	16.06	14.96	24
20	14.79	0.36	15.43	14.49	24	15.89	0.32	16.38	15.27	24	15.44	0.40	16.06	14.64	24
21	15.46	0.49	16.22	14.96	24	14.52	0.38	15.59	14.18	24					
22	16.10	0.34	16.53	15.43	24	14.37	0.26	14.80	13.87	24					
23	15.64	0.53	16.53	14.96	24	14.78	0.26	15.12	14.18	24					
24	15.58	0.37	15.90	14.80	24	14.30	0.38	14.96	13.72	24					
25	15.88	0.38	16.38	14.96	24	14.24	0.29	15.12	13.72	24					
26	15.27	0.40	15.90	14.64	24	14.37	0.37	14.96	13.72	24					
27	14.96	0.40	15.59	14.49	24	14.35	0.51	15.27	13.72	24					
28	15.60	0.30	16.22	15.27	24	14.28	0.79	15.74	13.41	24					
29	15.86	0.53	16.85	15.12	24	14.09	0.26	14.64	13.72	24					
30	16.22	0.28	16.69	15.74	24	14.27	0.56	15.12	13.41	24					
31						13.87	0.35	14.64	13.41	24					

Tabla # 3. Registros horarios de temperatura del mar *in situ*, como promedio diario en Bahía Asunción, B.C.S. (d= día; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones). Continuación

d	agosto 1998					septiembre 1998					octubre 1998				
	P	DE	Máx	Min	n	P	DE	Máx	Min	n	P	DE	Máx	Min	n
1						21.81	0.36	22.37	21.20	12	17.82	0.16	18.13	17.64	12
2						21.57	1.03	22.87	19.74	12	17.89	0.15	18.13	17.64	12
3						19.95	0.56	20.87	19.09	12	17.97	0.27	18.45	17.64	12
4						19.79	0.33	20.38	19.26	12	17.97	0.20	18.29	17.49	12
5						20.00	0.62	21.04	19.42	12	17.92	0.20	18.13	17.49	12
6						19.82	0.54	20.71	18.93	12	18.05	0.21	18.61	17.81	12
7						19.55	0.44	20.38	18.93	12	18.73	0.38	19.26	17.81	12
8						19.00	0.42	19.74	18.45	12	18.45	0.53	19.26	17.64	12
9						19.08	0.31	19.58	18.61	12	18.17	0.61	18.93	17.33	12
10						18.81	0.46	19.58	17.97	12	18.08	0.52	18.61	17.17	12
11						18.87	0.41	19.42	18.13	12	18.25	0.21	18.45	17.81	12
12	22.36	0.22	22.53	22.03	12	19.48	0.54	20.06	18.77	12	18.22	0.21	18.45	17.81	12
13	22.42	0.15	22.53	22.03	12	19.43	0.48	20.22	18.77	12	18.02	0.23	18.29	17.49	12
14	22.99	0.18	23.20	22.70	12	19.36	0.40	19.90	18.45	12	17.93	0.35	18.45	17.17	12
15	22.87	0.16	23.20	22.70	12	19.46	0.26	19.90	18.93	12	17.65	0.45	18.13	16.85	12
16	22.41	0.44	22.87	21.70	12	19.71	0.16	19.90	19.42	12	17.31	0.37	17.64	16.53	12
17	21.78	0.25	22.20	21.37	12	19.95	0.14	20.22	19.74	12	17.09	0.11	17.17	16.85	12
18	21.76	0.19	22.20	21.53	12	20.26	0.35	20.87	19.90	12	17.29	0.24	17.81	16.85	12
19	21.91	0.19	22.20	21.53	12	20.17	0.30	20.38	19.42	12	17.62	0.28	17.97	17.17	12
20	21.83	0.23	22.20	21.37	12	20.15	0.29	20.71	19.74	12	17.94	0.25	18.45	17.64	12
21	21.78	0.24	22.20	21.37	12	20.09	0.25	20.54	19.74	12	17.74	0.29	18.13	17.33	12
22	21.51	0.17	21.87	21.37	12	19.89	0.25	20.22	19.42	12	17.86	0.25	18.29	17.64	12
23	22.06	0.20	22.37	21.70	12	19.47	0.22	19.74	19.09	12	18.41	0.55	19.26	17.81	12
24	22.23	0.25	22.70	21.87	12	18.88	0.32	19.42	18.29	12	19.15	0.29	19.42	18.61	12
25	22.41	0.23	22.70	22.03	12	18.46	0.39	18.77	17.81	12	18.50	0.34	18.93	17.97	12
26	22.63	0.43	23.37	21.87	12	18.28	0.32	18.77	17.81	12	18.65	0.49	19.26	17.81	12
27	22.33	0.68	23.03	21.04	12	18.20	0.42	18.77	17.49	12	19.01	0.23	19.42	18.61	12
28	21.47	0.61	22.20	20.38	12	17.93	0.44	18.45	17.17	12	18.89	0.15	19.09	18.61	12
29	22.02	0.26	22.37	21.70	12	17.69	0.33	18.13	17.17	12	18.34	0.34	18.77	17.81	12
30	22.27	0.32	22.87	21.87	12	17.72	0.20	17.97	17.33	12	18.22	0.24	18.45	17.81	12
31	21.81	0.37	22.37	21.20	12						17.97	0.10	18.13	17.81	12

Tabla # 3. Registros horarios de temperatura del mar *in situ*, como promedio diario en Bahía Asunción, B.C.S. (d= día; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones). Continuación

d	noviembre 1998					diciembre 1998					enero 1999				
	P	DE	Máx	Min	n	P	DE	Máx	Min	n	P	DE	Máx	Min	n
1	17.69	0.20	17.97	17.33	12	18.52	0.08	18.61	18.45	12	16.74	0.18	17.01	16.38	12
2	17.66	0.23	17.97	17.33	12	18.40	0.10	18.61	18.29	12	16.65	0.07	16.69	16.53	12
3	17.64	0.38	18.13	17.01	12	18.30	0.14	18.45	18.13	12	16.57	0.10	16.69	16.38	12
4	17.76	0.25	18.13	17.33	12	18.18	0.10	18.29	17.97	12	16.55	0.18	16.85	16.22	12
5	17.97	0.19	18.13	17.49	12	17.59	0.17	17.97	17.33	12	16.51	0.09	16.69	16.38	12
6	18.05	0.14	18.29	17.81	12	16.96	0.22	17.17	16.53	12	16.42	0.10	16.53	16.22	12
7	18.02	0.25	18.45	17.64	12	16.36	0.12	16.53	16.22	12	16.60	0.28	17.01	16.22	12
8	18.18	0.21	18.61	17.97	12	15.93	0.11	16.06	15.74	12	16.70	0.08	16.85	16.53	12
9	18.45	0.23	18.93	18.13	12	15.58	0.08	15.74	15.43	12	16.61	0.14	16.85	16.38	12
10	18.73	0.31	19.26	18.45	12	15.22	0.28	15.59	14.80	12	16.56	0.09	16.69	16.38	12
11	18.70	0.22	19.09	18.45	12	15.40	0.39	16.06	14.96	12	16.62	0.14	16.85	16.38	12
12	18.84	0.30	19.26	18.45	12	15.57	0.21	15.90	15.27	12	16.77	0.16	17.01	16.53	12
13	18.70	0.17	18.93	18.29	12	15.81	0.19	16.06	15.59	12	16.74	0.16	17.01	16.53	12
14	18.73	0.29	19.09	18.29	12	15.77	0.13	15.90	15.59	12	16.73	0.14	17.01	16.53	12
15	18.84	0.14	19.09	18.61	12	16.34	0.32	16.85	15.74	12	16.88	0.13	17.17	16.69	12
16	18.97	0.12	19.09	18.77	12	16.15	0.23	16.53	15.74	12	16.77	0.11	16.85	16.53	12
17	18.99	0.17	19.26	18.77	12	16.17	0.18	16.53	15.90	12	16.78	0.11	17.01	16.69	12
18	18.98	0.12	19.09	18.77	12	16.75	0.33	17.17	16.38	12	16.76	0.08	16.85	16.69	12
19	19.11	0.09	19.26	18.93	12	16.98	0.15	17.17	16.85	12	16.76	0.11	16.85	16.53	12
20	19.16	0.09	19.26	19.09	12	16.96	0.12	17.17	16.69	12	16.73	0.07	16.85	16.69	12
21	19.06	0.09	19.26	18.93	12	16.84	0.08	17.01	16.69	12	16.69	0.07	16.85	16.53	12
22	19.06	0.06	19.09	18.93	12	16.60	0.14	16.85	16.38	12	16.47	0.10	16.69	16.38	12
23	19.15	0.13	19.42	18.93	12	16.39	0.14	16.53	16.22	12	16.27	0.12	16.53	16.06	12
24	19.01	0.16	19.26	18.77	12	16.25	0.20	16.53	15.90	12	16.23	0.35	16.85	15.90	12
25	19.07	0.23	19.42	18.77	12	16.23	0.16	16.38	15.90	12	16.32	0.26	16.69	16.06	12
26	19.26	0.16	19.42	18.93	12	16.26	0.14	16.38	16.06	12	16.50	0.16	16.69	16.22	12
27	19.34	0.08	19.42	19.26	12	16.27	0.12	16.38	16.06	12	16.23	0.13	16.38	16.06	12
28	19.12	0.10	19.26	18.93	12	16.44	0.10	16.69	16.38	12	15.89	0.21	16.22	15.59	12
29	18.97	0.14	19.26	18.77	12	16.56	0.13	16.69	16.22	12	15.72	0.13	15.90	15.59	12
30	18.68	0.11	18.77	18.45	12	16.48	0.10	16.69	16.38	12	15.56	0.12	15.74	15.43	6
31						16.48	0.24	16.85	16.22	12					

Tabla # 3. Registros horarios de temperatura del mar *in situ*, como promedio diario en Bahía Asunción, B.C.S. (d= día; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones). Continuación

d	septiembre 1999					octubre 1999					noviembre 1999				
	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1						17.67	0.60	18.70	16.93	24	19.79	0.21	20.31	19.51	24
2						18.38	0.38	19.02	17.73	24	20.28	0.20	20.64	19.99	24
3						18.38	0.49	19.34	17.73	24	20.17	0.34	20.80	19.83	24
4						19.06	0.18	19.51	18.70	24	19.86	0.31	20.31	19.34	24
5						19.43	0.32	19.99	18.86	24	19.43	0.45	20.15	19.02	24
6						19.06	0.36	19.99	18.54	24	19.11	0.18	19.51	18.86	24
7						18.72	0.19	19.18	18.54	24	19.14	0.32	19.67	18.54	24
8						19.10	0.17	19.51	18.86	24	18.73	0.37	19.34	18.22	24
9						19.62	0.25	20.15	19.34	24	17.83	0.49	18.70	17.41	24
10						19.16	0.59	20.15	18.06	24	17.70	0.33	18.22	17.25	24
11						19.06	0.40	19.67	18.54	24	17.86	0.27	18.38	17.57	24
12	20.04	0.19	20.31	19.67	22	19.71	0.30	20.31	19.18	24	17.88	0.19	18.22	17.73	24
13	19.96	0.60	20.80	19.18	24	19.96	0.36	20.64	19.51	24	18.04	0.14	18.22	17.89	24
14	19.26	0.38	19.99	18.70	24	19.21	0.62	20.64	18.38	24	18.01	0.22	18.38	17.73	24
15	19.06	0.34	19.67	18.70	24	19.18	0.41	19.83	18.22	24	17.87	0.23	18.22	17.41	24
16	18.57	0.52	19.51	18.06	24	18.96	0.43	19.99	18.54	24	17.91	0.11	18.06	17.73	24
17	17.99	0.54	18.70	16.77	24	19.11	0.38	19.67	18.54	24	17.91	0.11	18.06	17.73	24
18	17.92	0.52	18.54	16.62	24	18.96	0.25	19.51	18.70	24	18.22	0.24	18.70	17.89	24
19	17.84	0.17	18.22	17.57	24	19.04	0.17	19.34	18.86	24	18.15	0.20	18.54	17.89	24
20	17.64	0.17	17.89	17.25	24	19.42	0.31	19.99	19.02	24	17.78	0.39	18.54	17.41	24
21	19.26	1.10	20.80	17.73	24	19.51	0.37	20.15	19.02	24	17.30	0.49	18.06	16.62	24
22	21.08	0.28	21.46	20.64	24	18.88	0.47	19.51	18.06	24	16.81	0.36	17.41	16.30	24
23	20.93	0.13	21.13	20.80	24	19.27	0.45	19.99	18.38	24	16.69	0.17	16.93	16.46	24
24	20.58	0.36	21.29	20.15	24	19.36	0.50	20.15	18.54	24	16.79	0.23	17.25	16.46	24
25	20.29	0.34	20.97	19.83	24	18.94	0.74	20.15	17.89	24	16.83	0.17	17.09	16.62	24
26	20.38	0.53	21.29	19.67	24	18.90	0.62	19.99	18.06	24	16.71	0.28	17.25	16.46	24
27	20.23	0.46	20.97	19.51	24	19.50	0.22	19.99	19.18	24	17.67	0.45	18.38	16.62	24
28	19.93	0.34	20.47	19.51	24	19.48	0.31	19.99	19.02	24	18.46	0.16	18.70	18.22	24
29	18.97	0.85	20.15	17.41	24	19.47	0.19	19.83	19.18	24	18.52	0.19	18.70	18.22	24
30	17.49	0.89	19.34	16.46	24	19.61	0.17	19.83	19.34	24	18.57	0.12	18.70	18.38	24
31						19.39	0.13	19.67	19.18	24					

Tabla # 3. Registros horarios de temperatura del mar *in situ*, como promedio diario en Bahía Asunción, B.C.S. (d= día; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones). Continuación

d	diciembre 1999					enero 2000					febrero 2000				
	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1	18.66	0.20	19.02	18.38	24	17.27	0.21	17.57	16.93	24	16.14	0.21	16.46	15.83	24
2	18.64	0.24	19.02	18.38	24	17.03	0.20	17.41	16.77	24	16.10	0.22	16.46	15.83	24
3	18.42	0.45	19.02	17.57	24	16.89	0.26	17.25	16.62	24	16.19	0.13	16.46	15.98	24
4	18.10	0.26	18.54	17.73	24	16.75	0.24	17.09	16.30	24	16.31	0.20	16.62	15.98	24
5	18.15	0.22	18.54	17.89	24	16.71	0.29	17.25	16.30	24	16.31	0.18	16.62	16.14	24
6	17.98	0.25	18.38	17.57	24	16.36	0.30	16.77	15.83	24	16.25	0.19	16.62	15.98	24
7	17.88	0.25	18.22	17.57	24	16.33	0.26	16.77	15.98	24	16.19	0.16	16.46	15.98	24
8	17.64	0.32	18.06	17.25	24	16.29	0.16	16.62	16.14	24	16.05	0.13	16.30	15.83	24
9	17.50	0.18	17.89	17.25	24	16.31	0.25	16.77	15.98	24	16.13	0.13	16.46	15.98	24
10	17.31	0.25	17.73	16.93	24	16.23	0.23	16.62	15.83	24	16.12	0.18	16.46	15.83	24
11	17.02	0.18	17.25	16.77	24	16.18	0.21	16.46	15.83	24	15.88	0.45	16.46	15.35	24
12	17.09	0.23	17.41	16.77	24	16.21	0.17	16.46	15.98	24	15.30	0.35	15.83	14.88	24
13	17.05	0.21	17.41	16.77	24	16.19	0.20	16.46	15.83	24	14.96	0.38	15.51	14.56	24
14	17.10	0.25	17.41	16.77	24	16.21	0.09	16.30	15.98	24	14.56	0.33	15.19	14.25	24
15	16.99	0.25	17.41	16.62	24	16.54	0.22	16.93	16.30	24	14.72	0.29	15.19	14.41	24
16	17.26	0.12	17.41	17.09	24	16.76	0.14	16.93	16.46	24	14.84	0.29	15.35	14.56	24
17	17.28	0.19	17.57	17.09	24	17.10	0.11	17.41	16.77	24	14.90	0.26	15.35	14.56	24
18	17.30	0.20	17.57	16.93	24	17.03	0.26	17.41	16.46	24	14.47	0.32	15.03	14.09	24
19	17.17	0.21	17.41	16.93	24	17.05	0.17	17.41	16.77	24	14.88	0.31	15.35	14.41	24
20	17.10	0.16	17.41	16.77	24	17.04	0.13	17.25	16.93	24	15.46	0.28	15.98	15.03	24
21	17.22	0.15	17.41	17.09	24	17.06	0.12	17.25	16.93	24	15.47	0.11	15.67	15.35	24
22	17.11	0.28	17.57	16.77	24	17.00	0.18	17.25	16.77	24	15.38	0.39	15.98	14.88	24
23	17.12	0.19	17.41	16.93	24	17.02	0.16	17.25	16.77	24	14.90	0.48	15.67	14.41	24
24	17.14	0.29	17.73	16.77	24	16.99	0.11	17.09	16.77	24	14.35	0.34	14.88	13.94	24
25	17.05	0.21	17.41	16.77	24	17.03	0.17	17.25	16.77	24	13.96	0.29	14.41	13.63	24
26	17.32	0.18	17.57	17.09	24	16.82	0.27	17.25	16.46	24	13.75	0.25	14.09	13.48	24
27	17.56	0.11	17.73	17.41	24	16.75	0.22	17.09	16.46	24	13.79	0.20	14.09	13.48	24
28	17.64	0.10	17.73	17.41	24	16.51	0.23	16.77	16.14	24	13.71	0.40	14.56	13.32	24
29	17.64	0.19	17.89	17.25	24	16.36	0.16	16.62	16.14	24	13.62	0.36	14.41	13.17	24
30	17.55	0.19	17.73	17.25	24	16.40	0.23	16.77	16.14	24					
31	17.46	0.17	17.73	17.25	24	16.33	0.27	16.77	15.98	24					

Tabla # 3. Registros horarios de temperatura del mar *in situ*, como promedio diario en Bahía Asunción, B.C.S. (d= día; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones). Continuación

d	marzo 2000					abril 2000					mayo 2000				
	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1	13.93	0.43	14.72	13.48	23						11.90	0.37	12.55	11.32	24
2											12.02	0.59	12.71	11.01	24
3											12.10	0.51	12.71	11.47	24
4											12.47	0.48	13.02	11.78	24
5											12.70	0.41	13.17	11.93	24
6											12.81	0.39	13.48	12.24	24
7						14.13	0.35	14.72	13.78	13	13.27	0.55	14.09	12.39	24
8						13.87	0.26	14.41	13.48	24	13.17	0.55	13.94	12.24	24
9						13.89	0.43	14.56	13.02	24	12.62	0.61	13.32	11.62	24
10						14.12	0.45	14.88	13.48	24	12.61	0.39	13.17	12.08	24
11						13.84	0.48	14.56	13.32	24	12.90	0.62	13.94	12.08	24
12						13.83	0.44	14.41	13.02	24	12.83	0.51	13.63	12.08	24
13						13.97	0.55	14.56	13.02	24	12.83	0.52	13.63	11.93	24
14						13.82	0.42	14.41	13.02	24	13.25	0.35	13.78	12.55	24
15						13.75	0.32	14.41	13.32	24	13.27	0.31	13.78	12.71	24
16						13.34	0.30	13.94	12.86	24	12.89	0.42	13.63	12.24	24
17						13.12	0.55	13.94	12.08	24	12.56	0.51	13.32	11.62	24
18						13.20	0.39	13.94	12.55	24	12.20	0.48	12.86	11.47	24
19						12.70	0.36	13.17	12.08	24	12.09	0.47	12.71	11.32	24
20						12.39	0.35	13.02	11.78	24	12.23	0.47	12.86	11.47	24
21						11.87	0.19	12.24	11.62	24	12.22	0.52	13.02	11.47	24
22						12.07	0.31	12.71	11.78	24	12.62	0.34	13.02	12.08	24
23						12.06	0.25	12.55	11.78	24	12.90	0.48	13.63	12.24	24
24						11.81	0.33	12.24	11.16	24	13.21	0.53	13.94	12.24	24
25						11.53	0.35	12.08	11.01	24	13.41	0.34	13.94	12.71	24
26						11.93	0.36	12.39	11.32	24	13.01	0.61	13.78	11.78	24
27						12.10	0.25	12.55	11.78	24	12.66	0.78	13.63	11.32	24
28						12.19	0.44	12.86	11.47	24	12.55	0.88	13.63	11.16	24
29						12.11	0.44	12.86	11.47	24	12.28	0.67	13.02	11.32	24
30						12.05	0.38	12.71	11.47	24	11.99	0.55	12.86	11.32	24
31											11.71	0.41	12.39	11.16	24

Tabla # 3. Registros horarios de temperatura del mar *in situ*, como promedio diario en Bahía Asunción, B.C.S. (d= día; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones). Continuación

d	junio 2000					julio 2000					agosto 2000				
	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1	11.78	0.50	12.55	11.16	24	13.63	0.48	14.41	12.71	24	16.85	0.38	17.57	16.30	24
2	12.29	0.58	13.48	11.78	24	13.55	0.53	14.41	12.55	24	16.99	0.63	17.89	16.14	24
3	12.74	0.48	13.48	12.08	24	13.36	0.48	14.25	12.71	24	17.53	0.86	19.02	15.98	24
4	13.30	0.46	14.25	12.71	24	12.91	0.42	13.63	12.24	24	17.69	0.91	19.51	16.46	24
5	14.04	0.55	15.19	13.32	24	12.70	0.33	13.32	12.24	24	17.51	0.90	19.34	16.62	24
6	14.47	0.56	15.35	13.32	24	13.06	0.57	13.94	12.24	24	17.36	0.38	18.38	16.62	24
7	14.46	0.68	15.51	13.32	24	14.39	0.44	15.03	13.94	24	18.22	0.78	19.83	17.09	24
8	14.60	0.84	15.98	13.17	24	14.28	0.31	15.03	13.94	24	20.09	0.79	20.97	18.22	24
9	14.10	0.49	14.72	13.32	24	14.43	0.41	15.19	13.94	24	20.79	0.43	21.63	20.31	24
10	13.45	0.48	14.25	12.86	24	14.58	0.44	15.19	13.78	24	20.56	0.96	21.79	18.06	24
11	13.09	0.37	13.63	12.39	24	14.23	0.59	15.03	13.32	24	18.82	0.60	19.67	17.73	24
12	12.89	0.26	13.32	12.55	24	14.02	0.45	14.72	13.32	24	19.49	0.43	19.99	18.86	24
13	12.93	0.37	13.63	12.39	24	13.68	0.41	14.25	13.02	24	19.80	0.62	21.13	18.54	24
14	12.72	0.45	13.32	12.08	24	13.79	0.54	14.41	12.86	24	19.03	0.62	19.51	17.57	24
15	12.91	0.43	13.63	12.24	24	14.21	0.45	14.88	13.48	24	19.18	0.70	20.31	18.22	24
16	12.83	0.40	13.48	12.24	24	13.71	0.34	14.25	13.17	24	18.77	0.37	19.51	18.38	24
17	12.54	0.31	13.17	12.24	24	13.52	0.35	14.09	13.02	24	19.87	0.42	20.47	19.18	24
18	12.54	0.27	13.02	12.24	24	13.48	0.29	13.94	13.02	24	21.79	0.64	22.96	20.64	24
19	12.81	0.38	13.48	12.24	24	14.60	0.65	15.83	13.78	24	21.93	0.55	23.13	21.46	24
20	12.91	0.31	13.48	12.39	24	15.67	0.72	17.09	14.56	24	21.35	0.55	22.29	20.47	24
21	13.15	0.32	13.63	12.55	24	16.26	0.26	16.77	15.83	24	20.21	0.69	21.29	19.18	24
22	13.00	0.33	13.48	12.39	24	16.10	0.40	16.93	15.83	24	20.00	0.44	20.80	19.34	24
23	13.22	0.36	13.78	12.71	24	15.92	0.81	17.25	14.88	24	20.75	0.32	21.46	20.31	24
24	13.80	0.38	14.72	13.32	24	15.38	0.47	16.14	14.56	24	20.57	0.64	21.29	19.51	24
25	14.16	0.66	14.88	13.17	24	15.06	0.47	15.83	14.41	24	20.44	0.38	20.97	19.51	24
26	13.71	0.68	14.41	12.39	24	15.84	0.88	17.09	14.41	24	20.12	0.49	20.64	19.34	24
27	12.57	0.40	13.32	12.08	24	16.23	0.68	17.57	15.51	24	19.63	0.57	20.47	18.54	24
28	12.78	0.59	14.09	12.24	24	17.45	0.98	18.86	15.83	24	19.16	0.63	19.99	18.22	24
29	13.05	0.64	14.25	12.24	24	17.77	0.61	18.54	16.93	24	18.84	0.36	19.51	18.38	24
30	13.35	0.49	14.25	12.71	24	16.98	0.20	17.41	16.77	24	18.08	0.49	18.86	17.41	24
31						17.05	0.41	17.57	16.30	24	17.90	0.25	18.22	17.41	24

Tabla # 3. Registros horarios de temperatura del mar *in situ*, como promedio diario en Bahía Asunción, B.C.S. (d= día; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones). Continuación

d	septiembre 2000					octubre 2000					noviembre 2000				
	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n	P	DE	Máx	Mín	n
1	17.84	0.13	18.06	17.73	24	18.30	0.47	19.18	17.73	24	18.64	0.33	19.34	18.22	24
2	17.95	0.17	18.22	17.73	24	18.47	0.44	19.02	17.73	24	18.34	0.18	18.70	18.06	24
3	18.25	0.14	18.38	18.06	24	18.18	0.61	19.02	17.25	24	18.34	0.34	18.86	17.89	24
4	18.50	0.22	18.86	18.06	24	17.74	0.42	18.54	17.25	24	18.31	0.22	18.70	18.06	24
5	18.62	0.23	19.18	18.38	24	17.57	0.44	18.38	16.77	24	18.18	0.26	18.70	17.89	24
6	18.86	0.28	19.34	18.54	24	16.85	0.44	17.73	16.30	24	18.00	0.21	18.38	17.73	24
7	18.73	0.34	19.51	18.38	24	16.63	0.27	17.09	16.30	24	17.89	0.14	18.06	17.57	24
8	19.12	0.43	19.83	18.38	24	17.30	0.44	18.06	16.62	24	17.56	0.29	18.06	17.09	24
9	19.91	0.51	20.80	19.18	24	17.92	0.40	18.54	17.09	24	17.64	0.23	18.06	17.25	24
10	21.02	0.87	22.63	19.99	24	18.05	0.22	18.38	17.73	24	17.64	0.22	18.06	17.41	24
11	22.87	0.96	23.81	20.97	24	18.09	0.12	18.38	17.89	24	17.65	0.28	18.06	17.25	24
12	23.98	0.34	24.67	23.64	24	18.49	0.27	19.02	18.06	24	17.81	0.40	18.38	17.41	24
13	23.12	0.85	23.98	21.63	24	18.55	0.31	19.02	18.06	24	17.65	0.21	18.06	17.25	24
14	21.43	0.62	22.29	20.31	24	18.26	0.26	18.86	18.06	24	17.62	0.22	17.89	17.25	24
15	21.39	0.66	22.29	20.31	24	18.04	0.23	18.38	17.73	24	17.66	0.24	18.06	17.41	24
16	22.01	0.29	22.46	21.63	24	17.96	0.23	18.54	17.73	24	17.68	0.18	17.89	17.41	24
17	22.32	0.36	22.96	21.96	24	18.29	0.36	19.02	17.73	24	17.58	0.15	17.89	17.41	24
18	22.33	0.18	22.63	21.96	24	18.08	0.40	18.70	17.57	24	17.48	0.30	17.89	17.09	24
19	22.24	0.48	22.96	21.29	24	17.78	0.25	18.38	17.57	24	17.59	0.25	17.89	17.25	24
20	22.00	0.42	22.63	21.29	24	17.79	0.34	18.54	17.41	24	17.63	0.29	18.06	17.25	24
21	22.13	0.37	22.63	21.46	24	18.38	0.39	18.86	17.73	24	18.09	0.34	18.54	17.73	24
22	21.70	0.22	22.13	21.29	24	18.23	0.19	18.70	18.06	24	18.28	0.18	18.54	18.06	24
23	21.32	0.40	21.79	20.64	24	18.41	0.31	19.02	18.06	24	18.22	0.29	18.70	17.73	24
24	20.86	0.47	21.79	20.31	24	18.80	0.40	19.51	18.38	24	18.25	0.23	18.70	17.89	24
25	20.31	0.60	21.29	19.34	24	19.26	0.42	19.83	18.70	24	18.15	0.23	18.54	17.73	24
26	19.80	0.59	20.97	19.18	24	19.56	0.25	19.99	19.18	24	18.18	0.22	18.54	17.89	24
27	19.48	0.33	20.31	19.02	24	19.53	0.16	19.83	19.34	24	18.13	0.19	18.38	17.89	24
28	19.07	0.37	19.67	18.38	24	19.41	0.17	19.67	19.18	24	18.20	0.31	18.70	17.73	24
29	18.37	0.37	19.18	17.89	24	19.29	0.23	19.67	19.02	24	18.30	0.28	18.70	17.89	24
30	18.33	0.33	19.02	17.89	24	19.03	0.27	19.51	18.54	24	18.35	0.26	18.86	18.06	24
31						18.63	0.25	19.02	18.38	24					

Tabla # 3. Registros horarios de temperatura del mar *in situ*, como promedio diario en Bahía Asunción, B.C.S. (d= día; P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones). Continuación

mes	1992					1993					1994				
	P	DE	Máx	Min	n	P	DE	Máx	Min	n	P	DE	Máx	Min	n
enero											18.95	0.74	19.80	18.00	4
febrero	17.25	0.50	18.00	17.00	4						16.30	0.45	17.00	16.00	5
marzo	17.26	1.24	21.00	15.00	19						15.67	0.62	17.00	15.00	12
abril						14.78	1.40	17.00	11.00	12	14.39	0.99	16.00	13.00	18
mayo	16.22	0.83	18.00	15.00	9	15.40	2.01	17.50	10.00	10	13.33	0.73	15.00	12.00	21
junio	18.00	2.16	20.00	15.00	4	17.36	2.18	19.00	11.00	11	13.71	0.65	15.00	12.50	19
julio						13.50	9.96	19.50	2.00	3	15.57	0.65	17.00	15.00	15
agosto	22.00				1	15.36	3.71	21.00	9.00	9	18.79	2.08	22.00	16.00	17
septiembre	23.50	0.71	24.00	23.00	2	19.69	4.85	22.50	8.00	8	19.89	1.60	22.50	17.50	19
octubre	23.58	1.43	26.00	22.00	6	20.79	2.35	23.00	13.00	14	19.67	1.52	22.00	17.50	9
noviembre	21.00	0.71	22.00	20.00	5	17.92	1.10	22.00	18.00	22	18.42	0.49	19.00	18.00	6
diciembre						17.85	2.84	20.00	10.00	10	19.06	0.42	19.50	18.50	8
mes	1995					1996					1997				
	P	DE	Máx	Min	n	P	DE	Máx	Min	n	P	DE	Máx	Min	n
enero	15.73	1.25	17.00	14.00	20	16.20	1.02	18.50	14.50	23	16.41	0.97	18.50	15.00	29
febrero	16.64	0.66	18.00	15.50	14	15.38	0.93	17.00	13.00	28	14.75	1.02	17.00	12.50	26
marzo	15.38	1.23	17.00	13.00	28	13.44	0.55	14.50	12.50	26	14.44	0.68	15.50	12.50	24
abril	13.37	0.73	15.00	12.00	27	12.63	0.73	14.00	11.50	24	13.45	0.71	14.50	12.50	21
mayo	12.70	1.11	15.00	11.50	28	13.27	1.70	18.00	11.50	26	14.26	0.64	16.00	13.00	23
junio	12.54	0.55	13.50	12.00	26	13.35	1.12	17.00	12.00	27	14.24	1.34	17.00	12.50	24
julio	14.67	1.39	17.00	12.50	27	14.35	1.15	16.00	12.00	31	19.24	3.34	26.00	14.00	27
agosto	17.43	2.37	22.00	14.50	29	19.31	2.53	26.00	16.50	27	25.27	1.48	28.50	21.00	27
septiembre	22.00	0.99	23.50	19.50	26	20.67	1.97	23.00	16.00	30	27.38	0.73	29.00	26.00	26
octubre	18.27	1.47	21.00	16.00	28	18.55	1.25	21.50	17.00	30	24.35	1.67	27.00	20.50	26
noviembre	18.70	0.56	19.50	18.00	23	18.69	0.82	20.00	17.00	27	23.60	0.65	24.50	22.50	22
diciembre	17.50	1.45	19.00	15.00	20	18.32	0.61	19.00	16.50	28	20.70	1.44	24.00	18.00	28
mes	1998					1999					2000				
	P	DE	Máx	Min	n	P	DE	Máx	Min	n	P	DE	Máx	Min	n
enero	19.98	0.48	21.30	19.00	25	15.45	0.49	16.00	14.30	26	16.42	0.68	17.00	14.80	25
febrero	18.75	0.82	20.00	17.00	23	14.63	0.52	15.80	14.00	26	15.86	0.78	17.00	14.50	24
marzo	17.80	0.58	19.00	16.80	25	13.42	0.66	14.80	12.00	24	14.24	0.80	16.00	13.00	27
abril	15.21	0.78	16.80	13.80	23	12.60	1.07	15.00	11.00	28	13.90	1.08	15.00	12.30	21
mayo	14.99	0.73	16.00	14.00	27	12.82	0.38	13.50	12.00	21	13.19	0.64	15.00	12.00	27
junio	16.49	1.58	19.30	14.00	22	13.49	0.66	15.00	12.80	26	14.38	0.89	16.00	12.50	26
julio	19.15	1.16	21.30	15.80	28	15.04	1.10	17.00	13.00	28	16.29	1.60	19.00	14.00	24
agosto	23.10	0.92	24.00	21.50	23	16.23	1.55	19.00	14.00	25	20.15	1.52	22.00	18.00	22
septiembre	20.53	1.32	24.30	19.00	27	18.23	1.47	20.50	15.30	25	20.93	1.98	25.00	18.00	26
octubre	18.77	0.75	20.00	16.50	23	18.31	0.50	19.00	17.00	23	18.85	1.26	23.50	17.00	24
noviembre	17.76	0.63	18.80	16.50	24	17.35	1.31	20.00	15.00	25	18.35	0.57	19.50	17.00	23
diciembre	15.66	1.05	17.80	14.00	30	16.59	0.57	18.00	16.00	28	18.39	0.47	19.50	17.80	28

Tabla # 4. Registros de temperatura superficial del mar. Promedios mensuales en la estación de medición dentro de Bahía Asunción, B.C.S. (P= promedio; DE= desviación estándar; Máx= máximo; Min= mínimo y n=numero de mediciones).

Tabla #6. Relación de coeficientes de determinación y parámetros derivados de la aplicación del programa CLIMPROD a la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, B.C.S.

Nota: Se consignan solamente valores de r^2 superiores a 39% de 31 posibles modelos.

		Influencia climática	R2	Parámetros			
	Modelo			a	b	c	d
1)	$CPUE = a \cdot \exp(b \cdot E)$		49	78.84251708	-0.000299752		
2)	$CPUE = a + b \cdot E$		42	50.16213251	-0.005925779		
3)	$CPUE = (a + b \cdot E)^{1/(c-1)}$		49	1.310626778	-0.000022527	1.062524235	
7)	$CPUE = a \cdot V + b \cdot V^2 + c$		62	36.95138312	36.61336986	25.07770868	
8)	$CPUE = a \cdot V + b \cdot E$	abundancia	39	68.68447084	0.006903267		
9)	$CPUE = a + b \cdot V + c \cdot E$	abundancia	59	30.34002318	34.24095932	-0.000609679	
11)	$CPUE = a + b \cdot V + c \cdot V^2 + d \cdot E$	abundancia	63	29.02667879	32.17839118	37.9250407	-0.00104418
13)	$CPUE = (a + b \cdot V) \cdot \exp(c \cdot E)$	abundancia	60	37.93922436	38.2194138	-8.97425E-05	
14)	$CPUE = a \cdot \exp(b \cdot E) + c \cdot V + d$	abundancia	60	142.0604698	-0.001145929	24.07268355	23.72132998
19)	$CPUE = ((a + b \cdot V^2)^{(d-1)} + c \cdot E)^{1/(d-1)}$	abundancia	50	83.05645722	65.52449361	0.107594521	2.917021444
21)	$CPUE = a + b \cdot V - c \cdot (a + b \cdot V)^2 \cdot E$	capturabilidad	46	50.2093236	7.19097857	0.000002483	
24)	$CPUE = (a + b \cdot V) \cdot \exp(-c \cdot (a + b \cdot V) \cdot E)$	capturabilidad	51	78.88158667	8.515992934	3.8915E-06	

Tabla #8. Revisión de muestras de colectores artificiales de postlarvas de abulón en Isla Asunción, B.C..S.

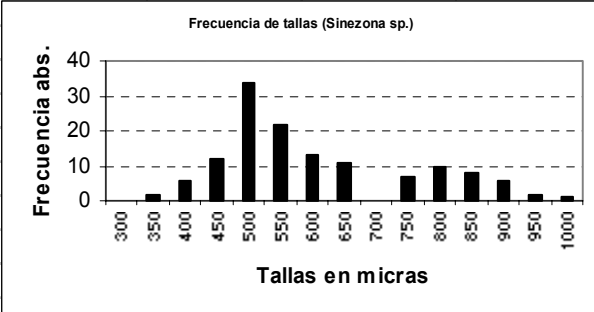
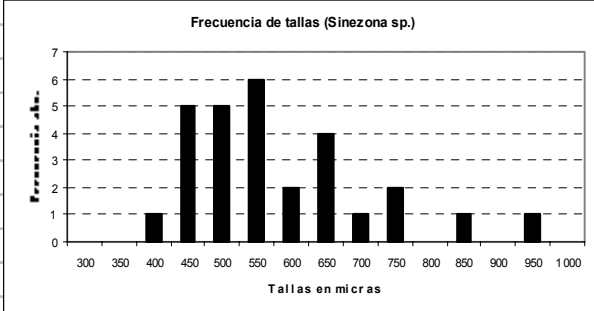
Fecha de muestra	Descripción de la muestra	Elementos cuantitativos																																	
13/X/99 Colector # 1	<p>Esta es una muestra abundante, coincide con el pico reproductivo del abulón. Hay en esta muestra una gran cantidad de caracoles, artrópodos, almejas y posiblemente algas coralinas articuladas con una cierta forma de hongo delgado, con una base conspicua. Se observaron particularmente moluscos del género <i>Sinezona</i> spp., y se midieron para detreminar su estructura de tallas. En esta muestra no se encontraron postlarvas de abulón.</p>	 <table border="1"> <caption>Frecuencia de tallas (<i>Sinezona</i> sp.)</caption> <thead> <tr> <th>Tallas en micras</th> <th>Frecuencia abs.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>300</td><td>0</td></tr> <tr><td>350</td><td>1</td></tr> <tr><td>400</td><td>5</td></tr> <tr><td>450</td><td>12</td></tr> <tr><td>500</td><td>33</td></tr> <tr><td>550</td><td>22</td></tr> <tr><td>600</td><td>13</td></tr> <tr><td>650</td><td>11</td></tr> <tr><td>700</td><td>0</td></tr> <tr><td>750</td><td>7</td></tr> <tr><td>800</td><td>10</td></tr> <tr><td>850</td><td>8</td></tr> <tr><td>900</td><td>5</td></tr> <tr><td>950</td><td>2</td></tr> <tr><td>1000</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Tallas en micras	Frecuencia abs.	300	0	350	1	400	5	450	12	500	33	550	22	600	13	650	11	700	0	750	7	800	10	850	8	900	5	950	2	1000	1	
Tallas en micras	Frecuencia abs.																																		
300	0																																		
350	1																																		
400	5																																		
450	12																																		
500	33																																		
550	22																																		
600	13																																		
650	11																																		
700	0																																		
750	7																																		
800	10																																		
850	8																																		
900	5																																		
950	2																																		
1000	1																																		
13/ X/99 Colector # 3	<p>Muestra con una gran cantidad de muy distintos artrópodos. Abundantes estructuras que parecen ser algas calcáreas en estadios juveniles con forma de hongo delgado. También hay abundancia de caracoles posiblemente del género <i>Tegula</i> spp. y que tienen muy diversos tamaños. En esta muestra se presentaron larvas que fueron identificadas como organismos del género <i>Sinezona</i> spp., que presentan el rasgo característico de una aperura o poro en la concha. Se procedió a la medición de éstos organismos con objeto de hacer una descripción de su estructura de tallas. En esta muestra no se encontraron postlarvas de abulón.</p>	 <table border="1"> <caption>Frecuencia de tallas (<i>Sinezona</i> sp.)</caption> <thead> <tr> <th>Tallas en micras</th> <th>Frecuencia abs.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>300</td><td>0</td></tr> <tr><td>350</td><td>0</td></tr> <tr><td>400</td><td>1</td></tr> <tr><td>450</td><td>5</td></tr> <tr><td>500</td><td>5</td></tr> <tr><td>550</td><td>6</td></tr> <tr><td>600</td><td>2</td></tr> <tr><td>650</td><td>4</td></tr> <tr><td>700</td><td>1</td></tr> <tr><td>750</td><td>2</td></tr> <tr><td>800</td><td>0</td></tr> <tr><td>850</td><td>1</td></tr> <tr><td>900</td><td>0</td></tr> <tr><td>950</td><td>1</td></tr> <tr><td>1000</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Tallas en micras	Frecuencia abs.	300	0	350	0	400	1	450	5	500	5	550	6	600	2	650	4	700	1	750	2	800	0	850	1	900	0	950	1	1000	0	
Tallas en micras	Frecuencia abs.																																		
300	0																																		
350	0																																		
400	1																																		
450	5																																		
500	5																																		
550	6																																		
600	2																																		
650	4																																		
700	1																																		
750	2																																		
800	0																																		
850	1																																		
900	0																																		
950	1																																		
1000	0																																		

Tabla #8. Revisión de muestras de colectores artificiales de postlarvas de abulón en Isla Asunción, B.C..S.
(Continuación)

Fecha de muestra	Descripción de la muestra	Elementos	cuantitativos		
3/XI/99 Colector # 1	<p>No se encontraron organismos que tuviesen parecido a postlarvas de abulón, gran parte de la muestra tiene elementos identificables como estructuras calcáreas, potencialmente algas de la misma forma que la muestra previa. Por otra parte se encontraron pocos gasterópodos. En esta muestra no se encontraron postlarvas de abulón.</p>				
3/ XI /99 Colector # 2	<p>En esta muestra se observa relativa abundancia de formas que pudieran ser algas filamentosas o hidrozooarios, caracoles aparentemente del género <i>Tegula</i> spp. y lo que puede ser una alga cíclica, esta última es abundante, particularmente sus restos fracturados. En esta muestra no se encontraron postlarvas de abulón.</p>				
3/ XI /99 Colector # 3	<p>Se observaron en esta muestra estructuras calcáreas, diversos gasterópodos, aunque en menor medida que en las muestras del mes de octubre. Se observan también bivalvos al igual que en muestras previas. No se observaron postlarvas de abulón.</p>				

Tabla #8. Revisión de muestras de colectores artificiales de postlarvas de abulón en Isla Asunción, B.C..S.
(Continuación)

Fecha de muestra	Descripción de la muestra	Elementos cuantitativos		
14/XI/99 Colector # 1	Esta muestra es poco abundante o "pobre" en cuanto al número de componentes o diversidad. Se observaron algunos pocos gasterópodos y la composición de la muestra algunas arenas de grano fino. No se observaron postlarvas de abulón.			
14/ XI /99 Colector # 2	Esta es una muestra "pobre" con presencia de fragmentos de lo que parecen ser algas calcáreas y unos pocos caracoles aparentemente del género <i>Tegula</i> spp. No se encontraron postlarvas de abulón.			
14/XI/99 Colector # 3	Esta muestra es también "pobre" en cuanto a la abundancia de componentes. Se observan algunos gasterópodos. No se encontraron postlarvas de abulón.			

Tabla #8. Revisión de muestras de colectores artificiales de postlarvas de abulón en Isla Asunción, B.C..S.
(Continuación)

Fecha de muestra	Descripción de la muestra	Elementos cuantitativos		
10/XII/99 Colector # 1	Esta muestra no es muy abundante ni diversa. Se observa sí una buena cantidad de caracoles que pudieran ser del género <i>Tegula</i> spp. Así como de algunos bivalvos No se encontraron postlarvas de abulón.			
10/ XII /99 Colector # 2	Muestra medianamente abundante. Presencia de gasterópodos, bivalvos, en menor proporción, se observan organismos que pueden ser aglas calcáreas. Esta muestra presentó estructuras con forma de huevecillos que pudieran ser algas en algún estadio temprano, también se notó la presencia de anélidos poliquetos y algunos microcrustáceos al igual que otras muestras revisadas previamente. Se observaron organismos que pueden ser <i>Sinezona</i> spp. No se encontraron postlarvas de abulón.			
10/ XII /99 Colector # 3	Muestra medianamente abundante, con presencia de gasterópodos, bivalvos, alguna cantidad menor de estructuras calcáreas, posiblemente algas en estadios con forma de huevecillos y algas filamentosas o hidrozooarios. Algunos caracoles pudieran ser del género <i>Tegula</i> spp., dos de los gasteópodos tiene un parecido muy grande con respecto a la fotografía de la postlarva de abulón que aparece en el trabajo de Kitting & Morse, 1997 (Fig.1 de ése trabajo) .			

Tabla #8. Revisión de muestras de colectores artificiales de postlarvas de abulón en Isla Asunción, B.C..S.
(Continuación)

Fecha de muestra	Descripción de la muestra	Elementos cuantitativos		
10/ I /00 Colector # 1	Muestra medianamente abundante con presencia de estructuras calcáreas (algas), gasterópodos, posiblemente algas en estadios con forma de huevecillos y bivalvos. No se encontraron postlarvas de abulón.			
10/ I /00 Colector # 2	Muestra poco abundante, con presencia probablemente de algas en forma de huevecillos, estructuras que parecen ser algas filamentosas, varios bivalvos y gasterópodos, caracoles que pueden ser del género <i>Tegula</i> spp. No se encontraron postlarvas de abulón.			
10/ I /00 Colector # 3	Muestra poco abundante. Presencia de formas con apariencia de huevecillos que pueden ser algún estadio temprano de alga, gasterópodos y bivalvos en numeros reducidos. La muestra presenta restos que pueden ser algas calcáreas. Los caracoles pueden ser del género <i>Tegula</i> spp. No se encontraron postlarvas de abulón.			

Tabla #8. Revisión de muestras de colectores artificiales de postlarvas de abulón en Isla Asunción, B.C..S.
(Continuación)

Fecha de muestra	Descripción de la muestra	Elementos cuantitativos		
6/ II /00 Colector # 1	Muestra abundante. Presencia de gasterópodos, bivalvos, anélidos poliquetos, estructuras con forma de huevecillos que pudieran ser algas, estructuras filamentosas que también pudieran ser algas, y estructuras calcáreas, algas articuladas. No se encontraron postlarvas de abulón.			
6/ II /00 Colector # 2	Muestra medianamente abundante. Se observan estructuras calcáreas, algas articuladas, estructuras en formas de huevecillos que pudieran ser estadios de algas, bivalvos, gasterópodos, anélidos poliquetos, microcrustáceos. No se encontraron postlarvas de abulón.			
6/ II /00 Colector # 3	Muestra poco o medianamente abundante en general. Pero es rica en estructuras filamentosas. Se observan gasterópodos, bivalvos, estructuras calcáreas, algas articuladas, microcrustáceos, anélidos poliquetos, gasterópodos del género <i>Sinezona</i> spp., formas con parecido a nemátodos. No se encontraron postlarvas de abulón.			

Tabla #8. Revisión de muestras de colectores artificiales de postlarvas de abulón en Isla Asunción, B.C..S.
(Continuación)

Fecha de muestra	Descripción de la muestra	Elementos cuantitativos		
2/ III /00 Colector # 1	Muestra poco abundante. Se observan estructuras calcáreas, algas articuladas, bivalvos, microcrustáceos, anélidos poliquetos, gasterópodos en poca proporción, formas que aparentan ser hidrozooarios. No se encontraron postlarvas de abulón.			
2/ III /00 Colector # 2	Muestra de poco a medianamente abundante. Se observan estructuras filamentosas que pueden ser hidrozooarios, anélidos poliquetos, bivalvos, gasterópodos en poca proporción. En un organismo con apariencia de bivalvo existe la duda de que sea un microartrópodo con poros y vellosidades y aparentemente podios. También se observan estructuras en forma de huevecillos que pudieran ser estadios tempranos de algas. No se encontraron postlarvas de abulón.			
2/ III /00 Colector # 3	Muestra de abundancia intermedia. Se observan organismos o estructuras filamentosas que pueden ser hidrozooarios o algas, aparentes microartrópodos con una especie de vavlas y vellosidades, anélidos poliquetos, microcrustáceos, pocas estructuras calcáreas que pueden ser algas articuladas, pocos gasterópodos comparativamente con otras muestras, también pocas formas parecidas a huevecillos que pudieran ser estadios tempranos de algas y bivalvos. No se encontraron postlarvas de abulón.			

Tabla 9. Supervivencia, talla y peso inicial, crecimiento y tasas de crecimiento de juveniles de abulón azul (*H. fulgens*) bajo dos patrones de temperatura (Normal y El Niño) alimentados con dos tipos de algas cafés. NO, año normal; NI, año "El Niño"; MP *Macrocystis pyrifera*; EA, *Eisenia arborea*.

Tratamiento	Sobrevivencia (%)	Talla inicial promedio (mm)	Talla final promedio (mm)	Tasa promedio de crecimiento ($\mu\text{m día}^{-1}$)	Peso inicial promedio (g)	Peso final promedio (g)	Tasa promedio de crecimiento (mg día^{-1})
NIMP	95	29.47 (0.33) ^a	34.94 (0.60) ^a	39 (3) ^a	2.46 (0.3) ^a	4.61 (0.24) ^a	16 (1) ^a
NIEA	93	28.58 (0.77) ^a	30.12 (0.91) ^b	11 (3) ^b	2.29 (0.25) ^a	2.83 (0.33) ^b	4 (1) ^b
NOMP	96	29.00 (0.54) ^a	33.08 (0.52) ^c	31 (5) ^c	2.40 (0.12) ^a	3.91 (0.12) ^c	12 (1) ^c
NOEA	94	28.94 (0.77) ^a	30.92 (1.43) ^b	12 (2) ^b	2.31 (0.22) ^a	3.51 (1.01) ^{bc}	7 (2) ^{bc}

Desviación estándar en paréntesis. Diferentes letras muestran diferencias estadísticas de cada columna.

**ANEXO DE PUBLICACIONES
DERIVADAS DE LA TESIS DE
GRADO**

SOCIOECONOMIC CHARACTERISTICS OF THE ABALONE FISHERY ALONG THE WEST COAST OF THE BAJA CALIFORNIA PENINSULA, MÉXICO

G. PONCE-DÍAZ,¹ A. VEGA-VELÁZQUEZ,²
M. RAMADE-VILLANUEVA,³ G. LEÓN-CARBALLO,² AND
R. FRANCO-SANTIAGO³

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC,
La Paz, BCS, México

²Centro Regional de Investigaciones Pesqueras (CRIP-La Paz)
La Paz, BCS, México

³Federación Regional de Sociedades Cooperativas Pesqueras "Baja California"
Ensenada, BC, México

ABSTRACT This work describes the current characteristics of the abalone fishery along the peninsula of Baja California, México from a social and economic point of view. The species *Haliotis fulgens* and *H. corrugata* are the principal products of this fishery. During 1996, the abalone fishery had a total production of about 400 t (meat weight). The value of this production has been estimated to be 36 million dollars (US), considering the price of the end product is US \$2,200.00 per box of 48 cans. This resource has been placed third in importance of export for México, because the price has increased substantially in recent years. In this paper, incomes and estimates of production costs for all aspects of the fishery within the Central zone of Baja California are given. The direct employment in the industry is about 450 employed in the catch phase and 350 at the processing plant. Along the central west coast of the Baja Peninsula, there are nine fishing cooperatives and 150 abalone fishing boats. In each are a diver, a boat captain, and an air handler. Each boat is 22-ft long, with a 55-HP motor and "Hookah" diving gear and compressor. Eight plants process the catch.

KEY WORDS: socioeconomics of abalone fishery, value of abalone

INTRODUCTION

Rarely are the economics and social aspects of fisheries considered in fishery analyses. However, such information is very important for a comprehensive evaluation of the fishery characteristics, the behavior of fishers, and insight into the effectiveness of current management.

Despite the high price and demand for abalone, there is little information relating these to the fishery. In México, a few authors have (partially) addressed these issues (Instituto Nacional de Pesca 1980, Mateus 1985, Ortíz and León 1988, Ortíz et al. 1992, Guzmán del Prío 1992, León and Muciño 1996). They point out the importance of the abalone fishery to many small towns in western Baja California and report on landing records and estimation of abalone revenues. Vega et al. (1997) describe the role of limited access in the development and management of the abalone and lobster fisheries along the Baja California peninsula, which provide the main support, origin, and development of many fishing villages.

With respect to similar fisheries, there is little information on this matter. For the California fishery, Tegner et al. (1992) analyzed the relation between abalone price and the consumer price index from 1973 to 1988. Farlinger and Cambell (1992) reported on variation of abalone price, diver's rent, and total value of landings between 1986 to 1988 for *Haliotis kamtschatkana* in Canada. Schiel (1992) analyzed the individual transferable quota systems for the abalone fishery in New Zealand and gave the total value of this fishery. Because more information is needed for the Mexican abalone fishery, in this paper we consider the social, legal, and economic issues.

APPROACH

Social aspects, including population statistics, were obtained from the National Branch of Statistics and Geography. The infor-

mation on the legal framework is based on three legislative aspects of the Mexican Federal government that regulate activities on fisheries, environment, and organization of cooperatives (social organizations of fishers).

The economic information was provided by surveys of the producers, including managers and fishers. The data requested were the following: number of members per cooperative; income distribution within the crew; price trends; number of boxes of canned abalone produced; production costs of harvesting, processing, marketing; and costs of surveillance and management.

The seafood industry in the central zone of the Baja California Peninsula has eight plants that process abalone, among other kinds of catch. Two are in Bahía Tortugas, one on Isla Natividad, one on Isla de Cedros, two in Bahía Asunción, one in La Bocana, and one at Punta Abreojos. They employ a significant portion of the regional population, about 350 people. These facilities generally have many years of life left, except for a few that are now very old. However, all the plants, such as the modern plant on Isla Natividad, are adapting the Analytical Hazard Critical Control Point procedures.

PRINCIPAL FINDINGS

Social Elements

Populations and Communities Formed to Harvest and Market Abalone

The fishing activity that developed for lobster and abalone from mid-1900s on the western coast of the Baja California Peninsula was responsible for establishing villages in the region. Among the larger villages developed on this basis are Isla Cedros, Punta Eugenia, Bahía Tortugas, Isla Natividad, Bahía Asunción, Punta Pri-

eta, Punta Abreojos, and La Bocana, which in total now have a population of almost 10,000 people.

The geographical location of these fishing villages is shown in Figure 1. Those considered here are in the central zone of the Baja California Peninsula. The inhabitants of these places depend almost totally on the abalone and lobster fisheries (Table 1). Infrastructure of the villages is limited for various reasons, among them distance to other population centers, difficult access to these sites, and limited investment in this zone by state and federal governments.

Organization to Produce

The abalone resource in México has been developed by groups of fishers constituted into fishing cooperative societies to whom the Mexican government has granted the right to catch the reserved species since 1938. Since 1992, they have been governed by a revised plan of fishing concessions and permits.

Approximately 85–90% of abalone harvested in México are landed in the central region of the Baja California Peninsula. In this zone, there are nine fishing cooperatives that fish the abalone resource. These are: S.C.P.P. Pescadores Nacionales de Abulón, Buzos y Pescadores, La Purísima, Bahía Tortugas, Emancipación, California de San Ignacio, Leyes de Reforma, Progreso, and Punta Abreojos. The number of associates that participate in each of these cooperatives (Table 2) total 1,305 people. Of these associates, some work on abalone, others lobster, some on minor resources (e.g., snails) and some in the administration of the society. Some are devoted to labor directly related to the fishing, processing, and marketing of abalone.

Legal Elements

Law of Cooperative Associations

In recent years, the legal framework under which the activities of the cooperative societies in México are regulated has been modified. The object of making this change in the original law of

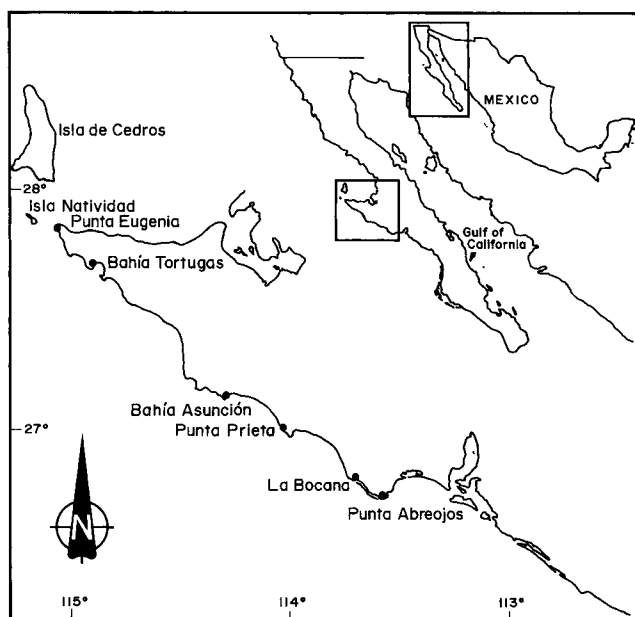


Figure 1. Geographic location of the central zone of the Baja California Peninsula, México.

TABLE 1.

Fishing villages in the central zone of the Baja California Peninsula, México

Village	Population
Isla de Cedros	2,696
Punta Eugenia	136
Bahía Tortugas	2,679
Isla Natividad	397
Bahía Asunción	1,381
Punta Prieta	189
Punta Abreojos	808
La Bocana	1,084
Malarrimo	15
Puerto Nuevo	113
San Pablo	22
San Roque	17
San Hipólito	107
Total	9,644

1938 was to modernize this framework, because the law did not reflect what, in reality, was happening. For this reason, the government wanted to modernize the constitution and administration of the cooperative societies and to help these organizations have greater entrepreneurial capacity, as occurs in other countries, without losing their identity in the collective effort.

However this modernization means losing government subsidies. This situation causes financial problems, because the cooperatives must spend their money on such social services as electricity, medical insurance, road maintenance, surveillance, and fresh water.

Federal Fishing Law

During 1992, in the wake of a process of modernizing the legal framework, the federal fishing law was modified. The goal was to strengthen the rational management of the fishing resources of the country and to promote responsible fishing. In addition, the law was designed to be simple and clear, to offer certainty to investors, and to permit the productive sectors to plan for the long term. This modified legislation had a new regulation for the cooperatives for fishing abalone and other resources. This regulation forms a concession that confers fishing rights for 20 years and is renewable.

General Law of the Environment and the Ecological Equilibrium

In relation to the environmental law, we can look again at the principal goals in terms of the concerns about the environment and its approach to work on a social basis to make decisions concerning the use, management, and conservation of natural resources. That implies encouragement of the co-management strategies for fishing purposes.

Economic Component

Abalone Production

The abalone fishery has been and continues to be one of the most important activities in the development of fishing communities in a region of huge importance for the country, which would be practically depopulated without it (Lluch-Belda et al. 1997). Figure 2 shows the historical landings for abalone in the central zone of the Baja California Peninsula, observing that the catch of

TABLE 2.
Production units within the central zone of the Baja California Peninsula, México

Cooperative Association	Year of Origin	Location	No. Members	No. Fishing Boats
Pesc. Nal. de Abulón	1942	Isla de Cderos	167	22
Buzos y Pescadores	1942	Isla Natividad	100	16
La Purísima	1944	Bahía Tortugas	139	11
Bahía Tortugas	1944	Bahía Tortugas	99	15
Emancipación	1939	Bahía Tortugas	97	22
California de San Ignacio	1936	Bahía Asunción	196	20
Leyes de Reforma	1974	Bahía Asunción	196	12
Progreso	1944	La Bocana	127	25
Punta Abreojos	1943	Punta Abreojos	184	10
Total			1,305	153

abalone reached almost 3,000 t annually at the end of the 1960s, reducing drastically by the mid-1970s to levels of only 500 t annually.

Apparently, the optimal levels of fishing (maximum sustainable yields) had been reached during the early 1960s, following expansion that supported high levels of harvest during several seasons. During the second half of the 1970s, the catch declined dramatically to historic minimums in 1983 to 1984 (Guzmán del Próo 1994) and again in 1995 to 1996. These collapses were attributed mainly to high fishing of the resource and, recently, to the combined effect of the level of effort, deficiencies in management, and, in a very important way, to broad-scale environmental changes, according to Lluch-Belda et al., (1997).

Currently the fishery remains a highly profitable activity, because of the high value of the product, but the catch levels are very low as compared to the levels of the 1960s and first half of the 1970s. The deficiencies that the combination of management measures traditionally have demonstrated call for adoption of multi-disciplinary approaches (Vega et al. 1997) to permit the administration of the fishery concerning such matters as adjustable fishing and timely knowledge of changing environmental factors (Lluch Belda et al. 1997).

Value of Production

Income from Fishing

Use of the abalone resource involves several stages. The first is harvesting, in which a diver, a boat captain, and an air handler participate. These workers have become specialists. According to

the internal organization developed by the fishing cooperative societies, the diver receives 50% of the value of abalone captured, the boat captain 25%, and the airhandler 25%, on average.

Price of the Final Product

Abalone are shucked, trimmed, and canned. Canning is the standard final product form of abalone. The market destination is export. The cans are 450 g total weight and 254 g drained weight. Estimates of the price of a box of 48 cans of abalone during different fishing seasons have been made. From these, we see an accelerated increase in recent years in the price of the canned abalone, up to \$2,200 US per box of 48 cans (Fig. 3).

Total Income of the Fishery

The revenue for the fishery has been high, because of a substantial increase in price paid for abalone in the last 10 years. From the yield (cans) obtained from a ton of abalone and the selling price of a case of 48 cans in the 1966 season, it has been estimated that the total revenue of the Mexican abalone fishery is approximately, in current prices, \$36,000,000 US (Fig. 4).

Costs

Production Costs (Catch, Processing, and Marketing)

For determination of the different production costs of cooperatives (direct costs), a survey among the producers showed these as average percentages of the main costs (Fig. 5). Production costs are composed of the following.

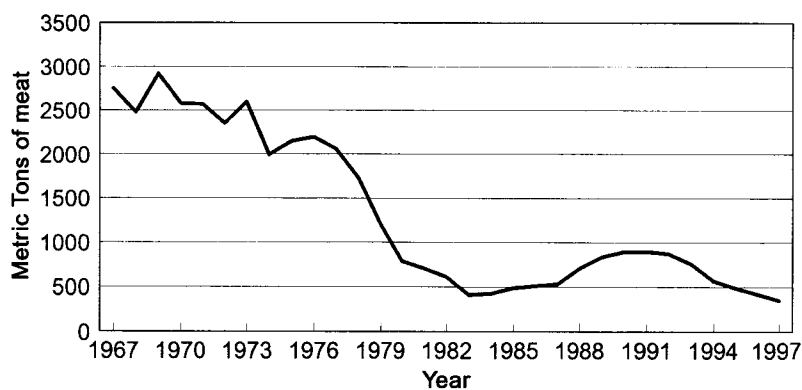


Figure 2. Abalone landings in the central zone of Baja California Peninsula, México.

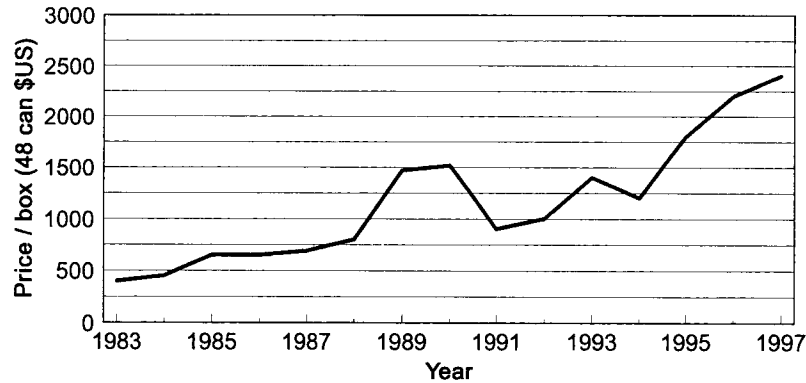


Figure 3. Abalone prices in the central zone of Baja California Peninsula, México

- (1) *Harvesting.* These costs are those of the fishing phase of the abalone. On average, this cost is 67.96% of total production costs in the central zone of the Baja California Peninsula.
- (2) *Processing.*—costs associated with the transformation phase of the product. Canning is done exclusively, because this is the basic form for the export market. It was 23.00%.
- (3) *Research and managing costs (stock assessment, technician staff, etc.).* Because in recent years, this fishery has been administered under a quota system, it has needed an annual evaluation of the wild stock to be captured from the abalone banks in the future. Abalone beds are assigned to specific cooperative societies. Organizations making these surveys generally rely on technical personnel who make the evaluations and other fishing analyses together with the staff of the National Fishing Institute, whom provide technical advice to the Office of Fisheries Management.

Technical participation of the producers has a determined cost and that, according to a survey made among the cooperatives of the central zone of the Baja California Peninsula, is of the order of 3.87% of the total cost, considering the major elements; catch, processing, research, managing, and surveillance.

Surveillance Costs

The costs incurred in surveillance (5.17%) are those economic resources do this work by the social organizations. These tasks are

to protect all the natural resources under concession. It is well known that abalone and the lobster are fisheries that experience major problems with furtive fishing activities. Poaching of abalone occurs in other abalone fisheries, however in Mexico fishing rights obligated the Cooperatives to spend more money on surveillance activities.

DISCUSSION

The abalone fishery in Mexico has been faced with problems of resource exploitation, broad-scale environmental change, new regulations, and increasing independence from governmental subsidy.

Environmental factors has been recently proposed (Lluch-Belda et al. 1997) as elements that have a significant impact on dynamics of abalone populations in Mexico. The impact associated with fishing effort has been proposed as a cause of recent declines in the Mexican abalone fishery. This has gradually limited the income of the people that depend for their livelihoods on this resource throughout much of Baja California.

Illegal fishing, which in the opinion of the fishers, has grown significantly, requires that each year more must be spent to curtail it. The abalone population biomass is lowered by poaching, and if this is not recognized and stopped, a drastic decrease in legal catch may ensue.

Along with the catch of abalone and lobster along the coast of the Baja California Peninsula, is the need to adapt alternative plans for fishing for finfish, snails, and macroalgae.

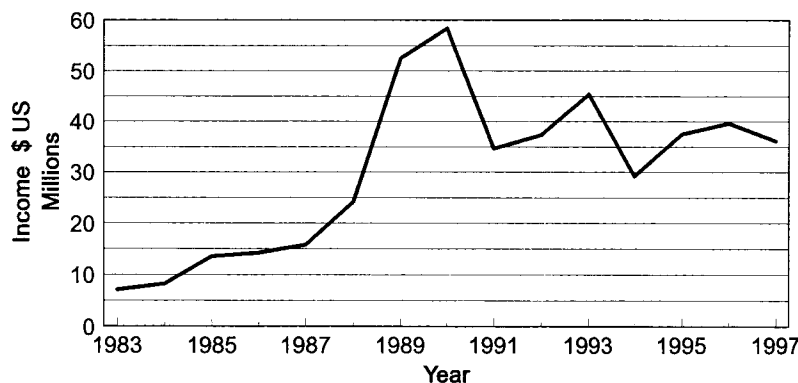


Fig. 4. Abalone income in the central zone of Baja California Peninsula, México.

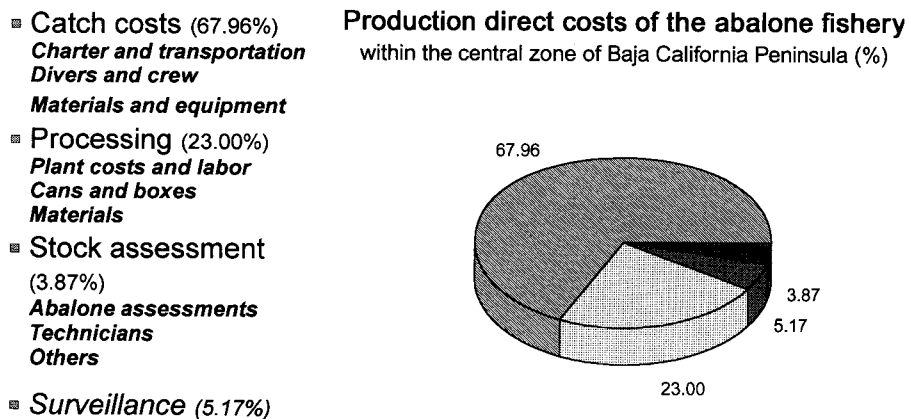


Figure 5. Production costs of the abalone fishery in the central zone of Baja California Peninsula, México.

Because the abalone fishery is in difficulties, it will be necessary to apply, quickly, programs based on aquaculture. The central zone of the Baja California Peninsula offers substantial opportunities for aquaculture development. These efforts should contribute to diversification of production and an increase in overall income.

Restocking is now in progress to enhance the abalone fishery. Its usefulness must be re-evaluated and, if necessary, should be increased.

The abalone fishery in México presently has low landings. This situation does not imply a drop in income, because prices have been increasing rapidly in recent years. In other places, abalone fisheries also have low landings (e.g., California and South Africa), but circumstances are very different in Mexico in terms of fishery, environmental, social, and economical conditions to gen-

eralize a single reason for the decline. Thus, management must be different and must respond to the specific problems of specific areas.

ACKNOWLEDGMENT

This work is dedicated in memory to G. León Carballo.

This work was partly supported by SIMAC (Grant No. SIMAC94-CM02/SIMAC97-0106020). The authors thank Federación Regional de Cooperativas Baja California and Centro Regional de Investigaciones Pesqueras, La Paz for supplying economic and catch data. We thank Dr. Ellis Glazier, CIBNOR, for ending this English language text. The first author acknowledges the CONACUT and PIFI/IPN fellowships.

LITERATURE CITED

- Farlinger, S. & A. Campbell. 1992. Fisheries management and biology of northern abalone, *Haliotis kamtschatkana*, in the northeast Pacific. pp. 395–406. In: S. A. Shepherd, M. J. Tegner, and S. A. Guzmán del Prío (eds.). Abalone of the World: Biology, Fisheries, and Culture. Fishing News Books, Blackwell Scientific, Oxford, England.
- Guzmán del Prío, S. A. 1992. A review of the biology of abalone and its fishery in México. pp. 341–360. In: S. A. Shepherd, M. J. Tegner, and S. A. Guzmán del Prío (eds.). Abalone of the World: Biology, Fisheries, and Culture. Fishing News Books, Blackwell Scientific, Oxford, England.
- Guzmán del Prío, S. A. 1994. Biología, ecología, y dinámica de población del abulón (*Haliotis* spp.) de Baja California, México. Tesis doctoral. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México, DF, 173 pp.
- Instituto Nacional de la Pesca/Departamento de Pesca. 1980. Análisis de la pesquería de abulón en Baja California. fundamentos biológicos para un nuevo régimen de explotación del recurso (diagnóstico). Inst. Natl. de la Pesca. pp. 1–86.
- León, Carballo G. & M. Muciño Díaz. 1996. Pesquería de abulón. pp. 15–41. In: M. Casas-Valdéz and G. Ponce Díaz (eds.). Estudio del Potencial Pesquero y Acuicola de Baja California Sur. SEMARNAP. Gob. del Edo. de B.C.S., FAO, INP, UABCS, CIBNOR, CICIMAR-IPN, CET-Mar. vol. 1.
- Lluch-Belda D., A. Vega-Velázquez, J. Polovina, M. Ramade-Villanueva, S. A. Guzmán del Prío, S. E. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez & D. B. Lluch-Cota. 1997. Climate-induced change in sustainable yield in the Baja California multispecies abalone fishery. submitted.
- Mateus, H. 1985. Semblanza de la Pesca en Baja California. historia y desarrollo. Sec. de Pesca. 1a ed., México, DF.
- Ortiz, Quintanilla M. & G. León Carballo. 1988. Recursos pesqueros de México y sus perspectivas. Recurso abulón (*Haliotis* spp.). In: Recursos Pesqueros del País. Sría. De Pesca, Instituto Nacional de la Pesca. 11–51 pp.
- Ortiz, Quintanilla M., G. León Carballo & M. Muciño Díaz. 1992. La Pesquería de abulón en la Península de Baja California. situación actual y perspectivas de desarrollo. XXX aniversario. Instituto Nacional de la Pesca. (CD-Rom).
- Schiel, D. R. 1992. The paua (abalone) fishery of New Zealand. pp. 427–437. In: S. A. Shepherd, M. J. Tegner, and S. A. Guzmán del Prío (eds.). Abalone of the World: Biology, Fisheries, and Culture. Fishing News Books, Blackwell Scientific, Oxford, England.
- Tegner, M. J., J. D. DeMartini & K. A. Karpov. 1992. The California red abalone fishery: a case study in complexity. pp. 370–383. In: S. A. Shepherd, M. J. Tegner, and S. A. Guzmán del Prío (eds.). Abalone of the World: Fisheries, and Culture. Fishing News Books, Blackwell Scientific, Oxford, England.
- Vega, Velázquez A., D. Lluch-Belda, M. Muciño Diaz, G. León Carballo, S. Hernández Vázquez, D. Lluch-Cota, M. Ramade V. & G. C. Espinoza. 1997. Development, perspectives and management of lobster and abalone fisheries off northwest México, under a limited access system. pp. 136–142. In: D. A. Hancock, D. C. Smith, A. Grant, and J. P. Beumer (eds.). Developing and Sustaining World Fisheries Resources: The State of the Science and Management. Proceedings of the 2nd World Fisheries Congress, Brisbane, Qld, Australia. July 28–August 2, 1996.

EVALUACIÓN DE LA PESQUERÍA DE ABULÓN AZUL *Haliotis fulgens* EN BAHÍA ASUNCIÓN, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

EVALUATION OF THE GREEN ABALONE *Haliotis fulgens* FISHERY IN BAHÍA ASUNCIÓN, BAJA CALIFORNIA SUR, MEXICO

G. Ponce-Díaz^{1, 2}
E.A. Chávez²
M. Ramade-Villanueva³

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Km 1 Carretera a San Juan de La Costa "El Comitán"
Apartado postal 128
La Paz, C.P. 23000, Baja California Sur, México
E-mail: gponce@cibnor.mx

² Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN
Avenida Instituto Politécnico Nacional s/n
Col. Sta. Rita, El Conchalito
La Paz, C.P. 23000, Baja California Sur, México

³ Federación Regional de Sociedades de Producción Pesquera "Baja California", F.C.L.
Soto 283 entre Calle Segunda y Tercera, Col. Obrera
Ensenada, C.P. 22830, Baja California, México

Recibido en mayo de 1999; aceptado en abril de 2000

RESUMEN

Se analiza la pesquería de abulón azul en la zona de Bahía Asunción, Baja California Sur (México), a través de un modelo de simulación que considera la estructura por edades de la población. Se utilizó información sobre captura, esfuerzo, estimaciones de abundancia, así como la de parámetros de la dinámica poblacional del abulón (k , L_{∞} , t_0 , a y b de la relación peso-longitud, edad de primera captura y longevidad). Adicionalmente, se estimó la relación parentela-progenie incluyendo incertidumbre. El modelo presentó un ajuste adecuado entre la biomasa pescable estimada y las estimaciones independientes de la pesquería. Se determinó el rendimiento potencial de esta pesquería, observándose que las capturas actuales se encuentran por debajo del rendimiento máximo sostenible biológico y económico a largo plazo. El reclutamiento anual presenta desviaciones con anomalías que describen un patrón sinusoidal.

Palabras clave: abulón azul, pesquería de abulón.

ABSTRACT

The fishery of green abalone in Bahía Asunción, Baja California Sur (Mexico), was analyzed with an age-structured simulation model using data on catch, effort, abundance estimates, natural mortality and the population growth parameters (k , L_{∞} , t_0 , a and b of the length-weight relationship, age at first capture and longevity). The parent-recruit relationship can be established from the correspondence between the adult stock and the one-year-old juveniles and was analyzed as a random variable with normal distribution; it shows anomalies with a sinusoid pattern. Estimates of potential yield show that current yields are below the biologic maximum sustainable yield and economic maximum sustainable yield levels.

Key words: green abalone, abalone fishery.

INTRODUCCIÓN

La pesquería de abulón en México inició a mediados del siglo pasado, con la incursión de pescadores chinos, y posteriormente a principios del presente siglo, con la participación de japoneses. Sin embargo, es hasta inicios de los años cuarenta que se estableció una actividad pesquera sobre el abulón por parte de pescadores mexicanos, al establecerse las organizaciones de cooperativas a quienes se reservó el derecho de captura de este recurso a lo largo de la costa occidental de la península de Baja California (Vega *et al.*, 1994).

Esta pesquería es considerada una de las de mayor relevancia regional por varias razones, por ejemplo: el alto valor económico de los productos derivados de ésta; el aprovechamiento comercial del abulón por pescadores mexicanos desde hace más de cinco décadas, lo que permitió fundar varios poblados en la costa occidental de la península de Baja California; poseer una alta capacidad de exportación; y generar un impacto sustantivo en el empleo entre las sociedades cooperativas pesqueras que están dedicadas a la captura del abulón.

Las especies sujetas a explotación son: *Haliotis fulgens* Philippi 1845, abulón azul; *Haliotis corrugata* Gray 1828, abulón amarillo; *Haliotis cracherodii* Leach 1817, abulón negro; *Haliotis rufescens* Swainson 1822, abulón rojo; y *Haliotis sorenseni* Bartsch 1940,

INTRODUCTION

The fishing of abalone in Mexico began in the middle of the nineteenth century with the incursion of Chinese fishermen and then at the beginning of the twentieth century with the participation of Japanese fishermen. Mexican fishermen began fishing this resource in the 1940s, and established cooperatives that held the fishing rights along the west coast of the peninsula of Baja California (Vega *et al.*, 1994).

There are many reasons why this fishery is considered one of the most important in Mexico. The products derived from it are of high economic value. It has a high export potential. Its commercial development over the past five decades has led to the establishment of many fishing communities on the west coast of the peninsula of Baja California, and it has generated a significant number of jobs for the fishing cooperatives dedicated to the catch of abalone.

The species caught are: *Haliotis fulgens* Philippi 1845, green abalone; *Haliotis corrugata* Gray 1828, pink abalone; *Haliotis cracherodii* Leach 1817, black abalone; *Haliotis rufescens* Swainson 1822, red abalone; and *Haliotis sorenseni* Bartsch 1940, white abalone. The green and pink species contribute between 95% and 98% of the total catch (León and Muciño, 1996).

abulón chino. Las especies de abulón azul y amarillo contribuyen aproximadamente del 95% al 98% de la captura total (León y Muciño, 1996).

Sobre el abulón ha existido un interés comercial desde hace muchos años; por lo mismo, la pesquería en México, como se mencionó anteriormente, data en su etapa más reciente desde hace aproximadamente 50 años. No obstante, el conocimiento sobre la ecología y la dinámica del recurso abulonero no es el suficiente a pesar de contar con importantes esfuerzos de investigación. Los primeros estudios sobre los abulones de México fueron realizados a principios de los años sesenta por de Buen (1960), Chapa (1963) y Ortiz (1966), entre otros, quienes hicieron los primeros aportes sobre el conocimiento de estas especies y de su pesquería. Por su parte, Cox (1962) realizó un trabajo sobre los abulones de Norteamérica, en el cual aborda varios aspectos sobre la distribución y biología de los haliótidos de México.

Durante la década de los setenta, se llevaron a cabo diversas evaluaciones del tamaño de las existencias en una porción muy amplia de la península de Baja California (Guzmán del Prío *et al.*, 1976). Posteriormente, conforme fueron realizados estudios adicionales y mayor información fue conjuntada, se realizaron los primeros trabajos sobre la dinámica poblacional del abulón en la zona central de la península, particularmente sobre el abulón amarillo y azul (Guzmán del Prío y Marín, 1976; Doi *et al.*, 1977; Guzmán del Prío y López-Salas, 1993).

Asimismo, se han llevado a cabo evaluaciones pesqueras sobre el abulón, como las de Lluch-Belda *et al.* (1973), Marín (1981), Rocha y Arreguín-Sánchez (1987), Shepherd *et al.* (1991), y Prince y Guzmán del Prío (1993). Por otra parte, se han realizado estimaciones acerca de los ingresos económicos de esta pesquería en la región, mismos que en 1996 ascendieron a 36 millones de dólares americanos,

Commercial interest in abalone has existed for many years and, as previously mentioned, its fishery in Mexico began about 50 years ago. However, despite important research efforts, our knowledge of the ecology and dynamics of abalone is still insufficient. Research on Mexico's abalone started in the 1960s with the works of de Buen (1960), Chapa (1963) and Ortiz (1966), among others, who were the first to report on this species and its fishery. Cox (1962) studied abalone of North America and covered various aspects of the distribution and biology of Mexico's haliotids.

The sizes of the populations along a wide strip of the peninsula of Baja California were studied extensively during the 1970s (Guzmán del Prío *et al.*, 1976). As more studies were made and additional information was gathered, the first works on the population dynamics of abalone, pink and green in particular, from the central area of the peninsula of Baja California appeared (Guzmán del Prío and Marín, 1976; Doi *et al.*, 1977; Guzmán del Prío and López-Salas, 1993).

The abalone fishery has also been evaluated by Lluch-Belda *et al.* (1973), Marín (1981), Rocha and Arreguín-Sánchez (1987), Shepherd *et al.* (1991), and Prince and Guzmán del Prío (1993). The economic income of this fishery in the region has also been estimated, which reached 36 million US dollars in 1996, based on the end-of-season prices (Ponce-Díaz *et al.*, 1998).

The agency of the Mexican Government responsible for regulating this fishery is the Instituto Nacional de la Pesca. During recent years, this agency has evaluated the available biomass in order to regulate its catch through annual catch quotas (Ramade-Villanueva *et al.*, 1998).

Historical data of the fisheries have shown that the evaluation of populations is not an easy task. Past experience and the fishery-science

considerando precios de final de la temporada (Ponce-Díaz *et al.*, 1998).

La dependencia del Gobierno de México responsable de proponer medidas para la regulación de la pesquería es el Instituto Nacional de la Pesca. Esta dependencia ha venido llevando a cabo en años recientes evaluaciones directas de la biomasa disponible con el objeto de normar su extracción a través del método de cuotas anuales de captura (Ramade-Villanueva *et al.*, 1998).

La explotación histórica de las pesquerías ha mostrado que las evaluaciones de poblaciones no son tarea fácil. Es por esta razón que a la luz de la experiencia y de las actuales herramientas disponibles en la ciencia pesquera, se puede intentar responder a cuestionamientos sobre la evaluación de un recurso en un contexto de información limitada (Chávez, 1996).

Dada la relevancia biológica, ecológica y económica que representa el abulón en la costa occidental de la península de Baja California, se desarrolló el presente estudio con objeto de evaluar la pesquería del abulón azul en Bahía Asunción, Baja California Sur, México, y explorar mediante simulación, algunas estrategias de manejo adicionales a las que actualmente se encuentran en aplicación.

La pesquería de abulón en Bahía Asunción

No obstante que esta pesquería inició en los años cuarenta su etapa más reciente en Bahía Asunción, Baja California Sur, es a partir de finales de los años cincuenta que se cuenta con información estadística sobre capturas y esfuerzo en esta zona geográfica, donde se encuentran los bancos explotados por organizaciones de pescadores a través de cooperativas pesqueras (fig. 1).

Si bien en la pesquería de abulón de la zona de estudio se capturan diversas especies, tanto el abulón azul como el abulón amarillo son las especies realmente relevantes; otras como el

tools currently available can be used to address the problems with evaluating a resource when there is a limited amount of information (Chávez, 1996).

Given the biological, ecological and economic importance of abalone on the west coast of the peninsula of Baja California, this study was made to evaluate the green abalone fishery at Bahía Asunción, Baja California Sur, Mexico, and to explore, through simulations, some management strategies in addition to those already in force.

Abalone fishery in Bahía Asunción

Even though this fishery began in the 1940s in Bahía Asunción, Baja California Sur, there is no statistical information available prior to the late 1950s on the catches and fishing effort for this area, where there are banks fished by groups of fishermen belonging to cooperatives (fig. 1).

Different species of abalone are caught by the fishery in the study area. Green and pink abalone are the most abundant, whereas the other species, such as black and white abalone contribute negligible amounts. At present, green abalone contributes 85–90% of the production; however, a change in the proportions of the species in the catches has been noticed. The most noticeable effect is observed during the second half of the 1970s (fig. 2).

The catches of all abalone species in the area between 1959 and 1965 were relatively more than 500 t per year. Between 1966 and 1973, the catches decreased slightly to between 400 and 500 t per year. From 1974 to 1985, the catches decreased steadily from close to 400 t per year to between 60 and 70 t in 1984. Between 1986 and 1997, a slight increase is observed in the catches, but then they drop again to 40 t in 1997 (fig. 2). Based on the trajectory of the catches of green abalone, three peaks can be observed in 1971, 1975 and

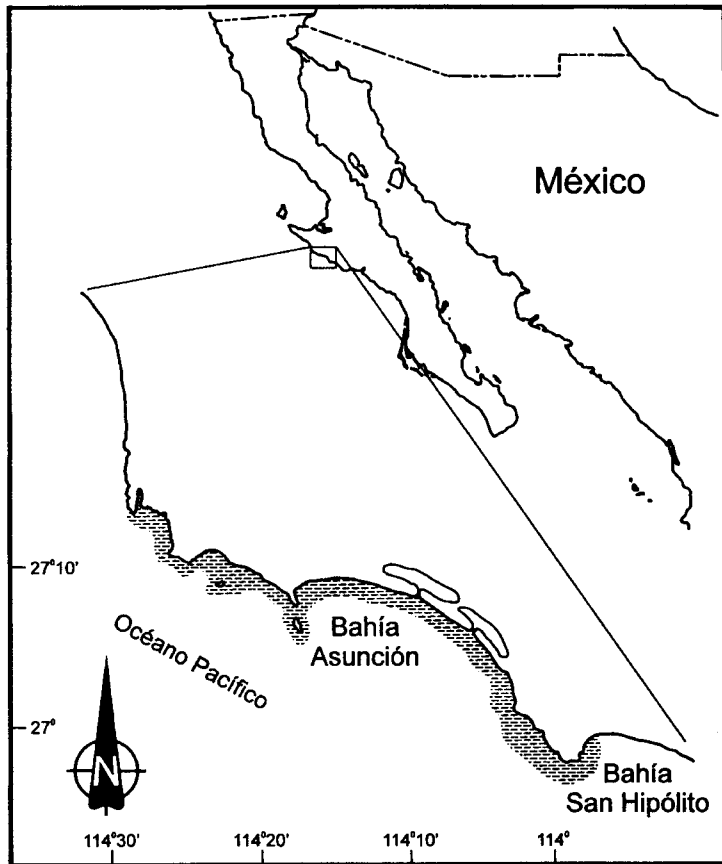


Figura 1. Bahía Asunción, Baja California Sur, México. Zonas de pesca.
Figure 1. Bahía Asunción, Baja California Sur, Mexico. Fishing areas

abulón negro y chino reportan cantidades despreciables. En la actualidad, el abulón azul participa con aproximadamente el 85–90% de la producción; sin embargo, se ha distinguido un proceso de cambio de proporciones de las especies en la captura que tuvo su efecto más conspicuo durante la segunda mitad de la década de los años setenta (fig. 2).

Las capturas de abulón de todas las especies en esta zona entre los años de 1959 y 1965 fueron relativamente superiores a las 500 t

1990–1992, after which there are perceptible decreases.

The fishing is carried out with hookah diving equipment, from 21-foot long boats, close to the coast. The abalone banks are found on rocky bottoms that present diverse algae. There are 53 abalone banks where the cooperatives of Bahía Asunción conduct their fishing activities, including areas close to San Roque Island, Baja California Sur (Muñoz, 1976).

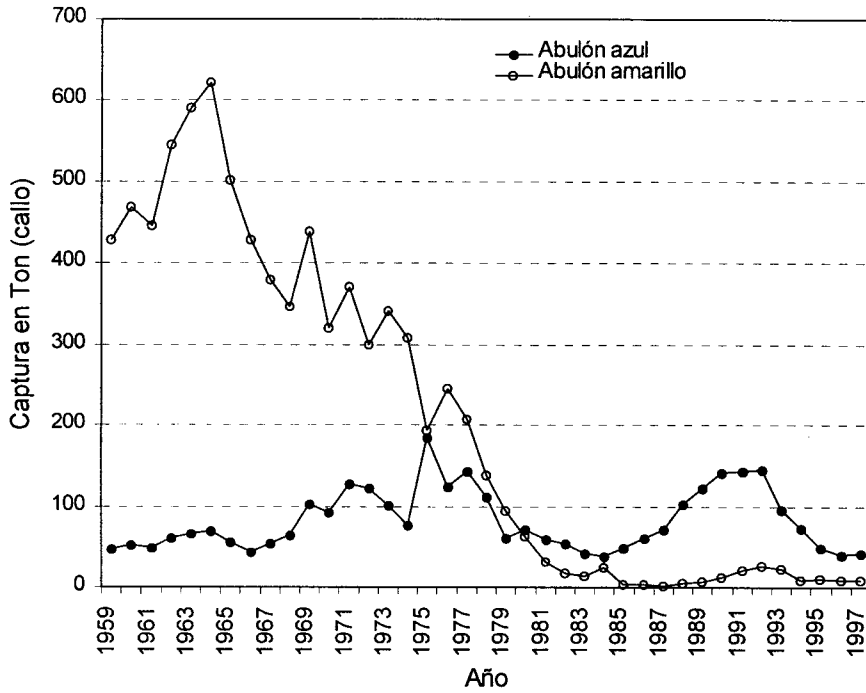


Figura 2. Captura y proporción de especies en el tiempo en la zona de Bahía Asunción, Baja California Sur.

Figure 2. Catch and species composition through time in Bahía Asunción, Baja California Sur.

anuales. De 1966 a 1973 las capturas bajaron de manera ligera para situarse en cifras entre 400 y 500 t de callo anuales. Sin embargo, de 1974 a 1985 las capturas de abulón declinaron de manera sostenida, desde cerca de 400 t por año hasta 60–70 t en 1984. Entre 1986 y 1997 se observa un ligero repunte en las capturas, para posteriormente bajar de nueva cuenta hasta el nivel de 40 t en 1997 (fig. 2). Al considerar la trayectoria de las capturas de abulón azul, se observan tres picos de capturas en 1971, 1975 y 1990–1992, después de los cuales se presentan bajas sensibles.

La pesca se lleva a cabo con ayuda de equipos de buceo semiautónomos tipo hooka en embarcaciones de 21 pies de eslora, en zonas de pesca cercanas a la costa. Los bancos abuloneros se encuentran en áreas de pesca que presentan sustratos rocosos con presencia de

MATERIAL AND METHODS

The information used in this study consists of a data base on the catches and fishing effort for the fishing area studied. This series is the result of a recent update of the abalone fishery data base performed mainly by the cooperatives that catch abalone. This information begins in 1959 and contains the species composition from 1966 on. The species composition of the commercial catch from 1959 to 1965 was estimated from the trend observed throughout the series.

This study also includes information on abundance estimates independent of the fishery from 1994 to 1997 and information on the costs and profits per trip. Bibliographic information on the green abalone was also used regarding the growth parameters, length-weight ratio,

diversas algas. Existen 53 bancos abuloneros donde las cooperativas pesqueras asentadas en el área de Bahía Asunción realizan sus actividades de pesca, que incluyen entre otras a localidades cercanas a la Isla de San Roque, Baja California Sur (Muñoz, 1976).

MATERIAL Y MÉTODOS

La información utilizada en el presente trabajo consistió en una base de datos sobre captura y esfuerzo para la zona de pesca de estudio. Esta serie es producto de un esfuerzo reciente de actualización de la base de datos de la pesquería de abulón, llevado a cabo primordialmente por el sector productivo (sociedades cooperativas que capturan abulón). Dicha información inicia en el año de 1959 y contempla la composición por especies a partir de 1966. La composición por especies de la captura comercial de 1959 a 1965 fue estimada de acuerdo con la tendencia observada a lo largo de la serie histórica.

También se consideró información sobre estimaciones de abundancia independientes de la pesquería para años recientes (1994–1997) e información sobre costos e ingresos por viaje. Adicionalmente, se utilizó información bibliográfica sobre el abulón azul en relación con los parámetros de crecimiento y de la relación peso-longitud, datos sobre la longevidad de la especie, así como la edad de madurez sexual, entre otros. Los valores de los parámetros biológico-pesqueros considerados en este trabajo se encuentran en la tabla 1, en donde se refiere la fuente de información respectiva.

El modelo

Con la información descrita en la tabla 1, se desarrolló un modelo basado en la estructura por edades utilizando una hoja de cálculo. El objeto de este modelo fue reproducir los niveles que ocurren en la población bajo estudio, con base en las siguientes expresiones.

longevity of the species, age at sexual maturity, among others. The values of the biological-fishery parameters considered in this study are shown in table 1, as well as the respective source of information.

The model

Using the information described in table 1, a model was developed with a spread sheet, based on the age structure. The objective of this model was to reproduce the levels that occur in the population under study, based on the following equations.

The change in the relative number of individuals in the population was modeled with:

$$N_{g,t} = N_{g-1,t-1} \exp(-M_t) \quad 0 \leq t \leq t_r \quad (1)$$

$$N_{g,t} = N_{g-1,t-1} \exp(-(M_t + F_t)) \quad t_r \leq t \leq t_\lambda \quad (2)$$

where $N_{g,t}$ is the number of individuals of age class g at time t , $N_{g,t-1}$ is the number of individuals of age class g at $t - 1$, M is the natural mortality rate, F is the fishing mortality rate, t_r is the age at first capture and t_λ is the longevity of the species.

The following equations were used to model the population structure in terms of biomass.

(a) Growth in weight with von Bertalanffy's equation for weight, according to the following equation:

$$W_t = W_\infty * (1 - \exp(-k(t - t_o)))^3 \quad (3)$$

where W_t is the weight of the organism at time t , W_∞ is the asymptotic weight of the organism, k is the parameter proportional to the growth rate and t_o is the parameter of intersection with the X axis.

Tabla 1. Parámetros utilizados para el desarrollo del modelo. Los valores en negritas son los parámetros usados en el modelo descrito en este trabajo. Sexo: m = machos, h = hembras y nd = no se distingue. Long. = longevidad. ERP = edad de reclutamiento a la pesquería. E/LRR = edad/longitud de reclutamiento reproductor. Zona en Baja California Sur (BCS): BT = Bahía Tortugas, BA = Bahía Asunción, PA = Punta Abreojos e IN = Isla Natividad. * Se refiere a diferentes métodos de estimación.

Table 1. Parameters used to develop the model. The values in bold are the parameters used in the model described herein. Sex: m = males, h = females and nd = not distinguishable. Long. = longevity. ERP = age of recruitment to the fishery. E/LRR = age/length of breeder recruitment. Area in Baja California Sur (BCS): BT = Bahía Tortugas, BA = Bahía Asunción, PA = Punta Abreojos and IN = Isla Natividad. * Refers to different estimating methods.

L_{∞} (mm)	k	Sexo	Relación peso/longitud		Long.	ERP	E/LRR	Mortalidad natural	Zona en BCS	Fuente
			a	b						
183.1	0.380	m/h	2.72E-05	3.430		5 años	3-4 años	0.10-0.30	BT	Shepherd <i>et al.</i> (1991)
189.0	0.342	m/h							BA	Guzmán del Próo y Salas, en Guzmán del Próo (1992)
170.0	0.368	h	6.10E-04	2.729					PA	Guzmán del Próo y Marín (1976)
171.0	0.384	m	6.10E-04	2.729					PA	Guzmán del Próo y Marín (1976)
177.0	0.440	nd							BT	Turrubiates y Castro-Ortiz (1992), 1*
177.0	0.280	nd							BT	Turrubiates y Castro-Ortiz (1992), 2*
190.2	0.370	nd							BT	Shepherd y Turrubiates (1997), 3*
182.6	0.360	nd							BT	Shepherd y Turrubiates (1997), 4*

Tabla 1 (Cont.)

L_{∞} (mm)	k	Sexo	Relación peso/longitud		Long.	ERP	E/LRR	Mortalidad natural	Zona en BCS	Fuente
			a	b						
187.1	0.350	nd							IN	Shepherd y Turrubiates (1997), 3*
179.6	0.290	nd							IN	Shepherd y Turrubiates (1997), 4*
194.3	0.347	m/h							BA	Guzmán del Próo y López-Salas (1993)
	0.356									Promedio de los datos referidos
187.0			7.04E-06	3.414					BA	Este trabajo a partir de M. Ramade (datos no publicados)
			2.72E-05	3.430	20 años		141 mm	0.310	BT	Guzmán del Próo (1994)
								0.576	BA	Este trabajo a partir de M. Ramade (datos no publicados)

El cambio del número relativo de individuos en la población fue modelado por las siguientes ecuaciones:

$$N_{g,t} = N_{g-1,t-1} \exp(-M_t) \quad 0 \leq t \leq t_r \quad (1)$$

$$N_{g,t} = N_{g-1,t-1} \exp(-(M_t + F_t)) \quad t_r \leq t \leq t_\lambda \quad (2)$$

donde $N_{g,t}$ es el número de individuos del grupo de edad g al tiempo t , $N_{g,t-1}$ es el número de individuos del grupo de edad g al tiempo $t-1$, M es la tasa instantánea de mortalidad natural, F es la tasa instantánea de mortalidad por pesca, t_r es la edad de primera captura y t_λ es la longevidad de la especie.

Para modelar la estructura poblacional en términos de biomasa fueron utilizadas las siguientes ecuaciones.

(a) El crecimiento en peso, por medio de la ecuación de von Bertalanffy para peso, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$W_t = W_\infty * (1 - \exp(-k(t - t_o)))^3 \quad (3)$$

donde W_t es el peso del organismo al tiempo t , W_∞ es el peso asintótico del organismo, k es el parámetro proporcional a la tasa de crecimiento y t_o es el parámetro de intersección con el eje X .

(b) La relación peso-longitud, descrita de acuerdo con la siguiente expresión:

$$W = a * L^b \quad (4)$$

donde W es el peso del organismo, L es la longitud del organismo, y a y b son los parámetros de la curva, ordenada al origen o factor de condición y pendiente o coeficiente de proporcionalidad entre la longitud y el peso, respectivamente.

(b) Weight-length relationship, described according to:

$$W = a * L^b \quad (4)$$

where W is the weight of the organism, L is the length of the organism, and a and b are the parameters of the curve, ordered to the origin or condition factor and slope or proportionality coefficient between length and weight, respectively.

(c) The biomass for each age class caught was estimated with:

$$B_t = \sum N_t * W_t \quad (5)$$

considering the sum from the catch age to t_λ , where B is the biomass of the population, N_t is the number of individuals of age class t and W_t is the average weight of the organisms of age class t .

(d) The catch equation:

$$C = F * B \quad (6)$$

where C is the catch, F is the fishing mortality and B is the biomass of the population.

Recruitment was modeled with the modified Beverton and Holt (1957) recruitment function according to:

$$R_{t+1} = \beta * Ad_t * Ad_{max} / (Ad_t + (\alpha * Ad_{max})) \quad (7)$$

where R_{t+1} is the level of recruits at time $t+1$, Ad_t is the level of adults at time t , Ad_{max} is the level of adults in the maximum of catches, α is the parameter of the recruitment curve and β the parameter of the recruitment curve.

The values of the parameters were estimated at 0.2 and 4.174 for α and β ,

(c) La biomasa para cada grupo de edad capturado fue estimada mediante:

$$B_t = \sum N_t * W_t \quad (5)$$

considerando la sumatoria desde la edad de captura hasta t_λ , donde B es la biomasa de la población, N_t es el número de individuos del grupo de edad t y W_t es el peso promedio de los organismos del grupo de edad t .

(d) La ecuación de captura:

$$C = F * B \quad (6)$$

donde C es la captura, F es la mortalidad por pesca y B es la biomasa de la población.

El reclutamiento fue modelado mediante la función de reclutamiento de Beverton y Holt (1957) ligeramente modificada, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$R_{t+1} = \beta * Ad_t * Ad_{m\acute{a}x} / (Ad_t + (\alpha * Ad_{m\acute{a}x})) \quad (7)$$

donde R_{t+1} es el nivel de reclutas al tiempo $t+1$, Ad_t es el nivel de adultos al tiempo t , $Ad_{m\acute{a}x}$ es el nivel de adultos en el máximo de capturas, α es el parámetro de la curva de reclutamiento y β parámetro de la curva de reclutamiento.

Se estimaron los valores de los parámetros; éstos fueron 0.2 y 4.174 para α y β , respectivamente. El reclutamiento se multiplicó por una variable aleatoria con distribución normal para introducir incertidumbre en este proceso. El coeficiente de variación asignado inicialmente fue de 0.2, para posteriormente modificarlo mediante una rutina de optimización. Mediante la función Solver de Excel se minimizó el cuadrado medio de las diferencias entre la captura registrada en las estadísticas y la generada mediante simulación; de esta manera es posible determinar el margen de incertidumbre en la tasa de reclutamiento.

respectively. Recruitment was multiplied by a random variable with normal distribution in order to introduce uncertainty in this process. The variation coefficient initially assigned was 0.2, and was later modified with a routine of optimization. Using the Excel Solver function, the mean square of the differences between the catch recorded for the statistics and that generated with the simulation was minimized. In this manner it is possible to determine the margin of uncertainty in the recruitment rate.

RESULTS

A model was developed based on the age structure that considers two basic matrices. One contains the age structure in terms of number of individuals and the other in terms of biomass. This model presents a high fit with respect to the observed and estimated catches of the green abalone fishery of Bahía Asunción for the entire study period (fig. 3). A reasonable fit is also observed between the exploitable biomass estimated with the model and the annual biomass estimated independently of the fishery (fig. 4).

The catches from year t are directly related to fishing effort and to the number of organisms available in the population from the previous year $t-1$. Due to the importance of recruitment in the population, the level of annual recruitment and its anomalies were estimated for the study period (fig. 5).

The levels of fishing mortality were estimated in terms of the fit made with the recruitment data calculated for the beginning of the series, minimizing the difference between the observed and estimated catches with an iterative process using the Solver option of Excel version 5.

The potential yields were estimated in terms of fishing mortality (fig. 6). This figure shows the optimum yield located at approximately 126 t of green abalone with a fishing mortality of $F = 1.3$, whereas the maximum

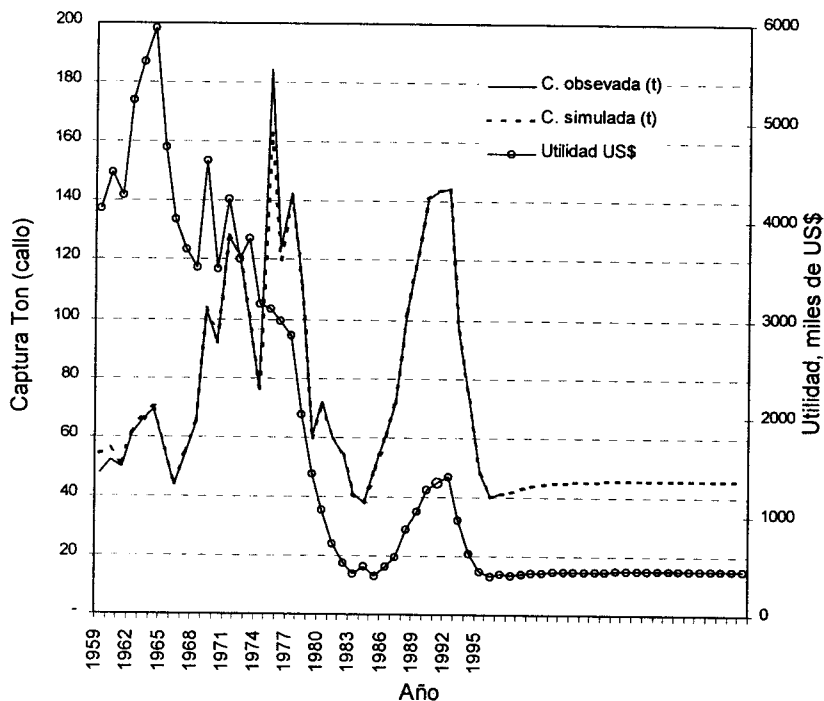


Figura 3. Captura observada en relación con la captura simulada por el modelo y beneficios estimados.
 Figure 3. Catch observed in relation to the catch simulated with the model and estimated benefits.

RESULTADOS

Se desarrolló un modelo basado en la estructura por edades que considera dos matrices básicas. Una de ellas contiene la estructura por edades en términos de número de individuos y la otra en función de la biomasa. Este modelo para la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción presenta un ajuste alto con respecto a las capturas observadas y estimadas para todo el periodo de estudio (fig. 3). Asimismo, se observa un ajuste razonable entre la biomasa explotable estimada por el modelo y las biomásas anuales estimadas de manera independiente de la pesquería (fig. 4).

Las capturas del año t se encuentran directamente relacionadas con el esfuerzo de pesca y

economic yield is obtained with a mortality of approximately $F = 0.9$.

In order to evaluate the different fishing strategies, three fishing scenarios were considered: (a) continue with the same level of fishing mortality of the last season analyzed, which was that of 1997 ($F = 0.13$); (b) decrease fishing mortality by 50% with respect to that of 1997; and (c) increase fishing mortality by 50% with respect to that of 1997. The long-term results of these scenarios are shown in table 2.

DISCUSSION

The simulation of fisheries is a useful tool to identify the influence of key factors in the

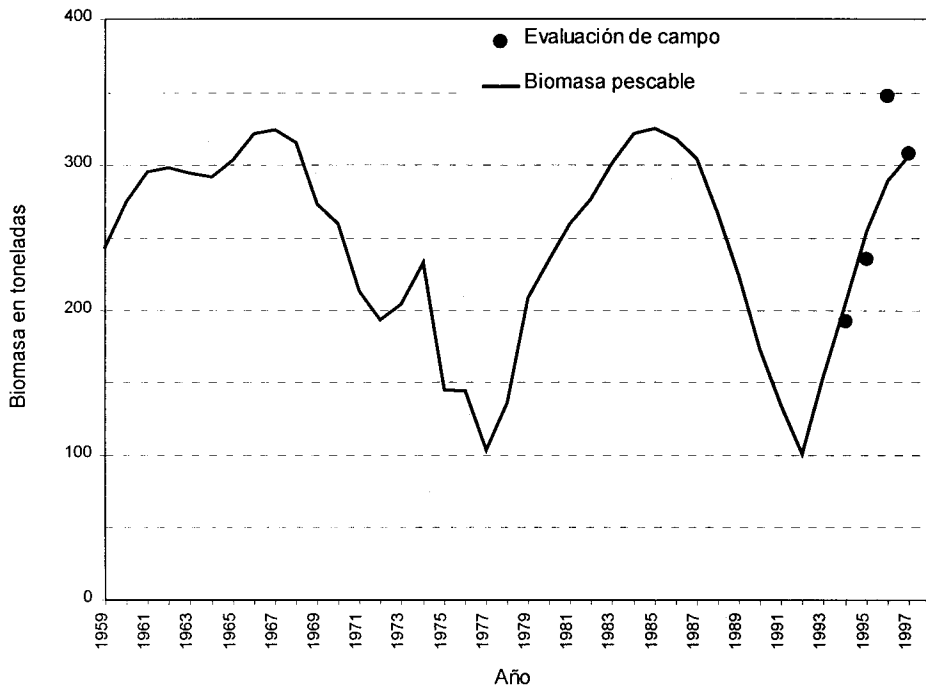


Figura 4. Biomasa explotable estimada por el modelo e independiente de la pesquería para abulón azul en Bahía Asunción, Baja California Sur.

Figure 4. Exploitable biomass estimated with the model and independently of the green abalone fishery in Bahía Asunción, Baja California Sur.

con la cantidad de organismos disponibles en la población en el año anterior $t - 1$. Debido a la importancia del proceso de retroalimentación que ocurre en la población, en este trabajo se estimó el nivel de reclutamiento anual y las anomalías de éste para el periodo de estudio (fig. 5).

Los niveles de mortalidad por pesca fueron estimados en función del ajuste que se realizó con información del reclutamiento calculado para el inicio de la serie, minimizando la diferencia entre las capturas observadas y estimadas mediante un proceso iterativo utilizando la opción Solver de la hoja de cálculo Excel versión 5.

performance of the abalone fishery in Bahía Asunción, Baja California Sur, such as fishing effort and its effect on the natural resource, as well as the response of the resource to different levels of fishing mortality and other biological processes, such as breeder recruitment.

The abalone fishery of Bahía Asunción presented significant reductions in the catches during the second half of the 1970s, which led to the implementation of catch quotas at the beginning of the next decade, determined from the estimate (independent of the fishery) of the exploitable biomass (León and Muciño, 1996). According to these authors, in 1972, based on suggestions made by fishermen from the

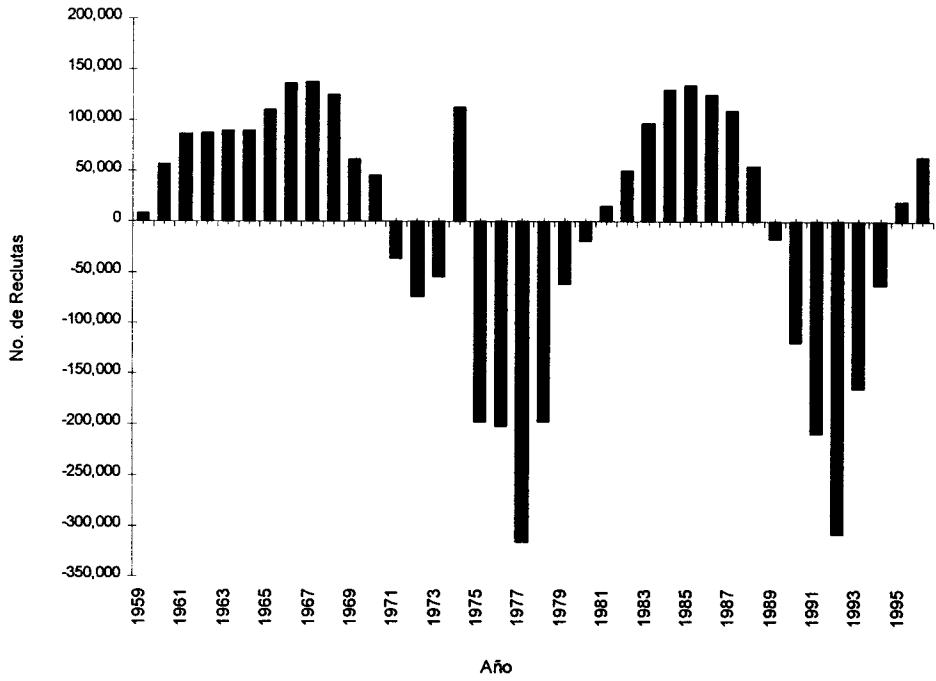


Figura 5. Anomalías estimadas del reclutamiento de abulón azul.
Figure 5. Anomalies estimated for the green abalone recruitment.

Se estimaron los rendimientos potenciales en función de la mortalidad por pesca (fig. 6). En esta figura se muestra el rendimiento óptimo que está situado en aproximadamente 126 t de abulón azul con una mortalidad por pesca de $F = 1.3$, mientras que el máximo rendimiento económico se obtiene con una mortalidad de aproximadamente $F = 0.9$.

Para evaluar diferentes estrategias de pesca, se consideraron tres escenarios de pesca: (a) continuar con el mismo nivel de mortalidad por pesca que la última temporada analizada, que fue la de 1997 ($F = 0.13$); (b) disminución del 50% de la mortalidad por pesca respecto a la de 1997; y (c) aumento del 50% de la mortalidad por pesca respecto a la de 1997. Los resultados a largo plazo de estos escenarios se presentan en la tabla 2.

cooperatives to the federal government and the results of studies conducted by the Instituto Nacional de la Pesca, the closed season was moved to the summer months, from 1 July to 31 August, in order to protect the breeding period. Catch quotas were also proposed for each cooperative, as well as new provisional minimum catch sizes for the species: red abalone, 165 mm; green, 150 mm; and pink, 135 mm (Lluch-Belda *et al.*, 1973; Guzmán del Prío, 1992).

Even though catch quotas have existed since the 1970s, these measures did not achieve the results expected. It has taken many years for a management plan to evolve that is reasonable for the cooperatives; however there are still problems and/or limitations in the implementation of these norms.

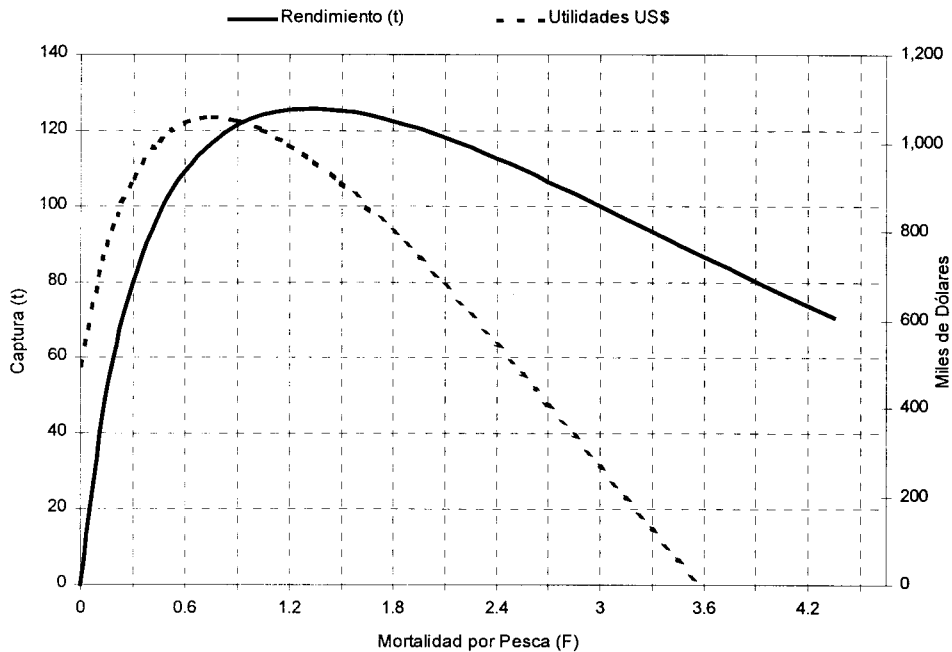


Figura 6. Curva de rendimiento potencial (biológico y económico) para la pesquería de abulón azul en Bahía Asunción, Baja California Sur.

Figure 6. Potential yield curve (biological and economic) for the green abalone fishery in Bahía Asunción, Baja California Sur.

DISCUSIÓN

La simulación de pesquerías es una herramienta adecuada que ha permitido identificar la influencia de factores clave en el desempeño de la pesquería de abulón en Bahía Asunción, Baja California Sur, como son el esfuerzo pesquero y su efecto sobre el recurso natural, así como la respuesta de éste a los diferentes niveles de mortalidad por pesca y en otros procesos en la biología del recurso, como es el caso del proceso de reclutamiento reproductor.

La pesquería de abulón en la zona de Bahía Asunción presentó reducciones sustantivas en las capturas a partir de la segunda mitad de la década de los años setenta; por tanto, a principios de la siguiente década se implementó un

Two determinant factors were identified for the success of the model: fishing mortality and recruitment. The fishing mortality estimated with the model presents a period of high values (close to $F = 1.3$) during the second half of the 1970s, similar to other estimates of fishing mortality in neighboring areas (Shepherd *et al.*, 1991). These years coincide with increases in the catches of green abalone.

Recruitment is one of the processes that renews the fishery. When this process generates a small number of recruits, both natural and fishing mortality have a significant impact on the biomass of the stock, particularly on organisms between 5 and 20 years of age. The results of this study indicate recruitments below the average estimated for the series,

Tabla 2. Escenarios planteados para la pesquería de abulón.
Table 2. Scenarios proposed for the abalone fishery.

Escenario	F	Rendimiento	Utilidades
(a) Base	0.13	46 t	US\$447,560
(b) Disminución 50%	0.065	26 t	US\$254,910
(c) Aumento 50%	0.195	61 t	US\$595,330

esquema de administración del recurso a través de la asignación de cuotas de captura, determinadas éstas por la estimación (independiente de la pesquería) de la biomasa pescable (León y Muciño, 1996). Según estos autores, en 1972, por gestiones de pescadores cooperativistas ante el gobierno federal y considerando los resultados de los estudios de investigación realizados en ese tiempo por el Instituto Nacional de la Pesca, el esquema de veda se cambió a los meses de verano, del 1 de julio al 31 de agosto, con la finalidad de proteger el periodo de reproducción. Asimismo, se recomendaron cuotas de captura por cada cooperativa y se propusieron de manera provisional nuevas tallas mínimas de captura por especie: abulón rojo, 165 mm; azul, 150 mm; y amarillo, 135 mm (Lluch-Belda *et al.*, 1973; Guzmán del Prío, 1992).

Por tanto, si bien es cierto que existieron planteamientos para el establecimiento de cuotas de captura desde principios de los años setenta, estas medidas no tuvieron el éxito deseado, por lo que se considera que es hasta años después que se dio un esquema razonable de observancia de dichas normas, sin que ello estuviera exento de problemas o limitaciones en cuanto a la aplicación de esta medida.

Dos factores que se identificaron como determinantes sobre el desempeño del modelo fueron la mortalidad por pesca y el reclutamiento. En este sentido, la mortalidad por pesca estimada por el modelo presenta un periodo de valores elevados (cerca de $F = 1.3$) durante la segunda mitad de la década de

específicamente durante el medio-1970s, al final de los 1980s y el inicio de los 1990s. Entre las anomalías negativas estimadas, las de mayor magnitud ocurrieron en los años de 1975–1977 y 1991–1992, y muestran una cierta correlación con los eventos El Niño. Muchos autores han reportado los potencialmente negativos efectos de estos eventos sobre el recurso pesquero y su ambiente (Tegner and Dayton, 1987; Guzmán del Prío, 1994; Lluch-Belda *et al.*, 1997).

Basado en lo anterior, este estudio identificó el reclutamiento como una variable fundamental en el éxito de esta pesquería. Si tomamos en cuenta que las larvas de abulón tienen un periodo pelágico bentónico extremadamente corto, desde uno hasta dos semanas antes de asentarse en el fondo marino, este periodo es muy crítico con respecto a las condiciones de temperatura, corrientes, etc. (Prince and Guzmán del Prío, 1993). Esto abre una nueva línea de investigación que ayudaría a explicar la magnitud del impacto del esfuerzo pesquero sobre las poblaciones de abulón en esta zona.

El estimado a largo plazo del potencial rendimiento derivado del modelo de estructura poblacional es del orden de 126 t de abulón verde. El nivel actual de capturas está por debajo de este punto. El máximo rendimiento económico fue estimado en unos 1.05 millones de dólares, con una mortalidad de alrededor de $F = 0.9$. Debe notarse que el modelo predice los rendimientos biológicos y económicos basados en la biomasa estimada; el último se comparó con las estimaciones de biomasa (organismos > 92 mm) obtenidas

los años setenta, al igual que otras estimaciones sobre la mortalidad por pesca en áreas de pesca contiguas (Shepherd *et al.*, 1991), coincidiendo estos años con aumentos de capturas de abulón azul.

El reclutamiento es uno de los procesos que permite la renovación de la pesquería. Cuando este proceso genera un bajo número de reclutas, las mortalidades, tanto natural como por pesca, tienen un impacto sensible en la biomasa de la población y particularmente en aquellos organismos que se encuentran entre los 5 y 20 años de edad. En el presente estudio se detectaron reclutamientos por debajo del promedio estimado a lo largo de la serie, específicamente durante mediados de los años setenta, así como a finales de los ochenta y principios de los noventa. De estas anomalías negativas estimadas, las de mayor magnitud se dieron en los años de 1975–1977 y 1991–1992, lo que sugiere cierta correlación con fenómenos tipo ENSO, situación de efecto potencialmente negativo sobre el recurso pesquero y su medio ambiente, como ha sido sugerido por diversos autores (Tegner y Dayton, 1987; Guzmán del Prío, 1994; Lluch-Belda *et al.*, 1997).

De acuerdo con lo anterior, el reclutamiento se identifica en este estudio como una variable fundamental en el desempeño de esta pesquería si consideramos que las larvas de abulón tienen un periodo de vida bentopelágica sumamente corto, de una a dos semanas, antes de su asentamiento definitivo en el fondo, por lo que este periodo deberá ser sumamente crítico con respecto a condiciones de temperatura, corrientes, etc. (Prince y Guzmán del Prío, 1993). Esto plantea una línea de investigación a desarrollar y que bien puede complementar la explicación acerca de la magnitud del impacto del esfuerzo pesquero sobre las poblaciones de abulón explotadas en esta zona.

En lo relativo a la estimación del rendimiento potencial a largo plazo que se deriva de

independientemente de la pesquería en los últimos años. Esta comparación (fig. 4) muestra un ajuste razonable, que es considerado un adecuado “calibración del modelo” que también respalda y valida el mismo.

Con respecto a los escenarios de pesca presentados, el 50% de aumento en la mortalidad con respecto a la observada en 1997 resultó en un aumento en la producción del 32% y 33% para los rendimientos biológico y económico, respectivamente. El 50% de disminución en la mortalidad con respecto a la observada en 1997 resultó en una disminución en la producción del 43.5% y 43% para los rendimientos biológico y económico, respectivamente. Esto indica que a este nivel de aumento o disminución, la población es más sensible a la disminución en la mortalidad.

Las capturas de la pesquería durante 1997 fueron del orden de 41 t, con una mortalidad de pesca $F=0.13$ y ganancias cercanas a US\$410,000. Por lo tanto, basados en la curva de rendimiento potencial determinada con el modelo de este estudio, la mortalidad de pesca podría ser aumentada para lograr mayores rendimientos de pesca y económicos a largo plazo. Sin embargo, la drástica disminución en las capturas registradas desde los años 70 en adelante, debido a los valores obtenidos de las proyecciones de población utilizadas para establecer las cuotas de captura, sugiere que la pesquería en los últimos años ha sido llevada a cabo con precaución; esto estaría de acuerdo con la longevidad del organismo, su alta vulnerabilidad y su alto precio, ya que estas características resultan en una alta presión de pesca, tanto legal como ilegal, sobre el recurso.

Los resultados de este estudio indican que el abulón de la zona tiene una mayor capacidad de explotación, basada en tanto los datos históricos de las capturas y el esfuerzo de pesca como los parámetros utilizados en el modelo. Sin embargo, no se debe ignorar la variabilidad que puede ocurrir en los procesos biológicos, como el reclutamiento, el crecimiento individual, el asentamiento larval como un periodo crítico en la vida del abulón y la mortalidad natural, entre otros, que contribuyen a la

la aplicación del modelo de estructura de la población, éste es del orden de 126 t de abulón azul, por lo que el nivel actual de capturas se encuentra por debajo de dicho punto. El máximo rendimiento económico fue estimado en aproximadamente \$1.05 millones de dólares americanos, con una mortalidad por pesca aproximado de $F = 0.9$. Conviene destacar que el modelo predice los rendimientos biológicos y económicos con base en la biomasa pescable estimada, siendo esta última comparada con respecto a las estimaciones de biomasa (organismos > 92 mm) realizadas de manera independiente de la pesquería en los últimos años. De esta comparación (fig. 4) se observa que existe un ajuste razonable, por lo que este resultado se considera como una adecuada "calibración del modelo", que le da soporte y validez.

Respecto a los escenarios de pesca planteados, a través de un aumento y disminución de la mortalidad por pesca en un 50% respecto a lo observado durante 1997, se puede mencionar que en el primer caso la producción aumenta 32% para el rendimiento biológico y 33% para el económico. En el caso de la disminución de la mortalidad por pesca se estiman reducciones de 43.5% para el rendimiento biológico y 43% para el económico, lo que indica que al menos en este nivel de aumento o disminución la población es más sensible a los decrementos de la mortalidad.

El nivel de capturas en la pesquería durante 1997 fue del orden de 41 t, con una mortalidad por pesca de $F = 0.13$ y utilidades en la fase extractiva de cerca de US\$410,000. Por tanto, desde el punto de vista de la curva del rendimiento potencial determinada por el modelo aquí presentado, habría posibilidades de aumentar la mortalidad por pesca, logrando con ello aumentos de los rendimientos pesqueros y económicos a largo plazo. Sin embargo, dada la drástica disminución de las capturas registradas a partir de los años setenta por los valores que

inherent and particular uncertainty of the fishing models or the biomass estimates that are made independently of the fishery. The output of the model with regard to the biological and economical potential yields and the management of the fishery at a level to the left of these are situations that have to do with elements outside the scope of this study, which attempts to contribute to the knowledge of this resource in the study area.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the directors and technical staff of the Federación Regional de Sociedades Cooperativas de la Industria Pesquera "Baja California", F.C.L., and of the Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera "California de San Ignacio" and "Leyes de Reforma" for providing the data used in this study. This study was financed by projects SIMAC94-CM02 and SIMAC97-0106020 of CONACYT; projects AYCG2/99 and AYCG2/2000 of the Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), and project PIFI-988004 of the Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). The first author acknowledges support from CONACYT (Reg. 119827) and the Programa Institucional de Formación de Investigadores-IPN during this study. E.A. Chávez received a COFFA-IPN scholarship. The authors also appreciate the suggestions and comments by the anonymous reviewers that improved the manuscript.

English translation by Jennifer Davis.

arrojan las prospecciones poblacionales para el establecimiento de cuotas de captura, éstas sugieren que la pesquería en los últimos años se estaría desarrollando en un ambiente de precauriosidad; esto sería acorde con la longevidad del

organismo, su alta vulnerabilidad y su alto precio, ya que estas características resultan en una tendencia de alta presión de pesca tanto legal como ilegal sobre el recurso.

Los resultados del trabajo indican una mayor capacidad de utilización del recurso abulonero en esta zona, de acuerdo con la información histórica de captura y esfuerzo, así como con los parámetros utilizados en el modelo. Sin embargo, esta situación por sí misma no desconoce la variabilidad que pueden presentar procesos biológicos tan importantes como el reclutamiento, el crecimiento individual, el asentamiento de larvas como periodo crítico de la vida del abulón, la mortalidad natural y otros más que se suman a la incertidumbre inherente y propia de los modelos pesqueros o las estimaciones de biomasa que se realizan de manera independiente de la pesquería. La salida del modelo en cuanto a rendimiento potencial y la operación de la pesquería en un nivel a la izquierda de éste en lo biológico y económico son situaciones que tienen que ver con elementos que van más allá del propio trabajo, ya que este último procura una aportación al conocimiento de este recurso en el área de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los directivos y cuerpo técnico de la Federación Regional de Sociedades Cooperativas de la Industria Pesquera "Baja California", F.C.L., y de las Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera "California de San Ignacio" y "Leyes de Reforma" su valioso apoyo para la obtención de información que ha sido utilizada para la realización del presente trabajo. Este trabajo fue realizado con apoyo parcial de los proyectos SIMAC94-CM02 y SIMAC97-0106020 de CONACYT, los proyectos AYCG2/99 y AYCG2/2000 del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), y el

proyecto PIFI-988004 del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). El primer autor agradece el apoyo tanto del CONACYT (Reg. 119827) como del Programa Institucional de Formación de Investigadores, IPN, durante la realización del presente estudio. E.A. Chávez es becario COFFA-IPN. Los autores agradecen las sugerencias y comentarios de los revisores anónimos que contribuyeron de manera sustantiva a mejorar este trabajo.

REFERENCIAS

- Beverton, R.J.H. and Holt, S.J. (1957). On the dynamics of exploited fish populations. UK Ministry of Agriculture and Fisheries, London, Fisheries Invest. Ser. 2, Vol. 19, 533 pp.
- Chapa, S.H. (1963). Los abulones. Importante recurso pesquero de México. Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General de Pesca, México. Trabajos de Divulgación, IV(34): 1-17.
- Chávez, E.A. (1996). Simulating fisheries for the assessment of optimum harvesting strategies. Naga, ICLARM, 19(2): 33-35.
- Cox, K.W. (1962). California abalones, family Haliotidae. Calif. Fish Game, Fish. Bull., 118: 1-133.
- De Buen, F. (1960). Abulones de Baja California. Moluscos del género *Haliotis*. Univ. Chile, Rev. Biol. Mar., 10(1-3): 201-207.
- Doi, T., Guzmán del Prío, S.A., Marín, V., Ortiz, M., Camacho, J. y Muñoz, T. (1977). Análisis de la población y diagnóstico de la pesquería de abulón amarillo *Haliotis corrugata* en el área de Abreojos e Isla de Cedros, Baja California. Instituto Nacional de Pesca, Ser. Científica, 18: 1-17.
- Guzmán del Prío, S.A. (1992). A review of the biology of abalone and its fishery in Mexico. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner and S.A. Guzmán del Prío (eds.), Abalone of the World. Biology, Fisheries and Culture. Proc. 1st International Symposium on Abalone. Fishing News Books, pp. 341-360.
- Guzmán del Prío, S.A. (1994). Biología, ecología y dinámica de población del abulón (*Haliotis* spp.)

- de Baja California, México. Tesis doctoral, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México, 173 pp.
- Guzmán del Prío, S.A. y Marín, V. (1976). Resultados preliminares sobre crecimiento de abulón amarillo y azul (*Haliotis corrugata* y *H. fulgens*) en Punta Abreojos, Baja California Sur. Instituto Nacional de Pesca, Ser. Científica, 17: 1-11.
- Guzmán del Prío, S.A. y López-Salas, F. (1993). Crecimiento de *Haliotis fulgens* en Bahía Asunción, Baja California Sur, México. An. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, 38: 59-66.
- Guzmán del Prío, S.A., Marín, V. y Castro, A. (1976). Estructura y abundancia de la población de *Haliotis* spp. de Baja California, 1968-1970. Memorias del Primer Simposio Nacional sobre Recursos Pesqueros Masivos de México. Vol. Esp. Abulón/Langosta, Instituto Nacional de Pesca, pp. 219-278.
- León, C.G. y Muciño, M. (1996). La Pesquería de abulón. En: M. Casas-Valdez y G. Ponce-Díaz (eds.), Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur. SEMARNAP/Gobierno de BCS/FAO/INP/UABCS/CIBNOR/CICIMAR/CetMar, pp. 15-41.
- Lluch-Belda, D., Guzmán del Prío, S.A., Ortiz, M.Q. y Marín, V. (1973). La pesquería de abulón en Baja California. Un análisis de su desarrollo histórico y perspectivas futuras. Instituto Nacional de Pesca, Ser. Información, 6: 1-21.
- Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D.B., Lluch-Cota, S.E. y Hernández-Vázquez, S. (1997). Análisis de la pesquería de abulón de la península de Baja California. Informe Técnico, presentado ante SEMARNAP, 31 pp.
- Marín, V. (1981). Parámetros poblacionales y diagnóstico de la pesquería de abulón amarillo (*Haliotis corrugata*) en Bahía Tortugas, Baja California Sur. Instituto Nacional de Pesca, Ciencia Pesquera, 1(2): 67-79.
- Muñoz, L.T. (1976). Los bancos abuloneros de la parte central de Baja California. Memorias del Primer Simposio sobre Recursos Pesqueros Masivos de México. Vol. Esp. Abulón/Langosta, Instituto Nacional de Pesca, 1: 161-184.
- Ortiz, M. (1966). Informe preliminar de las investigaciones sobre biología y pesca del abulón comercial de las islas de Cedros, Benitos y Guadalupe, Baja California. Dirección General de Pesca, INIBP, Trabajos de Divulgación, XI(109): 1-42.
- Ponce-Díaz, G., Vega-Velázquez, A., Ramade-Villanueva, M., León-Carballo, G. and Franco-Santiago, R. (1998). Socioeconomic characteristics of the abalone fishery along the west coast of the Baja California Peninsula, Mexico. J. Shellfish Res., 17(3): 853-857.
- Prince, D.J. and Guzmán del Prío, S.A. (1993). A stock reduction analysis of the Mexican abalone (*Haliotis*) fishery. Fish. Res., 16: 25-49.
- Ramade-Villanueva, R., Lluch-Cota, D.B., Lluch-Cota, S.E., Hernández-Vázquez, S., Espinoza-Montes, A. and Vega-Velázquez, A. (1998). An evaluation of the annual quota mechanism as a management tool in the Mexican abalone fishery. J. Shellfish Res., 17(3): 847-851.
- Rocha, E. y Arreguin-Sánchez, F. (1987). Diagnóstico de la pesquería de abulón (*Haliotis* spp.) de la península de Baja California, México. Investigaciones Marinas, CICIMAR, 3(2): 65-77.
- Shepherd, S.A. and Turrubiates, J. (1997). A practical chronology for the abalone *Haliotis fulgens*. Molluscan Res., 18: 219-226.
- Shepherd, S.A., Guzmán del Prío, S.A., Turrubiates, J., Belmar, J., Maker, J.L. and Sluczanowski, P.R. (1991). Growth, size at sexual maturity, and egg-per-recruit analysis of the abalone *Haliotis fulgens* in Baja California. Veliger, 34(4): 324-330.
- Tegner, M.J. and Dayton, P. (1987). El Niño effects on Southern California kelp forest communities. Adv. Ecol. Res., 17: 243-279.
- Turrubiates, J. and Castro-Ortiz, J.L. (1992). Growth of *Haliotis fulgens* in Bahía Tortugas, Baja California Sur, Mexico. Abalone of the World. Biology, Fisheries and Culture. Fish. Res. Papers, Australian Dept. Fisheries, Suppl. Papers, No. 24: 10-15.
- Vega, V.A., León, G. y Muciño, M. (1994). Sinopsis de información biológica, pesquera y acuacultural de los abulones (*Haliotis* spp.) de la península de Baja California, México. SEPESCA/CIBNOR, documento interno, 118 pp.

Caracterización multiescala de la temperatura del mar en una zona de bancos de abulón (*Haliotis* spp.) en Bahía Asunción, Baja California Sur, México

Multiscale characterization of the sea temperature in an area of abalone banks (*Haliotis* spp.) at Bahía Asunción, Baja California Sur, Mexico

Germán Ponce-Díaz^{1, 2*}
Salvador E. Lluch-Cota¹
J. Jesús Bautista-Romero¹
Daniel Lluch-Belda²

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Mar Bermejo #195
Col. Playa Palo de Santa Rita
Apartado postal 128
La Paz, CP 23090, Baja California Sur, México
*E-mail: gponce@cibnor.mx

² Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
Terrenos “El Conchalito” s/n
La Paz, Baja California Sur, México

Recibido en marzo de 2002; aceptado en abril de 2003

Resumen

La pesquería de abulón en Baja California es una de las más importantes en México debido a su alto valor comercial. A pesar de diversos esfuerzos de manejo, esta pesquería ha sufrido cambios drásticos que han sido atribuidos principalmente a la sobrepesca y a la variabilidad del clima marino. El presente trabajo analiza la variabilidad de la temperatura del mar en la región de Bahía Asunción, BCS, a escalas temporales que pueden afectar procesos biológicos del abulón tales como mortalidad, reproducción, reclutamiento y crecimiento individual, entre otros. El estudio se basa en diferentes fuentes de información. Se presenta el ciclo circadiano tipo y sus variaciones a lo largo del año y entre años para el periodo 1997–2000, el ciclo estacional y desviaciones interanuales para el periodo 1992–2000, la variabilidad a escala decadal sobre la base de valores anuales promedio del periodo 1959–1997 y el comportamiento de largo plazo con datos de todo el Siglo XX. Adicionalmente, se presenta un análisis de densidad espectral donde se estimaron los valores de contribución porcentual de cada región espectral (escala temporal) a la señal de variabilidad completa. Los resultados de variaciones de alta frecuencia (circadiana a interanual) sugieren una relación entre los ciclos reproductivos y de variación térmica, un efecto potencial negativo de los fenómenos ENSO de gran intensidad sobre las postlarvas de abulón con menor tolerancia a altas temperaturas, así como un efecto diferencial de la temperatura sobre juveniles de diferentes especies. Respecto de la baja frecuencia (decadal a siglo), es evidente que los años recientes representan una condición mucho más cálida que la que persistió durante las décadas anteriores, lo que sugiere estados diferentes de las comunidades biológicas en la región. En el área de estudio es notoria la ausencia de información sobre aspectos del clima marino, particularmente acerca de mediciones finas o de alta frecuencia.

Palabras clave: *Haliotis*, temperatura superficial del mar, Bahía Asunción, variabilidad climática, ENSO.

Abstract

The Baja California abalone is one of the most important Mexican fisheries because of its high economic value. Despite strong management efforts, this fishery has faced dramatic fluctuations attributed mainly to overfishing and variability of the marine climate. In this report we analyze sea temperature variability off Bahía Asunción, Baja California Sur (Mexico), at temporal scales that may affect abalone biological processes, such as mortality, reproduction, recruitment, and individual growth rate. Since the analysis is based on different data sources, we conducted a series of correlation analyses to determine the coherence between them. We report the average daily cycle and its variations throughout the year and between years for the period 1997–2000, the seasonal cycle and interannual deviations for the period 1992–2000, the behavior of the decadal scale variability based on annual values for the period 1959–1997, and the long-term trends after analyzing the entire 20th century. Furthermore, we conducted a spectral density analysis to estimate the proportional contribution of each temporal scale to the entire variability signal. Results from the high-frequency variability (daily to interannual) suggest a relationship between

temperature and the abalone reproductive cycles, a potential negative effect of the very strong ENSO events on the postlarvae, and a differential effect of temperature on juveniles of different species. Regarding the low-frequency variability (decadal to century), we show that recent years represent a much warmer period compared to previous decades, suggesting a different biological community structure between periods. The spectral density analysis indicates seasonal variability as the major contributor to the regional variability, followed by the interannual (related to ENSO). There is almost no information of the marine climate in this region, particularly in regard to fine and high-resolution observations. This contribution will provide new quantitative elements for studies dealing with the ecology of these coastal productive systems.

Key words: *Haliotis*, sea surface temperature, Bahía Asunción, climate variability, ENSO.

Introducción

Los abulones son gasterópodos marinos bentónicos que viven desde la zona intermareal hasta los 30–40 m de profundidad (Guzmán-del Prío, 1992). Estos organismos habitan en zonas rocosas entre bosques de macroalgas y asociados a una comunidad de gran riqueza específica. Las especies de abulón de mayor talla se encuentran en zonas que presentan corrientes con aguas frías y templadas a lo largo de las costas continentales donde predominan las algas cafés (Cox, 1962).

En México la producción pesquera de abulón de los últimos años ha oscilado alrededor de las 350–400 t anuales de callo, con un valor estimado entre 17 y 36 millones de dólares (Ponce-Díaz *et al.*, 1998; INP, 2000). En años recientes la pesquería mexicana de abulón ha sufrido una disminución drástica de sus capturas (INP, 2000). Esta situación se ha relacionado con procesos de sobrepesca (Breen, 1992; Guzmán-del Prío 1992; Prince y Guzmán-del Prío 1993); sin embargo, alternativamente se ha propuesto la idea de que los bajos rendimientos de esta pesquería podrían ser explicados en parte por la variabilidad del clima marino (Guzmán-del Prío, 1994; Vega *et al.*, 1995; Lluch-Belda *et al.*, 1997; Shepherd *et al.*, 1998; Ponce-Díaz *et al.*, 2000).

La temperatura ambiental ha sido señalada como uno de los factores importantes que influyen en la distribución y abundancia de los organismos. Se han mencionado patrones y cambios de largo plazo de la variabilidad interanual dentro del sistema de la Corriente de California, la cual tiene influencia en el área de distribución del recurso abulón (Lluch-Belda *et al.*, 2001). Por ejemplo, en Bahía Magdalena, ubicada al sur de la Península de Baja California, se ha observado que los cambios de temperatura se asocian a eventos intra e interanuales y presentan una considerable magnitud de cambio, lo que implica que las especies que habitan esta región deben estar adaptadas a muy diferentes condiciones térmicas (Lluch-Belda *et al.*, 2000).

En ese sentido, es importante analizar la variabilidad del clima marino en términos de los cambios de la temperatura del mar a las diferentes escalas temporales (circadianas, estacionales, interanuales y de largo plazo) a que están expuestos los recursos pesqueros, en este caso el abulón. Tales cambios de temperatura pueden tener consecuencias sobre procesos biológicos que inciden en la productividad del recurso, tales como mortalidad, reproducción, reclutamiento y crecimiento individual, entre otros.

Introduction

Abalones are benthic marine gastropods found from the intertidal zone to 30–40 m depth (Guzmán-del Prío, 1992). These organisms inhabit rocky areas among macroalgal forests and are associated with a community of great specific richness. The large-sized abalone species are found in areas where cold and warm-water currents occur along the continental coasts dominated by brown algae (Cox, 1962).

In Mexico, during the past few years the abalone fishery has produced about 350–400 t annually of meat, with an estimated value of 17–36 million US dollars (Ponce-Díaz *et al.*, 1998; INP, 2000). In recent years, the catches of this species have decreased considerably (INP, 2000). This has been mainly attributed to overfishing (Breen, 1992; Guzmán-del Prío, 1992; Prince and Guzmán-del Prío, 1993); however, another explanation that has been tendered for the low yields is the variability of the marine climate (Guzmán-del Prío, 1994; Vega *et al.*, 1995; Lluch-Belda *et al.*, 1997; Shepherd *et al.*, 1998; Ponce-Díaz *et al.*, 2000).

Ambient temperature is considered one of the important factors that affect the distribution and abundance of organisms. Patterns and long-term changes in the interannual variability have been reported for the California Current system, which influences the area of distribution of this resource (Lluch-Belda *et al.*, 2001). In Bahía Magdalena, for example, located in the southern Baja California Peninsula, the changes in temperature are associated with intra- and interannual events and the extent of variation is considerable; this indicates that the species found in this region must adapt to different thermal conditions (Lluch-Belda *et al.*, 2000).

It is therefore important to analyze the variability of the marine climate in terms of changes in sea temperature at different time scales (daily, seasonal, interannual and long-term) to which the fishery resources are exposed, in this case the abalone. Such changes in temperature may affect the biological processes that determine the productivity of the resource, such as mortality, reproduction, recruitment and individual growth, among others.

The present study characterizes the variability of sea temperature in the region of Bahía Asunción. Different variation cycles were analyzed, from the circadian to the decadal, including El Niño events, and the long-term trends for the 20th century were determined.

El presente trabajo muestra una caracterización de la variabilidad de la temperatura del mar en la región de Bahía Asunción, analizando diferentes ciclos de variación, desde los circadianos hasta los decadales, incluyendo eventos de El Niño, junto con una visión de largo plazo para identificar la tendencia general durante el siglo más reciente.

Área de estudio

Bahía Asunción (fig. 1) se encuentra enclavada en la parte central de la costa occidental de la Península de Baja California y presenta una línea costera en donde se alternan litorales rocosos con zonas de playa arenosa. A lo largo de este litoral ocurren especies de importancia comercial como el abulón y la langosta (Vega *et al.*, 1995; León-Carballo y Muciño-Díaz, 1996; Vega-Velázquez *et al.*, 1996). En la zona de Bahía Asunción, al menos, se tienen cuantificados 50 bancos en producción de *Haliotis fulgens* Philippi, 1854 y *H. corrugata* Wood, 1828 (Muñoz, 1976), en asociación con macroalgas de la especie *Eisenia arborea* Areschoug 1876 y, en menor grado, con *Macrocyctis pyrifera* (L.) C. Agardh 1820, la cual está limitada a la región norte de esta área de estudio (Hernández-Carmona *et al.*, 2000).

La parte sur del área de estudio (en las inmediaciones de Punta San Hipólito) es considerada como una zona de surgencias temporales y de giros que propician altas producciones biológicas en estos litorales (Walsh *et al.*, 1974, 1977). De hecho, se ha documentado el papel que tienen los nutrientes provenientes de estos procesos oceanográficos sobre las poblaciones de macroalgas en la región de estudio (Hernández-Carmona *et al.*, 2000), mismas que son la fuente primordial de alimento para abulones.

En esta parte de la costa occidental de la Península de Baja California ocurren eventos oceanográficos que determinan que el área de estudio sea considerada como una zona de transición entre aguas templadas y tropicales y, por ende, una frontera provincial de varios grupos taxonómicos, incluyendo peces costeros, braquiuros, briozoarios y moluscos (Hewitt, 1981). Asimismo, esta porción de la costa occidental de la península ha sido caracterizada por la presencia de variaciones de periodo corto en la circulación anticiclónica, o giros oceánicos con intensificaciones o relajamientos de surgencias (Amador-Buenrostro *et al.*, 1995).

Material y métodos

Los datos de temperatura utilizados en este trabajo provienen de diversas fuentes:

- (a) Datos de temperatura *in situ* registrados cada hora o cada dos horas. Las mediciones se hicieron a una profundidad de entre 5 y 6 m, por medio de un termógrafo de registro continuo en un banco abulonero cercano a la Isla Asunción, a una distancia aproximada de 300 m de la línea de costa durante el periodo de 1997 a 2000 (Ponce-Díaz *et al.*, 2003).

Study area

Bahía Asunción (fig. 1) is located on the west coast of the central part of the Baja California Peninsula (Mexico). The coastline is rocky interspersed with sandy beaches, and provides habitat for commercially important species such as abalone and lobster (Vega *et al.*, 1995; León-Carballo and Muciño-Díaz, 1996; Vega-Velázquez *et al.*, 1996). In the region of Bahía Asunción, there are at least 50 banks of *Haliotis fulgens* Philippi, 1854 and *H. corrugata* Wood, 1828 (Muñoz, 1976), associated with macroalgae of the species *Eisenia arborea* Areschoug 1876 and, to a lesser extent, *Macrocyctis pyrifera* (L.) C. Agardh 1820, which is limited to the northern part of the study area (Hernández-Carmona *et al.*, 2000).

Upwelling and eddies occur in the southern part of the study area, around Punta San Hipólito, creating favourable conditions for high biological productivity along the coast (Walsh *et al.*, 1974, 1977). The nutrients resulting from these oceanographic processes are important for the macroalgal populations in this region (Hernández-Carmona *et al.*, 2000), which in turn are the abalone's main source of food.

As a result of the oceanographic events that occur off the west coast of the Baja California Peninsula, the study area is considered to be a transition zone between temperate and

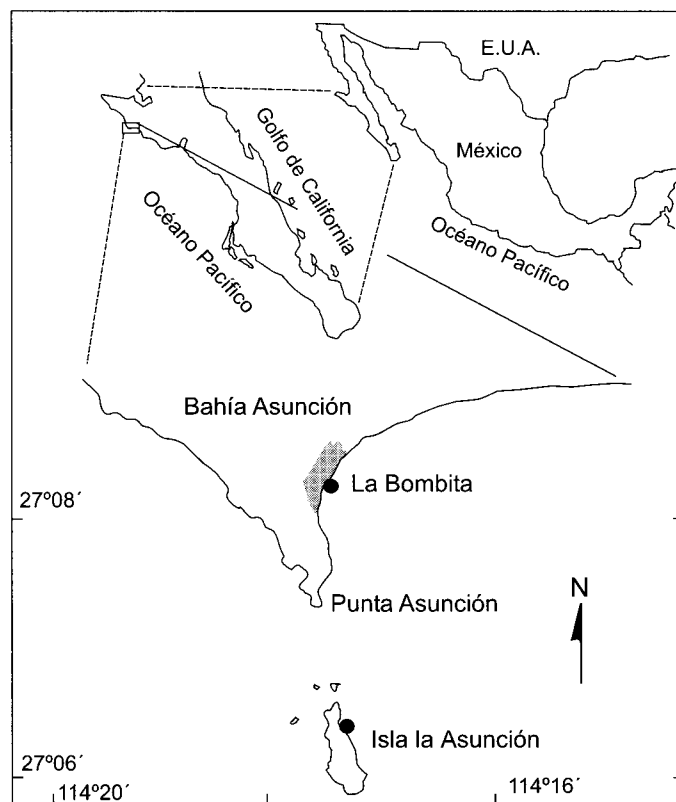


Figura 1. Área de estudio.
Figure 1. Study area.

- (b) Datos de temperatura superficial del mar registrados cada 24 h en el interior de Bahía Asunción, en el periodo de 1992 a 2000 (Ponce-Díaz *et al.*, 2003).
- (c) Datos de temperatura superficial del mar de una serie integrada y proporcionada por el Dr. Arthur V. Douglas (Department of Atmospheric Sciences, Creighton University, EUA), la cual consiste en registros mensuales para el cuadrante 115°–116° W y 27°–28° N, derivados a partir del análisis de regresión lineal múltiple entre mediciones de temperatura superficial del mar y datos de anillos de crecimiento de árboles (Douglas, 1976, 1980). Se utilizó esta información a partir 1959 y hasta 1997, años para los que se tienen datos sobre la pesquería de abulón en la zona de estudio.
- (d) Datos de temperatura superficial del mar de la base COADS (Comprehensive Ocean-Data Set/National Oceanic and Atmospheric Administration) con registros mensuales para el cuadrante contiguo a la zona de estudio (114°–116° W, 26°–28° N), que contiene información desde 1900 hasta 1996, y que son resultado de observaciones de muestreos directos con boyas oceanográficas y registros tomados en barcos de oportunidad (Woodruff *et al.*, 1993).

Análisis de datos

A partir de las fuentes de información básicas de temperatura del mar registrada con frecuencia horaria y cada 24 h, se realizó un análisis de correlación para determinar la correspondencia entre las series. Asimismo, se llevó a cabo este análisis entre los datos de mediciones de la temperatura superficial del mar realizadas cada 24 h y la serie de datos de temperatura mensual media de Douglas, y entre esta última y la serie de COADS.

Ciclo circadiano

El ciclo circadiano tipo se estimó a partir de los promedios de todos los valores horarios registrados por el termógrafo para 2000 y se ajustó un ciclo de dos armónicos. Posteriormente se calculó la forma en que varían los ciclos diarios a lo largo del año mediante los promedios de invierno (diciembre a febrero), primavera (marzo a mayo), verano (junio a agosto) y otoño (septiembre a noviembre) de 2000. Para cada caso se ajustó un ciclo.

Para evaluar la magnitud de los cambios en el ciclo circadiano que pueden esperarse entre años, se calculó el valor mensual promedio de amplitud del ciclo diario (valor máximo-mínimo) y se comparó con el valor estimado de amplitud sobre la base del año 2000.

Ciclo estacional

En la serie de mediciones de escala interanual se presentaron, al menos, dos eventos intensos de la Oscilación del Sur

tropical waters and, therefore, a provincial border for several taxonomic groups, including coastal fishes, brachiurans, bryozoans and molluscs (Hewitt, 1981). Likewise, this region has been characterized by the presence of short-term variations of the anticyclonic circulation or oceanic eddies with the intensification or relaxation of upwelling (Amador-Buenrostro *et al.*, 1995).

Material and methods

The temperature data used in this study were obtained from different sources:

- (a) *In situ* temperature data recorded every one or two hours. The measurements were done at a depth of 5–6 m with a continuous recording thermograph at an abalone bed near Isla Asunción, approximately 300 m from the coast, from 1997 to 2000 (Ponce-Díaz *et al.*, 2003).
- (b) Sea surface temperature data recorded every 24 h in the inner part of Bahía Asunción, from 1992 to 2000 (Ponce-Díaz *et al.*, 2003).
- (c) Sea surface temperature data from an integrated series provided by Dr. Arthur V. Douglas (Department of Atmospheric Sciences, Creighton University, USA). This series consists of monthly records for the 115°–116° W and 27°–28° N quadrant, derived from multiple linear regression analysis between sea surface temperature measurements and tree-ring data (Douglas, 1976, 1980). The information for the 1959–1997 period was used, as data for the abalone fishery in the study area are available for these years.
- (d) Mean monthly sea surface temperature data from the Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (COADS, National Oceanic and Atmospheric Administration) for the quadrant contiguous to the study area (114°–116° W, 26°–28° N), containing information from 1900 to 1996, obtained from direct sampling observations with oceanographic buoys and from ships of opportunity (Woodruff *et al.*, 1993).

Data analysis

Based on the different data sources, a correlation analysis was conducted to determine the coherence between the sea temperature measurements recorded hourly and every 24 h. This analysis was also done between the sea surface temperature measurements recorded every 24 h and Douglas's series of mean monthly temperature data, and between the latter and the COADS series.

Circadian cycle

The average daily cycle was estimated using the means of all the hourly values recorded by the thermograph for the

El Niño (ENSO, por sus siglas en inglés) durante el periodo de estudio (1992–1993 y 1997–1998); por esta razón los análisis de escala circadiana y estacional se realizaron tomando para todos los cálculos el año 2000 como referencia, ya que se puede considerar un año cercano a las condiciones medias de los años recientes.

La variabilidad estacional fue tratada mediante el promedio de los datos diarios de la variable registrada, de los que se obtuvieron los valores mensuales de temperatura del mar.

Variabilidad interanual

Los valores correspondientes a 2000 se ajustaron a un ciclo de dos armónicos, el cual se utilizó para estimar desviaciones o anomalías de la temperatura superficial del mar para el periodo 1992–2000.

Variabilidad de largo plazo

La variabilidad de largo plazo fue determinada mediante la utilización de los promedios anuales de la temperatura superficial del mar, derivados a partir de la base de datos de Douglas para el cuadrante $1^\circ \times 1^\circ$ más contiguo a la zona de estudio, y de la base COADS para el cuadrante $114^\circ\text{--}116^\circ\text{ W}$, $26^\circ\text{--}28^\circ\text{ N}$.

Dado que las anomalías de la serie Douglas están referidas al periodo 1959–1997, se calculó la relación entre éstas y las del cuadrante COADS, que cubre desde 1900 hasta 1996 ($r = 0.909^{**}$, $n = 41$), con una diferencia entre ambas de $+0.2827^\circ\text{C}$.

Partiendo de la información de COADS, para el análisis de la condición general de la zona con respecto a la variación de largo plazo se compararon las anomalías anuales obtenidas con las tendencias suavizadas mediante un filtro Hamming de 10 años, a lo largo del siglo, en el cuadrante seleccionado.

Análisis espectral

La serie Douglas, la cual coincide con los años de información de la pesquería de abulón en la zona, fue tratada mediante técnicas de series de tiempo para calcular la contribución relativa de las diferentes escalas de variabilidad a la señal completa de la serie. El procesamiento incluyó la eliminación de la media y la tendencia, la aplicación de un filtro pesado Hamming de 9 términos, y se estimaron las densidades espectrales derivadas de una transformación rápida de Fourier. Posteriormente, se agruparon los valores de densidad espectral para regiones definidas por su frecuencia: intraanual no estacional (< 11 meses); estacional (11–13 meses); oscilación *quasi*-bianual (QBO, por sus siglas en inglés) que incluye la alta frecuencia del ENSO (13–36 meses); ENSO (su baja frecuencia; 36–88 meses); decadal (88–180 meses); bidecadal (180–360 meses); y de muy baja frecuencia (> 360 meses). Para cada categoría se promediaron los valores de densidad espectral y se ponderaron sobre la base del recorrido correspondiente de las frecuencias. Finalmente, se estimaron

year 2000, fitted to a cycle of two harmonics. The variation of the daily cycles throughout the year was then determined, using the winter (December to February), spring (March to May), summer (June to August) and autumn (September to November) averages of 2000; one cycle was fitted for each case.

To determine the expected variations in the daily cycle between years, the mean monthly amplitude value of the daily cycle (maximum–minimum value) was calculated and compared with the amplitude value estimated for 2000.

Seasonal cycle

In the interannual series of measurements, at least two intense El Niño/Southern Oscillation (ENSO) events occurred during the study period (1992–1993 and 1997–1998); therefore, the data for 2000 were used as reference for the daily and seasonal analyses, as this year can be considered typical of the average conditions for recent years.

The seasonal variability was determined based on the average of the daily data of the variable recorded, from which the monthly sea temperature values were obtained.

Interannual variability

The values corresponding to the year 2000 were fitted to a cycle of two harmonics, which was used to estimate deviations or anomalies in the sea surface temperature for the period 1992–2000.

Long-term variability

The long-term variability was determined using the annual averages of sea surface temperature, derived from Douglas's data set for the $1^\circ \times 1^\circ$ quadrant contiguous to the study area and from COADS for the $114^\circ\text{--}116^\circ\text{ W}$, $26^\circ\text{--}28^\circ\text{ N}$ quadrant.

Since the anomalies of the Douglas series refer to the period 1959–1997, the relationship was determined between these data and those of COADS for the period 1900–1996 ($r = 0.909^{**}$, $n = 41$), with a difference of $+0.2827^\circ\text{C}$ between both.

Based on the information provided by COADS, for the analysis of the general condition of the area relative to the long-term variability, a comparison was made of the annual anomalies obtained with the trends smoothed using a 10-year Hamming filter for the century in the selected quadrant.

Spectral analysis

Time series techniques were applied to the Douglas series, which covers years for which data exist for the abalone fishery in the area, to estimate the proportional contribution of each temporal scale to the entire variability signal. The process includes the elimination of the mean and the trend, the application of a 9-weight Hamming filter, and the calculation

los valores de contribución porcentual de cada región espectral a la señal completa y se estimó de nueva cuenta eliminando el estacional.

Resultados

El análisis de correlación entre las mediciones de temperatura del mar, temperatura *in situ* y temperatura superficial del mar registradas de manera diaria en las inmediaciones de la Bahía Asunción, y su relación con la derivada de la serie Douglas y, a su vez, de ésta última con respecto a la de COADS, es estadísticamente significativa en todos los casos, por lo que el análisis llevado a cabo tiene un soporte adecuado.

En la figura 2 se muestran las series de datos de mediciones diarias y horarias en la zona de estudio. En ella se observa la presencia de dos eventos ENSO intensos, 1992–1993 y 1997–1998; el rango de la temperatura para las series oscila entre los 11°C y 29°C aproximadamente.

La relación funcional entre los datos del termógrafo de registro continuo y los datos tomados en la estación de registro diario en el interior de Bahía Asunción alcanza un coeficiente de correlación $r = 0.952$ con $n = 704$ (fig. 3a). La relación entre los datos de la serie histórica de Douglas y los registros diarios de temperatura (fig. 3b) muestra igualmente una correlación alta con un coeficiente $r = 0.909$ y con $n = 49$.

La variabilidad de la temperatura con una escala circadiana se analiza con una perspectiva anual y estacional. Se observa que tanto en invierno como en primavera se presenta un ciclo circadiano con dos máximos al día. En la estación de primavera se presentan las temperaturas del mar más bajas (fig. 4a, b).

Por otra parte, esta escala circadiana se analiza en términos de las variaciones en la amplitud de este ciclo con respecto a una comparación entre años (fig. 5). En 2000, la amplitud del ciclo diario varía estacionalmente de alrededor de 0.6°C en el

of the spectral densities derived from a fast Fourier transform. The spectral density values were then grouped into categories defined by their frequency: non-seasonal intra-annual (< 11 months); seasonal (11–13 months); quasi-biannual oscillation, including the high frequency of ENSO (13–36 months); ENSO (its low frequency, 36–88 months); decadal (88–180 months); bidecadal (180–360 months); and very low frequency (> 360 months). For each category, the spectral density values were averaged and weighted based on the period corresponding to the frequencies. Finally, the percentage of contribution of each spectral category to the entire signal was estimated, and estimated again eliminating the seasonal group.

Results

The correlation analysis between sea temperature measurements, *in situ* temperature measurements and sea surface temperature recorded daily in the area of Bahía Asunción, and the relation between the last and Douglas's data and, in turn, between the Douglas and COADS series, is statistically significant in all cases; hence, the analysis is adequately supported.

Figure 2 shows the data series of the daily and hourly measurements in the study area. The presence of two intense ENSO events (1992–1993 and 1997–1998) can be appreciated. Sea temperature ranged from 11°C to 29°C.

The relation between the thermograph data and the data recorded daily within Bahía Asunción presented a correlation coefficient of $r = 0.952$ and $n = 704$ (fig. 3a). The relation between Douglas's data and the daily temperature measurements (fig. 3b) also presented a high correlation, with a coefficient of $r = 0.909$ and $n = 49$.

The daily variability of temperature was analyzed from an annual and seasonal perspective. In winter as well as in spring, the circadian cycle presents two daily maxima. The lowest sea temperatures were recorded in spring (figs. 4a, b).

The daily cycle was also analyzed in terms of the variations of the amplitude of this cycle relative to a comparison between years (fig. 5). In 2000, the amplitude of the daily cycle varied seasonally from around 0.6°C in winter to around 1.5°C in summer; previously, the amplitudes were in general lower and constant throughout the year, especially during the 1997–1998 El Niño.

Both the seasonal pattern based on the 2000 data and the deviations of this pattern, considering the years from 1992 to 1999, are presented in figure 6. The lowest temperature was recorded in May and the highest in September (fig. 6a). The deviations of the series clearly show the presence of the 1992–1993 and 1997–1998 ENSO events, as well as the opposite phenomenon (La Niña) during 1999–2000 (fig. 6b).

In figure 7, the mean annual anomalies of the Douglas series are compared to those of the COADS series for the selected quadrant, with smoothed tendencies since the year 1900.

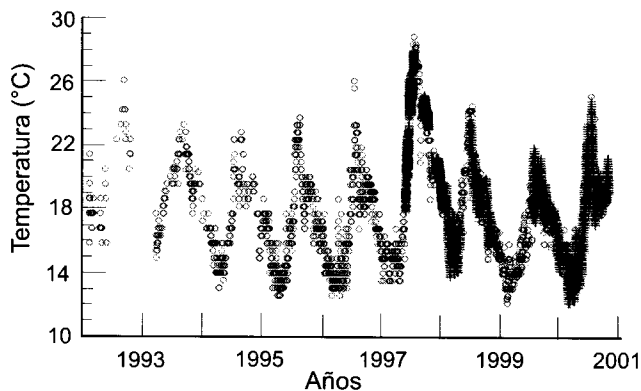


Figura 2. Series de temperatura del mar de alta frecuencia registradas en la zona de estudio. Temperatura superficial del mar registrada cada 24 horas (o). Temperatura del mar *in situ* (banco abulonero) registrada de forma horaria (+).

Figure 2. High-frequency sea temperature series for the study area. Sea surface temperature recorded every 24 h (o). *In situ* temperature (abalone bed) recorded every hour (+).

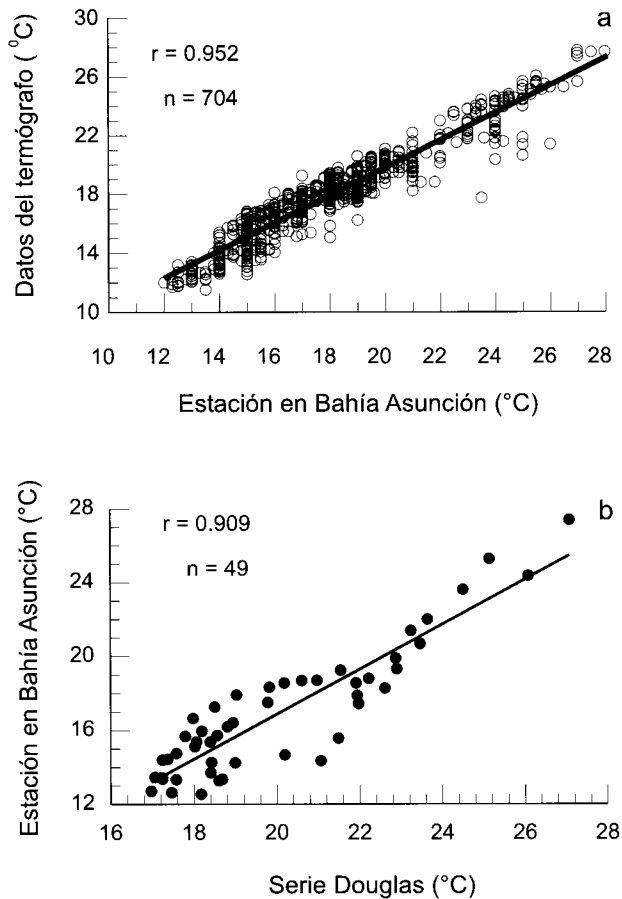


Figura 3. (a) Relación entre la temperatura superficial del mar registrada cada 24 horas y la temperatura del mar *in situ* (banco abulonero) registrada de forma horaria; (b) relación entre la temperatura superficial del mar registrada cada 24 horas y el promedio mensual de la temperatura del mar de la serie Douglas.

Figure 3. (a) Relation between sea surface temperature recorded every 24 h and *in situ* sea temperature (abalone bed) recorded hourly. (b) Relation between sea surface temperature recorded every 24 h and the monthly mean sea temperature from the Douglas series.

invierno hasta alrededor de 1.5°C en el verano, mientras que durante el periodo previo las amplitudes son, en general, más bajas y constantes a lo largo del año, especialmente durante El Niño 1997–1998.

Tanto el patrón estacional con base en los datos de 2000 como las desviaciones de este patrón, considerando los años de 1992–1999, se presentan en la figura 6. En la figura 6a se aprecia que la temperatura más baja se presentó durante el mes de mayo, mientras que la más alta ocurrió en septiembre. Por otra parte, en la figura 6b, de las desviaciones de la serie se observan con claridad la presencia de los eventos El Niño de 1992–1993 y 1997–1998, así como el fenómeno opuesto (La Niña) durante los años 1999–2000.

En la figura 7 se comparan las anomalías anuales medias entre la serie Douglas, ajustadas a la diferencia observada con respecto a la serie COADS del cuadrante seleccionado, sobre un marco general de tendencias suavizadas desde 1900.

En la figura 8 se aprecian los valores del periodograma y la contribución relativa de las señales de los componentes

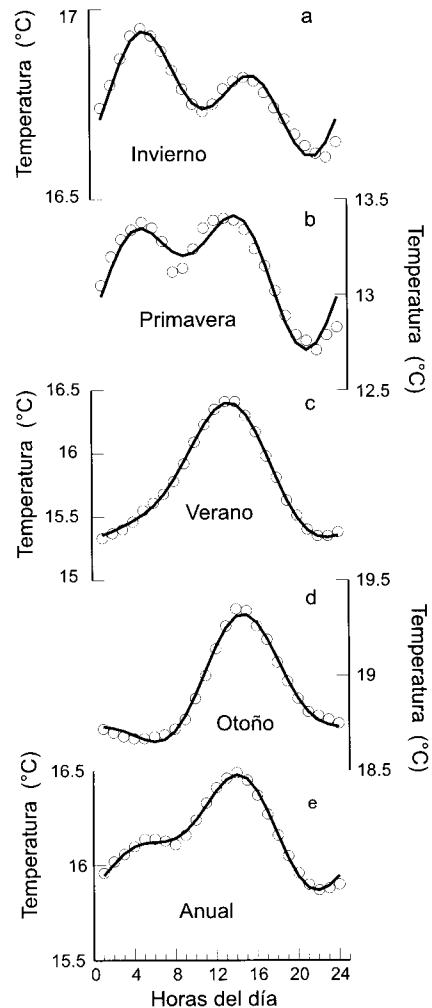


Figura 4. Ciclo circadiano de la temperatura del mar como promedio estacional: (a) invierno, (b) primavera, (c) verano, (d) otoño y (e) promedio anualizado.

Figure 4. Circadian cycle of sea temperature as seasonal average: (a) winter, (b) spring, (c) summer, (d) autumn, and (e) annualized average.

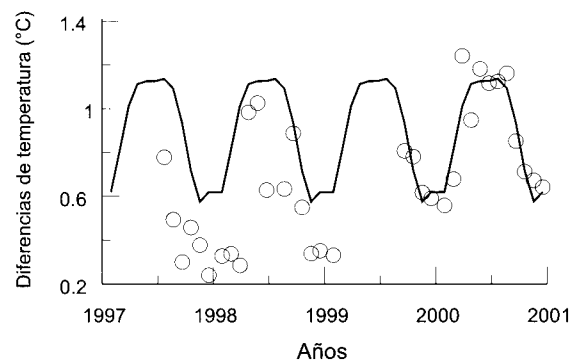


Figura 5. Comportamiento interanual de la amplitud del ciclo diario de la temperatura del mar. Valores obtenidos de los promedios mensuales (o). Ciclo ajustado para el año 2000 (—).

Figure 5. Interannual behaviour of the amplitude of the daily cycle of sea temperature. Values obtained from the monthly means (o). Cycle fitted for the year 2000 (—).

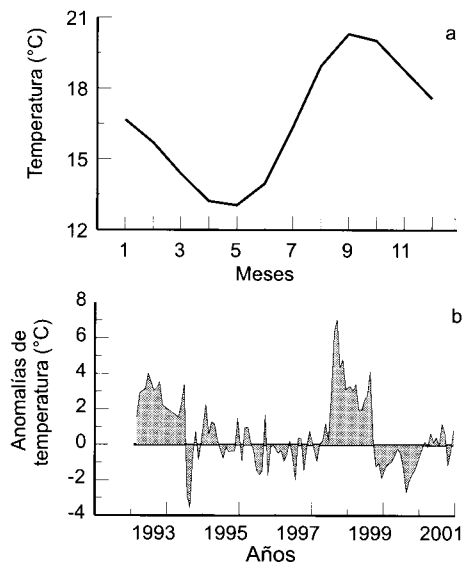


Figura 6. (a) Ciclo mensual de la temperatura del mar, ajustado al año 2000. **(b)** Desviaciones de la serie del ciclo de la temperatura del mar como valor mensual, estimadas con referencia al año 2000.

climáticos detectados por el análisis en esta caracterización ambiental de la zona de estudio. Los componentes estacional e interanual que reporta el análisis espectral resultan de particular importancia.

Discusión

Leighton (1974) mencionó que las postlarvas de *H. corrugata* y *H. fulgens* (abulón amarillo y azul, respectivamente) presentan límites de tolerancia a la temperatura entre los 23.5°C y 26.0°C, aunque las mayores sobrevivencias (cercanas al 100%) fueron típicamente con valores intermedios de temperaturas dentro de un rango de 7°C a 31°C, y se observó un rápido aumento en la mortalidad en las vecindades de los valores extremos. Lo anterior sugiere un efecto negativo potencial de los fenómenos ENSO de gran intensidad sobre las postlarvas de abulón, con menor tolerancia a valores altos de temperatura que pudiera estar ocurriendo en Bahía Asunción, si se toman en cuenta a los valores absolutos de temperatura *in situ* observados. Tal es el caso de las temperaturas más altas reportadas en este trabajo para esta área (28–29°C) y que coinciden con las épocas reproductivas de estas especies.

Las tasas de crecimiento son diferenciales para los juveniles de *H. corrugata* y *H. fulgens*; los mayores incrementos se alcanzan a los 24°C para la primera especie mientras que, para la segunda, se dan entre los 27°C y 28°C (Leighton, 1974). Lo anterior indica que el abulón azul durante esa etapa podría verse favorecido con incrementos de temperatura derivados de los eventos ENSO no intensos si, por supuesto, existiera alimento adecuado disponible. Existe información de campo sobre juveniles de abulón que permite plantear esta hipótesis (Rodríguez-Valencia y Caballero-Alegría, 2002).

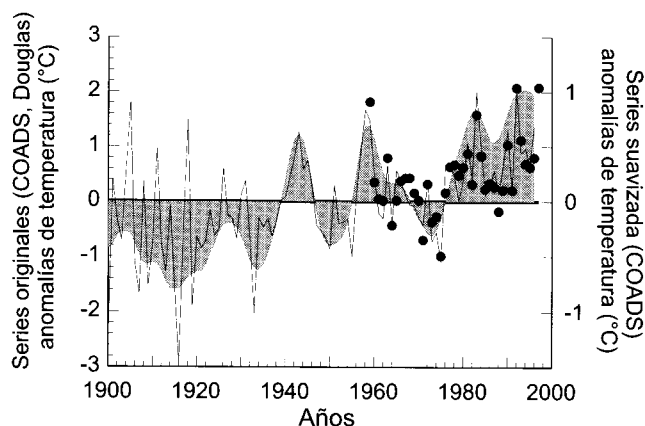


Figura 7. Comparación entre las anomalías anuales de la serie COADS con tendencias suavizadas (líneas continuas y sombreado) y datos promedios anuales de la serie Douglas (puntos).

Figure 8 shows the values of the periodogram and the relative contribution of the signals of the climatic components detected by the analysis in this environmental characterization of the study area. Particularly important are the seasonal and interannual components of the spectral analysis.

Discussion

Leighton (1974) reported that the postlarvae of *H. corrugata* and *H. fulgens* pink and green abalone, respectively) have tolerance limits to temperatures between 23.5°C and 26.0°C, though greatest survival (nearly 100%) typically occurs with intermediate temperature values, ranging from 7°C

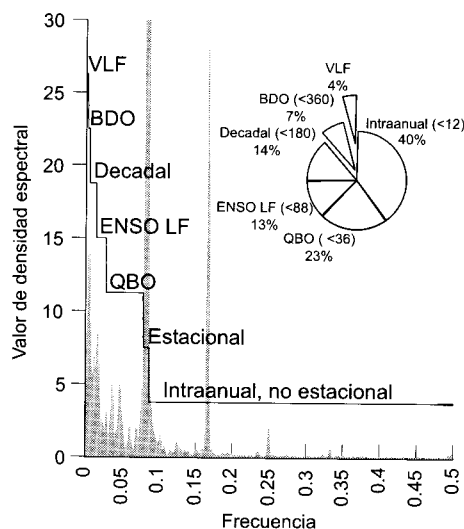


Figura 8. Periodograma (valor de la densidad espectral) de la serie de temperatura superficial del mar de la serie Douglas.

La presencia de las temperaturas más bajas en primavera coincide con los fenómenos de surgencias reportados para la zona (Walsh *et al.*, 1974, 1977). En invierno y primavera se observa un ciclo circadiano con dos máximos durante el día (fig. 4a, b), mientras que en verano y otoño el ciclo está marcado por la presencia de un solo máximo hacia mediodía y mínimos en las primeras horas del día (fig. 4c, d). En otoño es cuando se tiene reportado el mayor pico del desove de abulón (Guzmán-del Prío, 1992; Belmar y Guzmán-del Prío, 1992) y, en este caso, es cuando se observan las temperaturas más altas (19.5°C), por lo que asumimos que a estas temperaturas se disparan mecanismos reproductivos de las especies de abulón de Bahía Asunción.

El promedio del ciclo circadiano anualizado se comporta de manera muy parecida a lo que ocurre en verano y otoño, por lo que es de suponer que estos patrones dominan el promedio anual. Por otra parte, es importante mencionar que, si bien la variación en magnitud de la temperatura entre mínimos y máximos se encuentra prácticamente en todas las estaciones del año dentro de los límites de 1°C, en valores absolutos se registraron desde los 12.5°C como mínimo en primavera hasta aproximadamente 19°C como máximo en otoño, lo que hace una diferencia de hasta 6.5°C en el ciclo circadiano, por estación, durante el año (fig. 4 a–d).

El ciclo mensual ajustado muestra claramente la estacionalidad de la temperatura del mar. Abril y mayo son los meses con temperaturas más bajas, en contraste con agosto, septiembre y octubre que son los de temperaturas con mayor magnitud. Las desviaciones de la serie de temperaturas diarias, con respecto a 2000, muestran claramente desviaciones positivas durante los años de 1992–1993 y 1997–1998, tal y como era de esperarse dada la presencia del fenómeno de El Niño en esos años a los que les sigue un periodo de temperaturas más bajas en general.

Respecto al comportamiento interanual de la temperatura del mar, referido a 2000 (fig. 5) se aprecia que particularmente las diferencias en la amplitud del ciclo diario son menores en los años 1997–1998, o año Niño, que en otro periodo. Esto significaría que las altas temperaturas que se presentaron en estos años se mantuvieron relativamente constantes, a diferencia de lo observado en los otros años; adicionalmente, la variación es más amplia hacia la época invernal.

Es de resaltar que las condiciones de largo plazo en general están identificadas con una tendencia de temperaturas relativamente bajas hasta finales de los años treinta. Posteriormente, se presenta una etapa de marcada variabilidad desde principios de los años cuarenta hasta mediados de los setenta y, a partir de la segunda mitad de dicha década, se presenta un cambio hacia temperaturas más altas como lo muestran las anomalías de la temperatura superficial del mar (fig. 7). Esta condición de aumento de temperatura de manera constante y sostenida, sugiere que las condiciones de la comunidad donde se desarrolla el abulón, pudiesen verse alteradas paulatinamente y potencialmente afectar en alguna medida la biología poblacional de cada una de las especies de este gasterópodo

to 31°C; the author also observed an increase in mortality around the extreme values. This suggests a potential negative effect of the intense ENSO events on the abalone postlarvae, with less tolerance to high temperatures in Bahía Asunción, if the absolute *in situ* temperature values are considered, as is the case of the highest temperatures reported herein for this area (28–29°C), which coincide with the reproductive seasons of these species.

The growth rates are different for the juveniles of *H. corrugata* and *H. fulgens* and the largest increases occur at 24°C for the former and at 27–28°C for the latter (Leighton, 1974). This indicates that increases in temperature as a result of non-intense ENSO events may favour the juvenile stages of the green abalone, if of course the appropriate food is available. Field data exist for abalone juveniles that support this hypothesis (Rodríguez-Valencia and Caballero-Alegria, 2002).

The occurrence of the lowest temperatures in spring coincides with the upwelling phenomena reported for the region (Walsh *et al.*, 1974, 1977). The circadian cycle in winter and spring presents two daily maxima (fig. 4a, b), whereas in summer and autumn the cycle presents one maximum towards noon and minima in the first few hours of the day (fig. 4c, d). Abalone spawning has been reported to peak in autumn (Guzmán-del Prío, 1992; Belmar and Guzmán-del Prío, 1992), which is when the highest temperatures were recorded (19.5°C); we therefore assume that at these temperatures, reproductive mechanisms are triggered in the abalone species of Bahía Asunción.

The behaviour of the average of the annualized daily cycle is similar to that of summer and autumn, leading to the assumption that these patterns dominate the annual average. It is also important to mention that even though the variation between maximum and minimum temperature occurs within the limits of 1°C in all the seasons, in absolute values, a minimum of 12.5°C was recorded in spring and a maximum of ~19°C in autumn, which makes a difference of 6.5°C in the daily cycle per season during the year (fig. 4a–d).

The fitted monthly cycle clearly shows the seasonality of the sea temperature. The months with the lowest temperatures were April and May, whereas August, September and October had the highest temperatures. The deviations in the daily temperature series, with respect to the year 2000, as expected clearly indicate positive deviations during the 1992–1993 and 1997–1998 ENSO years, which were followed by a period of lower temperatures.

Regarding the interannual behaviour of sea temperature, with reference to 2000 (fig. 5), the differences in the amplitude of the daily cycle are lower during the 1997–1998 El Niño than in any other period. This means that the high temperatures that occurred during these years remained relatively constant as opposed to that observed in other years; also, there is greater variation towards winter.

It should be noted that the long-term conditions are identified with a trend of relatively low temperatures until the late 1930s, followed by a period of marked variability from the

que se distribuyen en la zona de estudio, o bien de alguna otra especie relevante de la comunidad (Guzmán-del Prío, 1994; Lluch-Belda *et al.*, 1997; Shepherd *et al.*, 1998).

En la perspectiva del siglo, es evidente que los años recientes (después de mediados de los setenta) presentan una condición mucho más cálida que la que persistió durante las décadas anteriores. De hecho, la región era alrededor de 1.3°C más fría durante las primeras décadas del siglo (1900–1935) que en los tiempos recientes (1978–1996). El periodo de inicio y desarrollo de la pesquería (1950–1975) fue, en promedio, 0.7°C más frío que el actual.

Considerando la caracterización ambiental con perspectiva de siglo, es posible que un aumento sostenido de la temperatura en los últimos años pudiera haber afectado mayormente a la flora y la fauna bentónicas característica de la comunidad rocosa de los bancos pesqueros de abulón de la zona: *Macrocystis pyrifera*, *Eisenia arborea*, *Astraea undosa* Wood 1828, *Haliotis fulgens*, *H. corrugata*, *Bossiella orbigniana* (Dec.) Silva 1957, *Corallina officinalis* Linnaeus 1758, *C. pinnatifolia* (Manza) Dawson 1953, *Megathura crenulata* Sowerby 1825 y *Phyllospadix torreyii* Hodgson 1980; ya que en este grupo, salvo por las especies de *Corallina* que tienen origen subtropical, el componente principal es de origen templado (Guzmán-del Prío *et al.*, 1991). Esta hipótesis es coherente con los resultados del trabajo de Barry *et al.* (1995), quienes reportan un cambio de largo plazo en la composición de especies de invertebrados en una comunidad rocosa intermareal en la parte central de California, EUA, en la que las abundancias de ocho de nueve especies con distribución sureña se incrementaron significativamente, mientras que las abundancias de cinco de ocho especies de afinidad norteaña decrecieron de forma significativa entre 1931–1933 y 1993–1994, mismo periodo en el que se registró, en promedio, un aumento de la temperatura del mar.

Adicionalmente, uno de los componentes más relevantes de la comunidad, como lo es *M. pyrifera*, ha sido estudiado con una perspectiva de largo plazo en la parte sur de California y se concluyó que la biomasa de esta macroalga disminuyó en aproximadamente dos tercios desde 1957. Esta disminución se ha relacionado estrechamente con un aumento de la temperatura del mar y con la limitación concomitante de nutrientes claves para el desarrollo de esta especie (Tegner *et al.*, 1996).

Actualmente *H. fulgens* es la especie que más contribuye a la pesquería en Bahía Asunción, con alrededor del 90%, mientras que *H. corrugata* aporta aproximadamente un 9% (León-Carballo y Muciño-Díaz, 1996). Sin embargo, *H. corrugata* fue el principal componente de la pesquería durante los inicios de ésta y fue reduciendo su aportación de manera continua y de forma más evidente a mediados de los años setenta (Ponce-Díaz *et al.*, 2000). Por otro lado, en California recientemente se ha prohibido la captura del abulón ya que se observaron tendencias de disminución en sus poblaciones desde principios de los cincuenta para *H. corrugata*, y a mediados de los setenta para *H. fulgens*, hasta llegar al punto de cerrar la pesquería (Karpov *et al.*, 2000). Esta situación indica que estas especies

early 1940s to the mid-1970s. In the second half of the latter decade, there is a change to higher temperatures, as shown by the sea surface temperature anomalies (fig. 7). This constant and sustained increasing temperature trend suggests that the conditions of the community where the abalone develops could be gradually altered and in some way affect the populational biology of the species of this gastropod that occur in this area or of any other relevant species in the community (Guzmán-del Prío, 1994; Lluch-Belda *et al.*, 1997; Shepherd *et al.*, 1998).

The perspective for the 20th century shows that warmer conditions prevailed after the mid-1970s. In fact, the region was 1.3°C colder during the first years of the century (1900–1935) than in recent times (1978–1996). The period when the fishery began and was developed (1950–1975) was, on average, 0.7°C cooler than at present.

Considering the environmental characterization for the century, it is possible that a sustained increase in temperature in the last few years could significantly affect the characteristic benthic flora and fauna of the rocky community of abalone banks in the area: *Macrocystis pyrifera*, *Eisenia arborea*, *Astraea undosa* Wood 1828, *Haliotis fulgens*, *H. corrugata*, *Bossiella orbigniana* (Dec.) Silva 1957, *Corallina officinalis* Linnaeus 1758, *C. pinnatifolia* (Manza) Dawson 1953, *Megathura crenulata* Sowerby 1825, and *Phyllospadix torreyii* Hodgson 1980. Except for the species of *Corallina*, which are of subtropical origin, the other species of this group are of temperate origin (Guzmán-del Prío *et al.*, 1991). This hypothesis concurs with the results of Barry *et al.* (1995), who reported a long-term change in the composition of invertebrate species in an intertidal rocky community of central California (USA), where the abundance of eight of nine species of southern distribution increased significantly, while the abundance of five of eight species of northern affinity decreased significantly between 1931–1933 and 1993–1994, period in which an average increase in sea temperature was recorded.

In addition, a long-term study conducted in southern California on *M. pyrifera*, which is one of the most important components of the community, revealed that the biomass of this macroalga decreased by approximately two thirds since 1957. This decrease has been related to an increase in sea temperature and to the concomitant limitation of key nutrients for the development of this species (Tegner *et al.*, 1996).

At present, *H. fulgens* is the species that contributes most to the fishery at Bahía Asunción, around 90%, while *H. corrugata* accounts for 9% (León-Carballo and Muciño-Díaz, 1996). However, *H. corrugata* was the principal component of the fishery when it began, but its contribution began to decrease steadily at first and more notably by the mid-1970s (Ponce-Díaz *et al.*, 2000). On the other hand, in California, the capture of abalone has recently been banned as a result of the steady decline in its populations since the early 1950s, in the case of *H. corrugata*, and the mid-1970s, in the case of *H. fulgens*, leading to the collapse of the fishery (Karpov *et al.*, 2000). This indicates that these species have a differential tolerance to the climatic conditions of the region; hence, *H.*

presentan una tolerancia diferencial a las condiciones del clima en la región; así, *H. fulgens* tiene una mayor adaptación a esta zona de transición que otras especies de abulones según lo demuestra su elevada participación en la proporción de las capturas en años recientes que se distinguen por ser más cálidos de lo normal, así como por su distribución más sureña pues la especie ocurre hasta los límites de Bahía Magdalena (Cox, 1962). No obstante, esta posibilidad de un efecto de largo plazo (por temperatura) en la reducción de las poblaciones de *H. corrugata* no elimina la potencial causa de su disminución del abulón amarillo por la pesca o una interacción de estos dos factores.

Por otra parte, el análisis de densidad espectral indica que la mayor contribución a la variabilidad de la serie es el componente estacional; conviene subrayar que el componente interanual es el segundo factor que explica la mayor variabilidad de los datos, lo cual se identifica seguramente con la ocurrencia de fenómenos tipo ENSO en la zona y el consecuente efecto de estos fenómenos sobre la comunidad en general. Ante la presencia de eventos tipo ENSO se ha sugerido la ocurrencia de cambios en el sentido de una reducción de ciertas poblaciones de pelágicos menores, reducción de alimento, cambios temporales en la estructura trófica de los sistemas, invasión de especies tropicales hacia zonas templadas e incluso cambios en la biodiversidad; sin embargo, todos estos cambios, deletéreos para ciertas especies, tienen un carácter episódico como el propio fenómeno de El Niño y su efecto en la comunidad biótica depende de su intensidad y duración (Guzmán-del Prío *et al.*, en prensa).

En relación a los efectos de El Niño 1997–1998, para la costa occidental central de la Península de Baja California se ha reportado un efecto directo sobre la comunidad de los mantos de *M. pyrifera*, los cuales desaparecieron totalmente hacia finales del otoño (noviembre de 1997) y, en el caso de *E. arborea*, la especie quedó reducida a unos cuantos especímenes defoliados en la zona contigua a Bahía Tortugas (Guzmán-del Prío *et al.*, en prensa). Sin embargo, para zonas más al sur, el efecto sobre *E. arborea* no fue tan drástico (Hernández-Carmona *et al.*, 2001). Este efecto deletéreo sobre estas macroalgas es relevante por su condición de ser fuente de dietas naturales para el abulón (Guzmán-del Prío *et al.*, 1991; Serviere-Zaragoza *et al.*, 1998). Otro efecto directo observado sobre los componentes de la comunidad, producto de la variación interanual de la temperatura del mar, es la disminución en el reclutamiento de juveniles de abulón para la zona de Bahía Tortugas durante el fenómeno ENSO más intenso (Carreón-Palau, 2000; Guzmán-del Prío *et al.*, en prensa). Todo lo anterior revela la importancia de la variación interanual detectada en el análisis espectral.

En el área de estudio es notoria la ausencia de información sobre aspectos del clima marino, particularmente acerca de mediciones finas o de alta frecuencia; la información disponible está asociada a datos de gran escala y de baja frecuencia, como son las series de temperatura superficial del mar de COADS o la serie Douglas. Por tanto, consideramos que este

fulgens presents greater adaptation to this transition zone than other abalone species, as shown by its high percentage in the composition of the catches in recent years, which have been warmer than normal, as well as by its more southern distribution that extends to the limits of Bahía Magdalena (Cox, 1962). Nevertheless, this possibility of a long-term effect of temperature on the decrease of the populations of *H. corrugata* does not eliminate fishing, or an interaction of these two factors, as the potential cause for the decline of this species.

The spectral density analysis indicates that the seasonal component is the major contributor to the variability of the series. The interannual component is the second factor that explains the variability of the data, and is probably related to the occurrence of ENSO events in the region and to the effect of these phenomena on the community in general. It has been suggested that ENSO events are responsible for the depletion of certain populations of minor pelagics, a decrease in food, temporal changes in the trophic structure of the systems, invasion of temperate zones by tropical species and even changes in the biodiversity; however, all these changes, deleterious for certain species, are episodic, just like the El Niño phenomenon, and their effect on the biotic community depends on their intensity and duration (Guzmán-del Prío *et al.*, in press).

On the west coast of the central part of the Baja California Peninsula, the 1997–1998 El Niño had a direct effect on the *M. pyrifera* beds, which disappeared completely by the end of autumn (November 1997), and *E. arborea* was reduced to a few defoliated specimens in the area contiguous to Bahía Tortugas (Guzmán-del Prío *et al.*, in press). However, in areas further south, the effect on *E. arborea* was not so drastic (Hernández-Carmona *et al.*, 2001). This harmful effect on these macroalgae is relevant because they are an important part of the abalone's natural diet (Guzmán-del Prío *et al.*, 1991; Serviere-Zaragoza *et al.*, 1998). Another direct effect of the interannual variation of sea temperature on the components of the community is the decrease in the recruitment of abalone juveniles in the area of Bahía Tortugas during the most intense ENSO event (Carreón-Palau, 2000; Guzmán-del Prío *et al.*, in press). All the above indicate the importance of the interannual variation detected in the spectral analysis.

There is a notable lack of information for the study area regarding aspects of the marine climate, particularly fine or high-frequency measurements. The information available is associated with large-scale and low-frequency data, such as the COADS and Douglas series. We therefore consider that this study contributes to the knowledge of the climatic variability of the region and that the information will be useful for future analyses related to organisms that make up the communities found in these highly productive coastal systems.

Acknowledgements

The authors thank the Federación Regional de Cooperativas de Producción Pesquera Baja California, the Leyes de Reforma and California de San Ignacio fishing

trabajo es una aportación al conocimiento de la variabilidad climática de la zona y que brindará más elementos cuantitativos para futuros análisis relacionados con los organismos que conforman las comunidades presentes en estos sistemas costeros altamente productivos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Federación Regional de Cooperativas de Producción Pesquera *Baja California*, a las cooperativas de producción pesquera *Leyes de Reforma y California de San Ignacio*, al Programa Langosta del Centro Regional de Investigaciones Pesqueras de La Paz (INP), a Fernando López-Salas y a Gustavo Hernández-Carmona (CICIMAR-IPN) por su apoyo en las tareas de campo y/o por proporcionar parte de la información utilizada, al Laboratorio de Modelación y Pronóstico Pesquero del CIBNOR por la sistematización de los datos, y al Dr. Sergio A. Guzmán-del Prío (ENCB-IPN) por leer y comentar críticamente el manuscrito inicial. Este trabajo fue financiado parcialmente por el CIBNOR (Programa Ecología Pesquera RP-6) y el CONACYT (proyecto 35151B). GPD y JJBR son becarios CONACYT (registros 119827 y 163276, respectivamente). Finalmente se agradece a los cuatro revisores anónimos, quienes aportaron valiosas sugerencias e ideas que contribuyeron a mejorar este trabajo.

Referencias

- Amador-Buenrostro, A., Argote-Espinoza, M.L., Mancilla-Peraza, M. y Figueroa-Rodríguez, M. (1995). Variaciones de período corto de la circulación anticiclónica en Bahía Sebastián Vizcaíno, B.C. *Cien. Mar.*, 21(2): 201–223.
- Barry, J.P., Baxter, C.H., Sagarin, R.D. and Gilman, S.E. (1995). Climate-related, long-term changes in a California rocky intertidal community. *Science*, 267: 672–675.
- Belmar-Pérez, J. y Guzmán-del Prío, S.A. (1992). Madurez sexual y ciclo gonádico en *Haliotis fulgens* y *Astraea undosa* en Bahía Tortugas. En: S.A. Guzmán-del Prío (ed.), Taller México-Australia sobre reclutamiento de recursos bentónicos de Baja California. SEPESCA / IPN, pp. 121–129.
- Breen, P.A. (1992). A review of models used for stock assessment in abalone fisheries. In: S.A. Shepherd, J.M. Tegner and S.A. Guzmán-del Prío (eds.), *Abalone of the World: Biology, Fisheries and Culture*. Fishing News Books, Cambridge, UK, 607 pp.
- Carreón-Palau, L. (2000). Microhabitat, distribución y abundancia de juveniles de abulón, *Haliotis fulgens* y *H. corrugata* en Bahía Tortugas, B.C.S., México. Tesis de maestría, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, 79 pp.
- Cox, K.W. (1962). Californian abalones, family Haliotidae. *Calif. Fish Game*, 118: 1–133.
- Douglas, A.V. (1976). Past air-sea interactions over the eastern North Pacific Ocean as revealed by tree-ring data. Department of Geosciences, Tucson, University of Arizona, 196 pp.
- Douglas, A.V. (1980). Geophysical estimates of sea-surface temperatures off North America. *CalCOFI Rep.*, 21: 102–112.
- Guzmán-del Prío, S.A., Mille-Pagaza, S.R., Guadarrama-Granados, R., De la Campa-de Guzmán, S., Carrillo-Laguna, J., Pereira-

cooperatives, and the Programa Langosta of the Centro Regional de Investigaciones Pesqueras at La Paz (INP). Special thanks to Fernando López-Salas and Gustavo Hernández-Carmona (CICIMAR-IPN) for their help with the field work and providing part of the information used, to the Laboratorio de Modelación y Pronóstico Pesquero of CIBNOR for the systematization of the data, and to Dr. Sergio A. Guzmán-del Prío (ENCB-IPN) for his critical comments to the original manuscript. This study was partially funded by CIBNOR (Programa Ecología Pesquera RP-6) and CONACYT (project 35151B). GPD and JJBR received scholarships from CONACYT (grants 119827 and 163276, respectively). Finally, we thank four anonymous reviewers for their comments and suggestions that helped to improve this work.

English translation by Christine Harris.

- Corona, A., Belmar-Pérez, J., Parra-Alcocer, M. de J. y Luque-Guerrero, A.C. (1991). La comunidad bentónica de los bancos de abulón (*Haliotis* spp. Mollusca: gasteropoda) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, (36): 27–59.
- Guzmán-del Prío, S.A. (1992). A review of the biology of abalone and its fishery in Mexico. In: S.A. Shepherd, J.M. Tegner and S.A. Guzmán-del Prío (eds.), *Abalone of the World: Biology, Fisheries and Culture*. Fishing News Books, Cambridge, UK, 607 pp.
- Guzmán-del Prío, S.A. (1994). Biología, ecología y dinámica de población de abulón (*Haliotis* spp.) de Baja California, México. Tesis doctoral, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, 188 p.
- Guzmán-del Prío, S.A., Carreón-Palau, L., Belmar-Pérez, J., Carrillo-Laguna, J. y Herrera-Fregoso, R. Efectos del fenómeno de “El Niño” sobre el reclutamiento de invertebrados bentónicos de Baja California. *Geofis. Int.* (en prensa).
- Hernández-Carmona, G., García, O., Robledo, D. and Foster, M. (2000). Restoration techniques for *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyceae) populations at the southern limit of their distribution in Mexico. *Bot. Mar.*, (43): 273–284.
- Hernández-Carmona, G., Robledo, D. and Serviere-Zaragoza, E. (2001). Effect of nutrient availability on *Macrocystis pyrifera* recruitment and survival near its southern limit off Baja California. *Bot. Mar.*, (44): 221–229.
- Hewitt, R. (1981). Eddies and speciation in the California Current. *CalCOFI Rep.*, 22: 96–98 p.
- INP (2000). Pesquería de abulón. En: *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo 1999–2000*. Instituto Nacional de la Pesca. CD-Rom.
- Karpov, K.A., Haaker, P.L., Taniguchi, I.K. and Rogers-Bennett, L. (2000). Serial depletion and the collapse of the California abalone (*Haliotis* spp.) fishery. Workshop on rebuilding abalone stocks in British Columbia. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 130: 11–24.
- Leighton, D.L. (1974). The influence of water temperature on larval and juvenile growth in three species of southern Californian abalones. *Fish. Bull.*, (72): 1137–1145.
- León-Carballo, G. y Muciño-Díaz, M. (1996). Pesquería de abulón. En: M. Casas-Valdéz y G. Ponce-Díaz (eds.), *Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur*. SEMARNAP, Gob. BCS, FAO, INP, UABCS, CIBNOR, CICIMAR, CETmar, pp. 15–41.

- Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D.B., Lluch-Cota, S.E. y Hernández-Vázquez, S. (1997). Análisis de la pesquería de abulón de la península de Baja California. Informe Técnico, CIBNOR, 19 pp.
- Lluch-Belda, D., Hernández-Rivas, M., Saldierna-Martínez, R. y Guerrero-Caballero, R. (2000). Variabilidad de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena, B.C.S. *Océánides*, 15(1): 1–23.
- Lluch-Belda, D., Laurs, R.M., Lluch-Cota, D.B. and Lluch-Cota, S.E. (2001). Long-term trends of interannual variability in the California Current System. *CalCOFI Rep.*, 42: 129–144.
- Muñoz, L.T. (1976). Los bancos abuloneros de la parte central de Baja California. Memorias del Primer Symposium sobre recursos pesqueros Masivos de México. Vol. Esp. sobre Abulón/Langosta. INP 1: 161–184.
- Ponce-Díaz, G., Vega-Velázquez, A., Ramade-Villanueva, M., León-Carballo, G. and Franco-Santiago, R. (1998). Socioeconomic characteristics of the abalone fishery along the west coast of Baja California Peninsula, Mexico. *J. Shellfish Res.*, 17(3): 853–857.
- Ponce-Díaz, G., Chávez, E.A. y Ramade-Villanueva, M. (2000). Evaluación de la pesquería de abulón azul *Haliotis fulgens* en Bahía Asunción, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*, 26(3): 393–412.
- Ponce-Díaz, G., López-Salas, F., Hernández-Carmona, G., Lluch-Cota, S., Bautista-Romero, J. y Lluch-Belda, D. (2003). Base de datos de la temperatura del mar en Bahía Asunción, Baja California Sur, México. Instituto de Investigaciones Oceanológicas/Universidad Autónoma de Baja California, México, Reporte Técnico 2003-01, 16 pp. (Disponible on-line, formato pdf, en: <http://rcmarinas.ens.uabc.mx/~cmarinas/reportes/reportetecnico012003.pdf>).
- Prince, J.D. and Guzman del Próo, S.A. (1993). A stock reduction analysis of Mexican abalone (*Haliotid*) fishery. *Fish. Res.*, (16): 25–49.
- Rodríguez-Valencia, J.A. and Caballero-Alegría, F. (2002). Temporal fluctuations (1989–1999) in the populations of *Haliotis fulgens* and *H. corrugata* (Gastropoda: Haliotidae), at Isla San Benito (Baja California, Mexico). *J. Shellfish Res.*, 21(1): 163–171.
- Serviere-Zaragoza, E., Gómez-López, D. and Ponce-Díaz, G. (1998). The natural diet of the green abalone (*Haliotis fulgens* Philippi) in the southern part of its range, Baja California Sur, Mexico, assessed by an analysis of gut contents. *J. Shellfish Res.*, 17(3): 777–782.
- Shepherd, S.A., Turrubiates, J.R. and Hall, K. (1998). Decline of the abalone fishery at La Natividad, Mexico: Overfishing or climate change? *J. Shellfish Res.*, 17(3): 839–846.
- Tegner, M.J., Dayton, P., Edwards, P.B. and Riser, K.L. (1996). Is there evidence for long-term climatic change in southern California kelp forest? *CalCOFI Rep.*, 37: 111–126.
- Vega, A., Lluch-Belda, D., Muciño, M., León, G., Hernández, S., Lluch-Cota, D., Ramade, M. and Espinoza, G. (1995). Development, perspectives and management of lobster and abalone fisheries off northwest Mexico, under a limit access system. *Proc. 2nd World Fisheries Congress*. Collingwood, VIC, Australia, 797 pp.
- Vega-Velázquez, A., Espinosa-Castro, G. y Gómez-Rojo, C. (1996). Pesquería de langosta *Panulirus* spp. En: M. Casas-Valdez y G. Ponce-Díaz (eds.), *Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur*. SEMARNAP, Gob. BCS, FAO, INP, UABCS, CIBNOR, CICIMAR, CETmar, pp. 227–261.
- Walsh, J.J., Kelly, J.C., Whitehead, T.E., MacIssac, J.J. and Huntsman, S.A. (1974). Spin-up of the Baja California upwelling ecosystem. *Limnol. Oceanogr.*, 19(4): 553–573.
- Walsh, J.J., Whitehead, T.E. Kelly, J.C., Huntsman, S.A. and Pillsbury, R.D. (1977). Further transition states of the Baja California upwelling ecosystem. *Limnol. Oceanogr.*, 22(2): 264–280.
- Woodruff, S.D., Lubker, S.J., Wolter, K., Worley, S.J. and Elms, J.D. (1993). Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (COADS) Release 1a: 1980-92. *Earth System Monitor*, 4(1): 1–8. (<http://www.cdc.noaa.gov/coads/coads1a.html>).

Base de datos de la temperatura del mar en Bahía Asunción, Baja California Sur, México

Sea-temperature database for Bahía Asunción, Baja California Sur, Mexico

G. Ponce-Díaz, F. López-Salas, G. Hernández-Carmona
S. Lluch-Cota, J. Bautista-Romero y D. Lluch-Belda



**Base de datos de la temperatura del mar en Bahía Asunción,
Baja California Sur, México**
Sea-temperature database for Bahía Asunción, Baja California Sur, Mexico

G. Ponce-Díaz^{1,3}, F. López-Salas², G. Hernández-Carmona³
S. Lluch-Cota¹, J. Bautista-Romero¹ y D. Lluch-Belda³

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
km 0.5 Carretera a San Juan de la Costa, "El Comitán", La Paz, Baja, California Sur, México. C.P. 23000

² Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera "Leyes de Reforma".
Domicilio conocido, Bahía Asunción, Baja California Sur, México.

³ Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas - IPN.
Playa del Conchalito s/n, La Paz, Baja California Sur, México. C.P. 23090

La base de datos que se presenta en este Reporte Técnico, es la conjunción de registros de temperatura del mar obtenidos por distintas entidades (de investigación y productivas) en Bahía Asunción, Baja California Sur, México, (fig. 1) y que se midieron con una frecuencia de 1, 12 y 24 datos por día.

La base incluye registros horarios obtenidos mediante un termógrafo óptico StowAway fabricado por Onset Computer Co. con una precisión de centésimas de grado centígrado, e incluye mediciones diarias obtenidas con un termómetro de mercurio. Dado que éstos fueron los dos equipos utilizados en la generación de la información aquí reportada, en el laboratorio se llevó a cabo una comparación entre los registros de cada instrumento de medición, con objeto de conocer la relación existente entre ambos tipos de registros (fig. 2). El termógrafo se instaló en una varilla inmersa en una base de cemento a aproximadamente 5 metros de profundidad, en un sitio localizado dentro de un banco de abulón frente a Isla Asunción, B.C.S. (27°06'33"N y 114°17'12"W; fig. 1). La operación del termógrafo incluyó el desmonte del aparato para su transportación a la base de trabajo en La Paz, B.C.S., donde los datos se descargaron por medio de una computadora teniéndose que esperar a la siguiente campaña de muestreo para viajar a la zona de estudio y colocar nuevamente el equipo bajo el mar. Por esta razón, durante 1997 los registros abarcan únicamente del 12 de julio al 3 de septiembre y del 27 de octubre al 2 de diciembre; en 1998, del 18 de enero al 20 de junio y del 12 de agosto al 30 de diciembre; para 1999 se cuenta con datos del 1 al 30 de enero y del 12 de septiembre al 31 de diciembre; y para 2000, del 1 de enero al 1 de marzo y del 7 de abril al 31 de diciembre. Si bien, por limitaciones de la batería entre agosto de

The database herein presented is a collection of the sea temperature records at Bahía Asunción, Baja California Sur, Mexico (fig. 1) taken by different research and productive institutions, at resolutions of 1, 12 and 24 data daily.

The database includes hourly records obtained by a StowAway optical thermograph manufactured by Onset Computer Co., with precision of hundredths of Celsius degrees, and daily measurements with a mercury thermometer. Given the equipment used for generating the information reported here, a comparison between the records of each measuring instrument was carried out with the aim of revealing the relationship that exists between both kinds of records (fig. 2). The thermograph was installed in a rod immersed in a cement base at approximately 5 m depth, in the middle of an abalone bank in front of Isla Asunción, B.C.S. (27°06'33"N and 114°17'12"W; fig. 1). The operation of the thermograph included its removal and transportation to the work station in La Paz, B.C.S., where data were transferred to a computer. Time gaps occurred between each sampling campaign to replace the thermograph back in the sea. Because of this, the records during 1997 are from July 12th to September 3rd and from October 27th to December 2nd, whereas for 1998, data cover January 18th to June 20th and from August 12th to December 30st. For 1999 there are data from January 1st to 31st and from September 12th to December 31st and for 2000 there are records from January 1st to March 1st and from April 7th to December 31st. Between August 1998 and January 1999, the thermograph was programmed to record every 2 hours due to battery limitations, there are hourly records for the rest of the periods. It is worth mentioning that in some months there are not enough data for reliable

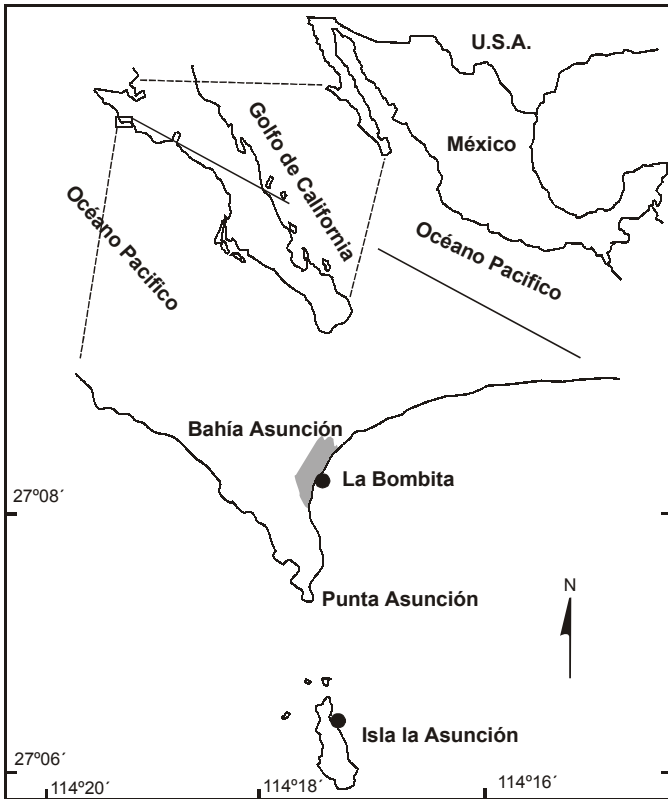


Figura 1. Área de estudio y puntos de toma de mediciones de temperatura de mar.

Figure 1. Study area and sea-temperature measuring sites.

1998 y enero de 1999 se programó el termógrafo para registrar la temperatura cada dos horas, en todos los demás periodos se tienen mediciones horarias. Cabe resaltar que, a pesar de que en algunos meses los datos son insuficientes para un cálculo confiable de estadísticos, se decidió mantener éstos como referencia y para no perder series continuas de registro; sin embargo, recomendamos al usuario tener en cuenta este problema.

También se incorporaron a la base registros diarios de la temperatura superficial del mar para el periodo entre febrero de 1992 y diciembre de 2000. Estas mediciones fueron tomadas mediante un termómetro de bulbo de mercurio, con precisión de décimas de grado centígrado, en la estación de medición de temperatura de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Leyes de Reforma denominada La Bombita (27°08'20"N y 114°17'38"W; fig. 1), en Bahía Asunción, B.C.S.

Las tablas que se presentan denotan valores estadísticos convencionales: promedio (P), desviación estándar (DE), valor máximo (máx), valor mínimo (mín)

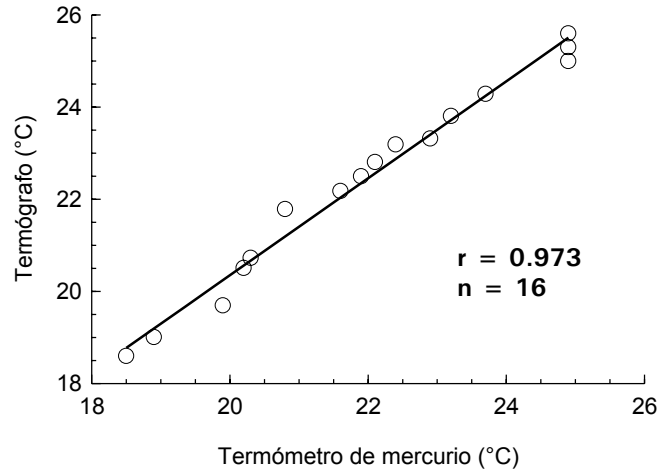


Figura 2. Curva de comparación entre termógrafo y termómetro de bulbo de mercurio obtenida en laboratorio.

Figure 2. Comparison curve obtained in the laboratory between thermograph and Hg-bulb thermometer.

statistical estimations. We decided to keep them as a reference in order not to lose continuous series of records. However, this should be kept in mind when using these records.

As well, daily records of the sea surface temperature for the period from February 1992 to December 2000 were included in the database. These measurements were taken with a mercury bulb thermometer with a precision of tenths of Celsius degrees at the temperature recording station of the fishing cooperative Leyes de Reforma, called *La Bombita* (27°08'20"N and 114°17'38"W; fig. 1) in Bahía Asunción, B.C.S.

The tables denote conventional statistical values: average (P), standard deviation (DE), maximum value (máx), minimum value (mín) and number of observations (*n*); in all cases, *n* is the number of data used to obtain P and DE. Tables 1 and 2 were built from hourly records (thermograph) and were processed to illustrate the hourly variation per month (table 1) and the daily one (table 2). On the other hand, table 3 was derived from daily records (mercury bulb thermometer) and also summarizes data for each month. Figure 3 shows the comparison between the thermograph daily averages and the values from the thermometer for the period when data and the relationship was statistically significant ($P > 0.01$, $n = 704$).

The data reported here were useful for performing an analysis of the sea temperature variability in this zone (Ponce-Díaz *et al.*, 2002, submitted), and we consider that part of the importance of these records lies in the fact that they were taken in an area where an important abalone (*Haliotis spp.*) fishery occurs, so they are particularly relevant for biological-fishery studies related to this species or to other components

y número de observaciones (n). En todos los casos n corresponde con el número de datos utilizados para obtener el P y la DE. Tanto la tabla 1 como la 2 fueron construidas a partir de los registros horarios (termógrafo), y éstos fueron procesados para ilustrar la variación horaria por mes (tabla 1) y la diaria (tabla 2). Por otra parte, la tabla 3 se deriva de los registros diarios (termómetro de bulbo de mercurio) y también resume datos mensuales. La figura 3 muestra la comparación entre los promedios diarios del termógrafo y los valores obtenidos con el termómetro para el periodo en que coinciden los datos, y su relación resultó estadísticamente significativa ($P > 0.01$, $n = 704$).

Los datos reportados aquí sirvieron de base para la elaboración de un análisis de la variabilidad de la temperatura del mar en dicha zona (Ponce-Díaz *et al.*, 2002, sometido) y consideramos que parte de la importancia de estos registros radica en que se trata de mediciones llevadas a cabo en las inmediaciones de una zona donde se encuentran importantes bancos de abulón (*Haliotis* spp.), por lo que son de particular relevancia para estudios biológico-pesqueros relacionados con esta especie o con otros componentes de la comunidad donde este importante recurso pesquero habita.

Agradecimientos

Se agradece a la Federación Regional de Sociedades Cooperativas de la Industria Pesquera Baja California, a las Cooperativas de Producción Pesquera Leyes de Reforma y California de San Ignacio, al Programa Langosta del Centro Regional de Investigaciones Pesqueras de La Paz, del INP, y al Laboratorio de Modelación y Pronóstico Pesquero del CIBNOR. Este trabajo fue parcialmente financiado por los proyectos CIBNOR RP-6 y CONACYT 35151B. GPD y JBR son becarios de CONACYT (Regs. 119827 y 163276, respectivamente), y GHC es becario por exclusividad de la COFAA y del programa de Estímulo al Desempeño a la Investigación (EDI) del IPN.

Referencias

G. Ponce-Díaz, S. E. Lluch-Cota, J. Bautista-Romero y D. Lluch-Belda. 2002. Caracterización multiescala de la temperatura del mar en una zona de bancos de abulón (*Haliotis* spp.) en Bahía Asunción, Baja California Sur, México. *Sometido para su publicación en Ciencias Marinas*.

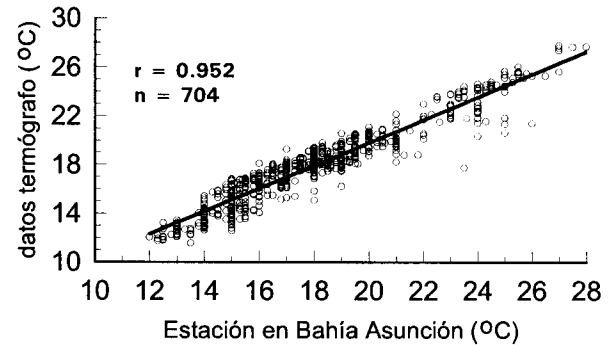


Figura 3. Relación entre mediciones con termógrafo y termómetro de bulbo de mercurio.

Figure 3. Relationship between thermograph and Hg-bulb thermometer measurements.

of the community where this important fishing resource lives.

Acknowledgements

We thank the Federación Regional de Sociedades Cooperativas de la Industria Pesquera Baja California, the Leyes de Reforma and California de San Ignacio fishing Coops, to the Lobster Program from the Centro Regional de Investigaciones Pesqueras de La Paz (INP) and to the modeling and fishing forecast laboratory from the CIBNOR. Partial funds were received by the projects CIBNOR RP-6 and CONACYT 35151B. GPD and JBR have scholarships by CONACYT (Regs. 119827 and 163276, respectively). GHC has an exclusivity scholarship from the COFAA and the EDI program of the IPN.

Tabla 1. Estadísticos básicos de mediciones de temperatura de mar en escala horaria.
 Table 1. Basic statistics of the sea-temperature measurements at hourly scale.

h	julio 1997					agosto 1997					septiembre 1997				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	19.71	1.33	21.70	17.52	19	24.96	1.35	27.67	21.37	31	27.70	0.08	27.79	27.63	3
2	19.86	1.41	21.94	17.48	19	24.98	1.35	27.62	21.48	31	27.68	0.07	27.76	27.63	3
3	19.91	1.36	21.94	17.59	19	25.00	1.35	27.52	21.49	31	27.66	0.09	27.75	27.57	3
4	19.95	1.28	21.49	17.54	19	25.01	1.33	27.50	21.57	31	27.64	0.10	27.74	27.55	3
5	19.95	1.33	21.51	17.57	19	25.01	1.31	27.47	21.58	31	27.62	0.10	27.72	27.53	3
6	20.08	1.36	21.77	17.56	19	25.01	1.32	27.42	21.58	31	27.62	0.08	27.70	27.55	3
7	20.20	1.39	21.89	17.32	19	25.02	1.31	27.37	21.62	31	27.58	0.05	27.61	27.52	3
8	20.31	1.43	21.96	17.19	19	25.01	1.33	27.32	21.66	31	27.58	0.07	27.65	27.52	3
9	20.37	1.45	22.07	17.11	19	25.06	1.31	27.38	21.86	31	27.59	0.06	27.66	27.56	3
10	20.32	1.46	22.28	17.24	20	25.14	1.26	27.39	21.94	31	27.60	0.07	27.68	27.56	3
11	20.36	1.38	22.42	17.48	20	25.23	1.22	27.50	22.06	31	27.65	0.06	27.72	27.61	3
12	20.41	1.32	22.49	18.06	20	25.30	1.22	27.63	22.02	31	27.74	0.06	27.79	27.68	3
13	20.49	1.27	22.25	18.34	20	25.41	1.20	27.78	22.31	31	27.80	0.05	27.83	27.74	3
14	20.46	1.21	21.94	18.36	20	25.45	1.22	27.95	22.41	31	27.83	0.02	27.85	27.81	3
15	20.33	1.21	21.88	18.27	20	25.46	1.24	27.99	22.39	31	27.88	0.01	27.89	27.87	3
16	20.19	1.28	22.03	18.15	20	25.40	1.28	28.06	21.91	31	27.87	0.03	27.90	27.84	3
17	19.97	1.28	21.93	17.97	20	25.31	1.35	27.99	21.47	31	27.85	0.04	27.88	27.81	3
18	19.89	1.26	22.22	17.48	20	25.19	1.35	27.90	21.41	31	27.86	0.05	27.92	27.83	3
19	19.81	1.30	22.30	17.25	20	25.07	1.36	27.85	21.38	31	27.85	0.07	27.91	27.77	3
20	19.84	1.17	22.29	17.82	20	25.02	1.34	27.81	21.46	31	27.81	0.07	27.85	27.73	3
21	19.81	1.18	21.93	17.62	20	25.01	1.35	27.86	21.50	31	27.81	0.06	27.84	27.74	3
22	19.74	1.25	21.96	17.49	20	25.03	1.33	27.78	21.52	31	27.78	0.06	27.83	27.72	3
23	19.73	1.30	22.04	17.48	20	25.05	1.32	27.70	21.57	31	27.77	0.07	27.83	27.70	3
24	19.74	1.39	22.04	17.38	20	25.10	1.30	27.70	21.58	31	27.77	0.08	27.85	27.70	3

h	octubre 1997					noviembre 1997					diciembre 1997				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	23.99	0.30	24.20	23.54	4	23.97	0.46	24.68	23.20	30	23.0	0.3	23.2	22.8	2
2	23.95	0.31	24.25	23.52	4	23.96	0.48	24.66	23.17	30	23.0	0.2	23.1	22.8	2
3	23.95	0.33	24.29	23.50	4	23.95	0.49	24.61	23.16	30	22.9	0.3	23.1	22.7	2
4	23.93	0.33	24.28	23.48	4	23.92	0.49	24.60	23.14	30	22.9	0.2	23.0	22.7	2
5	23.93	0.33	24.26	23.47	4	23.91	0.47	24.57	23.12	30	22.9	0.3	23.1	22.8	2
6	23.90	0.31	24.22	23.48	4	23.89	0.47	24.65	23.10	30	22.9	0.2	23.1	22.7	2
7	23.90	0.29	24.21	23.51	4	23.87	0.46	24.61	23.09	30	22.8	0.1	22.9	22.8	2
8	23.88	0.24	24.12	23.54	4	23.87	0.46	24.55	23.09	30	22.9	0.1	22.9	22.8	2
9	23.92	0.25	24.17	23.58	4	23.89	0.47	24.60	23.10	30	23.0	0.0	23.0	23.0	2
10	24.07	0.19	24.26	23.80	5	23.93	0.48	24.66	23.12	30	23.0	0.0	23.0	23.0	2
11	24.19	0.10	24.33	24.08	5	24.01	0.48	24.76	23.16	30	23.1				1
12	24.25	0.07	24.34	24.15	5	24.10	0.48	24.87	23.24	30	23.0				1
13	24.30	0.08	24.41	24.20	5	24.19	0.49	24.95	23.37	30	23.0				1
14	24.34	0.10	24.49	24.26	5	24.24	0.49	25.02	23.46	30	22.9				1
15	24.29	0.17	24.49	24.02	5	24.24	0.48	25.04	23.47	30	23.0				1
16	24.26	0.19	24.46	23.94	5	24.23	0.48	25.02	23.46	30	22.9				1
17	24.24	0.22	24.49	23.90	5	24.21	0.47	25.00	23.44	30	22.9				1
18	24.23	0.23	24.45	23.85	5	24.18	0.47	25.01	23.44	30	22.9				1
19	24.19	0.25	24.39	23.77	5	24.14	0.48	25.00	23.32	30	22.8				1
20	24.17	0.25	24.36	23.73	5	24.10	0.48	24.97	23.26	30	22.9				1
21	24.15	0.26	24.34	23.69	5	24.06	0.47	24.87	23.24	30	22.9				1
22	24.11	0.25	24.28	23.67	5	24.03	0.47	24.84	23.25	30	22.9				1
23	24.08	0.24	24.24	23.65	5	24.00	0.47	24.79	23.24	30	23.0				1
24	24.05	0.25	24.20	23.60	5	23.97	0.47	24.76	23.24	30	22.9				1

Base de datos de temperaturas del mar de Bahía Asunción, Baja California Sur

Tabla 1 (Cont.)

h	enero 1998					febrero 1998					marzo 1998				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	20.40	0.13	20.62	20.20	13	19.15	1.02	20.65	17.34	28	17.79	0.36	18.93	17.29	31
2	20.38	0.14	20.62	20.16	13	19.14	1.01	20.64	17.39	28	17.77	0.37	18.93	17.25	31
3	20.35	0.16	20.62	20.05	13	19.12	1.00	20.63	17.44	28	17.75	0.37	18.93	17.17	31
4	20.35	0.15	20.63	20.13	13	19.10	0.99	20.59	17.42	28	17.72	0.35	18.77	17.17	30
5	20.35	0.12	20.62	20.13	13	19.09	0.98	20.55	17.42	28	17.70	0.34	18.61	17.17	31
6	20.34	0.12	20.62	20.10	13	19.08	0.97	20.50	17.42	28	17.68	0.33	18.61	17.17	31
7	20.34	0.12	20.64	20.12	13	19.07	0.97	20.46	17.43	28	17.67	0.34	18.61	17.01	31
8	20.35	0.11	20.64	20.19	13	19.08	0.97	20.46	17.39	28	17.66	0.34	18.61	16.85	31
9	20.39	0.09	20.65	20.26	13	19.13	0.96	20.51	17.44	28	17.68	0.34	18.61	16.85	31
10	20.48	0.11	20.75	20.31	14	19.19	0.96	20.56	17.52	28	17.74	0.36	18.45	16.53	30
11	20.53	0.07	20.62	20.35	14	19.27	0.95	20.63	17.65	28	17.80	0.37	18.45	16.53	30
12	20.60	0.09	20.71	20.37	14	19.33	0.95	20.65	17.71	28	17.84	0.38	18.45	16.53	30
13	20.64	0.09	20.76	20.42	14	19.37	0.96	20.71	17.74	28	17.86	0.39	18.61	16.53	30
14	20.67	0.09	20.81	20.45	14	19.39	0.96	20.81	17.78	28	17.88	0.40	18.61	16.53	30
15	20.66	0.08	20.78	20.46	14	19.36	0.97	20.77	17.69	28	17.89	0.40	18.61	16.53	30
16	20.65	0.08	20.81	20.45	14	19.34	0.98	20.76	17.62	28	17.93	0.38	18.61	16.69	30
17	20.62	0.10	20.76	20.38	14	19.29	0.97	20.68	17.62	28	17.95	0.36	18.77	17.17	30
18	20.58	0.11	20.73	20.32	14	19.24	0.98	20.62	17.59	28	17.95	0.38	18.77	17.17	30
19	20.54	0.11	20.67	20.28	14	19.17	1.02	20.62	17.48	28	17.93	0.39	18.77	17.17	30
20	20.52	0.11	20.64	20.29	14	19.13	1.03	20.64	17.42	28	17.93	0.43	18.93	17.33	30
21	20.49	0.11	20.62	20.27	14	19.10	1.04	20.63	17.43	28	17.91	0.45	18.93	17.17	30
22	20.46	0.10	20.62	20.28	14	19.07	1.04	20.62	17.40	28	17.89	0.44	18.93	17.17	30
23	20.44	0.10	20.62	20.26	14	19.06	1.03	20.66	17.33	28	17.85	0.42	18.93	17.17	30
24	20.43	0.11	20.61	20.26	14	19.05	1.03	20.63	17.35	28	17.82	0.40	18.93	17.17	30

h	abril 1998					mayo 1998					junio 1998				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	15.77	0.80	17.33	13.41	30	15.25	0.84	16.53	13.41	31	15.04	1.02	16.53	13.10	20
2	15.75	0.76	17.17	13.56	30	15.08	0.92	16.53	13.72	31	14.95	0.98	16.53	13.25	20
3	15.67	0.78	17.17	13.56	30	14.89	0.91	16.53	13.72	31	14.89	0.89	16.38	13.25	20
4	15.56	0.86	17.17	13.25	30	14.76	0.91	16.53	13.41	31	14.95	0.85	16.38	13.41	20
5	15.45	0.90	17.17	13.10	30	14.65	0.88	16.22	13.25	31	14.89	0.84	16.38	13.41	20
6	15.37	0.91	17.17	13.10	30	14.59	0.86	16.38	13.41	31	14.80	0.79	16.22	13.25	20
7	15.28	0.92	17.17	12.94	30	14.55	0.85	16.38	13.25	31	14.76	0.76	15.90	13.25	20
8	15.17	0.90	16.69	12.94	30	14.52	0.85	16.22	13.10	31	14.77	0.71	15.90	13.25	20
9	15.12	0.89	16.53	12.94	30	14.43	0.82	15.90	13.10	31	14.77	0.65	15.59	13.25	20
10	15.09	0.87	16.38	12.79	30	14.36	0.81	15.90	12.94	31	14.77	0.62	15.59	13.41	20
11	15.06	0.83	16.22	12.79	30	14.35	0.84	15.90	12.94	31	14.76	0.64	15.59	13.41	20
12	15.00	0.83	16.38	12.79	30	14.38	0.84	15.90	12.94	31	14.67	0.63	15.74	13.41	20
13	15.00	0.85	16.53	12.94	30	14.47	0.82	15.90	13.10	31	14.66	0.62	15.90	13.72	20
14	15.16	0.90	16.53	13.25	30	14.71	0.99	16.53	13.10	31	14.74	0.64	16.06	13.72	20
15	15.33	0.94	16.85	13.41	30	14.81	1.10	17.17	13.25	31	14.96	0.70	16.38	13.56	20
16	15.51	0.93	17.01	13.41	30	14.95	1.15	17.17	13.41	31	15.10	0.84	16.53	13.56	20
17	15.69	0.86	17.17	13.56	30	15.05	1.11	17.01	13.56	31	15.17	0.81	16.38	13.56	20
18	15.87	0.80	17.49	13.87	30	15.12	1.01	17.01	13.87	31	15.29	0.70	16.22	14.02	20
19	15.94	0.72	17.49	14.02	30	15.23	0.91	16.85	14.02	31	15.27	0.78	16.53	13.25	20
20	15.98	0.71	17.49	14.02	30	15.27	0.91	16.85	13.72	31	15.25	0.91	16.53	13.10	20
21	15.93	0.71	17.49	14.02	30	15.28	0.94	16.85	13.72	31	15.13	0.96	16.38	13.10	20
22	15.88	0.71	17.49	14.18	30	15.33	1.00	16.85	13.41	31	15.12	0.96	16.38	13.10	20
23	15.79	0.80	17.49	13.56	30	15.37	0.98	16.85	13.41	31	15.11	0.96	16.38	13.10	20
24	15.76	0.79	17.33	13.41	30	15.30	0.88	16.69	13.41	31	15.20	0.94	16.53	13.10	20

Tabla 1 (Cont.)

h	agosto 1998					septiembre 1998					octubre 1998				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	22.07	0.43	23.20	21.53	20	19.35	0.97	21.70	17.49	30	18.08	0.53	19.26	17.01	31
2															
3	22.12	0.43	23.03	21.37	20	19.45	0.95	22.03	17.64	30	18.09	0.51	19.26	17.17	31
4															
5	22.18	0.46	23.03	21.37	20	19.47	1.00	22.03	17.81	30	18.12	0.49	19.26	17.17	31
6															
7	22.21	0.46	22.87	21.37	20	19.54	1.01	22.20	17.81	30	18.09	0.46	19.26	17.17	31
8															
9	22.33	0.45	23.03	21.53	20	19.67	0.99	22.53	17.81	30	18.17	0.50	19.42	17.17	31
10															
11	22.42	0.44	23.20	21.87	20	19.85	1.06	22.87	17.97	30	18.25	0.52	19.26	17.01	31
12															
13	22.42	0.45	23.37	21.70	20	19.85	1.08	22.53	17.81	30	18.37	0.56	19.42	17.17	31
14															
15	22.23	0.47	23.03	21.37	20	19.60	1.12	22.03	17.49	30	18.29	0.58	19.42	17.01	31
16															
17	22.11	0.51	23.20	21.04	20	19.26	1.04	21.87	17.33	30	18.11	0.66	19.26	16.85	31
18															
19	21.93	0.57	23.20	20.71	20	19.00	1.03	21.70	17.17	30	17.85	0.67	19.26	16.85	31
20															
21	21.78	0.61	23.03	20.38	20	18.96	0.94	21.20	17.17	30	17.82	0.54	18.93	16.85	31
22															
23	21.93	0.55	23.20	20.71	20	19.14	0.90	21.37	17.49	30	17.95	0.57	19.09	16.53	31
24															

h	noviembre 1998					diciembre 1998					enero de 1999				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	18.61	0.60	19.42	17.01	30	16.57	0.90	18.61	15.27	31	16.52	0.29	16.85	15.74	30
2															
3	18.56	0.62	19.42	17.17	30	16.54	0.93	18.61	15.12	31	16.44	0.32	16.85	15.59	30
4															
5	18.53	0.60	19.26	17.01	30	16.49	0.90	18.45	14.96	31	16.43	0.34	16.85	15.59	30
6															
7	18.55	0.54	19.26	17.49	30	16.46	0.91	18.45	14.96	31	16.40	0.33	16.85	15.59	30
8															
9	18.55	0.50	19.26	17.64	30	16.39	0.92	18.45	14.80	31	16.37	0.36	16.85	15.43	30
10															
11	18.66	0.47	19.26	17.81	30	16.46	0.88	18.45	14.96	31	16.42	0.36	16.85	15.43	30
12															
13	18.83	0.49	19.42	17.81	30	16.62	0.85	18.45	15.12	31	16.60	0.33	17.01	15.59	29
14															
15	18.86	0.54	19.42	17.64	30	16.75	0.84	18.61	15.59	31	16.70	0.28	17.17	15.90	29
16															
17	18.76	0.60	19.42	17.33	30	16.74	0.79	18.61	15.59	31	16.69	0.25	17.01	15.90	29
18															
19	18.71	0.58	19.42	17.33	30	16.65	0.83	18.61	15.59	31	16.63	0.27	17.01	15.74	29
20															
21	18.67	0.51	19.26	17.64	30	16.62	0.83	18.45	15.43	31	16.59	0.26	16.85	15.74	29
22															
23	18.67	0.54	19.42	17.33	30	16.58	0.84	18.45	15.27	31	16.56	0.31	16.85	15.74	29
24															

Base de datos de temperaturas del mar de Bahía Asunción, Baja California Sur

Tabla 1 (Cont.)

septiembre 1999						octubre 1999					noviembre 1999				
h	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	19.64	1.17	21.13	17.73	18	19.44	0.52	20.47	18.22	31	18.33	1.07	20.47	16.62	30
2	19.68	1.24	21.46	17.73	18	19.54	0.52	20.64	18.06	31	18.44	1.08	20.64	16.77	30
3	19.81	1.22	21.46	17.73	19	19.63	0.48	20.47	18.38	31	18.55	1.06	20.80	16.93	30
4	19.80	1.31	21.46	17.89	19	19.66	0.42	20.64	18.70	31	18.58	1.08	20.80	16.93	30
5	19.72	1.32	21.46	17.57	19	19.54	0.61	20.47	17.09	31	18.57	1.06	20.80	16.93	30
6	19.72	1.29	21.29	17.73	19	19.46	0.65	20.31	16.93	31	18.54	1.02	20.64	16.93	30
7	19.63	1.26	21.29	17.73	19	19.34	0.62	20.15	17.09	31	18.42	1.02	20.47	16.93	30
8	19.50	1.21	21.13	17.57	19	19.14	0.58	19.99	17.09	31	18.32	1.02	20.47	16.77	30
9	19.32	1.16	21.13	17.57	19	19.01	0.60	19.83	17.09	31	18.23	1.06	20.31	16.62	30
10	19.23	1.16	21.13	17.41	19	18.95	0.56	19.67	17.09	31	18.19	1.06	20.31	16.62	30
11	19.18	1.15	20.97	17.09	19	18.94	0.57	19.83	17.09	31	18.15	1.05	20.31	16.46	30
12	19.13	1.20	20.97	16.77	19	18.94	0.59	19.83	17.09	31	18.13	1.04	20.31	16.46	30
13	19.10	1.14	20.97	16.93	19	18.91	0.60	19.83	17.09	31	18.08	1.03	20.15	16.46	30
14	19.02	1.18	20.80	16.93	19	18.88	0.56	19.83	17.25	31	18.05	1.03	20.15	16.46	30
15	19.09	1.23	20.80	16.62	19	18.90	0.51	19.83	17.41	31	18.03	1.01	20.15	16.46	30
16	19.13	1.24	21.29	16.62	19	18.92	0.51	19.83	17.57	31	18.02	1.02	20.15	16.46	30
17	19.10	1.32	21.29	16.46	19	18.91	0.53	19.99	17.73	31	18.01	1.02	19.99	16.46	30
18	19.07	1.39	21.29	16.46	19	18.89	0.53	19.83	17.73	31	18.03	1.00	20.15	16.46	30
19	19.05	1.44	21.13	16.46	19	18.94	0.50	19.83	17.73	31	18.00	1.02	20.15	16.46	30
20	19.00	1.47	20.97	16.46	19	18.96	0.46	19.83	17.89	31	17.98	1.00	19.99	16.46	30
21	19.12	1.29	20.97	16.93	19	18.98	0.46	19.99	17.89	31	17.96	0.99	19.99	16.46	30
22	19.23	1.20	20.80	17.25	19	19.05	0.44	20.15	18.06	31	18.00	1.02	20.15	16.30	30
23	19.34	1.13	20.80	17.73	19	19.20	0.44	20.31	18.22	31	18.04	1.00	20.15	16.46	30
24	19.46	1.10	20.97	17.73	19	19.35	0.44	20.31	18.38	31	18.15	1.03	20.31	16.46	30

diciembre 1999						enero 2000					febrero 2000				
h	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	17.48	0.52	18.70	16.77	31	16.60	0.37	17.41	15.98	31	15.24	0.84	16.30	13.78	29
2	17.58	0.56	19.02	16.77	31	16.70	0.35	17.41	16.14	31	15.37	0.83	16.46	13.78	29
3	17.70	0.54	19.02	17.09	31	16.83	0.35	17.41	16.30	31	15.48	0.82	16.62	13.94	29
4	17.76	0.53	19.02	17.09	31	16.93	0.36	17.57	16.30	31	15.58	0.82	16.62	14.09	29
5	17.81	0.53	19.02	17.25	31	16.96	0.35	17.57	16.30	31	15.62	0.83	16.62	14.09	29
6	17.79	0.50	19.02	17.25	31	16.96	0.35	17.57	16.30	31	15.60	0.85	16.62	13.78	29
7	17.76	0.49	18.86	17.25	31	16.94	0.35	17.57	16.30	31	15.53	0.91	16.62	13.32	29
8	17.72	0.48	18.86	17.25	31	16.88	0.34	17.41	16.30	31	15.44	0.95	16.46	13.17	29
9	17.67	0.49	18.86	17.09	31	16.84	0.33	17.41	16.30	31	15.33	0.97	16.46	13.32	29
10	17.63	0.49	18.86	17.09	31	16.78	0.35	17.41	16.30	31	15.21	1.00	16.30	13.32	29
11	17.58	0.48	18.70	17.09	31	16.73	0.35	17.25	16.14	31	15.14	0.98	16.30	13.32	29
12	17.56	0.50	18.70	16.93	31	16.70	0.36	17.25	16.14	31	15.10	0.99	16.30	13.32	29
13	17.50	0.50	18.70	16.77	31	16.66	0.37	17.25	16.14	31	15.07	0.99	16.30	13.32	29
14	17.45	0.48	18.54	16.77	31	16.62	0.35	17.25	16.14	31	15.07	0.99	16.30	13.32	29
15	17.41	0.50	18.54	16.77	31	16.58	0.37	17.25	16.14	31	15.04	0.96	16.30	13.48	29
16	17.39	0.48	18.54	16.77	31	16.56	0.37	17.25	16.14	31	15.03	0.96	16.30	13.48	29
17	17.34	0.49	18.54	16.77	31	16.54	0.37	17.09	15.98	31	15.02	0.95	16.14	13.48	29
18	17.31	0.47	18.54	16.77	31	16.53	0.37	17.09	15.98	31	14.99	0.94	16.14	13.48	29
19	17.28	0.47	18.54	16.62	31	16.50	0.37	17.09	15.98	31	14.98	0.96	16.14	13.32	29
20	17.25	0.45	18.38	16.62	31	16.45	0.39	17.09	15.83	31	14.96	0.94	16.14	13.48	29
21	17.24	0.45	18.38	16.62	31	16.44	0.38	17.09	15.98	31	14.94	0.93	16.14	13.48	29
22	17.22	0.45	18.38	16.62	31	16.41	0.39	17.09	15.83	31	14.95	0.91	16.14	13.48	29
23	17.22	0.46	18.38	16.77	31	16.43	0.40	17.09	15.83	31	14.97	0.90	16.14	13.48	29
24	17.31	0.48	18.54	16.77	31	16.48	0.38	17.09	15.98	31	15.05	0.86	16.14	13.63	29

Tabla 1 (Cont.)

h	marzo 2000					abril 2000					mayo 2000				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	14.25				1	12.62	0.84	13.78	11.32	23	12.29	0.60	13.32	11.32	31
2	14.56				1	12.66	0.86	13.94	11.32	23	12.37	0.55	13.32	11.32	31
3	14.72				1	12.70	0.88	14.09	11.47	23	12.44	0.55	13.32	11.47	31
4	14.72				1	12.76	0.92	14.25	11.47	23	12.53	0.55	13.32	11.47	31
5	14.72				1	12.80	0.94	14.25	11.47	23	12.62	0.53	13.48	11.62	31
6	14.56				1	12.80	0.92	14.25	11.47	23	12.67	0.49	13.48	11.62	31
7	14.25				1	12.81	0.92	14.41	11.47	23	12.77	0.47	13.63	11.62	31
8	13.63				1	12.86	0.92	14.41	11.47	23	12.87	0.45	13.78	11.78	31
9	13.48				1	12.98	0.91	14.41	11.62	23	12.98	0.47	13.94	11.93	31
10	13.48				1	13.11	0.93	14.56	11.78	23	13.12	0.52	14.09	12.08	31
11	13.63				1	13.23	0.93	14.56	11.93	23	13.18	0.51	13.94	12.08	31
12	13.63				1	13.33	0.93	14.72	11.93	24	13.21	0.50	13.94	12.24	31
13	13.63				1	13.37	0.91	14.72	12.08	24	13.19	0.49	13.94	12.24	31
14	13.63				1	13.39	0.97	14.88	12.08	24	13.14	0.48	13.94	12.39	31
15	13.63				1	13.36	1.02	14.72	11.93	24	13.02	0.52	13.94	12.08	31
16	13.63				1	13.27	1.01	14.72	11.78	24	12.82	0.56	13.94	11.78	31
17	13.78				1	13.07	0.97	14.56	11.47	24	12.59	0.64	13.78	11.47	31
18	13.78				1	12.86	0.97	14.25	11.32	24	12.41	0.67	13.94	11.47	31
19	13.78				1	12.70	0.98	14.09	11.16	24	12.20	0.67	13.48	11.16	31
20	13.78				1	12.52	0.93	13.94	11.01	24	12.06	0.61	13.17	11.01	31
21	13.78				1	12.46	0.91	13.94	11.01	24	12.03	0.63	13.17	11.01	31
22	13.63				1	12.45	0.88	13.78	11.01	24	12.05	0.65	13.32	11.16	31
23	13.78				1	12.47	0.88	13.78	11.01	24	12.13	0.64	13.32	11.16	31
24						12.52	0.86	13.78	11.16	24	12.20	0.62	13.32	11.16	31

h	junio 2000					julio 2000					agosto 2000				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	12.84	0.76	14.56	11.16	30	14.27	1.37	17.09	12.24	31	18.88	1.48	21.63	15.98	31
2	12.92	0.84	14.72	11.16	30	14.28	1.37	17.25	12.24	31	18.91	1.48	21.63	16.14	31
3	12.96	0.84	14.56	11.16	30	14.33	1.38	17.25	12.39	31	18.91	1.50	21.63	16.46	31
4	13.03	0.85	14.72	11.32	30	14.39	1.38	17.41	12.39	31	18.96	1.49	21.63	16.46	31
5	13.08	0.86	14.72	11.32	30	14.50	1.43	18.06	12.55	31	19.07	1.49	21.63	16.30	31
6	13.12	0.88	14.72	11.32	30	14.56	1.45	18.06	12.55	31	19.16	1.48	21.63	16.14	31
7	13.16	0.87	14.72	11.32	30	14.63	1.40	18.22	12.55	31	19.23	1.50	21.63	16.14	31
8	13.25	0.85	14.88	11.32	30	14.72	1.39	18.38	12.55	31	19.35	1.45	21.63	16.14	31
9	13.37	0.83	15.03	11.62	30	14.85	1.42	18.54	12.55	31	19.54	1.45	22.63	16.30	31
10	13.55	0.79	15.35	12.08	30	15.02	1.44	18.54	12.71	31	19.69	1.45	22.96	16.30	31
11	13.68	0.79	15.51	12.39	30	15.16	1.42	18.22	13.02	31	19.86	1.45	22.96	16.46	31
12	13.74	0.74	15.51	12.55	30	15.30	1.46	18.54	13.17	31	19.99	1.43	22.79	16.46	31
13	13.82	0.75	15.67	12.55	30	15.38	1.51	18.70	13.02	31	20.03	1.45	22.79	16.77	31
14	13.83	0.82	15.98	12.55	30	15.39	1.56	18.86	12.86	31	19.99	1.46	22.79	16.93	31
15	13.70	0.82	15.98	12.39	30	15.35	1.57	18.86	12.71	31	19.85	1.58	23.13	17.25	31
16	13.53	0.75	15.51	12.39	30	15.29	1.58	18.54	12.71	31	19.70	1.56	22.96	17.41	31
17	13.33	0.67	14.88	12.24	30	15.08	1.56	18.38	12.71	31	19.53	1.54	22.63	17.09	31
18	13.17	0.69	14.56	12.08	30	14.93	1.51	17.89	12.55	31	19.33	1.42	21.96	17.09	31
19	12.97	0.63	14.09	11.78	30	14.74	1.48	17.57	12.39	31	19.20	1.37	21.79	16.93	31
20	12.83	0.59	13.94	11.62	30	14.59	1.46	17.41	12.39	31	19.10	1.41	21.79	16.62	31
21	12.74	0.57	13.78	11.47	30	14.48	1.46	17.41	12.24	31	18.99	1.46	21.79	16.62	31
22	12.72	0.57	14.09	11.47	30	14.41	1.43	17.25	12.24	31	18.93	1.46	21.63	16.46	31
23	12.77	0.60	14.56	11.62	30	14.40	1.41	17.09	12.24	31	18.87	1.43	21.46	16.46	31
24	12.85	0.68	14.72	11.78	30	14.38	1.44	17.09	12.24	31	18.90	1.46	21.63	16.30	31

Base de datos de temperaturas del mar de Bahía Asunción, Baja California Sur

Tabla 1 (Cont.)

h	septiembre 2000					octubre 2000					noviembre 2000				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	20.24	1.77	23.81	17.89	30	18.05	0.82	19.51	16.30	31	17.87	0.32	18.38	17.41	30
2	20.20	1.72	23.64	17.73	30	18.06	0.78	19.51	16.30	31	17.84	0.34	18.38	17.41	30
3	20.18	1.70	23.64	17.73	30	18.05	0.75	19.34	16.30	31	17.81	0.35	18.38	17.25	30
4	20.17	1.70	23.64	17.73	30	18.08	0.73	19.34	16.30	31	17.76	0.34	18.38	17.09	30
5	20.20	1.72	23.64	17.73	30	18.08	0.72	19.34	16.30	31	17.73	0.34	18.38	17.09	30
6	20.24	1.77	23.81	17.73	30	18.09	0.70	19.34	16.30	31	17.69	0.34	18.38	17.09	30
7	20.29	1.81	23.81	17.73	30	18.11	0.69	19.34	16.30	31	17.66	0.33	18.22	17.09	30
8	20.35	1.81	23.98	17.73	30	18.14	0.66	19.34	16.46	31	17.65	0.34	18.22	17.09	30
9	20.43	1.84	23.98	17.73	30	18.19	0.64	19.34	16.46	31	17.68	0.33	18.38	17.09	30
10	20.57	1.85	24.16	17.73	30	18.32	0.64	19.51	16.62	31	17.73	0.35	18.38	17.25	30
11	20.71	1.86	24.33	17.89	30	18.44	0.63	19.51	16.77	31	17.86	0.35	18.54	17.25	30
12	20.83	1.86	24.33	17.89	30	18.54	0.65	19.67	16.93	31	18.03	0.33	18.70	17.57	30
13	20.95	1.85	24.50	17.89	30	18.66	0.65	19.83	17.09	31	18.17	0.37	19.02	17.73	30
14	21.02	1.89	24.67	18.06	30	18.76	0.68	19.99	17.09	31	18.27	0.37	19.18	17.73	30
15	20.95	1.91	24.50	18.06	30	18.76	0.68	19.99	17.09	31	18.32	0.40	19.34	17.73	30
16	20.79	1.91	24.33	18.06	30	18.67	0.71	19.83	16.93	31	18.32	0.39	19.18	17.89	30
17	20.71	1.93	24.33	18.06	30	18.56	0.78	19.83	16.77	31	18.30	0.36	19.02	17.89	30
18	20.54	1.86	24.16	18.06	30	18.42	0.82	19.83	16.46	31	18.25	0.34	19.02	17.73	30
19	20.43	1.86	23.98	17.73	30	18.31	0.83	19.83	16.62	31	18.18	0.32	18.86	17.73	30
20	20.33	1.85	23.81	17.73	30	18.21	0.83	19.67	16.46	31	18.10	0.34	18.70	17.57	30
21	20.23	1.88	23.64	17.73	30	18.12	0.86	19.67	16.30	31	18.07	0.33	18.70	17.57	30
22	20.23	1.84	23.64	17.73	30	18.10	0.86	19.67	16.30	31	18.03	0.32	18.54	17.57	30
23	20.23	1.83	23.81	17.89	30	18.08	0.85	19.51	16.30	31	17.99	0.33	18.54	17.41	30
24	20.26	1.80	23.81	17.89	30	18.07	0.83	19.51	16.30	31	17.92	0.34	18.54	17.41	30

diciembre 2000					
h	P	DE	máx	mín	n
1	18.37	0.24	19.02	17.89	31
2	18.34	0.24	19.02	17.73	31
3	18.30	0.22	18.86	17.89	31
4	18.27	0.25	18.86	17.57	31
5	18.26	0.25	18.86	17.73	31
6	18.21	0.27	18.70	17.41	31
7	18.20	0.22	18.70	17.73	31
8	18.19	0.21	18.54	17.73	31
9	18.21	0.18	18.54	17.89	31
10	18.24	0.19	18.70	17.89	31
11	18.33	0.22	18.70	17.73	31
12	18.46	0.21	18.86	17.89	31
13	18.62	0.24	19.18	18.06	31
14	18.74	0.24	19.18	18.38	31
15	18.82	0.21	19.34	18.54	31
16	18.83	0.20	19.34	18.54	31
17	18.78	0.19	19.18	18.54	31
18	18.69	0.21	19.18	18.38	31
19	18.65	0.20	19.02	18.38	31
20	18.61	0.20	19.02	18.38	31
21	18.55	0.22	19.02	18.22	31
22	18.49	0.22	19.02	18.06	31
23	18.44	0.23	19.02	18.06	31
24	18.42	0.25	19.02	17.89	31

Tabla 2. Estadísticos básicos de mediciones de temperatura de mar en escala diaria.

Table 2. Basic statistics of the sea-temperature measurements at daily scale.

d	julio 1997					agosto 1997					septiembre 1997				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1						21.79	0.44	22.69	21.37	24	27.70	0.10	27.88	27.56	24
2						22.17	0.35	22.86	21.66	24	27.72	0.15	27.90	27.52	24
3						23.31	0.60	24.06	22.41	24	27.77	0.08	27.92	27.61	24
4						24.26	0.51	25.01	23.38	24					
5						24.49	0.25	25.21	24.13	24					
6						25.27	0.32	25.82	24.63	24					
7						24.77	0.42	25.42	24.06	24					
8						24.55	0.34	25.38	24.19	24					
9						25.12	0.36	25.60	24.42	24					
10						25.50	0.39	26.38	25.08	24					
11						25.67	0.25	26.11	25.15	24					
12	18.07	0.36	18.51	17.49	15	25.55	0.14	25.79	25.17	24					
13	18.28	0.32	18.69	17.53	24	25.29	0.28	25.64	24.79	24					
14	18.17	0.29	18.66	17.61	24	24.64	0.50	25.13	23.69	24					
15	17.72	0.43	18.50	17.11	24	24.39	0.44	24.89	23.69	24					
16	18.45	0.49	19.27	17.48	24	24.20	0.37	24.88	23.79	24					
17	19.13	0.69	20.26	17.76	24	24.40	0.37	25.21	23.96	24					
18	19.90	0.72	21.47	18.86	24	26.04	0.30	26.53	25.48	24					
19	20.55	0.53	21.26	19.47	24	25.67	0.35	26.34	25.07	24					
20	20.42	0.50	21.48	19.72	24	25.11	0.40	25.58	24.32	24					
21	20.57	0.50	21.12	19.61	24	25.14	0.14	25.31	24.77	24					
22	20.37	0.41	20.85	19.72	24	25.39	0.21	25.57	24.87	24					
23	20.84	0.53	21.94	19.80	24	25.49	0.28	25.94	25.01	24					
24	21.58	0.40	22.26	20.79	24	25.47	0.28	25.84	24.82	24					
25	21.85	0.28	22.30	21.05	24	25.43	0.15	25.77	25.21	24					
26	21.40	0.62	22.03	19.71	24	25.62	0.16	25.93	25.38	24					
27	20.61	0.71	21.67	19.47	24	25.64	0.22	26.12	25.42	24					
28	20.19	0.45	20.79	19.49	24	26.17	0.53	26.81	25.46	24					
29	20.35	0.20	20.62	20.01	24	27.38	0.37	27.86	26.71	24					
30	20.62	0.17	21.00	20.39	24	27.66	0.23	28.06	27.32	24					
31	21.36	0.60	22.49	20.50	24	27.58	0.18	27.89	27.23	24					

d	octubre 1997					noviembre 1997					diciembre 1997				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1						24.12	0.12	24.28	23.91	24	22.99	0.10	23.21	22.84	24
2						24.38	0.19	24.67	24.13	24	22.80	0.11	23.00	22.72	10
3						24.54	0.17	24.82	24.25	24					
4						24.41	0.14	24.77	24.19	24					
5						24.52	0.16	24.71	24.23	24					
6						24.79	0.18	25.04	24.54	24					
7						24.65	0.13	24.89	24.43	24					
8						24.56	0.15	24.75	24.30	24					
9						24.55	0.15	24.78	24.31	24					
10						24.53	0.15	24.79	24.35	24					
11						24.64	0.15	24.90	24.45	24					
12						24.41	0.13	24.60	24.12	24					
13						24.36	0.16	24.62	24.11	24					
14						24.32	0.13	24.57	24.13	24					
15						24.10	0.15	24.36	23.80	24					
16						23.99	0.18	24.31	23.72	24					
17						23.81	0.21	24.11	23.41	24					
18						23.77	0.15	24.02	23.54	24					
19						23.66	0.10	23.82	23.48	24					
20						23.56	0.09	23.70	23.42	24					
21						23.46	0.07	23.55	23.36	24					
22						23.32	0.10	23.47	23.13	24					
23						23.35	0.23	23.69	23.09	24					
24						23.56	0.30	23.99	23.12	24					
25						23.76	0.13	23.92	23.56	24					
26						23.81	0.11	24.03	23.69	24					
27	23.94	0.26	24.26	23.60	15	23.60	0.11	23.80	23.46	24					
28	24.02	0.43	24.49	23.47	24	23.57	0.19	23.89	23.29	24					
29	24.26	0.07	24.38	24.12	24	23.58	0.14	23.79	23.38	24					
30	24.10	0.13	24.27	23.90	24	23.41	0.09	23.52	23.24	24					
31	24.15	0.13	24.32	23.95	24										

Base de datos de temperaturas del mar de Bahía Asunción, Baja California Sur

Tabla 2 (Cont.)

d	enero 1998					febrero 1998					marzo 1998				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1						20.56	0.11	20.72	20.38	24	17.48	0.07	17.60	17.34	24
2						20.60	0.10	20.81	20.45	24	17.66	0.19	17.97	17.40	24
3						20.46	0.13	20.65	20.23	24	17.87	0.18	18.13	17.58	24
4						20.21	0.06	20.30	20.10	24	17.88	0.15	18.11	17.66	24
5						20.16	0.13	20.41	19.98	24	17.82	0.10	17.97	17.63	24
6						20.10	0.14	20.32	19.90	24	17.89	0.16	18.16	17.71	24
7						20.09	0.14	20.35	19.91	24	17.79	0.13	17.98	17.57	24
8						20.04	0.09	20.21	19.95	24	17.76	0.14	17.97	17.56	24
9						19.94	0.10	20.12	19.78	24	17.74	0.15	17.94	17.47	24
10						19.77	0.15	20.06	19.57	24	17.79	0.11	17.96	17.61	23
11						19.69	0.16	19.95	19.49	24	17.80	0.13	17.99	17.58	24
12						19.58	0.13	19.79	19.41	24	17.90	0.23	18.32	17.61	24
13						19.58	0.15	19.83	19.38	24	17.96	0.16	18.24	17.76	24
14						19.50	0.18	19.82	19.24	24	17.86	0.16	18.16	17.66	24
15						19.37	0.11	19.56	19.18	24	17.88	0.16	18.16	17.71	24
16						19.21	0.07	19.34	19.09	24	17.72	0.12	17.99	17.48	24
17						18.88	0.23	19.11	18.48	24	17.51	0.15	17.77	17.28	24
18	20.64	0.08	20.75	20.52	15	18.69	0.14	18.87	18.44	24	17.43	0.20	17.82	17.23	24
19	20.54	0.11	20.71	20.37	24	18.82	0.12	19.00	18.64	24	17.54	0.17	17.73	17.22	24
20	20.34	0.07	20.46	20.26	24	18.60	0.18	18.91	18.25	24	17.71	0.10	17.96	17.59	24
21	20.38	0.18	20.67	20.10	24	18.24	0.20	18.58	17.95	24	17.46	0.02	17.51	17.43	9
22	20.43	0.20	20.77	20.05	24	18.10	0.18	18.38	17.85	24	17.49	0.36	18.13	17.17	24
23	20.42	0.17	20.66	20.16	24	18.12	0.20	18.51	17.82	24	18.02	0.44	18.77	17.64	24
24	20.50	0.14	20.68	20.24	24	18.12	0.11	18.35	17.98	24	18.41	0.25	18.77	18.13	24
25	20.47	0.11	20.62	20.31	24	17.91	0.14	18.09	17.67	24	18.60	0.20	18.93	18.45	24
26	20.59	0.13	20.81	20.43	24	17.61	0.13	17.78	17.33	24	18.63	0.21	18.93	18.13	24
27	20.48	0.10	20.66	20.36	24	17.53	0.14	17.83	17.34	24	18.10	0.29	18.61	17.81	24
28	20.42	0.09	20.62	20.32	24	17.55	0.15	17.87	17.41	24	18.06	0.20	18.29	17.64	24
29	20.47	0.14	20.70	20.30	24						17.90	0.09	17.97	17.64	24
30	20.51	0.17	20.73	20.26	24						17.45	0.25	17.81	17.17	24
31	20.63	0.03	20.69	20.57	24						16.98	0.30	17.33	16.53	24

d	abril 1998					mayo 1998					junio 1998				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	17.04	0.42	17.49	16.22	24	16.08	0.18	16.38	15.90	24	14.16	0.52	15.12	13.41	24
2	16.38	0.44	16.85	15.74	24	16.11	0.36	16.69	15.43	24	14.26	0.43	14.96	13.41	24
3	16.08	0.49	16.69	15.27	24	16.39	0.41	16.85	15.74	24	13.43	0.31	14.33	13.10	24
4	16.07	0.45	16.69	15.27	24	16.19	0.59	17.01	15.27	24	13.95	0.54	14.96	13.10	24
5	16.05	0.44	16.53	15.43	24	15.85	0.75	16.85	14.64	24	13.84	0.34	14.33	13.10	24
6	16.10	0.33	16.53	15.43	24	16.00	0.69	17.17	14.96	24	14.39	0.35	15.12	14.02	24
7	15.53	0.21	15.74	15.12	24	15.77	0.78	16.85	14.64	24	14.89	0.34	15.59	14.18	24
8	15.12	0.35	15.59	14.64	24	15.21	0.58	16.06	14.49	24	15.05	0.33	15.59	14.64	24
9	15.04	0.82	16.06	13.87	24	15.03	0.90	16.22	14.02	24	15.28	0.42	15.90	14.64	24
10	15.47	0.72	16.53	14.49	24	14.70	0.53	15.43	14.02	24	15.24	0.55	15.90	14.18	24
11	16.11	0.40	16.85	15.74	24	14.42	0.61	15.27	13.72	24	15.34	0.71	16.38	14.18	24
12	16.28	0.19	16.69	15.90	24	14.15	0.80	15.27	13.10	24	16.07	0.41	16.53	15.12	24
13	15.77	0.21	16.22	15.43	24	14.72	1.22	16.38	13.56	24	15.18	0.40	16.06	14.64	24
14	15.38	0.49	16.06	14.80	24	14.28	0.70	15.74	13.41	24	15.62	0.57	16.53	14.80	24
15	15.26	0.41	15.90	14.49	24	14.19	1.30	16.85	12.94	24	15.78	0.28	16.38	15.27	24
16	14.19	0.66	15.43	13.41	24	14.24	0.69	15.27	13.25	24	15.14	0.40	16.06	14.64	24
17	14.00	0.39	14.80	13.41	24	14.18	0.87	15.27	12.94	24	15.27	0.35	16.22	14.80	24
18	13.98	0.72	15.27	13.25	24	14.64	0.31	15.27	14.02	24	15.47	0.48	16.38	14.96	24
19	13.93	0.97	15.27	12.79	24	15.27	0.49	16.06	14.02	24	15.40	0.37	16.06	14.96	24
20	14.79	0.36	15.43	14.49	24	15.89	0.32	16.38	15.27	24	15.44	0.40	16.06	14.64	24
21	15.46	0.49	16.22	14.96	24	14.52	0.38	15.59	14.18	24					
22	16.10	0.34	16.53	15.43	24	14.37	0.26	14.80	13.87	24					
23	15.64	0.53	16.53	14.96	24	14.78	0.26	15.12	14.18	24					
24	15.58	0.37	15.90	14.80	24	14.30	0.38	14.96	13.72	24					
25	15.88	0.38	16.38	14.96	24	14.24	0.29	15.12	13.72	24					
26	15.27	0.40	15.90	14.64	24	14.37	0.37	14.96	13.72	24					
27	14.96	0.40	15.59	14.49	24	14.35	0.51	15.27	13.72	24					
28	15.60	0.30	16.22	15.27	24	14.28	0.79	15.74	13.41	24					
29	15.86	0.53	16.85	15.12	24	14.09	0.26	14.64	13.72	24					
30	16.22	0.28	16.69	15.74	24	14.27	0.56	15.12	13.41	24					
31						13.87	0.35	14.64	13.41	24					

Tabla 2 (Cont.)

d	agosto 1998					septiembre 1998					octubre 1998				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1						21.81	0.36	22.37	21.20	12	17.82	0.16	18.13	17.64	12
2						21.57	1.03	22.87	19.74	12	17.89	0.15	18.13	17.64	12
3						19.95	0.56	20.87	19.09	12	17.97	0.27	18.45	17.64	12
4						19.79	0.33	20.38	19.26	12	17.97	0.20	18.29	17.49	12
5						20.00	0.62	21.04	19.42	12	17.92	0.20	18.13	17.49	12
6						19.82	0.54	20.71	18.93	12	18.05	0.21	18.61	17.81	12
7						19.55	0.44	20.38	18.93	12	18.73	0.38	19.26	17.81	12
8						19.00	0.42	19.74	18.45	12	18.45	0.53	19.26	17.64	12
9						19.08	0.31	19.58	18.61	12	18.17	0.61	18.93	17.33	12
10						18.81	0.46	19.58	17.97	12	18.08	0.52	18.61	17.17	12
11						18.87	0.41	19.42	18.13	12	18.25	0.21	18.45	17.81	12
12	22.36	0.22	22.53	22.03	12	19.48	0.54	20.06	18.77	12	18.22	0.21	18.45	17.81	12
13	22.42	0.15	22.53	22.03	12	19.43	0.48	20.22	18.77	12	18.02	0.23	18.29	17.49	12
14	22.99	0.18	23.20	22.70	12	19.36	0.40	19.90	18.45	12	17.93	0.35	18.45	17.17	12
15	22.87	0.16	23.20	22.70	12	19.46	0.26	19.90	18.93	12	17.65	0.45	18.13	16.85	12
16	22.41	0.44	22.87	21.70	12	19.71	0.16	19.90	19.42	12	17.31	0.37	17.64	16.53	12
17	21.78	0.25	22.20	21.37	12	19.95	0.14	20.22	19.74	12	17.09	0.11	17.17	16.85	12
18	21.76	0.19	22.20	21.53	12	20.26	0.35	20.87	19.90	12	17.29	0.24	17.81	16.85	12
19	21.91	0.19	22.20	21.53	12	20.17	0.30	20.38	19.42	12	17.62	0.28	17.97	17.17	12
20	21.83	0.23	22.20	21.37	12	20.15	0.29	20.71	19.74	12	17.94	0.25	18.45	17.64	12
21	21.78	0.24	22.20	21.37	12	20.09	0.25	20.54	19.74	12	17.74	0.29	18.13	17.33	12
22	21.51	0.17	21.87	21.37	12	19.89	0.25	20.22	19.42	12	17.86	0.25	18.29	17.64	12
23	22.06	0.20	22.37	21.70	12	19.47	0.22	19.74	19.09	12	18.41	0.55	19.26	17.81	12
24	22.23	0.25	22.70	21.87	12	18.88	0.32	19.42	18.29	12	19.15	0.29	19.42	18.61	12
25	22.41	0.23	22.70	22.03	12	18.46	0.39	18.77	17.81	12	18.50	0.34	18.93	17.97	12
26	22.63	0.43	23.37	21.87	12	18.28	0.32	18.77	17.81	12	18.65	0.49	19.26	17.81	12
27	22.33	0.68	23.03	21.04	12	18.20	0.42	18.77	17.49	12	19.01	0.23	19.42	18.61	12
28	21.47	0.61	22.20	20.38	12	17.93	0.44	18.45	17.17	12	18.89	0.15	19.09	18.61	12
29	22.02	0.26	22.37	21.70	12	17.69	0.33	18.13	17.17	12	18.34	0.34	18.77	17.81	12
30	22.27	0.32	22.87	21.87	12	17.72	0.20	17.97	17.33	12	18.22	0.24	18.45	17.81	12
31	21.81	0.37	22.37	21.20	12						17.97	0.10	18.13	17.81	12

d	noviembre 1998					diciembre 1998					enero 1999				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	17.69	0.20	17.97	17.33	12	18.52	0.08	18.61	18.45	12	16.74	0.18	17.01	16.38	12
2	17.66	0.23	17.97	17.33	12	18.40	0.10	18.61	18.29	12	16.65	0.07	16.69	16.53	12
3	17.64	0.38	18.13	17.01	12	18.30	0.14	18.45	18.13	12	16.57	0.10	16.69	16.38	12
4	17.76	0.25	18.13	17.33	12	18.18	0.10	18.29	17.97	12	16.55	0.18	16.85	16.22	12
5	17.97	0.19	18.13	17.49	12	17.59	0.17	17.97	17.33	12	16.51	0.09	16.69	16.38	12
6	18.05	0.14	18.29	17.81	12	16.96	0.22	17.17	16.53	12	16.42	0.10	16.53	16.22	12
7	18.02	0.25	18.45	17.64	12	16.36	0.12	16.53	16.22	12	16.60	0.28	17.01	16.22	12
8	18.18	0.21	18.61	17.97	12	15.93	0.11	16.06	15.74	12	16.70	0.08	16.85	16.53	12
9	18.45	0.23	18.93	18.13	12	15.58	0.08	15.74	15.43	12	16.61	0.14	16.85	16.38	12
10	18.73	0.31	19.26	18.45	12	15.22	0.28	15.59	14.80	12	16.56	0.09	16.69	16.38	12
11	18.70	0.22	19.09	18.45	12	15.40	0.39	16.06	14.96	12	16.62	0.14	16.85	16.38	12
12	18.84	0.30	19.26	18.45	12	15.57	0.21	15.90	15.27	12	16.77	0.16	17.01	16.53	12
13	18.70	0.17	18.93	18.29	12	15.81	0.19	16.06	15.59	12	16.74	0.16	17.01	16.53	12
14	18.73	0.29	19.09	18.29	12	15.77	0.13	15.90	15.59	12	16.73	0.14	17.01	16.53	12
15	18.84	0.14	19.09	18.61	12	16.34	0.32	16.85	15.74	12	16.88	0.13	17.17	16.69	12
16	18.97	0.12	19.09	18.77	12	16.15	0.23	16.53	15.74	12	16.77	0.11	16.85	16.53	12
17	18.99	0.17	19.26	18.77	12	16.17	0.18	16.53	15.90	12	16.78	0.11	17.01	16.69	12
18	18.98	0.12	19.09	18.77	12	16.75	0.33	17.17	16.38	12	16.76	0.08	16.85	16.69	12
19	19.11	0.09	19.26	18.93	12	16.98	0.15	17.17	16.85	12	16.76	0.11	16.85	16.53	12
20	19.16	0.09	19.26	19.09	12	16.96	0.12	17.17	16.69	12	16.73	0.07	16.85	16.69	12
21	19.06	0.09	19.26	18.93	12	16.84	0.08	17.01	16.69	12	16.69	0.07	16.85	16.53	12
22	19.06	0.06	19.09	18.93	12	16.60	0.14	16.85	16.38	12	16.47	0.10	16.69	16.38	12
23	19.15	0.13	19.42	18.93	12	16.39	0.14	16.53	16.22	12	16.27	0.12	16.53	16.06	12
24	19.01	0.16	19.26	18.77	12	16.25	0.20	16.53	15.90	12	16.23	0.35	16.85	15.90	12
25	19.07	0.23	19.42	18.77	12	16.23	0.16	16.38	15.90	12	16.32	0.26	16.69	16.06	12
26	19.26	0.16	19.42	18.93	12	16.26	0.14	16.38	16.06	12	16.50	0.16	16.69	16.22	12
27	19.34	0.08	19.42	19.26	12	16.27	0.12	16.38	16.06	12	16.23	0.13	16.38	16.06	12
28	19.12	0.10	19.26	18.93	12	16.44	0.10	16.69	16.38	12	15.89	0.21	16.22	15.59	12
29	18.97	0.14	19.26	18.77	12	16.56	0.13	16.69	16.22	12	15.72	0.13	15.90	15.59	12
30	18.68	0.11	18.77	18.45	12	16.48	0.10	16.69	16.38	12	15.56	0.12	15.74	15.43	6
31						16.48	0.24	16.85	16.22	12					

Base de datos de temperaturas del mar de Bahía Asunción, Baja California Sur

Tabla 2 (Cont.)

d	P	septiembre 1999				octubre 1999				noviembre 1999					
		DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1						17.67	0.60	18.70	16.93	24	19.79	0.21	20.31	19.51	24
2						18.38	0.38	19.02	17.73	24	20.28	0.20	20.64	19.99	24
3						18.38	0.49	19.34	17.73	24	20.17	0.34	20.80	19.83	24
4						19.06	0.18	19.51	18.70	24	19.86	0.31	20.31	19.34	24
5						19.43	0.32	19.99	18.86	24	19.43	0.45	20.15	19.02	24
6						19.06	0.36	19.99	18.54	24	19.11	0.18	19.51	18.86	24
7						18.72	0.19	19.18	18.54	24	19.14	0.32	19.67	18.54	24
8						19.10	0.17	19.51	18.86	24	18.73	0.37	19.34	18.22	24
9						19.62	0.25	20.15	19.34	24	17.83	0.49	18.70	17.41	24
10						19.16	0.59	20.15	18.06	24	17.70	0.33	18.22	17.25	24
11						19.06	0.40	19.67	18.54	24	17.86	0.27	18.38	17.57	24
12	20.04	0.19	20.31	19.67	22	19.71	0.30	20.31	19.18	24	17.88	0.19	18.22	17.73	24
13	19.96	0.60	20.80	19.18	24	19.96	0.36	20.64	19.51	24	18.04	0.14	18.22	17.89	24
14	19.26	0.38	19.99	18.70	24	19.21	0.62	20.64	18.38	24	18.01	0.22	18.38	17.73	24
15	19.06	0.34	19.67	18.70	24	19.18	0.41	19.83	18.22	24	17.87	0.23	18.22	17.41	24
16	18.57	0.52	19.51	18.06	24	18.96	0.43	19.99	18.54	24	17.91	0.11	18.06	17.73	24
17	17.99	0.54	18.70	16.77	24	19.11	0.38	19.67	18.54	24	17.91	0.11	18.06	17.73	24
18	17.92	0.52	18.54	16.62	24	18.96	0.25	19.51	18.70	24	18.22	0.24	18.70	17.89	24
19	17.84	0.17	18.22	17.57	24	19.04	0.17	19.34	18.86	24	18.15	0.20	18.54	17.89	24
20	17.64	0.17	17.89	17.25	24	19.42	0.31	19.99	19.02	24	17.78	0.39	18.54	17.41	24
21	19.26	1.10	20.80	17.73	24	19.51	0.37	20.15	19.02	24	17.30	0.49	18.06	16.62	24
22	21.08	0.28	21.46	20.64	24	18.88	0.47	19.51	18.06	24	16.81	0.36	17.41	16.30	24
23	20.93	0.13	21.13	20.80	24	19.27	0.45	19.99	18.38	24	16.69	0.17	16.93	16.46	24
24	20.58	0.36	21.29	20.15	24	19.36	0.50	20.15	18.54	24	16.79	0.23	17.25	16.46	24
25	20.29	0.34	20.97	19.83	24	18.94	0.74	20.15	17.89	24	16.83	0.17	17.09	16.62	24
26	20.38	0.53	21.29	19.67	24	18.90	0.62	19.99	18.06	24	16.71	0.28	17.25	16.46	24
27	20.23	0.46	20.97	19.51	24	19.50	0.22	19.99	19.18	24	17.67	0.45	18.38	16.62	24
28	19.93	0.34	20.47	19.51	24	19.48	0.31	19.99	19.02	24	18.46	0.16	18.70	18.22	24
29	18.97	0.85	20.15	17.41	24	19.47	0.19	19.83	19.18	24	18.52	0.19	18.70	18.22	24
30	17.49	0.89	19.34	16.46	24	19.61	0.17	19.83	19.34	24	18.57	0.12	18.70	18.38	24
31						19.39	0.13	19.67	19.18	24					

d	P	diciembre 1999				enero 2000				febrero 2000					
		DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	18.66	0.20	19.02	18.38	24	17.27	0.21	17.57	16.93	24	16.14	0.21	16.46	15.83	24
2	18.64	0.24	19.02	18.38	24	17.03	0.20	17.41	16.77	24	16.10	0.22	16.46	15.83	24
3	18.42	0.45	19.02	17.57	24	16.89	0.26	17.25	16.62	24	16.19	0.13	16.46	15.98	24
4	18.10	0.26	18.54	17.73	24	16.75	0.24	17.09	16.30	24	16.31	0.20	16.62	15.98	24
5	18.15	0.22	18.54	17.89	24	16.71	0.29	17.25	16.30	24	16.31	0.18	16.62	16.14	24
6	17.98	0.25	18.38	17.57	24	16.36	0.30	16.77	15.83	24	16.25	0.19	16.62	15.98	24
7	17.88	0.25	18.22	17.57	24	16.33	0.26	16.77	15.98	24	16.19	0.16	16.46	15.98	24
8	17.64	0.32	18.06	17.25	24	16.29	0.16	16.62	16.14	24	16.05	0.13	16.30	15.83	24
9	17.50	0.18	17.89	17.25	24	16.31	0.25	16.77	15.98	24	16.13	0.13	16.46	15.98	24
10	17.31	0.25	17.73	16.93	24	16.23	0.23	16.62	15.83	24	16.12	0.18	16.46	15.83	24
11	17.02	0.18	17.25	16.77	24	16.18	0.21	16.46	15.83	24	15.88	0.45	16.46	15.35	24
12	17.09	0.23	17.41	16.77	24	16.21	0.17	16.46	15.98	24	15.30	0.35	15.83	14.88	24
13	17.05	0.21	17.41	16.77	24	16.19	0.20	16.46	15.83	24	14.96	0.38	15.51	14.56	24
14	17.10	0.25	17.41	16.77	24	16.21	0.09	16.30	15.98	24	14.56	0.33	15.19	14.25	24
15	16.99	0.25	17.41	16.62	24	16.54	0.22	16.93	16.30	24	14.72	0.29	15.19	14.41	24
16	17.26	0.12	17.41	17.09	24	16.76	0.14	16.93	16.46	24	14.84	0.29	15.35	14.56	24
17	17.28	0.19	17.57	17.09	24	17.10	0.11	17.41	16.77	24	14.90	0.26	15.35	14.56	24
18	17.30	0.20	17.57	16.93	24	17.03	0.26	17.41	16.46	24	14.47	0.32	15.03	14.09	24
19	17.17	0.21	17.41	16.93	24	17.05	0.17	17.41	16.77	24	14.88	0.31	15.35	14.41	24
20	17.10	0.16	17.41	16.77	24	17.04	0.13	17.25	16.93	24	15.46	0.28	15.98	15.03	24
21	17.22	0.15	17.41	17.09	24	17.06	0.12	17.25	16.93	24	15.47	0.11	15.67	15.35	24
22	17.11	0.28	17.57	16.77	24	17.00	0.18	17.25	16.77	24	15.38	0.39	15.98	14.88	24
23	17.12	0.19	17.41	16.93	24	17.02	0.16	17.25	16.77	24	14.90	0.48	15.67	14.41	24
24	17.14	0.29	17.73	16.77	24	16.99	0.11	17.09	16.77	24	14.35	0.34	14.88	13.94	24
25	17.05	0.21	17.41	16.77	24	17.03	0.17	17.25	16.77	24	13.96	0.29	14.41	13.63	24
26	17.32	0.18	17.57	17.09	24	16.82	0.27	17.25	16.46	24	13.75	0.25	14.09	13.48	24
27	17.56	0.11	17.73	17.41	24	16.75	0.22	17.09	16.46	24	13.79	0.20	14.09	13.48	24
28	17.64	0.10	17.73	17.41	24	16.51	0.23	16.77	16.14	24	13.71	0.40	14.56	13.32	24
29	17.64	0.19	17.89	17.25	24	16.36	0.16	16.62	16.14	24	13.62	0.36	14.41	13.17	24
30	17.55	0.19	17.73	17.25	24	16.40	0.23	16.77	16.14	24					
31	17.46	0.17	17.73	17.25	24	16.33	0.27	16.77	15.98	24					

Tabla 2 (Cont.)

d	marzo 2000					abril 2000					mayo 2000				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	13.93	0.43	14.72	13.48	23						11.90	0.37	12.55	11.32	24
2											12.02	0.59	12.71	11.01	24
3											12.10	0.51	12.71	11.47	24
4											12.47	0.48	13.02	11.78	24
5											12.70	0.41	13.17	11.93	24
6											12.81	0.39	13.48	12.24	24
7						14.13	0.35	14.72	13.78	13	13.27	0.55	14.09	12.39	24
8						13.87	0.26	14.41	13.48	24	13.17	0.55	13.94	12.24	24
9						13.89	0.43	14.56	13.02	24	12.62	0.61	13.32	11.62	24
10						14.12	0.45	14.88	13.48	24	12.61	0.39	13.17	12.08	24
11						13.84	0.48	14.56	13.32	24	12.90	0.62	13.94	12.08	24
12						13.83	0.44	14.41	13.02	24	12.83	0.51	13.63	12.08	24
13						13.97	0.55	14.56	13.02	24	12.83	0.52	13.63	11.93	24
14						13.82	0.42	14.41	13.02	24	13.25	0.35	13.78	12.55	24
15						13.75	0.32	14.41	13.32	24	13.27	0.31	13.78	12.71	24
16						13.34	0.30	13.94	12.86	24	12.89	0.42	13.63	12.24	24
17						13.12	0.55	13.94	12.08	24	12.56	0.51	13.32	11.62	24
18						13.20	0.39	13.94	12.55	24	12.20	0.48	12.86	11.47	24
19						12.70	0.36	13.17	12.08	24	12.09	0.47	12.71	11.32	24
20						12.39	0.35	13.02	11.78	24	12.23	0.47	12.86	11.47	24
21						11.87	0.19	12.24	11.62	24	12.22	0.52	13.02	11.47	24
22						12.07	0.31	12.71	11.78	24	12.62	0.34	13.02	12.08	24
23						12.06	0.25	12.55	11.78	24	12.90	0.48	13.63	12.24	24
24						11.81	0.33	12.24	11.16	24	13.21	0.53	13.94	12.24	24
25						11.53	0.35	12.08	11.01	24	13.41	0.34	13.94	12.71	24
26						11.93	0.36	12.39	11.32	24	13.01	0.61	13.78	11.78	24
27						12.10	0.25	12.55	11.78	24	12.66	0.78	13.63	11.32	24
28						12.19	0.44	12.86	11.47	24	12.55	0.88	13.63	11.16	24
29						12.11	0.44	12.86	11.47	24	12.28	0.67	13.02	11.32	24
30						12.05	0.38	12.71	11.47	24	11.99	0.55	12.86	11.32	24
31											11.71	0.41	12.39	11.16	24

d	junio 2000					julio 2000					agosto 2000				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	11.78	0.50	12.55	11.16	24	13.63	0.48	14.41	12.71	24	16.85	0.38	17.57	16.30	24
2	12.29	0.58	13.48	11.78	24	13.55	0.53	14.41	12.55	24	16.99	0.63	17.89	16.14	24
3	12.74	0.48	13.48	12.08	24	13.36	0.48	14.25	12.71	24	17.53	0.86	19.02	15.98	24
4	13.30	0.46	14.25	12.71	24	12.91	0.42	13.63	12.24	24	17.69	0.91	19.51	16.46	24
5	14.04	0.55	15.19	13.32	24	12.70	0.33	13.32	12.24	24	17.51	0.90	19.34	16.62	24
6	14.47	0.56	15.35	13.32	24	13.06	0.57	13.94	12.24	24	17.36	0.38	18.38	16.62	24
7	14.46	0.68	15.51	13.32	24	14.39	0.44	15.03	13.94	24	18.22	0.78	19.83	17.09	24
8	14.60	0.84	15.98	13.17	24	14.28	0.31	15.03	13.94	24	20.09	0.79	20.97	18.22	24
9	14.10	0.49	14.72	13.32	24	14.43	0.41	15.19	13.94	24	20.79	0.43	21.63	20.31	24
10	13.45	0.48	14.25	12.86	24	14.58	0.44	15.19	13.78	24	20.56	0.96	21.79	18.06	24
11	13.09	0.37	13.63	12.39	24	14.23	0.59	15.03	13.32	24	18.82	0.60	19.67	17.73	24
12	12.89	0.26	13.32	12.55	24	14.02	0.45	14.72	13.32	24	19.49	0.43	19.99	18.86	24
13	12.93	0.37	13.63	12.39	24	13.68	0.41	14.25	13.02	24	19.80	0.62	21.13	18.54	24
14	12.72	0.45	13.32	12.08	24	13.79	0.54	14.41	12.86	24	19.03	0.62	19.51	17.57	24
15	12.91	0.43	13.63	12.24	24	14.21	0.45	14.88	13.48	24	19.18	0.70	20.31	18.22	24
16	12.83	0.40	13.48	12.24	24	13.71	0.34	14.25	13.17	24	18.77	0.37	19.51	18.38	24
17	12.54	0.31	13.17	12.24	24	13.52	0.35	14.09	13.02	24	19.87	0.42	20.47	19.18	24
18	12.54	0.27	13.02	12.24	24	13.48	0.29	13.94	13.02	24	21.79	0.64	22.96	20.64	24
19	12.81	0.38	13.48	12.24	24	14.60	0.65	15.83	13.78	24	21.93	0.55	23.13	21.46	24
20	12.91	0.31	13.48	12.39	24	15.67	0.72	17.09	14.56	24	21.35	0.55	22.29	20.47	24
21	13.15	0.32	13.63	12.55	24	16.26	0.26	16.77	15.83	24	20.21	0.69	21.29	19.18	24
22	13.00	0.33	13.48	12.39	24	16.10	0.40	16.93	15.83	24	20.00	0.44	20.80	19.34	24
23	13.22	0.36	13.78	12.71	24	15.92	0.81	17.25	14.88	24	20.75	0.32	21.46	20.31	24
24	13.80	0.38	14.72	13.32	24	15.38	0.47	16.14	14.56	24	20.57	0.64	21.29	19.51	24
25	14.16	0.66	14.88	13.17	24	15.06	0.47	15.83	14.41	24	20.44	0.38	20.97	19.51	24
26	13.71	0.68	14.41	12.39	24	15.84	0.88	17.09	14.41	24	20.12	0.49	20.64	19.34	24
27	12.57	0.40	13.32	12.08	24	16.23	0.68	17.57	15.51	24	19.63	0.57	20.47	18.54	24
28	12.78	0.59	14.09	12.24	24	17.45	0.98	18.86	15.83	24	19.16	0.63	19.99	18.22	24
29	13.05	0.64	14.25	12.24	24	17.77	0.61	18.54	16.93	24	18.84	0.36	19.51	18.38	24
30	13.35	0.49	14.25	12.71	24	16.98	0.20	17.41	16.77	24	18.08	0.49	18.86	17.41	24
31						17.05	0.41	17.57	16.30	24	17.90	0.25	18.22	17.41	24

Base de datos de temperaturas del mar de Bahía Asunción, Baja California Sur

Tabla 2 (Cont.)

d	P	septiembre 2000				octubre 2000					noviembre 2000				
		DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
1	17.84	0.13	18.06	17.73	24	18.30	0.47	19.18	17.73	24	18.64	0.33	19.34	18.22	24
2	17.95	0.17	18.22	17.73	24	18.47	0.44	19.02	17.73	24	18.34	0.18	18.70	18.06	24
3	18.25	0.14	18.38	18.06	24	18.18	0.61	19.02	17.25	24	18.34	0.34	18.86	17.89	24
4	18.50	0.22	18.86	18.06	24	17.74	0.42	18.54	17.25	24	18.31	0.22	18.70	18.06	24
5	18.62	0.23	19.18	18.38	24	17.57	0.44	18.38	16.77	24	18.18	0.26	18.70	17.89	24
6	18.86	0.28	19.34	18.54	24	16.85	0.44	17.73	16.30	24	18.00	0.21	18.38	17.73	24
7	18.73	0.34	19.51	18.38	24	16.63	0.27	17.09	16.30	24	17.89	0.14	18.06	17.57	24
8	19.12	0.43	19.83	18.38	24	17.30	0.44	18.06	16.62	24	17.56	0.29	18.06	17.09	24
9	19.91	0.51	20.80	19.18	24	17.92	0.40	18.54	17.09	24	17.64	0.23	18.06	17.25	24
10	21.02	0.87	22.63	19.99	24	18.05	0.22	18.38	17.73	24	17.64	0.22	18.06	17.41	24
11	22.87	0.96	23.81	20.97	24	18.09	0.12	18.38	17.89	24	17.65	0.28	18.06	17.25	24
12	23.98	0.34	24.67	23.64	24	18.49	0.27	19.02	18.06	24	17.81	0.40	18.38	17.41	24
13	23.12	0.85	23.98	21.63	24	18.55	0.31	19.02	18.06	24	17.65	0.21	18.06	17.25	24
14	21.43	0.62	22.29	20.31	24	18.26	0.26	18.86	18.06	24	17.62	0.22	17.89	17.25	24
15	21.39	0.66	22.29	20.31	24	18.04	0.23	18.38	17.73	24	17.66	0.24	18.06	17.41	24
16	22.01	0.29	22.46	21.63	24	17.96	0.23	18.54	17.73	24	17.68	0.18	17.89	17.41	24
17	22.32	0.36	22.96	21.96	24	18.29	0.36	19.02	17.73	24	17.58	0.15	17.89	17.41	24
18	22.33	0.18	22.63	21.96	24	18.08	0.40	18.70	17.57	24	17.48	0.30	17.89	17.09	24
19	22.24	0.48	22.96	21.29	24	17.78	0.25	18.38	17.57	24	17.59	0.25	17.89	17.25	24
20	22.00	0.42	22.63	21.29	24	17.79	0.34	18.54	17.41	24	17.63	0.29	18.06	17.25	24
21	22.13	0.37	22.63	21.46	24	18.38	0.39	18.86	17.73	24	18.09	0.34	18.54	17.73	24
22	21.70	0.22	22.13	21.29	24	18.23	0.19	18.70	18.06	24	18.28	0.18	18.54	18.06	24
23	21.32	0.40	21.79	20.64	24	18.41	0.31	19.02	18.06	24	18.22	0.29	18.70	17.73	24
24	20.86	0.47	21.79	20.31	24	18.80	0.40	19.51	18.38	24	18.25	0.23	18.70	17.89	24
25	20.31	0.60	21.29	19.34	24	19.26	0.42	19.83	18.70	24	18.15	0.23	18.54	17.73	24
26	19.80	0.59	20.97	19.18	24	19.56	0.25	19.99	19.18	24	18.18	0.22	18.54	17.89	24
27	19.48	0.33	20.31	19.02	24	19.53	0.16	19.83	19.34	24	18.13	0.19	18.38	17.89	24
28	19.07	0.37	19.67	18.38	24	19.41	0.17	19.67	19.18	24	18.20	0.31	18.70	17.73	24
29	18.37	0.37	19.18	17.89	24	19.29	0.23	19.67	19.02	24	18.30	0.28	18.70	17.89	24
30	18.33	0.33	19.02	17.89	24	19.03	0.27	19.51	18.54	24	18.35	0.26	18.86	18.06	24
31						18.63	0.25	19.02	18.38	24					

diciembre 2000					
d	P	DE	máx	mín	n
1	18.26	0.17	18.54	18.06	24
2	18.30	0.16	18.54	18.06	24
3	18.30	0.25	18.70	17.89	24
4	18.37	0.21	18.70	18.06	24
5	18.45	0.14	18.70	18.22	24
6	18.52	0.20	18.86	18.22	24
7	18.61	0.22	19.02	18.38	24
8	18.63	0.19	19.02	18.38	24
9	18.63	0.20	19.02	18.38	24
10	18.48	0.15	18.86	18.38	24
11	18.43	0.07	18.54	18.38	24
12	18.43	0.19	18.86	18.22	24
13	18.31	0.19	18.70	18.06	24
14	18.25	0.25	18.70	17.89	24
15	18.25	0.28	18.70	17.89	24
16	18.30	0.23	18.70	18.06	24
17	18.57	0.19	18.86	18.38	24
18	18.43	0.28	18.86	18.06	24
19	18.17	0.38	18.70	17.57	24
20	18.47	0.34	19.02	18.06	24
21	18.45	0.33	19.02	17.89	24
22	18.41	0.26	18.86	18.06	24
23	18.76	0.38	19.18	18.22	24
24	18.93	0.23	19.34	18.54	24
25	18.85	0.21	19.18	18.54	24
26	18.34	0.24	18.70	17.89	24
27	18.14	0.36	18.70	17.41	24
28	18.37	0.23	18.70	18.06	24
29	18.58	0.25	19.02	18.22	24
30	18.61	0.24	19.02	18.38	24
31	18.64	0.24	19.02	18.38	24

Tabla 3. Estadísticos básicos de mediciones de temperatura de mar en escala mensual.**Table 3.** Basic statistics of the sea-temperature measurements at monthly scale.

mes	1992					1993					1994				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
enero											18.95	0.74	19.80	18.00	4
febrero	17.25	0.50	18.00	17.00	4						16.30	0.45	17.00	16.00	5
marzo	17.26	1.24	21.00	15.00	19						15.67	0.62	17.00	15.00	12
abril						14.78	1.40	17.00	11.00	12	14.39	0.99	16.00	13.00	18
mayo	16.22	0.83	18.00	15.00	9	15.40	2.01	17.50	10.00	10	13.33	0.73	15.00	12.00	21
junio	18.00	2.16	20.00	15.00	4	17.36	2.18	19.00	11.00	11	13.71	0.65	15.00	12.50	19
julio						13.50	9.96	19.50	2.00	3	15.57	0.65	17.00	15.00	15
agosto	22.00				1	15.36	3.71	21.00	9.00	9	18.79	2.08	22.00	16.00	17
septiembre	23.50	0.71	24.00	23.00	2	19.69	4.85	22.50	8.00	8	19.89	1.60	22.50	17.50	19
octubre	23.58	1.43	26.00	22.00	6	20.79	2.35	23.00	13.00	14	19.67	1.52	22.00	17.50	9
noviembre	21.00	0.71	22.00	20.00	5	17.92	1.10	22.00	18.00	22	18.42	0.49	19.00	18.00	6
diciembre						17.85	2.84	20.00	10.00	10	19.06	0.42	19.50	18.50	8

mes	1995					1996					1997				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
enero	15.73	1.25	17.00	14.00	20	16.20	1.02	18.50	14.50	23	16.41	0.97	18.50	15.00	29
febrero	16.64	0.66	18.00	15.50	14	15.38	0.93	17.00	13.00	28	14.75	1.02	17.00	12.50	26
marzo	15.38	1.23	17.00	13.00	28	13.44	0.55	14.50	12.50	26	14.44	0.68	15.50	12.50	24
abril	13.37	0.73	15.00	12.00	27	12.63	0.73	14.00	11.50	24	13.45	0.71	14.50	12.50	21
mayo	12.70	1.11	15.00	11.50	28	13.27	1.70	18.00	11.50	26	14.26	0.64	16.00	13.00	23
junio	12.54	0.55	13.50	12.00	26	13.35	1.12	17.00	12.00	27	14.24	1.34	17.00	12.50	24
julio	14.67	1.39	17.00	12.50	27	14.35	1.15	16.00	12.00	31	19.24	3.34	26.00	14.00	27
agosto	17.43	2.37	22.00	14.50	29	19.31	2.53	26.00	16.50	27	25.27	1.48	28.50	21.00	27
septiembre	22.00	0.99	23.50	19.50	26	20.67	1.97	23.00	16.00	30	27.38	0.73	29.00	26.00	26
octubre	18.27	1.47	21.00	16.00	28	18.55	1.25	21.50	17.00	30	24.35	1.67	27.00	20.50	26
noviembre	18.70	0.56	19.50	18.00	23	18.69	0.82	20.00	17.00	27	23.60	0.65	24.50	22.50	22
diciembre	17.50	1.45	19.00	15.00	20	18.32	0.61	19.00	16.50	28	20.70	1.44	24.00	18.00	28

mes	1998					1999					2000				
	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n	P	DE	máx	mín	n
enero	19.98	0.48	21.30	19.00	25	15.45	0.49	16.00	14.30	26	16.42	0.68	17.00	14.80	25
febrero	18.75	0.82	20.00	17.00	23	14.63	0.52	15.80	14.00	26	15.86	0.78	17.00	14.50	24
marzo	17.80	0.58	19.00	16.80	25	13.42	0.66	14.80	12.00	24	14.24	0.80	16.00	13.00	27
abril	15.21	0.78	16.80	13.80	23	12.60	1.07	15.00	11.00	28	13.90	1.08	15.00	12.30	21
mayo	14.99	0.73	16.00	14.00	27	12.82	0.38	13.50	12.00	21	13.19	0.64	15.00	12.00	27
junio	16.49	1.58	19.30	14.00	22	13.49	0.66	15.00	12.80	26	14.38	0.89	16.00	12.50	26
julio	19.15	1.16	21.30	15.80	28	15.04	1.10	17.00	13.00	28	16.29	1.60	19.00	14.00	24
agosto	23.10	0.92	24.00	21.50	23	16.23	1.55	19.00	14.00	25	20.15	1.52	22.00	18.00	22
septiembre	20.53	1.32	24.30	19.00	27	18.23	1.47	20.50	15.30	25	20.93	1.98	25.00	18.00	26
octubre	18.77	0.75	20.00	16.50	23	18.31	0.50	19.00	17.00	23	18.85	1.26	23.50	17.00	24
noviembre	17.76	0.63	18.80	16.50	24	17.35	1.31	20.00	15.00	25	18.35	0.57	19.50	17.00	23
diciembre	15.66	1.05	17.80	14.00	30	16.59	0.57	18.00	16.00	28	18.39	0.47	19.50	17.80	28
diciembre	17.50	1.45	19.00	15.00	20	18.32	0.61	19.00	16.50	28	20.70	1.44	24.00	18.00	28

GROWTH OF JUVENILE ABALONE, *HALIOTIS FULGENS PHILIPPI*, FED DIFFERENT DIETS

ELISA SERVIERE-ZARAGOZA,^{1,*} ALEJANDRA MAZARIEGOS-VILLAREAL,¹
GERMÁN PONCE-DÍAZ,^{1,2} AND SILVIA MONTES MAGALLÓN³

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), P.O. Box 128, La Paz, Baja California Sur, 23000, México; ²Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN, La Paz, Baja California Sur, México; ³SEMARNAP, Delegación en Baja California Sur, La Paz, Baja California Sur, México

ABSTRACT Growth rates of juvenile *Haliotis fulgens* (green abalone) were evaluated with four different diets over 106 days. Three diets were based on the algae palm kelp *Eisenia arborea*, giant kelp *Macrocystis pyrifera*, and *Gelidium robustum*, and one on seagrass *Phyllospadix torreyi*. One artificial diet was used as a control. The best growth rates and specific growth rates were found in abalone fed *M. pyrifera*, which were significantly different from growth achieved on the other natural diets. The pattern of growth in juveniles fed an artificial diet was similar to juveniles fed *M. pyrifera*. The highest mortality (11%) was in juveniles fed the red algae *G. robustum*.

KEY WORDS: *Haliotis fulgens*, green abalone, growth, algae, diets

INTRODUCTION

In recent years, dietary research in abalone has focused on the production of formulated feeds in countries with a history of abalone culture (Uki & Watanabe 1992, Wee et al. 1992, Viana et al. 1993, Viana et al. 1994, Britz 1996a, Britz 1996b, Fleming et al. 1996, Knauer et al. 1996, Britz et al. 1997, Clarke & Creese 1998, López et al. 1998, Monje & Viana 1998) because of potential use of these feeds in commercial production. Information on natural diets is important in understanding the biology of abalone species. Abalone food preferences have been studied from both analysis of gut contents and feeding experiments in species such as *Haliotis cracherodii* Leach, *H. discus hannai* Ino, *H. fulgens* Philippi, *H. tuberculata* (L.), and *H. rufescens* Swainson (Sakai 1962, Leighton & Boolootian 1963, Culley & Peck 1981, Uki 1981, Uki et al. 1986, Leighton 1966, Mercer et al. 1993, Corazani & Illanes 1998, Leighton & Peterson 1998, Simpson & Cook 1998). Shepherd and Steinberg (1992) reviewed the literature on the feeding biology of abalone. In Mexico, research into natural diets has been limited to the brown alga *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Ag. as a control in feeding trials (Viana et al. 1993, Viana et al. 1996). It has been assumed that abalone feed on the kelp alga *M. pyrifera*. Regional hatcheries use this species as a main source of natural food. *M. pyrifera* does not occur at the southern limit of the distribution of abalone species along the Baja California Peninsula. However, there are many subtidal algae along the coast that may be used as potential food. In Baja California Sur, the most common food items in gut content of adults of green abalone *Haliotis fulgens* were the seagrass *Phyllospadix torreyi* S. Watson and the macroalgae *Sargassum* sp., *Eisenia arborea* Aresh., *Cryptopleura crispa* Kylin, and *Rhodomyenia* sp. (Serviere-Zaragoza et al. 1998). It is important to develop feeding experiments oriented to test growth rates and feed conversion efficiencies on single species diets to evaluate local algal species as diets for abalone. Day and Fleming (1992) mentioned that although an alga may not support sustained growth when fed alone, it may be of great value when part of a mixed diet by providing essential nutrients to the diet. This study was designed to assess the growth of juvenile green abalone fed with common species in the benthic environments inhabited by abalone along the western coast of Baja California.

MATERIALS AND METHODS

Diets

Macrocystis pyrifera (MP) was selected as the primary alga species (the control) because it is the dominant algal species of southern California (Dawson et al. 1960) and it is believed by fishermen that Mexican abalone species feed extensively on this alga. The brown alga *Eisenia arborea* (EA), red alga *Gelidium robustum* (GR), and the sea grass *Phyllospadix torreyi* (PT) are thought to be important species in abalone communities as potential food along Baja California (Guzmán del Prío et al. 1972, Guzmán del Prío et al. 1991, Serviere-Zaragoza et al. 1998). Natural diets were harvested, dried, and stored at the beginning of the experiment, because chemical composition varies during the year. The growth rate of abalone fed with algal diets is low and variable over time. Therefore, we decided to include an artificial diet as a control (AD). AD was manufactured by the nutrition group of Instituto de Investigaciones Oceanológicas, B.C. The dietary formulation is in Table 1. Proximate analyses (crude protein, ether extractables, crude fiber, and ash) were performed using the methods of the Association of Official Agricultural Chemists (1995).

Experimental Procedure

Animals used in this experiment were reared in a commercial hatchery in Eréndira, Baja California, and transferred to the CIBNOR laboratory in La Paz, B.C.S. at age 8 mo. Feeding experiments commenced six months later. During this period, animals were fed the brown alga *Eisenia arborea*. Six hundred animals (17.3 (±2.2) mm shell length and 0.44 (±0.2) g body weight) were used to test the growth response of abalone fed four diets for 106 days. Experimental animals were held in 16-L fiber glass containers (50 × 30 × 35 cm, experimental units) with a concave bottom. Three replicates per treatment were made with 40 abalone per experimental unit (EU). Animals were marked with plastic tags attached to the shell. The EUs were supplied with temperature controlled (20 ± 1°C), fresh, filtered (10 µm) water with a flow rate of 73 mL/min. The water was aerated vigorously. Salinity, oxygen, pH, nitrate, nitrite, ammonium content, and phosphate were monitored every week. Dead animals were removed and replaced to maintain densities. Shell length was measured with a vernier caliper, and body weight was measured with an electronic balance (to 0.001 g) at the beginning, and at 30, 60, and 106 days.

*Corresponding author. Fax: +112-5-4715; E-mail: serviere@cibnor.mx

TABLE 1.

Percent composition of the artificial diets tested in this study, given as percentage of dry matter.

Ingredients	g/100 g
Fish meal	30.0
Silage (dry basis)	2.0
Soy bean meal	10.0
Corn meal (whole)	12.0
Vegetable meal	15.0
Corn starch	19.37
Gelatin	6.0
Vitamin mixture	1.7
Mineral mixture	3.3
Choline chloride	0.11
Methionine	0.23
BTH	0.086
Sodium Benzoate	0.23

Diets were given *ad libitum*. Natural diets were fed every 42 hours in the afternoon and the artificial diet each night. The remaining food was carefully collected for drying and weighing; every other morning for natural diets and each morning for the artificial diet. This was undertaken throughout the feeding experiment. Algae growing on the inside walls of the EU were removed twice a week with a soft brush. For diets, the amount of dry matter lost in seawater was estimated during the experiment by using EUs without abalone under the same conditions as those of the growth experiments.

Growth rates were calculated by the equation:

$$GR_{SL} = (SL_f - SL_i)/T \text{ and } GR_{BW} = (BW_f - BW_i)/T$$

where SL_f = mean final shell length, SL_i = mean initial shell length, BW_f = mean final weight, BW_i = mean initial weight, and T = time in days.

Specific growth rate (SGR % day⁻¹) was calculated for shell length and body weight by the equation (Britz 1996b):

$$SGR_{SL} = \{(\ln SL_f - \ln SL_i)/T\} \times 100 \text{ and}$$

$$SGR_{BW} = \{(\ln BW_f - \ln BW_i)/T\} \times 100$$

where SGR_{SL} is percent shell length gain per day, SL_f = mean final shell length, SL_i = mean initial shell length, and T is time in days between measurements. SGR_{BW} is percent body weight gained per day, BW_f = mean final weight, and BW_i = mean initial weight.

Consumption was calculated in terms of dry weight with the equation (Uki & Watanabe 1992):

$$FC = (GS/100) - R$$

where G is the weight of food offered per animal per day (in grams), S is the percentage of food recovered, obtaining a factor for each diet (from the controls without abalone), and R is the remaining food (in grams) after the abalone had fed.

Food conversion efficiency ratio was calculated as (Uki & Watanabe 1992):

$$FCE = \text{wet weight gain (g)/dry weight of food consumed (g)} \times 100$$

This measure of food utilization is related to conversion efficiency, but is in fact the ratio of animal live or wet weight gain to the amount of dry diet consumed (Monje & Viana 1998).

Statistical Analyses

Data for experimental replicates were pooled because no significant differences were found between them by one-way analysis of variance (ANOVA) at a significance level of $P = 0.05$. Data from each different treatment were analyzed by ANOVA test and Tukey test to determine differences of means (Sokal & Rohlf 1995). Statistical analysis was done with software STATISTICA 6.0 for PC.

RESULTS

The highest protein content was found in *Gelidium robustum* (GR) followed by *Phyllospadix torreyi* (PT), *Macrocystis pyrifera* (MP), and *Eisenia arborea* (EA). The lipids were between 1.06% for *G. robustum* and 1.30% for *M. pyrifera* (Table 2). The daily average temperature was $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Water quality analyses showed the following averages ($\pm s$) for pH 8.03 (± 0.06): oxygen 6.52 (± 0.74) mg/L, salinity 40 (± 1.29) ppm, nitrites 0.0052 (± 0.0004) $\mu\text{mol/L}$, nitrates 0.1253 (± 0.0029) $\mu\text{mol/L}$, ammonium 0.0226 (± 0.00001) mg/L, and phosphate 0.00552 (± 0.000017) $\mu\text{mol/L}$ throughout the experiment.

Growth of Abalone

A significant difference in means was shown between shell length and body weight of juvenile green abalone fed with the natural diets ($P < 0.05$). At 30 days of the experiment, the mean length, 19.15 mm \pm 0.23 (SE), and weight, 0.59 g \pm 0.02 (SE), of juveniles fed MP were statistically different from the means of juveniles fed EA, 18.28 mm \pm 0.21 (SE) and 0.02 g \pm 0.18 (SE), and GR, 18.24 mm \pm 0.19 (SE) and 0.50 g \pm 0.02 (SE). After 60 days, the differences increased and were significant. Both mean length and weight of juveniles fed MP were statistically different from the other diets; EA, GR, and PT. Differences between juveniles fed these latter three diets were not detected.

Mean shell length and body weight increased over time on all diets (Fig. 1). The best growth in length and weight for green abalone was obtained with MP, 22.29 mm \pm 0.33 (SE) and 1.0 g \pm 0.06 (SE). The percent of survival was between 89% and 95% in natural diets. For AD, it was 97% (Table 3). The pattern of growth in juveniles fed the artificial diet, 22.01 mm \pm 0.22 (SE) and 0.91 g \pm 0.03 (SE), was similar to juveniles fed MP (Fig. 1).

TABLE 2.

Proximate analysis of the species and artificial diet used in experimental diets. EA, *Eisenia arborea*; MP, *Macrocystis pyrifera*; GR, *Gelidium robustum*; PT, *Phyllospadix torreyi*; and AD, artificial diet.

Diet	Component				
	Crude Protein	Ash	Crude Fiber	Ether Extract	N-free Extract
EA	7.60	27.13	6.44	1.15	57.68
MP	12.0	41.33	7.0	1.30	38.37
GR	17.61	21.26	10.19	1.06	49.88
PT	15.94	31.88	13.45	1.28	37.44
AD	35.85	10.70	5.85	7.09	40.51

Values are given as percent of dry matter.

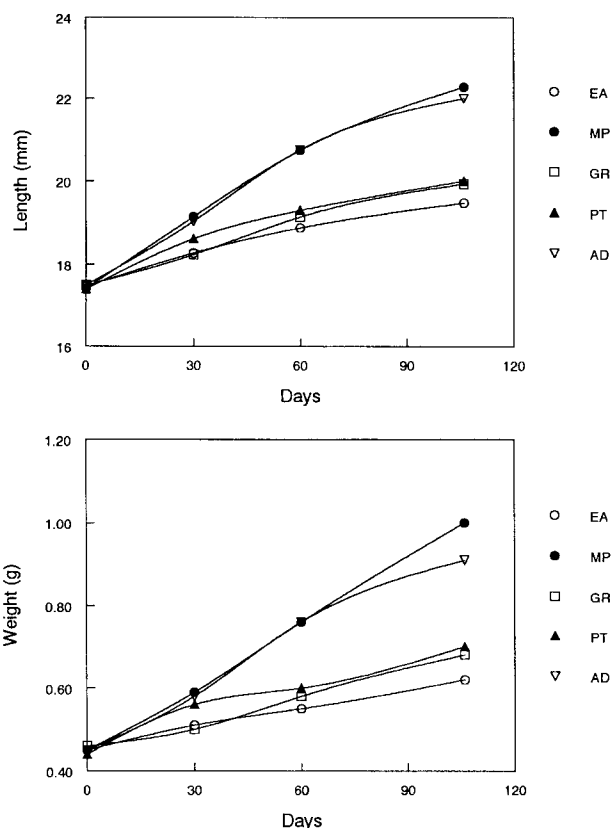


Figure 1. Mean growth of abalone fed with different diets. EA, *Eisenia arborea*; MP, *Macrocyctis pyrifera*; GR, *Gelidium robustum*; PT, *Phyllospadix torreyi*; and AD, artificial diet.

Growth Rates

Significant differences occurred, between natural diets, in the daily growth rates of the shell length (SL) and body weight (BW) ($P < 0.05$). During the experimental period, 106 days, both mean SL and BW growth rates of animals fed MP were higher than mean growth rates of the juveniles fed the other natural diets ($P < 0.05$) (Table 3). The growth rates of the juveniles analyzed varied within the same diet during the experiment. In EA and PT a gradual decrease was observed during the experiment. For MP and GR, in the second month a gradual increase was measured, and at the end of the experiment the values had decreased. Juveniles fed EA showed the lowest shell length growth rates, $15 \mu\text{m} \pm 1$ (SE), during the third experimental month and the highest was in juveniles fed MP, $53 \mu\text{m} \pm 2$ (SE), during the second month. Body

weight growth rates were between $0.92 \text{ mg} \pm 0.13$ (SE) for GR during the first month and $6.70 \text{ mg} \pm 1.29$ (SE) for MP during the third month.

The daily growth rates of juveniles fed artificial diet were similar to growth rates of juveniles fed MP (Table 3). The values ranged between $31 \mu\text{m} \pm 2$ (SE) in the third month to $57 \mu\text{m} \pm 2$ (SE) in the second month. Daily body weight rates were between $3.63 \text{ mg} \pm 0.18$ (SE) in the first month and $6.13 \text{ mg} \pm 0.23$ (SE) in the second month.

SGR

The ANOVA showed that there was no significant difference in mean SGR for any of the replicate diets. Using the Tukey test on the SGR (Tukey test $P < 0.05$) for green abalone, the existence of a significant difference in mean was shown between the SGR shell length and body weight of the abalone fed with MP and the other diets (EA, GR, PT). The same analysis revealed there was no significant difference in the mean SGR for EA, GR, and PT, except for SGR body weight of juveniles fed PT, which was higher than EA and GR (Fig. 2). SGRs obtained from juveniles fed the artificial diet were similar to juveniles fed MP.

The feed consumption rate of abalone ranged from 0.0033 g/day for EA to 0.0108 g/day for MP. Consumption did not differ significantly between EA and GR, and PT and MP ($P > 0.05$). Abalone consumed significantly greater amounts of PT and MP (Table 4). FCE ratios for the natural diets vary between 30% for PT and 63% for MP (Table 4). Differences between FCE ratios were not detected ($P < 0.05$).

DISCUSSION

Mean shell length and body weight increased over time on all diets. The best growth in length and weight for green abalone was obtained with *Macrocyctis pyrifera*. Feeding abalone on *Eisenia arborea*, *Gelidium robustum*, and *Phyllospadix torreyi* diets resulted in lower growth and FCE, 46% to 81% of the values obtained with *M. pyrifera*. These results indicate that the dietary value of the common species along the coast of Baja California Sur, *Eisenia arborea*, *Gelidium robustum*, and *Phyllospadix torreyi*, was inferior to that of the dominant algal species of southern California *M. pyrifera*. This result may be related to the trends described by Guzmán del Prío et al. (1976) about the size and weight means for *Haliotis* spp., which decrease from north to south along the Baja California Peninsula. In southern California, the

TABLE 3.

Survival, mean initial size, mean growth gain, and mean growth rate of green abalone fed with different diets. Diets as defined in Table 2.

Diet	Survival %	Mean Initial Size (mm)	Mean Growth Gain (mm)	Mean Growth Rate ($\mu\text{m day}^{-1}$)	Mean Initial Size (g)	Mean Growth Gain (g)	Mean Growth Rate (mg day^{-1})
EA	93	17.47 (0.20)	1.91 (0.10)	19 (0.89) ^a	0.45 (0.01)	0.15 (0.01)	1.52 (0.09) ^a
MP	93	17.42 (0.20)	4.63 (0.23)	46 (1.96) ^b	0.45 (0.01)	0.55 (0.06)	5.49 (0.54) ^b
GR	89	17.49 (0.21)	2.22 (0.21)	23 (1.94) ^a	0.46 (0.01)	0.20 (0.02)	2.07 (0.19) ^a
PT	95	17.40 (0.20)	2.52 (0.11)	25 (0.95) ^a	0.44 (0.01)	0.25 (0.01)	2.43 (0.10) ^a
AD	97	17.50 (0.17)	4.47 (0.13)	42 (1.21) ^b	0.45 (0.01)	0.46 (0.02)	4.39 (0.24) ^b

Standard error in parentheses.

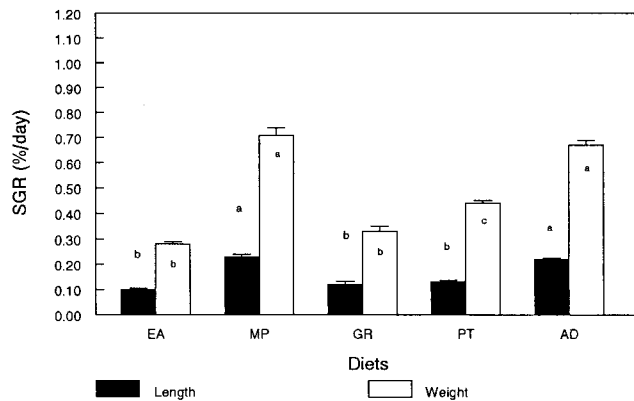


Figure 2. Mean specific growth of abalone compared between diets. Diets as defined in Figure 1.

best growth rates for juveniles and young adults have been observed when the alariacean brown alga, *Egregia menziesii*, served as food. The giant kelp, *Macrocystis pyrifera*, is of relatively minor value as a food of green abalone (Leighton & Peterson 1998). *E. menziesii* does not occur in the natural habitats of the different abalone species in southern Baja California (Guzmán del Próo et al. 1991). Local studies oriented to evaluate common algae along southern Baja California as a diet of abalone are of interest in the knowledge of abalone biology and for abalone hatcheries developed along this area of the coast. Fishermen have been forced to develop abalone hatcheries to produce juveniles and to increase natural stock. Hatcheries are going to use microalgae and macroalgae as the diet for juveniles until an artificial diet is successfully developed.

The nutritional value of food rations depends on many factors, including nutrient composition, bioavailability, palatability, and digestibility. Food palatability is an important factor in determining feeding rates (Leighton & Boolootian 1963, Leighton 1966, Poore 1972, Fleming 1995). In this study, the difference in growth between juveniles fed MP and EA or GR might be caused mainly by differences in palatability because of the lower amount consumed using both EA and GR. Differences between growth of juveniles fed MP and PT might be related to the digestibility of the protein sources because of the lower FCE of the seagrass. Poor abalone growth rates observed for seaweed diets could be attributed to a deficiency of essential nutrients or a low protein to energy ratio, because marine algae, in general, are rich in storage carbohydrates but low in protein. Thus the abalone fed macroalgal diets may satisfy their energetic requirements primarily from carbohydrate, but sufficient protein may not be available for tissue deposition (Britz 1996b). Beside variables associated with the food quality, digestion of the food is an important issue in nutrition. Our group hereby describes the enzymes responsible for digestion of this protein found in the organism's digestive system. In the adult green abalone trypsin and chymotrypsin activity was found in both intestine and rectum, but not in hepatopancreas and crop-stomach content. In juvenile green abalone digestive extracts revealed hepatopancreas and viscera hydrolyzed trypsin, chymotrypsin, and acid phosphatase specific substrates. (Serviere-Zaragoza et al. 1997, Picos-Garcia et al. 2000).

The growth rate of juvenile green abalone was slow and heterogeneous. The average growth rates of the juveniles analyzed varies from $19 \mu\text{m day}^{-1}$ and 1.52 mg day^{-1} for *Eisenia arborea*

TABLE 4.

Consumption (FC) and Food conversion efficiency (FCE) of green abalone fed with different diets. Diets as defined in Table 2.

Diet	FC (g)	FCE (%)
EA	0.0033 (0.0002) ^a	52 (5)
MP	0.0108 (0.0010) ^c	63 (16)
GR	0.0043 (0.0009) ^{ab}	33 (.01)
PT	0.0102 (0.0009) ^c	30 (7)
AD	0.0075 (0.0004) ^b	59 (2)

Standard error in parenthesis.

Items with different superscript letters are significantly different.

to $46 \mu\text{m day}^{-1}$ and 5.49 mg day^{-1} for *M. pyrifera*. Viana et al. (1993, 1996) reported averages of $12 \mu\text{m day}^{-1}$ and $16 \mu\text{m day}^{-1}$ for juveniles fed fresh kelp, *M. pyrifera*, and $18 \mu\text{m day}^{-1}$ for juveniles fed an artificial diet based on kelp meal for the same abalone species. *Gelidium robustum*, *Eisenia arborea*, and *Phyllospadix* spp. are of low acceptability for green abalone in Southern California and support minimal growth (Leighton pers. comm.). Simpson and Cook (1998) found shell length growth rates of *H. midae* ranged between 15 and $53 \mu\text{m day}^{-1}$ on single-species diets of *Ecklonia*, *Laminaria*, *Porphyra*, *Ulva*, *Aeodes*, and *Gracilaria*.

Using EA and PT, a gradual decrease was observed during the experiment. For MP and GR in the second month, a gradual increase was observed, and at the end of the experiment the values had decreased. This is similar to the trend reported by Viana et al. (1993); the daily growth rates decreased throughout time. Feeding trials on *H. rubra* using single species of dried algae revealed that abalone cease to grow after a period ranging from 50 to 200 days (Day & Fleming 1992). In the wild, abalone species consume more than one species. In *H. fulgens* the average number of plant species per gut was between two and four (Serviere-Zaragoza et al. 1998). This suggests they obtain the required nutrients for growth from combinations of species.

An artificial diet provides better growth rates than a natural one (macroalgae) in abalone cultures (Nie et al. 1986, Hahn 1989, Uki & Watanabe 1992, Viana et al. 1993, Viana et al. 1996). Nevertheless, in this study the growth of juveniles fed the artificial diet used as a control was similar to growth of juveniles fed MP. The lower growth of juveniles fed AD may be related to the leaching of some components during the transport or storage of the artificial diet. All environmental variables were constant during the experiment with abalone strongly attached and active throughout. Additionally, growth rates in juveniles fed MP were similar to that reported in the literature for the same species (Viana et al. 1993, Viana et al. 1996).

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by CONACyT (Grant No. 225130-5-4107PN), SIMAC (Grant No. 99-0107002) and Institutional project ABM8. Germán Ponce has a CONACyT fellowship (Reg. # 119827). We thank José Luis Ramírez and Manuel Mazón for technical support, AQUAM and Dra. Teresa Viana for the supply of juveniles and artificial diet. We thank Dr. D.L. Leighton for this valuable suggestion, and Dr. Ellis Glazier, CIBNOR, for editing the English-language text.

LITERATURE CITED

- Association of Official Agricultural Chemists. 1995. Official Methods of Analysis. Washington D.C.: Association of Official Agricultural Chemists. 1141 pp.
- Britz, P. J. 1996a. Effect of dietary protein level on growth performance of South African abalone, *Haliotis midae*, fed fish meal-based semi-purified diets. *Aquaculture* 140:55-61.
- Britz, P. J. 1996b. The suitability of selected protein sources for inclusion in formulated diets for the South African abalone, *Haliotis midae*. *Aquaculture*. 140:63-73.
- Britz, P. J., T. Hetch & S. Mangold. 1997. Effect of temperature on growth, feed consumption and nutritional indices of *Haliotis midae* fed a formulated feed. *Aquaculture* 152:191-203.
- Clarke, C. B. & R. G. Creese. 1998. On-growing cultured abalone (*Haliotis iris*) in northern New Zealand. *J. Shellfish Res.* 17:607-613.
- Corazani, D. & J. E. Illanes. 1998. Growth of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino 1953 and *Haliotis rufescens* Swainson 1822, fed different diets. *J. Shellfish Res.* 17:663-666.
- Culley, M. B. & L. S. Peck. 1981. The feeding preferences of the ormer, *Haliotis tuberculata* (L.) *Kieler Meeresforsch. Sonderh.* 5:570-572.
- Day, R. W. & A. E. Fleming. 1992. The determinants and measurements of abalone growth. In: S. A. Shepherd, M. J. Tegner and S. Guzmán del Prío, editors. Abalone of the World: Biology, Fisheries and Culture. Oxford: Fishing News Books. pp. 141-168.
- Dawson, E. Y., M. Neushul & R. D. Wildman. 1960. Seaweeds associated with kelp beds along southern California and northwestern Mexico. *Pac. Nat.* 1:3-61.
- Fleming, A. E. 1995. Digestive efficiency of the Australian abalone *Haliotis rubra* in relation to growth and feed preference. *Aquaculture*. 134: 279-293.
- Fleming, A. E., R. J. Van Barneveld & P. W. Hone. 1996. The development of artificial diets for abalone: A review and future directions. *Aquaculture* 140:5-53.
- Guzmán del Prío, S. A., S. de la Campa & B. J. Pineda. 1972. Flora macroscópica asociada a los bancos de abulón (*Haliotis* spp.) en algunas áreas de la costa occidental de Baja California. Memorias IV Congreso Nacional de Oceanografía. pp. 257-263.
- Guzmán del Prío, S. A., V. Marín & C. Castro. 1976. Estructura y abundancia de la población de abulón (*Haliotis* spp.) de Baja California en los años 1968/1970. Memorias del Primer Simposio sobre Recursos Pesqueros masivos de México. Ensenada B.C. pp. 219-278.
- Guzmán del Prío, S. A., P. S. R. Mille, G.R. Guadarrá, G. S. de la Campa, L. J. Carrillo, C. A. Pereira, P. J. Belmar, A. M. J. Parra & G. A. C. Luque. 1991. La comunidad bentónica de los bancos de abulón (*Haliotis* spp. Mollusca: gastropoda) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. *An. Esc. Nac. Cien. Biol., Méx.* 36:27-59.
- Hahn, K. 1989. Nutrition and growth of abalone. In: K. Hahn, editor. Handbook of Culture of Abalone and other Marine Gastropods. Boca Raton: CRC Press. pp. 135-180.
- Knauer, J., P. J. Britz & T. Hecht. 1996. Comparative growth performance and digestive enzyme activity of juvenile South African abalone, *Haliotis midae*, fed on diatoms and a practical diet. *Aquaculture*. 140:75-85.
- Leighton, D. L. 1966. Studies of food preference in algivorous invertebrates of southern California Kelp Beds. *Pac. Sci.* 20:104-113.
- Leighton, D. L. & R. A. Booloootin. 1963. Diet and growth in the black abalone, *Haliotis cracherodii*. *Ecology* 44:227-238.
- Leighton, D. L. & D. L. Peterson. 1998. The superiority of *Egrecia* as a food in cultivation of the green abalone (*Haliotis fulgens*). World Aquaculture Society and the National Shellfisheries. p. 331.
- López, L. M., P. A. Tayler & M. T. Viana. 1998. The effect of temperature and artificial diets on growth rates of juvenile *Haliotis tuberculata* (Linnaeus, 1758). *J. Shellfish Res.* 17:657-662.
- Mercer, J. P., K.-S. Mai & J. Donlon. 1993. Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* Linnaeus and *Haliotis discus hannai* Ino. I. Effects of algal diets on growth and biochemical composition. *Invertebr. Reprod. Dev.* 23:75-88.
- Monje, H. & M. T. Viana. 1998. The effect of cellulose on the growth and cellulolytic activity of abalone *Haliotis fulgens* when used as an ingredient in formulated artificial diets. *J. Shellfish Res.* 17:667-671.
- Nie, Z. Q., Z. Q. Wang & J. P. Yan. 1986. Experiments on preparing formulated feed and feeding efficiency of young abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Mar. Fish. Res.* 7:53-64.
- Picos-García, C., F. L. García-Carreño & E. Serviere-Zaragoza. 2000. Digestive proteases in juvenile Mexican green abalone, *Haliotis fulgens*. *Aquaculture* 181:17-170.
- Poore, G. C. B. 1972. Ecology of New Zealand Abalones, *Haliotis* species (Mollusca: Gastropoda). *N.Z. J. Mar. Freshw. Res.* 6:11-22.
- Sakai, S. 1962. Ecological studies on the abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. I. Experimental studies on the food habitat. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 28:766-779.
- Serviere-Zaragoza, E., M. A. Navarrete del Toro & F. L. García-Carreño. 1997. Protein-hydrolyzing enzymes in the digestive systems of the adult Mexican blue abalone, *Haliotis fulgens* (Gastropoda). *Aquaculture*. 157:325-336.
- Serviere-Zaragoza, E., D. Gómez-López & G. Ponce-Díaz. 1998. The natural diet of the green abalone (*Haliotis fulgens* Philippi) in the southern part of its range, Baja California Sur, Mexico, assessed by an analysis of gut contents. *J. Shellfish Res.* 17:777-782.
- Shepherd, S. A. & P. D. Steinberg. 1992. Food preferences of three Australian abalone species with a review of the algal food of abalone. In: S. A. Shepherd, M. J. Tegner & S. Guzmán del Prío, editors. Abalone of the World: Biology, Fisheries and Culture. Oxford: Fishing News Books. pp. 169-181.
- Simpson, B. J. A. & P. A. Cook. 1998. Rotation diets: a method of improving growth of cultured abalone using natural algal diets. *J. Shellfish Res.* 17:635-640.
- Sokal, R. R. & J. F. Rohlf. 1995. Biometry. The principles and practice of statistics in Biological research. New York: W. H. Freeman and Company. 887 pp.
- Uki, N. 1981. Food value of marine algae of order Laminariales for growth of the abalone, *Haliotis discus hannai*. *Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab.* 42:19-27.
- Uki, N., M. Sugiura & T. Watanabe. 1986. Dietary value of seaweeds occurring on the Pacific coast of Tonoku for growth of the abalone *Haliotis discus hannai*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 52:257-266.
- Uki, N. & T. Watanabe. 1992. Review of the nutritional requirements of abalone (*Haliotis* spp.) and development of more efficient artificial diets. In: S. A. Shepherd, M. J. Tegner & S. Guzmán del Prío, editors. Abalone of the World: Biology, Fisheries and Culture. Oxford: Fishing News Books. pp. 504-517.
- Viana, M. T., L. M. López & A. Salas. 1993. Diet development for juvenile abalone *Haliotis fulgens*. Evaluation of two artificial diets and macroalgae. *Aquaculture* 117:49-156.
- Viana, M. T., M. Cervantes-Trujano & R. Solana-Sansores. 1994. Attraction and palatability activities in juvenile abalone (*Haliotis fulgens*): nine ingredients used in artificial diets. *Aquaculture*. 127:19-28.
- Viana, M. T., L. M. López, Z. García-Esquivel & E. Mendez. 1996. The use of silage made from fish and abalone viscera as an ingredient in abalone feed. *Aquaculture*. 140:87-98.
- Wee, K. L., G. B. Maguire & S. M. Hindrum. 1992. Methodology for digestibility studies with abalone: I. Preliminary studies on feeding and defaecatory behaviour of blacklip abalone, *Haliotis rubra*, fed natural and artificial diets. In: G. L. Aller & W. Dall, editors. Proc. Aquaculture Nutrition Workshop Salamander Bay. Australia: NSW Fisheries, Brackish Water Fish Culture Research Station. pp. 192-196.

Memorias del Taller:

Cultivo intensivo y Repoblamiento del Abulón

Resultados de la Granja Demostrativa



Noviembre, 2000

SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LA PESQUERÍA DE ABULÓN

Daniel B. Lluch-Cota¹ y Germán Ponce-Díaz^{1,2}

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Mar Bermejo #195 Col. Playa Palo de Santa Rita. A.P. 128 La Paz, B.C.S. C.P. 23090. E-mail: dblluch@cibnor.mx ² Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas - IPN. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n. La Paz, B.C.S. E-mail:gponce@cibnor.mx

Resumen

En el presente trabajo se aborda la situación de la pesquería de abulón en la costa occidental de la península de Baja California. Este análisis considera particularmente la productividad de la pesquería y su posible relación con la variabilidad climática regional. Se abordan a través de hipótesis de trabajo, elementos de relaciones entre captura y esfuerzo, modelación pesquera tradicional (Fox, Hilborn y Walters), la inclusión de la variabilidad ambiental en la modelación pesquera, las implicaciones para el manejo y repoblamiento de este importante recurso y por último una exploración de perspectivas sobre la pesquería en base a la variabilidad climática observada en la región de Punta Eugenia, B.C.S.

Introducción

La pesquería del abulón es la principal actividad económica de muchas comunidades de la costa occidental de la península de Baja California, gracias a la fuerte demanda y elevado valor comercial que el producto alcanza en los mercados internacionales. Los orígenes de la actividad en la región se remontan a mediados del siglo XIX, con operaciones de pesca realizadas por extranjeros y basadas en San Diego, California (Cox 1962, León y Muciño 1996). El desarrollo de la pesquería por parte de nacionales ocurre desde la década de los cuarentas, cuando se establecen las primeras organizaciones cooperativas. Desde entonces, y hasta la fecha, la actividad económica de los asentamientos humanos en la zona continúa dependiendo fuertemente de la explotación del recurso (Ortega *et al.*, 1998).

Esta situación es motivo de preocupación debido a que la tendencia al crecimiento poblacional de las comunidades se conjuntó con un fuerte decremento de los rendimientos de la pesquería registrado desde finales de la década de los setentas. Hasta la fecha esta disminución ha sido compensada en alguna medida por el incremento en los precios internacionales; no obstante, esta tendencia difícilmente será suficiente como para incrementar los ingresos de las organizaciones en la medida en la que se requiere. Adicionalmente, los niveles de producción se han mantenido relativamente bajos durante los últimos 20 años, sin que existan señales que permitan prever una recuperación a niveles equivalentes a los observados antes de este periodo.

La caída de los rendimientos de la pesquería, en combinación con las características del recurso; baja movilidad, alta vulnerabilidad y elevado valor económico, han llevado a diversos autores a plantear que el recurso ha sido sobreexplotado desde el punto de vista pesquero (Guzmán del Proo, 1994). Ello ha motivado diversos planteamientos para lograr la recuperación de las poblaciones, que van desde la aplicación de medidas de manejo hasta uno de los temas del presente foro: la posibilidad de incrementar la producción pesquera vía el repoblamiento.

En el presente trabajo se explora la hipótesis de que los niveles de explotación no han sido el único factor responsable de la caída de la pesquería de abulón; mas aún, que al menos parte de las causas radican en los efectos de la variabilidad del ambiente físico. Sin pretender invalidar o desalentar estas medidas, y de ser correctas, esta hipótesis tendría implicaciones tanto para el manejo pesquero como para los intentos de repoblamiento: esencialmente, significaría que las poblaciones de abulón, bajo las condiciones actuales, no podrían alcanzar los niveles previos

al colapso debido a que la capacidad porteadora del medio se encuentra en un nivel muy inferior al de los primeros tiempos de la pesquería.

Variabilidad climática regional

Diferentes pesquerías a nivel mundial han presentado grandes variaciones en los niveles de captura que difícilmente pueden ser atribuidos al efecto de la pesca. En algunas pesquerías es cada vez más claro y demostrable que el esfuerzo pesquero no puede ser el único responsable de las fluctuaciones en los niveles de captura (Lluch-Belda *et al.*, 1989). Una de las evidencias más robustas al respecto es la identificación de grandes fluctuaciones en poblaciones de importancia pesquera incluso en ausencia absoluta de esfuerzo pesquero. Este hecho, ligado a los resultados de algunos estudios que demuestran que cambios climáticos de poca intensidad, pero en periodos prolongados, pueden producir grandes y dramáticos cambios en la abundancia de las especies (ver Sharp y Csirke, 1983; Kawasaki *et al.*, 1991; Beukema *et al.*, 1990), obligan a considerar este enfoque en el análisis de las pesquerías.

A pesar de que la conexión entre clima y pesquerías es compleja y poco conocida (Everett *et al.*, 1996), se han documentado variaciones en el ecosistema que influyen directamente sobre algunas especies o indirectamente modificando la capacidad porteadora del medio: desestabilización de la trama trófica (p.e. Kawasaki *et al.*, 1991); dispersión y retención de larvas por cambios en los patrones de circulación (p.e. Binet, 1988); traslapamiento de áreas de distribución en especies con espectros ecológicos similares (p.e. Ntiba y Harding, 1993); efectividad de sistemas de enriquecimiento por surgencias por cambios ya sea en los vientos (p.e. Bakun, 1990, 1993) o en la profundidad de la capa de mezcla (Polovina *et al.*, 1994); distribución de las poblaciones y ubicación de los centros de distribución (Lluch-Belda *et al.*, 1989, 1991; Polovina, 1996); condiciones adecuadas para desove; etc.

La señal de los efectos de la variabilidad climática decadal en algunas poblaciones es dramática y consistente, por lo que han sido reconocidos y documentados ampliamente desde hace años (Lluch-Belda *et al.*, 1989, 1991, Kawasaki *et al.*, 1991; Crawford *et al.*, 1991, Francis y Sibley, 1991, Polovina *et al.*, 1995, etc.), aunque esto no ha sido particularmente abordado para especies bentónicas longevas (Vega *et al.*, 1996). Si bien existen algunos antecedentes de posibles efectos ambientales sobre las abundancias de langosta (Vega y Lluch-Cota, 1992) y abulón (p.e. Cox, 1962; Johnson, 1971; Tissot, 1990; Guzmán *et al.*, 1991, Guzmán, 1994; Vega *et al.*, 1994; Tegner, 1989) ante variaciones climáticas extremas e interanuales como tormentas y eventos ENSO, el efecto climático decadal ha sido escasamente abordado.

La Figura 1 intenta resumir la variabilidad interanual y de largo plazo observada en la zona central de la costa occidental de la península. Dicha variabilidad está dominada, en la escala interanual, por varios eventos El Niño y La Niña; algunos de ellos de gran intensidad.

La frecuencia de eventos no es constante a lo largo el periodo; por el contrario, es particularmente evidente que en las últimas décadas casi no se han presentado eventos tipo La Niña. Como se mencionó, estos eventos tienen efectos mayores en las comunidades macroalgales de las que el abulón depende, con efectos sobre estas poblaciones que hoy son bien reconocidos.

Adicionalmente, es evidente el cambio de régimen climático ocurrido a finales de los 1970's y ampliamente documentado para el Pacífico norte (Latiff y Barnett 1996; Polovina 1995). Regionalmente, se aprecia que la generalidad de los meses anteriores al cambio presentan anomalías negativas para el periodo considerado, lo que equivale a temperaturas del mar relativamente frías. Por el contrario, las anomalías positivas (temperaturas comparativamente cálidas) han sido la norma desde finales de los 1970's hasta la actualidad.

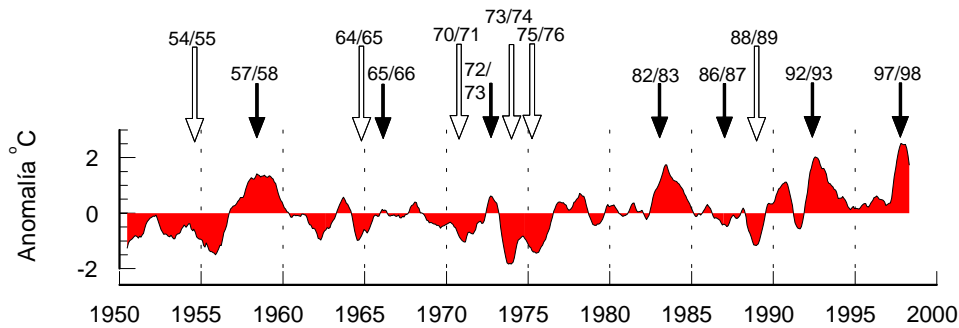


Figura 1. Serie de temperatura superficial del mar para un cuadrante de $1 \times 1^\circ$ centrado en Punta Eugenia, B.C.S. Las flechas negras indican los eventos El Niño registrados, las blancas corresponden a eventos La Niña.

Desarrollo histórico

La Figura 2 muestra la serie de capturas para la pesquería en su conjunto desde 1940 (modificado de León-Carballo y Muciño-Díaz 1996), y permite apreciar las diferentes etapas de la pesquería.

La primera es de desarrollo (1940-1960), caracterizada por muy altos niveles de producción (1950) pero también por grandes variaciones; atribuibles a los efectos de la Segunda Guerra Mundial sobre el mercado y al incipiente desarrollo de la pesquería en términos de número de equipos de pesca.

Enseguida se registró una etapa de estabilización (1960-1973), con niveles de producción elevados y relativamente estables que favorecieron el desarrollo de la generalidad de los actuales asentamientos humanos en torno de esta pesquería. En términos de regulación del esfuerzo, esta etapa coincide con la aplicación de un periodo de veda (enero-marzo) y el establecimiento de tallas mínimas de captura (León y Muciño 1995).

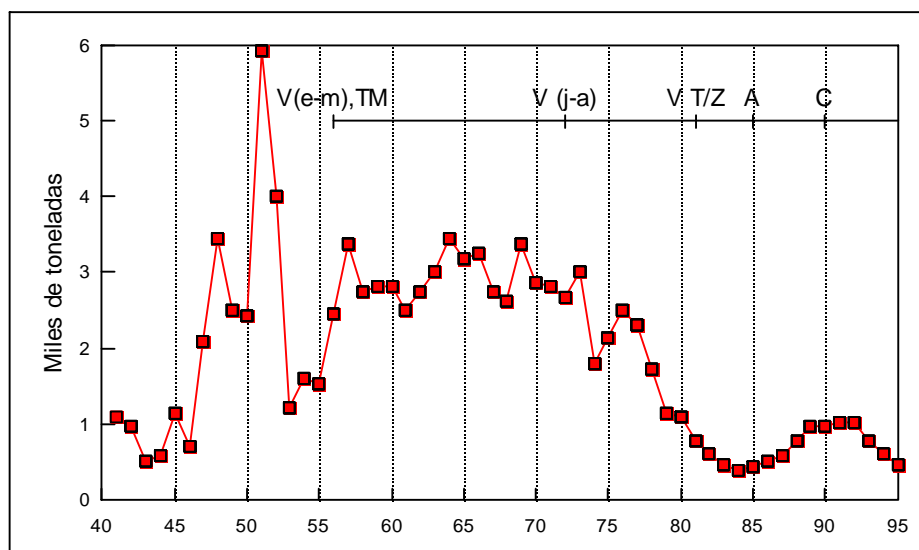


Figura 2. Serie de capturas de abulón (totales) y esquemas regulatorios aplicados (ver texto). Modificado de León y Muciño (1996).

La disminución de las capturas se presentó sostenidamente desde mediados de los setenta hasta su mínimo en 1984-85. Esta disminución se dió pese a que el régimen anterior de administración fué adecuado a partir de 1972, cuando la veda se cambia a los meses de verano (julio-agosto). Según León y Muciño (1996), esta modificación a la veda se habría hecho a fin de proteger a la población reproductora. Al respecto, se ha mencionado que el decremento se dió en una etapa de desorganización del sector que le impidió aplicar las medidas como vedas y tallas mínimas de captura, exacerbado por el disparo de los precios en el mercado que propició la captura de ejemplares de reducido tamaño.

La caída de la pesquería coincidió también con un cambio en la composición específica de las capturas, consistente en una fuerte disminución de la contribución relativa de *Haliotis corrugata* (abulón amarillo) y un incremento en la contribución de *H. fulgens* (abulón azul); es decir, la declinación obedeció mayormente a los decrementos de abulón amarillo. Lo anterior es de llamar la atención, ya que el abulón amarillo se distribuye a mayores profundidades que el azul (7-44 m contra 0-24 m respectivamente, Vega *et al.*, 1994). En otras palabras, la especie más afectada por el intenso esfuerzo de pesca aplicado en esta época es la que aparentemente presentaría una menor accesibilidad y a la que, por tanto, se supondría menos vulnerable.

El periodo reciente, dominado en las capturas por el abulón azul, se ha caracterizado por niveles sostenidamente menores que los registrados antes del colapso. Una primera medida tomada ante la caída en la producción fue la adecuación de las vedas y tallas mínimas en función de las zonas de pesca, lo que contribuyó a reducir el esfuerzo aplicado. Por la misma época, las propias organizaciones pesqueras realizaron diversos acuerdos internos tendientes a establecer medidas autoregulatorias adicionales a las oficiales, tales como vedas permanentes en determinadas zonas o bancos, rotación de bancos de pesca, reducción del esfuerzo aplicado y establecimiento de tallas superiores a las mínimas oficiales (León y Muciño 1996). La aplicación de estas medidas coincidió con cierta recuperación de los niveles de captura entre 1988-1993; no obstante, posteriores a esas temporadas las capturas registraron nuevos descensos.

Relaciones captura-esfuerzo

La Figura 3 muestra el comportamiento de la captura y los rendimientos totales en función del esfuerzo aplicado a esta pesquería. Puede observarse que ambas se apartan de lo que sería esperable bajo la premisa de que el único factor regulador de la población sean los niveles de extracción: en ambos casos, parece evidente que las relaciones antes y después de finales de la década de los 1970's se presentan a niveles diferentes. Esta situación también se registra, con desviaciones más o menos significativas, cuando se buscan las mismas relaciones para casos particulares, como los que se muestran en la Figura 4.

Puede apreciarse que con anterioridad a 1976 la relación observada se corresponde, en términos generales, con una situación de equilibrio en los términos que supone el modelo utilizado. En contraste, el periodo de declinación registrado entre 1976 y 1980 muestra que la captura disminuyó a pesar de que también bajó el esfuerzo aplicado. Con posterioridad a 1980, la relación captura-esfuerzo muestra nuevamente un comportamiento de equilibrio, pero con niveles de rendimiento muy inferiores a los registrados durante la primera etapa de la pesquería. Tanto la declinación anómala como la nueva estabilización a niveles de rendimiento inferiores no son esperables desde una perspectiva pesquera tradicional, y podrían deberse a otros factores que no son únicamente la pesca.

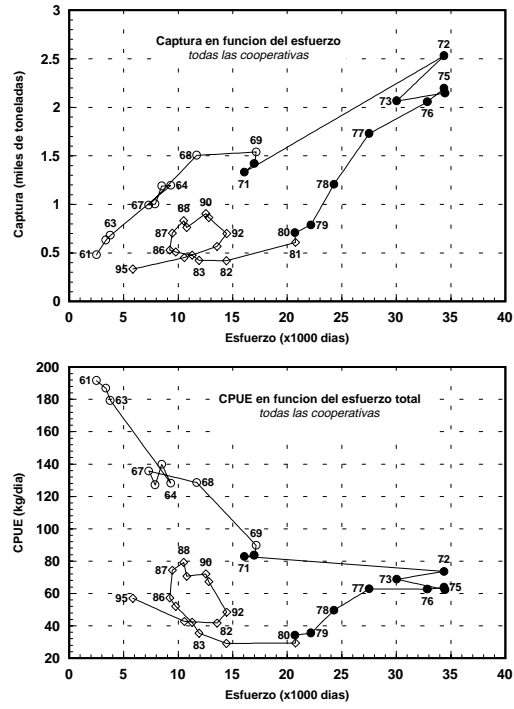


Figura 3. Relaciones captura-esfuerzo y captura-CPUE para la pesquería de abulón, totales.

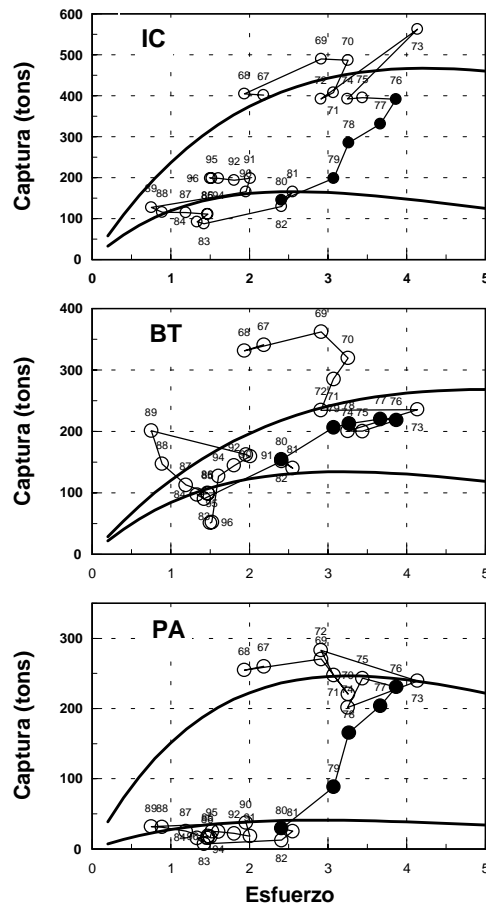


Figura 4. Relaciones captura-esfuerzo para tres organizaciones pesqueras seleccionadas por sus registros comparativamente largos.

MODELOS DINÁMICOS

En base a la dispersión de los datos en las relaciones esfuerzo pesquero - captura en la mayoría de las cooperativas y en el promedio de todas, es posible considerar dos niveles de relación coincidentes con ambas fases del régimen climático previamente mencionado: una relación o nivel hasta 1975 y otro desde 1981 y hasta la fecha. Partiendo de este supuesto, es posible aplicar modelos pesqueros con dos enfoques diferentes: uno, sin considerar el cambio de régimen, y el segundo, considerando únicamente el segundo periodo. En el caso de que la hipótesis del efecto del clima sea correcta, sería esperable que el segundo enfoque rindiera mejores resultados que el primero.

Los resultados de este enfoque se presentan en las Tablas 1 y 2, correspondientes a la aplicación del modelo de Fox y del modelo de biomasa dinámica de Hilborn y Walters (1992). En ambos casos es posible observar que los ajustes de los modelos son más robustos cuando se aplican al periodo cálido. En comparación con los resultados obtenidos al aplicar los modelos a la totalidad del periodo, los ajustes para el periodo cálido son indicativos de que la población de abulón después del cambio de régimen climático se desarrolló a niveles diferentes, claramente inferiores en términos de crecimiento poblacional.

En especial, los ajustes del modelo de biomasa dinámica son sugerentes de la validéz de la hipótesis planteada. Cuando el modelo se aplica en forma directa, sin considerar el efecto de la variabilidad ambiental, el ajuste tiene que explicar toda la variación de la serie suponiendo que lo único que cambia es el esfuerzo pesquero, ya que el modelo asume que la forma en que la población crece es constante. Como consecuencia, el cambio de abundancia que se observa en la pesquería tendría que deberse, en los términos señalados, exclusivamente a la cantidad que se pesca.

La Figura 5 muestra esta situación. Para el ajuste a todo el periodo, el modelo muestra una pesquería con rendimientos descendentes hasta la actualidad, a partir de niveles originales muy elevados, observados en la primera parte, que se asumen constantes. Esta visión, que corresponde con los planteamientos de una sobreexplotación pesquera del recurso abulón, no es compatible sin embargo con la recuperación de los rendimientos observada a finales de los 1980's y principios de los 1990's. De hecho, puede apreciarse que el periodo señalado corresponde con las mayores desviaciones del modelo. En contraste, el ajuste realizado considerando únicamente el periodo cálido permite reproducir mejor este comportamiento, lo que es indicativo de que, conforme a la hipótesis planteada, el nivel de equilibrio de la pesquería en las últimas décadas ha sido menor que el observado antes del cambio de régimen climático.

Tabla 1: Modelo de Fox

	IC	Total	Cálido
R2		0.067	0.382
RMS (Kg)		-294819	161164
CPUE (RMS)		33.30	67.03
Esfuerzo optimo		-8853	2404
CPUE Max		90.52	182.21
BT			
R2		0.042	0.198
RMS (Kg)		378905	144936
CPUE (RMS)		31.29	34.97
Esfuerzo optimo		12110	4145
CPUE Max		85.05	95.06
PA			
R2		0.612	0.137
RMS (Kg)		-32775	41464
CPUE (RMS)		10.10	14.62
Esfuerzo optimo		-3245	2835
CPUE Max		85.05	95.06

Tabla 2: Modelo de Hilborn y Walters (1992)

	1959-1996	1980-1996
IC		
Corr. coef.	-0.788	0.628
r	0.087	1.038
q	-0.000	0.000
B inf (kg)	-6, 602, 987	902, 205
Estimación de Biomasa 1968-70	2, 272, 000	
Estimación de Biomasa 1988-96		800, 000
BT		
Corr. coef.	0.147	0.567
r	0.151	0.505
q	0.000	0.000
B inf (kg)	6, 279, 546	631, 976
Estimación de Biomasa 1968-70	2, 253, 000	
Estimación de Biomasa 1988-96		704, 630
PA		
Corr. coef.	0.123	0.441
r	0.093	0.377
q	-0.000	0.000
B inf (kg)	-107, 663	462, 937
Estimación de Biomasa 1968-70	1, 039, 000	
Estimación de Biomasa 1988-96		369, 770
Datos combinados		
Corr. coef.	-0.590	0.829
r	0.111	1.154
q	0.000	0.000
B inf (kg)	110, 152, 822	1, 174, 665
Estimación de Biomasa 1968-70	25, 564, 000	
Estimación de Biomasa 1988-96		1, 874, 400

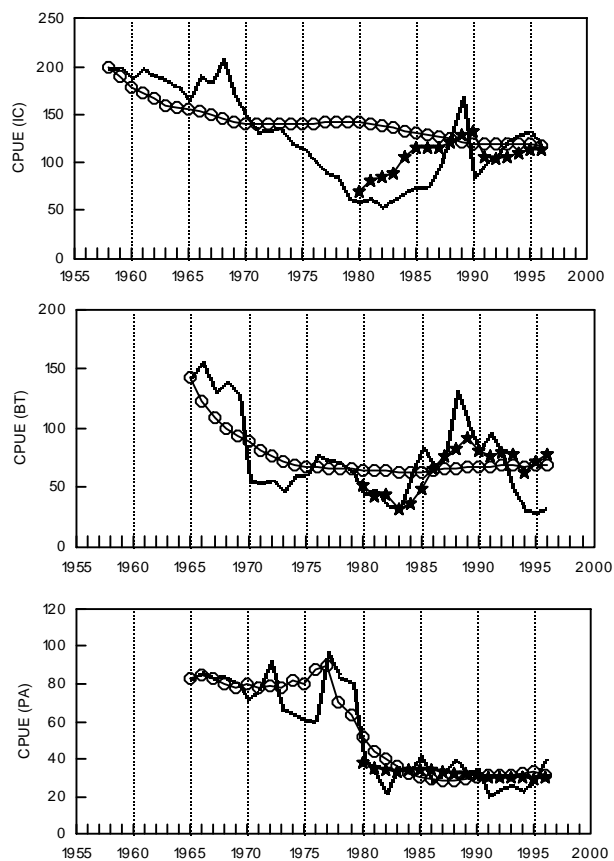


Figura 5. Resultados del ajuste del modelo de Hilborn y Walters (1992) a los datos de CPUE de tres cooperativas seleccionadas. Línea continua: Datos observados. Círculo: Ajuste para todo el periodo. Estrella: Ajuste para el periodo cálido.

Variabilidad interanual del abulón

Otra forma de investigar la hipótesis planteada sobre los efectos de la variabilidad ambiental se desprende de lo mencionado en apartados anteriores, en el sentido de que la aplicación del modelo en sí mismo, si bien considera los efectos del esfuerzo aplicado, no incluye en cambio ninguna consideración de la variabilidad ambiental. Por consiguiente, es posible aplicar el modelo y estimar sus desviaciones; es decir, temporadas en las que los rendimientos observados fueron claramente diferentes de lo que el modelo predice. Dichas desviaciones, de ser correcta la hipótesis, deberían estar relacionadas con algún indicador de cambios ambientales.

Los resultados de este enfoque para la totalidad de la pesquería se muestran en la Figura 6. Son evidentes dos periodos en los que los rendimientos fueron superiores a lo esperable desde el punto de vista pesquero: 1976-78 y 1987-91. El primero ocurre con posterioridad a dos periodos La Niña que ocurrieron prácticamente seguidos: 1973-74 y 1975-76, lo que determinó un periodo de varios años de anomalías negativas de la temperatura en la zona de estudio (véase Fig. 1). El segundo también se registra posterior al evento La Niña de 1988-89, que correspondió a uno de los más intensos registrados en las últimas décadas, tanto global (Díaz y Kiladis, 1992) como regionalmente (Lluch-Belda *et al.*, 1992).

La relación con los eventos El Niño también es aparente, aunque en el caso de 1982-83 no aparece igual de clara. Si bien es posible identificar bajos rendimientos en el periodo que incluye este evento, también es evidente que la baja había iniciado desde 1980. Por su parte, el periodo de bajos rendimientos de 1993 a 1996 se presenta posterior al evento de 1992-93, que culminó un calentamiento regional iniciado en 1990 (Salinas-Zavala *et al.*, 1992) (véase Fig. 1).

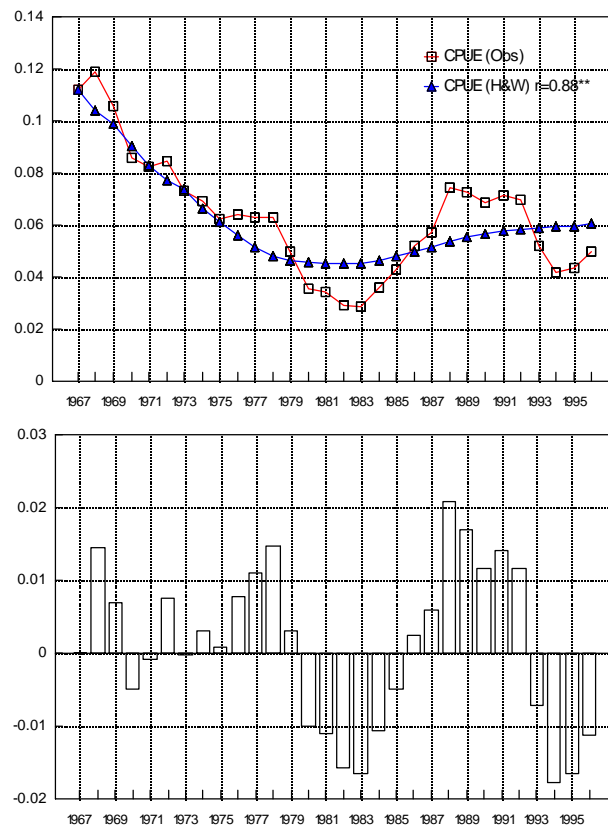


Figura 6. Ajuste del modelo de Hilborn y Walters (1992) al total de la pesquería y para todo el periodo (superior), y desviaciones del modelo (inferior). Nótese la existencia de dos periodos de altos rendimientos posteriores a eventos La Niña, así como periodos de bajos rendimientos aparentemente asociados a eventos El Niño (ver Fig. 1).

Más significativo aún, las desviaciones del modelo muestran coincidencia con los volúmenes de las cosechas comerciales de *Macrocystis* (Casas-Valdez *et al.*, 1996, Casas-Valdez en prep.). Esta relación se presenta en la Figura 7; son evidentes las tendencias comunes entre ambos recursos así como la señal de los eventos El Niño 82-83 y 97-98.

A este respecto, debe notarse que la cosecha de *Macrocystis* sólo puede ser considerada como un indicador muy grueso de los cambios reales en la abundancia del alga, ya que la explotación del recurso se realiza a bajos volúmenes que dependen más de la demanda internacional que de las existencias en el medio. Por lo tanto, es sólo en periodos de abundancias muy disminuídas cuando la producción muestra tendencias claras a la baja.

Tomando en cuenta lo anterior, el paralelismo entre los rendimientos de estos recursos refuerza la idea de que existen efectos de la variabilidad climática interanual no sólo sobre el abulón, sino sobre las especies clave de la comunidad en la que éste se desarrolla, tal como ha sido documentado por diversos autores (Vega *et al.*, 1992; Cox 1962; Johnson, 1960; 1971; Tissot, 1990; Guzmán *et al.*, 1991, Guzmán, 1994; Vega *et al.*, 1994; Tegner, 1989).

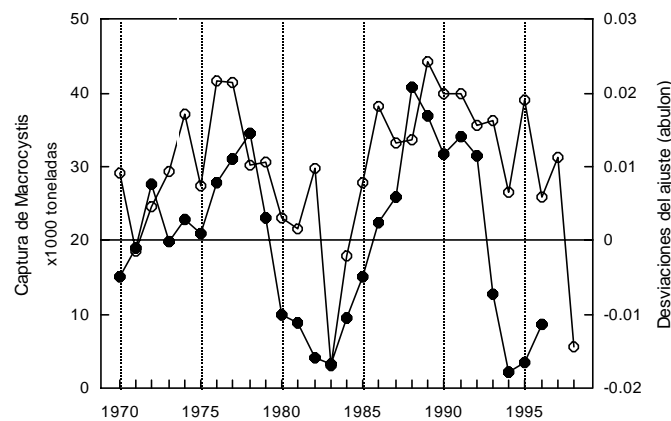


Figura 7. Cosecha comercial de *Macrocystis* (círculos blancos) y desviaciones del modelo para abulón (círculos oscuros). Los datos de *Macrocystis* hasta 1993 fueron tomados de Casas-Valdez *et al.* (1995), los posteriores vienen de Casas-Valdez en prep.

Aplicación de modelos modificados

Finalmente, es factible probar la hipótesis planteada incorporando a los modelos dinámicos la variabilidad ambiental. Esto se logra haciendo que los parámetros del modelo no sean constantes, sino una función de variables que reflejen el efecto del medio ambiente. Si la hipótesis es correcta, sería esperable que el modelo así parametrizado tuviera desviaciones menores respecto de los rendimientos observados que las desviaciones del modelo original.

Para abordar este aspecto, se realizaron las siguientes adecuaciones del modelo de Hilborn y Walters (1992), que en su forma original es como sigue:

$$B_t = B_{t-1} + r \cdot B_{t-1} \cdot [1 - B_{t-1}/B_\infty] - C_{t-1} \quad (1)$$

y

$$C_t = B_t \cdot q \cdot E_t \quad (2)$$

Donde:

B=Biomasa

r=tasa intrínseca de crecimiento poblacional

C=Captura
 E=Esfuerzo pesquero
 B_∞=Biomasa inicial
 q=Coefficiente de capturabilidad
 t=tiempo (en años)
 C_t/E_t=Captura por unidad de esfuerzo=CPUE_t

Se realizan las siguientes transformaciones con la finalidad de expresar el modelo en términos de captura y esfuerzo:

De (2) se obtiene: $CPUE_t/q = Bt$ y se sustituye en (1):

$$CPUE_t/q = CPUE_{t-1}/q + r * CPUE_{t-1}/q * [1 - CPUE_{t-1}/q / CPUE_{\infty} / q] - C_{t-1}$$

Multiplicando cada miembro de la expresión anterior por q:

$$CPUE_t = CPUE_{t-1} + r * CPUE_{t-1} * [1 - CPUE_{t-1}/CPUE_{\infty}] - q * C_{t-1}$$

$$CPUE_t = CPUE_{t-1} + r * CPUE_{t-1} - (r/CPUE_{\infty}) * (CPUE_{t-1})^2 - q * C_{t-1}$$

Obtenemos finalmente que:

$$CPUE_t = (1+r) * CPUE_{t-1} - (r/CPUE_{\infty}) * (CPUE_{t-1})^2 - q * C_{t-1} \quad (3)$$

La ecuación (3) está expresada en términos de CPUE al tiempo t y t-1, así como en función de la captura al tiempo t-1. Como podrá observarse, la ecuación es del tipo de regresión múltiple de tres variables: $Y = A_0 + A_1 * X_1 + A_2 * X_2 + A_3 * X_3$ donde las constantes de regresión pueden ser estimadas a través de cuadrados mínimos y representan:

$$A_0 = 0 \text{ (ordenada al origen igual a cero)}$$

$$A_1 = 1 + r$$

$$A_2 = r/CPUE_{\infty}$$

$$A_3 = -q$$

Hasta este punto (ecuación 3), lo único que se ha hecho es expresar el modelo en términos de CPUE, y que los tres parámetros involucrados ($CPUE_{\infty}$, r y q) son constantes y no variables en función de las condiciones ambientales. Esto se realizó asumiendo una relación lineal, quedando el modelo expresado en la siguiente forma:

$$CPUE_t = (1 + (a_r + b_r * SST)) * CPUE_{t-1} - (r / (a_k + b_k * SST)) * (CPUE_{t-1})^2 - (a_q + b_q * SST) * C_{t-1}$$

Donde se han substituido

$$r = a_r + b_r * SST$$

$$CPUE_{\infty} = a_k + b_k * SST$$

$$q = a_q + b_q * SST$$

Una vez replanteado el modelo en los términos descritos se procedió a ajustarlo por iteración para todo el periodo de estudio, utilizando los datos de captura y esfuerzo de la totalidad de la pesquería.

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 8, junto con el ajuste del modelo realizado para la formulación original de Hilborn y Walters (1992). Puede apreciarse que si bien ambos modelos se ajustan bien a los datos, la variante que incluye el efecto de la temperatura del mar permite reproducir el comportamiento de la CPUE observada con mayor realismo. Nótese, por ejemplo, cómo el modelo modificado es más sensible al repunte y posterior colapso observado

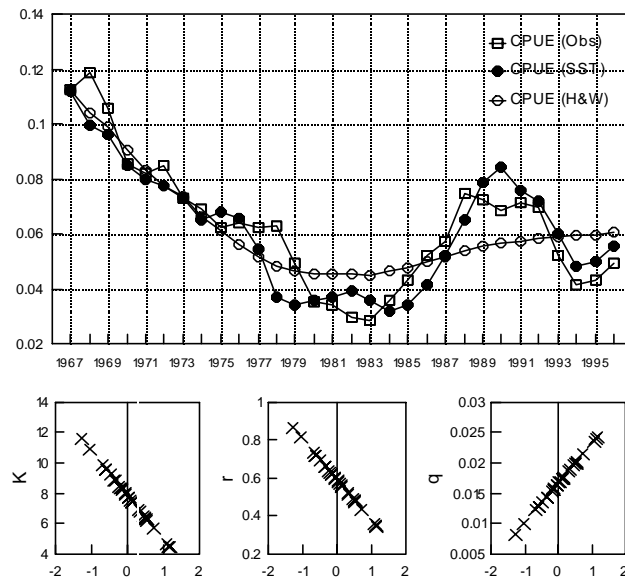


Figura 8. Ajuste del modelo de Hilborn y Walters (1992) original y modificado por temperatura (ver texto). Las gráficas inferiores corresponden a las relaciones asumidas entre la temperatura y los parámetros del modelo.

hacia finales de la década de los 1980's, mientras que la versión original del modelo no es capaz de reproducir dicho comportamiento.

No obstante, es preciso advertir que estos resultados son aún preliminares, siendo necesario abundar mucho más en el análisis antes de que pudiera considerarse una variante del modelo que resultara más adecuada con fines de manejo. Entre otras cosas sería necesario investigar más a fondo la posible relación entre la tasa intrínseca de crecimiento y la capacidad de carga del sistema en función de las condiciones ambientales; si bien la aproximación lineal utilizada parece promisoría, seguramente pueden proponerse y utilizarse otras formas de relación que sean más acordes con la teoría ecológica (p.e curvas gaussianas, etc.).

Adicionalmente, es claro que la temperatura superficial del mar no es la única variable que registró cambios importantes durante el cambio de régimen climático, por lo que otras variables ecológicamente relevantes también deberían ser consideradas (particularmente los niveles de surgencia). Finalmente, la versión del modelo que se presenta fué ajustada a los datos de captura total, por lo que habrá de evaluarse su desempeño ya en lo específico (*i.e.* con datos por zona de pesca y por especie).

Implicaciones para el manejo y repoblamiento

En todo caso, los resultados de los análisis realizados coinciden en que existe un efecto ambiental importante sobre las poblaciones de abulón, tanto en la escala interanual (especialmente asociados a los efectos de los eventos El Niño y La Niña) pero principalmente en la escala decadal. De ser correcta esta idea, es posible establecer un marco de referencia relacionados con las expectativas al corto y mediano plazo, sobre la base del conocimiento existente en torno de los mecanismos climáticos que influyen en el Pacífico norte en estas escalas de tiempo. Estas expectativas tendrían implicaciones, tanto en términos de lo que puede esperarse de la pesquería en cuanto a sus rendimientos como en las posibilidades de éxito de las acciones de repoblamiento que se puedan llevar a la práctica.

Para ello, se considera que tanto los rendimientos pesqueros como el éxito del repoblamiento dependerán de las características de la población existente, y en particular de una de ellas: la

biomasa máxima posible en el medio natural bajo determinadas circunstancias ambientales. A partir de los análisis realizados, es posible considerar escenarios potenciales de este parámetro, mismo que se presenta en la Figura 9.

Un primer escenario es que la población de abulón en la actualidad esté muy por debajo de su máximo nivel posible, como consecuencia de la explotación. Esta posibilidad está representada por el ajuste del modelo para todo el periodo y sin considerar la variabilidad ambiental. Este es el escenario bajo el cual se ha planteado la necesidad de disminuir en forma importante el esfuerzo pesquero, y de realizar repoblamiento que permitan una más rápida recuperación de la biomasa máxima posible.

Evidentemente, de ser este el caso, ambas recomendaciones serían necesarias para lograr un mejor manejo del recurso. Bajo este supuesto el repoblamiento debería ser particularmente exitoso, ya que los efectos de densodependencia (i.e. competencia intraespecífica) no se presentarían hasta etapas muy posteriores y a biomazas considerablemente mayores que las actuales.

Los dos escenarios alternativos derivan del uso del modelo parametrizado de manera que considere el efecto de la temperatura. Ninguno de estos es probable ni siquiera bajo la premisa del efecto ambiental, ya que se seleccionaron las combinaciones de parámetros K , r y q estimados durante el ajuste que resultan en la máxima y mínima biomazas posibles. Así, el valor más probable estará en medio de ambos estimados. Dado que los resultados del análisis son aún muy preliminares, por el momento no resulta conveniente establecer valores específicos.

En un extremo la biomasa máxima posible, si bien no sería tan elevada como la que predice el modelo original, probablemente sí correspondería a niveles muy superiores a los actuales. Este caso estaría representado por las condiciones frías que prevalecieron antes de la caída de la pesquería, y representarían un escenario muy favorable tanto para la recuperación de las poblaciones naturales como para acelerar este proceso mediante técnicas de repoblamiento.

El otro extremo, representado por las condiciones cálidas de los últimos años, corresponde a una biomasa máxima posible que se encontraría en un nivel muy inferior. Esto significaría que la capacidad porteadora del medio establecería un límite más o menos cercano a los beneficios potenciales del repoblamiento. En otras palabras: los mismos fenómenos ambientales que limitan los rendimientos de la pesquería tendrían efectos similares sobre los organismos introducidos.

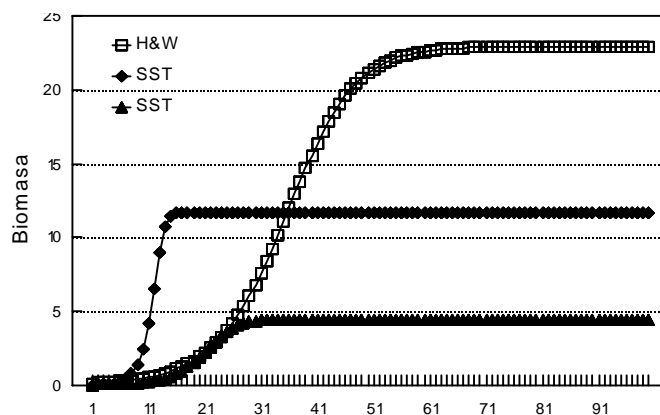


Figura 9. Estimación de biomasa máxima mediante el modelo de Hilborn y Walters (1992) y mediante el modelo modificado por temperatura (escenarios extremos).

Al menos al corto plazo, el panorama es moderadamente optimista: los pronósticos climáticos coinciden en anticipar el desarrollo de un evento La Niña durante el presente año (1999), si bien -hasta ahora- de intensidad moderada (Figura 10). En contraste, no existen a la fecha pronósticos del clima en escalas decadales, que según los resultados presentados son las más singificativas para el caso del abulón. No obstante, si existen hipótesis que, a falta de elementos más sólidos, deben ser consideradas aunque con todas las reservas del caso.

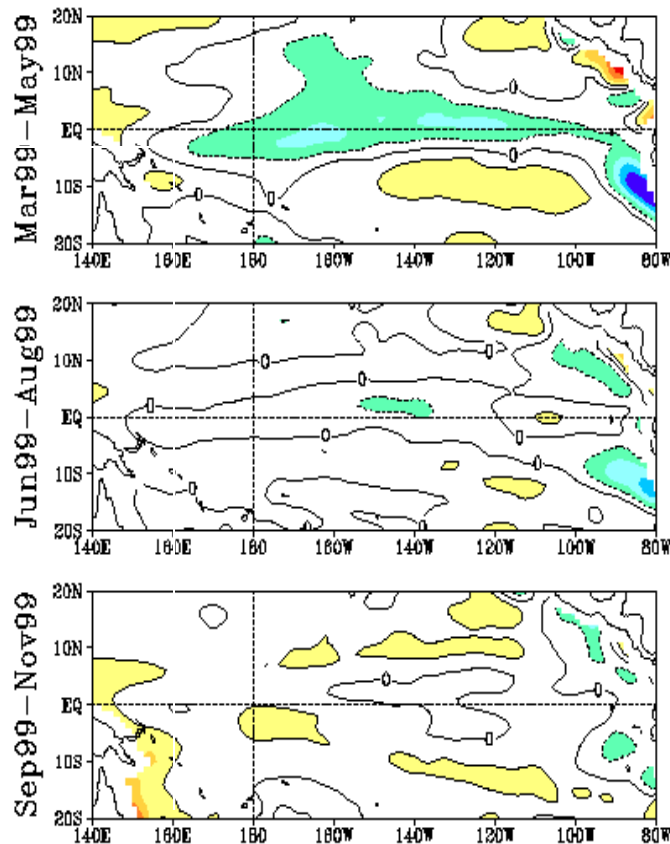


Figura 10. Pronóstico del Climatic Diagnostic Center (NOAA) sobre la presencia de condiciones La Niña para 1999; hasta este momento el escenario es de un evento moderado.

La principal de éstas se denomina la oscilación decadal del Pacífico norte (PDO), y supone que esta cuenca presenta una señal decadal dominante debido al tiempo que tardan las anomalías de contenido de calor del océano en completar un giro (Latiff y Barnet, 1994). De ser correcto, este mecanismo implicaría una regularidad que permitiría establecer pronósticos decadales preliminares: un ciclo completo correspondería a alrededor de 20 años. La serie del PDO se presenta en la Figura 11.

Tal como está definido, el índice está positivamente correlacionado con la temperatura a lo largo de la costa occidental de la península. Puede apreciarse el reciente periodo de valores positivos del índice a partir de mediados de principios de los 1980's, que corresponderían con temperaturas anómalamente cálidas en la zona de estudio y que, bajo la hipótesis planteada, habría determinado niveles de biomasa bajos para las poblaciones de abulón. La tendencia es a hacia valores negativos desde el máximo en 1982-83; de mantenerse, los próximos años corresponderían a un periodo comparativamente frío que, bajo la hipótesis planteada,

significarían buenas noticias en cuanto a un posible crecimiento de las poblaciones naturales así como a la factibilidad de tener éxito en los programas de repoblamiento.

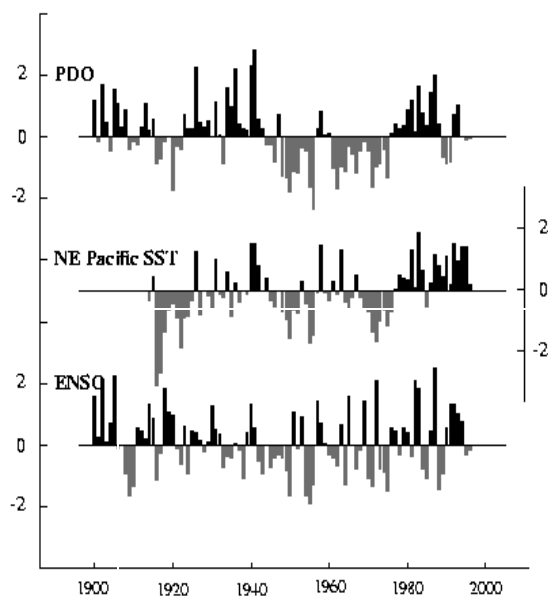


Figura 11. Series de tiempo de indicadores de clima en Pacífico Norte, la serie del PDO se muestra en el panel superior.

Bibliografía

- Bakun, A. 1990. Global Climate Change and intensification of coastal ocean upwelling. *Science*, 247:198-201.
- Bakun, A. 1993. Global greenhouse effects, multidecadal wind trends, and potential impacts on coastal pelagic fish populations. *ICES Mar. Sci. Symp.*, 195:316-325.
- Beukema, J.L., W.J. Wolff and J.J.W.M. Brouns (eds.) 1990. Expected effects of climatic change on marine coastal ecosystem. In: *Developments in Hydrobiology 37*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 221 pp.
- Binet, D. 1988. Role possible d'une intensification des alizés sur le changement de répartition des sardines et sardinelles le long de la Côte ouest africaine. *Aquatic. Living Resour.*, 1:115-132.
- Cox, K. W. 1962. California abalones, family Haliotidae. *Calif. Fish and Game. Fish Bull.*, 118. 133 pp.
- Crawford R. M. J.; L. G. Underhill; L. V. Shannon; D. Lluch-Belda; W. R. Siegfried and C. A. Villacastin-Herrero. 1991. An empirical investigation of trans-oceanic linkages between areas of high abundance of sardine. In: Kawasaki, T., S. Tanaka, Y. Toba and A. Taniguchi (eds.), *Long-term variability of pelagic fish population and their environmental*. Pergamon Press, 319-331.
- Everett, J., A. Krovnin, D. Lluch-Belda, E. Okemwa, H.A. Regier and J.P. Troadec. 1996. Fisheries. In: *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-technical Analyses*. Contribution of Working Group II to the Second Assessment

- Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Watson, R.T, M.C. Zinyowera, R.H. Moss and D.J. Dokken (Eds.). Cambridge University Press, 511-537.
- Francis, R. C. and T. H. Sibley. 1991. Climate Change and Fisheries: What are the real issues?. The Northwest Environmental Journal, Univ. of Washington, 7:295-307.
- Guzmán Del Prío, S.A., 1994. Biología, ecología y dinámica de la población del abulón (*Haliotis* spp) de Baja California. México. Tesis Doctoral, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México D.F.
- Guzmán Del Prío, S.A., D. Lluch-Belda, D.B. Lluch-Cota, S. Hernandez y C.A. Salinas Zavala., 1991. Efecto de cambios climáticos en la abundancia del abulón en la costa Pacífica de la Península de Baja California. Taller México-Australia sobre reclutamiento de recursos marinos bentónicos de la Península de Baja California (ms. unpublished).
- Hilborn, R. and C.J. Walters. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall. New York. USA. 560 pp.
- Johnson, M. W., 1971. The Palinurid and Scyllarid lobster larvae of the tropical Eastern Pacific and their distribution as related to the prevailing hydrography. *Bull. Scripps. Inst. Ocean.* Vol. 19: 1-36 pp.
- Kawasaki, T., S. Tanaka, Y. Toba and A. Taniguchi (eds.). 1991. Long-term variability of pelagic fish population and their environmental. Pergamon Press, Tokyo, Japan, 402 pp.
- Latif, M. and T. P. Barnett. 1994. Causes of decadal climate variability over the North Pacific and North America. *Science*, 266:634-637.
- León, C.G. and M. Muciño. 1996. Pesquería de abulón. p. 15-41. In: Casas V.M. and G. Ponce D., Eds. Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur, Vol. I). SEMARNAP, Gobierno del Estado de Baja California Sur, FAO, UABCS, CIB, CICIMAR-IPN, CRIP-INP, Cet del Mar La Paz. 350 pp.
- Lluch Belda D.; S. Hernández V.; D.B. Lluch C.; C.A. Salinas Z.; F. de Lachica B. y F. Magallón B. "La Variación Climática y Oceanográfica Global y algunos de sus efectos en el Noroeste Mexicano"; Ciencia y Desarrollo (CONACyT), XVII(98), mayo-junio 1991
- Lluch-Belda, D.; R.J.M. Crawford; T. Kawasaky; A.D. MacCall; R.H. Parrish; R.A. Schwartzlose y P.E. Smith; 1989. World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: The regime problem. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 8: 195-205.
- Ntiba, M.J. and D. Harding. 1993. The food and the feeding habits of the long rough dab *Hippoglossoides platessoides* (Fabricius, 1780), in the North Sea. *Neth. J. Sea Res.*, 31:189-199. Ortega-Rubio A., A. Castellanos-Vera y D.B. Lluch-Cota. 1998. Sustainable development in a Mexican Biosphere Reserve: Salt production in Vizcaíno, Baja California (Mexico). *Natural Areas Journal* 18(1), 63-72.
- Polovina, J. J. 1996. Decadal variation in the trans-Pacific migration of northern bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) coherent with climate-induced change in prey abundance. *Fish. Oceanogr.* 5(2):114-119.
- Polovina, J. J.; G. T. Mitchum; N. E. Graham; M. P. Craig; E. E. Demartini and E. N. Flint. 1994. Physical and biological consequences of a climate event in the central North Pacific. *Fish. Oceanogr.* 3(1):15-21.

- Polovina, J.J.: G.T. Mitchum and G.T. Evans. 1995. Decadal and basin-scale variation in mixed layer depth and the impact on the biological production in the Central and North Pacific, 1960-88. *Deep -Sea Reseach* 42(10):1701-1716.
- Sharp, G.D. and J. Csirke (eds.). 1983. Proceedings of the Expert consultation to examine the changes in abundance and species composition of neritic fish resources, 18-29 April 1983, San José, Costa Rica. FAO Fish. Rep. Ser. Rome, 29(2-3): 1294 pp.
- Tegner, M. J. 1989. The California abalone fishery: Production, ecological interactions, and prospects for the future. In: J.F. Caddy, Ed. *Marine Invertebrates Fisheries: Their Assessment and Management* . Wiley, New York. 401-420.
- Tissot, B. N., 1990. El niño responsible for decline of black abalone off Southern California. *Hawaii Shell News* 38(6): 3-4.
- Vega V. A., G. Leon Carballo, y M. Muciño Díaz. 1994. Sinopsis de información biológica, pesquera y acuacultural de los abulones (*Haliotis* spp) de la Península de Baja California, México. 117 p. (convenio SEPESCA/CIBNOR).
- Vega V. A., D. Lluch-Belda, D. Muciño D., G. León C., S. Hernández-Vázquez, D.B. Lluch-Cota, M. Ramade V. and G. Espinoza C. 1996. Developement, perspectives and management of lobster and abalone fisheries off northwest México under a limited access system. In: *Proceedings of the 2nd World Fisheries Congress*. Brisbane, Australia. July 28th-August 2nd, 1996.
- Vega V.A., D.B. Lluch-Cota y C. Castro-Aguirre "Análisis de las fluctuaciones en los volúmenes de capturas de langosta en las principales áreas de pesca de Baja California Sur, y su relación con factores ambientales, durante el periodo 1970-1991", *Memorias del Taller México-Australia sobre Reclutamiento de Recursos Marinos Bentónicos de Baja California*, 191-212.

Contact: P.A. Cook
Phone: +61 8 98928548



Centre of Excellence in
Natural Resource
Management



THE UNIVERSITY OF
WESTERN AUSTRALIA
ABN 37 882 817 280

11 September 2004

Dear Dr German Ponce-Diaz,

This is to confirm that your paper :

"Growth and tissue biochemical composition of *Haliotis fulgens* at elevated temperatures in Baja California under two dried brown algal diets" by G. Ponce-Díaz, E. Serviere-Zaragoza, I.S. Racotta, T. Reynoso-Granados, A. Mazariegos-Villarreal, P. Monsalvo-Spenser and D. Lluch-Belda.

has been accepted for publication in the Journal of Shellfish Research and should appear within the next few weeks.

Yours sincerely,

Professor P. A. Cook
Guest Editor

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

Running head: Growth and tissue biochemical composition of green abalone

Growth and tissue biochemical composition of *Haliotis fulgens* at elevated temperatures in Baja California under two dried brown algal diets

G. Ponce-Díaz^{1,2}, E. Serviere-Zaragoza¹, I.S. Racotta¹, T. Reynoso-Granados¹, A. Mazariegos-Villarreal¹, P. Monsalvo-Spenser¹ and D. Lluch-Belda²

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). Apartado Postal 128. La Paz, B.C.S. 23000, México.

gponce@cibnor.mx

²Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR–IPN). Apartado Postal 592. La Paz, B.C.S. 23096, México.

1 ABSTRACT

2 Growth, survival, and tissue biochemical composition of juvenile green abalone *Haliotis fulgens*
3 were recorded for two temperature regimes simulating the contrasting marine conditions, one as
4 a normal year and the other as an El Niño 1997-98 event during 120 days in the laboratory.

5 Abalone were fed *Macrocystis pyrifera* or *Eisenia arborea*. During the experiment, juveniles
6 were sampled for biochemical analysis at the maximum temperature, which occurred at 60 days
7 and at 120 days. Significant differences in growth of shell length and wet body weight among
8 treatments were recorded. The highest growth ($39 \mu\text{m}\cdot\text{day}^{-1}$ and $16.0 \text{ mg}\cdot\text{day}^{-1}$) occurred in
9 juvenile abalone within the El Niño temperature pattern and fed *M. pyrifera*. Survival rates were
10 approximately 95% without significant differences between treatments. At maximum
11 temperature, juveniles within the El Niño pattern had higher levels of protein in the
12 hepatopancreas, regardless of diet. A significant interaction between temperature regime and
13 food was observed for glycogen in muscle, with the highest levels in juveniles fed *M. pyrifera*
14 within the El Niño pattern. At the end of the experiment, juveniles in the normal year pattern had
15 higher levels of lipids in the hepatopancreas. Increased levels of protein, total carbohydrates, and
16 glycogen, in muscle were present in juveniles in the El Niño pattern, regardless of diet. Juveniles
17 fed *M. pyrifera* had higher levels of protein and lipids in the hepatopancreas and increased levels
18 of protein, carbohydrates, and glycogen in muscle tissue, regardless of temperature regime. The
19 influence of diet and temperature regime on several biochemical components closely matched
20 their effects on growth.

21

22

23 **Key words:** biochemical composition, carbohydrates, El Niño, glycogen, green abalone, *Haliotis*
24 *fulgens*

1 INTRODUCTION

2 Long-term temperature series have shown that, during El Niño oceanographic conditions,
3 the appearance of unusually warm surface waters in the eastern tropical Pacific Ocean is one of
4 the most prominent aspects of El Niño (ENSO) phenomenon (Philander 1990). There is an
5 anomalous increase of sea surface temperature and a coincident drop in nutrient concentration
6 (Jackson 1977, Zimmerman & Kremer 1984, Hernández-Carmona et al. 2001). Along the Baja
7 California Peninsula, the maximum sea surface temperatures recorded during an El Niño was in
8 1997-98, around 28°C (Ponce et al. 2003b). It has been considered the most intense of the
9 twentieth century (McPhaden 1999).

10 The effect of temperature on the physiology of abalone includes gonadal maturation,
11 larval development, feed consumption, ammonia excretion, oxygen consumption, growth rate,
12 and survival (Hahn 1989, Britz et al. 1997). Thermal tolerance limits are more restrictive in
13 larvae and recently settled individuals, but temperature affects abalone species differently. In
14 *Haliotis fulgens*, the upper lethal limit for juveniles (1 to 2 cm) is 31.5°C (LT₅₀, 48 hours)
15 (Leighton et al. 1981). This suggests that there was little or no direct effect of temperature during
16 the strong El Niño event of 1997-98 on survival of green abalone juveniles along the Baja
17 California Peninsula coast, Mexico. Nevertheless, environmental fluctuations may favor the
18 development of some diseases, as in California (USA); high temperatures may increase the
19 mortality rate of black abalone (*H. cracherodii*) affected by withering syndrome (WS) (Friedman
20 et al. 1997). Mass mortality of black abalone was recorded after the occurrence of the 1984 El
21 Niño (Haaker et al. 1992). Friedman et al. (2002) found an intracellular bacterium (order
22 Rickettsiales) as the etiological agent for that die off.

1 Availability of a major food of abalone, the brown alga *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Ag.,
2 becomes limited during El Niño events. Warm-water events lead to large-scale declines of
3 surface canopy fronds in *Macrocystis* due to thermal stress and reduced nutrients in local
4 nearshore areas (North 1957, 1971, Hernández-Carmona 1987, Dayton & Tegner 1990, Ladah et
5 al.1999, Hernández-Carmona et al. 2001, Guzmán del Prío et al. 2003). Feed availability may be
6 a significant factor to be considered regarding how abalone stocks may be affected during future
7 El Niños and global warming. Along the Baja California coast, juvenile green abalone showed
8 high variability in size, which may be an indirect effect of the 1997-98 El Niño on their food
9 supply (Guzmán del Prío et al. 2003). The present study was designed to assess the survival,
10 growth, and biochemical composition of the tissue of juvenile green abalone (*Haliotis fulgens*)
11 under two temperature regimes that simulate the contrasting summer marine conditions during a
12 normal year and a severe El Niño (1997-98) while fed two dried brown algal diets, *M. pyrifera*
13 and *Eisenia arborea* Aresch.

14

15 **MATERIAL AND METHODS**

16 **Temperature patterns and natural diet**

17 Two elevated temperature regimes (July to November), one for a normal year (18 - 21°C)
18 and the other El Niño 1997-98 (20 – 28°C), were simulated in tanks following the daily
19 measurements of sea surface temperature at Bahía Asunción, Baja California Sur. The normal
20 year data was obtained from an average of 1992 to 1996, and the El Niño year from data obtained
21 during 1997 (Fig. 1a) (Ponce et al. 2003a). Controlled temperatures in laboratory tanks varied \pm
22 2°C, which was related to the precision of the equipment used to control the seawater
23 temperature (Fig. 1b).

1 In each temperature regime, two brown algae, *M. pyrifera* and *E. arborea*, were used as
2 food. *M. pyrifera* is considered a major food of abalone. Most fronds are lost during intense El
3 Niño events (Hernández-Carmona et al. 2001). *E. arborea* is thought also to be an important
4 species as a potential food for abalone along Baja California (Guzmán del Prío et al. 1972,
5 Serviere-Zaragoza et al. 1998). Its populations decrease during El Niño events, but do not
6 disappear (Hernández-Carmona et al. 2001). *M. pyrifera* and *E. arborea* (blades excluding
7 pneumatocysts) were collected from the central coast of Baja California peninsula, Mexico.
8 Blades were air dried and stored in cardboard boxes at 20°C to preclude deterioration. Diets were
9 re-hydrated before administration.

11 **Experimental procedure**

12 Growth and survival of 312 hatchery-produced, green abalone *Haliotis fulgens* (average
13 starting size 29.0 mm \pm 4.3 (sd) shell length and average starting wet body 2.37 g \pm 1.1 (sd)
14 weight) were recorded for a 120 day experiment. Experimental animals were held in 16-L
15 fiberglass rearing tanks (50 \times 30 \times 35 cm, LWH). Abalone were marked with plastic tags glued
16 to the shell. Re-hydrated diets were given *ad libitum* in the afternoon at intervals of 2 days. Three
17 replicate tanks were used for each of four treatment conditions: El Niño-*M. pyrifera*; El Niño-*E.*
18 *arborea*; Normal-*M. pyrifera*, and Normal-*E. arborea*. Each tank contained 26 abalone (12
19 tanks). Treatments were randomized among tanks. Every second morning, uneaten food and
20 feces were removed. Micro algae growing on the inner walls of tanks were removed twice a
21 week with a brush. Filtered (10 μ m) seawater was supplied at a flow-through rate of 70 ml/min
22 giving about 6 water exchanges/day. The water was vigorously aerated. Seawater temperatures

1 less than 24°C were maintained with a flow trough in a chiller. Higher temperatures were
2 maintained with 100-W heaters immersed in each tank (VISI-THERM).

3

4 **Growth**

5 Shell length was measured with a vernier caliper, and wet body weight with an electronic
6 balance (nearest 0.001 g) at 0, 30, 58, 97, and 120 days. Dead animals were removed and
7 replaced to maintain the standard density, although data from these animals were not used in the
8 analysis. Daily growth rates for shell length ($GR_{SL} = (SL_f - SL_i)/T$) and wet body weight (GR_{BW}
9 $= (BW_f - BW_i)/T$) were calculated. SL_f = mean final shell length, SL_i = mean initial shell length,
10 BW_f = mean final wet weight, BW_i = mean initial wet weight, and T = time in days.

11

12 **Biochemical analysis**

13 At both temperature regimes, specimens were sacrificed for composition samples twice,
14 once at the maximum temperature (60 days after the beginning of the experiment) and the other
15 at the end of the study (120 days after the beginning of the experiment). On each date, fifteen
16 animals from each treatment were sampled at random. The hepatopancreas and shell muscle
17 were dissected, weighed (wet wt), and stored at -70°C for biochemical analysis.

18 Hepatopancreas was homogenized with 0.5 mL of 35‰ saline solution and muscle with
19 5 mL of 10% trichloroacetic acid (TCA) with a mechanical homogenizer (Vir- Tis). Protein was
20 determined after digestion with 0.1 N NaOH (hepatopancreas) and 5N Na OH (muscle)
21 (Bradford 1976) and total carbohydrates by the anthrone method (Roe et al. 1955). In
22 hepatopancreas, total lipids were determined by the sulphophosphanillin method (Barnes &
23 Blackstock 1973). In muscle, glycogen was extracted with absolute ethanol and the anthrone

1 method (Van Handel 1965). Levels of all fractions are reported as $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ of tissue (wet weight).
2 The water content in hepatopancreas was $69\% \pm 4\%$ (sd) and in muscle $76\% \pm 3\%$ (sd) (N = 50).

3

4 **Statistical Analyses**

5 At the beginning of the assay, statistical differences in shell length and wet body weight
6 among replicates were not detected ($P < 0.05$). At 60 and 120 days, two-way ANOVA was
7 performed to assess significant differences in growth variables and in biochemical composition
8 of hepatopancreas and muscle, using temperature regime (normal year or El Niño) and diet (*M.*
9 *pyrifera* or *E. arborea*) as independent variables (Sokal & Rohlf 1995). Mean comparisons were
10 done by Tukey test only when there was a significant effect of the interactions ($P < 0.05$).
11 Statistical analysis was done with STATISTICA 6.0 software.

12

13 **RESULTS**

14 **Growth**

15 Shell length (SL) and wet body weight (BW) growth ($P < 0.01$) was greater in juveniles
16 fed *M. pyrifera* than juveniles fed *E. arborea*, regardless of temperature regime. Nevertheless,
17 both SL and BW growth were affected by diet in relation to the temperature regime (interaction:
18 $P < 0.05$). At the end of the study period, the greatest mean SL and BW ($34.94 \text{ mm} \pm 0.60$, sd)
19 and $4.61 \text{ g} \pm 0.24$, sd) occurred in juveniles under El Niño-*M. pyrifera* treatment, whereas the
20 least mean ($30.12 \text{ mm} \pm 0.91$, sd and $2.83 \text{ g} \pm 0.33$, sd) was observed in juveniles fed *E. arborea*
21 under El Niño-*E. arborea* treatment (Fig. 2a, 2b).

1 Daily growth rate of SL and BW (main effect: $P < 0.01$) were higher in juveniles fed *M.*
2 *pyrifera* than juveniles fed *E. arborea*, regardless of temperature regime, although they were
3 affected by diet in relation to the temperature regime (interaction: $P < 0.05$). The highest daily
4 growth rates of SL and BW ($39 \mu\text{m}\cdot\text{day}^{-1} \pm 3$ and $16 \text{mg}\cdot\text{day}^{-1} \pm 1$) occurred in juveniles under El
5 Niño-*M. pyrifera* treatment, and were statistically different from juveniles fed *E. arborea*;
6 Normal-*E. arborea*, or El Niño-*E. arborea*. The lowest daily growth rates ($11 \mu\text{m}\cdot\text{day}^{-1} \pm 3$ and 4
7 $\text{mg}\cdot\text{day}^{-1} \pm 1$) was in juveniles fed *E. arborea* under El Niño-*E. arborea*, and were statistically
8 different from juveniles fed *M. pyrifera*; Normal-*M. pyrifera*, and El Niño-*M. pyrifera* (Fig. 3a,
9 3b). The mean percent (\pm sd) of survival was $96\% \pm 4\%$ in Normal-*M. pyrifera*, $95\% \pm 5\%$ in El
10 Niño-*M. pyrifera*, $94\% \pm 6\%$ in Normal-*E. arborea*, and $93\% \pm 2\%$ in El Niño-*E. arborea*,
11 without significant differences between treatments (not shown).

12

13 **Biochemical variables**

14 Hepatopancreas

15 At maximum temperature (60 days), the protein levels of juveniles within the El Niño
16 pattern (global mean, 121.8 mg/g) were higher than within the Normal pattern (global mean, 99.6
17 mg/g) (main effect: $P < 0.01$), regardless of diet. At 120 days, juveniles fed *M. pyrifera* had
18 higher levels of protein (global means, 107.2 mg/g vs 88.7 mg/g) (main effect: $P < 0.05$),
19 regardless of temperature regime (Fig. 4a). During the assay, no significant different effect was
20 observed in carbohydrate levels in relation to temperature or diet (Fig. 4b). At 60 days, no
21 significant effect in lipid levels in relation to temperature or diet was observed. At 120 days,
22 juveniles within the Normal pattern had higher levels of lipids (global means, 9.6 mg/g vs 6.2

1 mg/g) (main effect: $P < 0.01$), regardless of diet. Juveniles fed *M. pyrifera* had higher levels of
2 lipids (global means, 10.3 mg/g vs 5.5 mg/g) (main effect: $P < 0.01$), regardless of temperature
3 regime (Fig. 4c).

4

5 Muscle

6 At 60 days, no significant differences were observed in protein levels in relation to
7 temperature or diet, but at 120 days, increased levels of protein (main effect: $P < 0.01$) were
8 present in juveniles within the El Niño pattern (global means, 164.1 mg/g vs 141.1 mg/g),
9 regardless of diet. Juveniles fed *M. pyrifera* had higher levels of protein (158.8 mg/g vs 146.4
10 mg/g) (main effect: $P < 0.05$), regardless of temperature regime (Fig. 5a). For carbohydrates at
11 60 days, no significant effect was observed in relation to temperature or diet. At 120 days,
12 increased levels of carbohydrates (main effect: $P < 0.01$) were present in juveniles within the El
13 Niño pattern (4.6 mg/g vs 2.9 mg/g), regardless of diet. Juveniles fed *M. pyrifera* had higher
14 levels of carbohydrates (4.5 mg/g vs 3.0 mg/g) (main effect: $P < 0.05$), regardless of temperature
15 regime (Fig. 5b). At 60 days, glycogen levels of juveniles within the El Niño pattern (1.9
16 mg/g) were higher than within the Normal pattern (1.3 mg/g) (main effect: $P < 0.05$), regardless
17 of diet. A significant interaction between temperature regime and food was observed for the
18 carbohydrate glycogen in muscle, with the highest levels in juveniles fed *M. pyrifera* within the
19 El Niño pattern (interaction: $P < 0.05$). At 120 days, increased glycogen (main effect: $P < 0.01$)
20 was present in juveniles within the El Niño pattern (3.5 mg/g vs 1.6 mg/g), regardless of diet.
21 Juveniles fed *M. pyrifera* had more glycogen (3.3 mg/g) than those fed *E. arborea* (1.8 mg/g)
22 (main effect: $P < 0.05$), regardless of temperature regime (Fig. 5c).

1 DISCUSSION

2 Higher growth obtained in juveniles fed *M. pyrifera* within the two temperature regimes
3 may be related to the relative dietary value of the common alga species along the coast of Baja
4 California Sur. The dietary value of species, such as *E. arborea*, *Gelidium robustum*, and the sea
5 grass *Phyllospadix torreyi* were inferior to that of the dominant algal species of southern
6 California, *M. pyrifera* (Serviere et al. 2001). In California mariculture, *M. pyrifera* is a valuable
7 food for young red abalone, but relatively poor diet for green abalone (Leighton 1989). Growth
8 rates for juveniles fed re-hydrated *E. arborea* and *M. pyrifera* were in the range reported by other
9 authors in animals fed fresh or re-hydrated macroalgae. Growth rates of 12 and 16 $\mu\text{m}\cdot\text{day}^{-1}$ have
10 been reported for juveniles fed fresh kelp, *M. pyrifera* (Viana et al. 1993, 1996), whereas values
11 of 19 $\mu\text{m}\cdot\text{day}^{-1}$, and 46 $\mu\text{m}\cdot\text{day}^{-1}$, were obtained for juveniles fed re-hydrated *E. arborea* and *M.*
12 *pyrifera*, respectively (Serviere et al. 2001). Difference in rates of growth among juveniles fed
13 the same diet in different studies may be related to differences in the chemical composition of the
14 algae used in each assay.

15 Biochemical composition of tissues is affected by macroalgal diets. Although most
16 elements of the diet are nutritionally important for growth, including carbohydrate and protein
17 components, lipid class and content may be especially vital to abalone nutrition (Nelson et al.
18 2002a). Foot muscle and hepatic and gonadal tissue serve as storage depots for carbohydrates
19 and lipids, respectively (Mercer et al. 1993). In our study, juveniles fed *M. pyrifera* had higher
20 levels of all components in muscle than juveniles fed *E. arborea* in both temperature regimens.
21 Muscle protein was, by far, the major component and its higher levels reflect muscle growth in
22 accordance to the high overall growth observed in juveniles fed *M. pyrifera*. Polysaccharides
23 stored in the foot muscle may be mainly glycogen as in many gastropods including abalone *H.*

1 *discuss hannai* and *H. tuberculata* (Mercer et al. 1993). At the end of the assay, higher lipid
2 levels in the hepatopancreas of juveniles fed *M. pyrifera* were obtained, regardless of
3 temperature. Macroalgae have lipid profiles that differ between taxa, and vary geographically
4 and seasonally (Nelson et al 2002b). In Baja California Sur, *E. arborea* and *M. pyrifera* have low
5 lipid levels, ranging from 0.4% to 1.0%, without significant differences (Serviere et al. 2002).
6 Nevertheless, according to Mercer et al. (1993), lipid levels in the viscera reflect the combination
7 of lipid levels in the diet and their bioavailability to the animals in addition to possible lipid
8 synthesis by the abalone. This suggests differences in lipid bioavailability for these macroalgae
9 to juvenile *H. fulgens*. Nelson et al. (2002a) found that diet and temperature influenced seasonal
10 changes in lipid profiles, where diet most strongly affects body mass and temperature to shell
11 length.

12 High survival observed in the assay (~90%) suggests that the maximum temperatures
13 reached during El Niño 1997-1998 did not directly cause mortality in coastal juvenile green
14 abalone populations. In culture, juvenile green abalone is tolerant of extremes in water
15 temperature, and shows the best growth at 20 to 28°C (Leighton 1974, Leighton et al. 1981).
16 Low temperature reduces growth, at least in part, by affecting feeding rates and feeding duration
17 (Uki 1981). In natural populations, high variability in size in green abalone (Guzmán del Prío et
18 al. 2003) and reduction of growth rate in red abalone (Haaker et al. 1998) were reported during
19 El Niños, suggesting variations in growth rate from changes in environmental conditions. This
20 will be discussed later because it may also reflect low availability of food. In California,
21 Friedman et al. (1997) and others suggested that high temperatures during El Niños may increase
22 mortality of black abalone affected by the withering syndrome bacterial agent.

23

1 At the end of the experiment, hepatopancreas of juveniles within the El Niño pattern had
2 lower levels of lipids than juveniles within the Normal pattern, regardless of diet. This suggests
3 that during an El Niño, juveniles may use more lipid reserves than during normal years, which
4 may in turn affect development. For macroalgae, Nelson et al. (2002b) reported that temperature
5 induced changes in specific fatty acids, especially polyunsaturated eicosopentaenoic fatty acids,
6 which may be important factors in gonadogenesis, and consequently, affect larval production and
7 recruitment.

8 In this study, the best growth was obtained under the El Niño regime (20-28°C),
9 providing abalone was fed *M. pyrifera*. The combined effect of high temperature and optimal
10 food must be discussed together, since better growth was associated with higher levels of protein,
11 carbohydrates, and glycogen in muscle. However, southern nutrient-poor water accompanies El
12 Niño events, causing local or large-scale disappearance of the *M. pyrifera* kelp forests (North,
13 1971; Gerard 1984; Tegner & Dayton 1987, 1991; Hernández-Carmona et al. 2001). Our results
14 suggest that higher temperatures associated with El Niño events may promote the growth of
15 green abalone, but only if the phenomenon is not sufficiently strong to cause widespread
16 destruction of *M. pyrifera* and other temperature-sensitive macroalgae. If El Niño events are too
17 severe, abalone lose a main food source in Baja California Sur and must shift to other inferior
18 algae, resulting in lower growth rates. In southern Baja California in September 1997, water
19 temperature was high (25.3°C, anomaly +5.7°C) and nutrients were presumably low (< 1 µM),
20 causing large-scale disappearances of all kelp forests at the southern end of their distribution
21 (Hernández-Carmona et al. 2001). The effects of high temperatures in the Pacific waters of the
22 Baja California Peninsula during El Niño years have been evident in *M. pyrifera* harvests
23 recorded in 1958, 1983, and 1998 (Casas-Valdez et al., in press). During El Niño 1997-98, *E.*

1 **LITERATURE CITED**

- 2 Barnes, H. & J. Blackstock. 1973. Estimation of lipids in marine animals and tissues: detailed
3 investigation of the sulphophosphovanillin method for 'total' lipids. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*
4 12:103-118.
- 5 Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities
6 of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72:248-253.
- 7 Britz P.J., T. Hecht & S. Mangold. 1997. Effect of temperature on growth, feed consumption and
8 nutritional indices of *Haliotis midae* fed a formulated diet. *Aquaculture.* 152:191-203.
- 9 Casas-Valdez, M., E. Serviere-Zaragoza, D. Lluch-Belda, R. Marcos & R. Aguila-Ramírez.
10 Effect of climatic change on the harvest of the kelp *Macrocystis pyrifera* on the Mexican
11 Pacific coast. *B. Mar. Sci.* (In press.)
- 12 Dayton, P.K. & M.J. Tegner. 1990. Bottom beneath troubled waters: impacts of the 1982-83 El
13 Niño in the temperate zone. In: P.W. Glynn, editor. Global ecological consequence of the
14 1982-83 El Niño-Southern Oscillation. Amsterdam: Elsevier. pp. 433-465.
- 15 Friedman, C.S., M. Thomson, C. Chun, P.L. Haaker & R.P. Hedrick. 1997. Withering syndrome
16 of the black abalone, *Haliotis cracherodii* (Leach): water temperature, food availability, and
17 parasites as possible causes. *J. Shellfish. Res.* 16:403-411.
- 18 Friedman, C.S., W. Biggs, J.D. Shields & R.P. Hedrick. 2002. Transmission of withering
19 syndrome in black abalone, *Haliotis cracherodii* Leach. *J. Shellfish Res.* 21(2):817-824.
- 20 Gerard, V.A. 1984. Physiological effects of El Niño on giant kelp in Southern California. *Mar.*
21 *Biol. Letters.* 5:317-332.
- 22 Guzmán del Prío, S.A., S. De la Campa & J. Pineda. 1972. Flora macroscópica asociada a los
23 bancos de abulón (*Haliotis* spp.) en algunas áreas de la costa occidental de Baja California.
24 México: Memorias IV Congreso Nacional de Oceanografía. pp. 257-263.

- 1 Guzmán del Prío, S.A., L. Carreón Palau, J. Belmar Pérez, J. Carrillo Laguna & R. Herrera
2 Fragoso. 2003. Effects of the “El Niño” event on the recruitment of benthic invertebrates in
3 Bahía Tortugas, Baja California Sur. *Geofísica Intern.* 42(3):429-438.
- 4 Haaker, P.L., D.V. Richards, C.S. Friedman, G.E. Davis, D.O. Parker & H. Togtdad. 1992. Mass
5 mortality and withering syndrome in black abalone *Haliotis cracherodii* in California. In: S.A.
6 Shepherd, M.J. Tegner & S.A. Guzmán del Prío, editors. Abalone of the world: biology,
7 fisheries and culture. Oxford. Blackwell Scientific Publications. pp. 214-224.
- 8 Haaker, P.L., D.O. Parker, K.C. Barsky & C.Y. Chun. 1998. Growth of red abalone, *Haliotis*
9 *rufescens* (Swainson), at Johnsons Lee, Santa Rosa Island, California. *J. Shellfish Res.*
10 17(3):747-753.
- 11 Hernández-Carmona, G. 1987. Recuperación de los mantos de sargazo gigante *Macrocystis*
12 *pyrifera* en Baja California, después del fenómeno de “El Niño” de 1982-83. In: M.E.
13 Ramírez-Rodríguez, editor. Simposium sobre investigación en biología y oceanografía
14 pesquera en México. La Paz, B.C.S., México: Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
15 pp. 147-154.
- 16 Hernández-Carmona, G., D. Robledo & E. Serviere-Zaragoza. 2001. Effect of nutrient
17 availability on *Macrocystis pyrifera* recruitment and survival near its southern limit off Baja
18 California. *Bot. Mar.* 44:221-229.
- 19 Jackson, G.A. 1977. Nutrients and production of the giant kelp *Macrocystis pyrifera*, off
20 Southern California. *Limnol. Oceanogr.* 22:979-995.
- 21 Ladah, L.B., J. Zertuche-González & G. Hernández-Carmona. 1999. Giant kelp (*Macrocystis*
22 *pyrifera*, Phaeophyceae) recruitment near its southern limit in Baja California after mass
23 disappearance during ENSO 1997-1998. *J. Phycol.* 35:1106-1112.

- 1 Leighton, D.L. 1974. The influence of temperature on larval and juvenile growth in three species
2 of southern California abalones. *Fishery Bulletin* 72(4):1137-1145.
- 3 Leighton, D.L. 1989. Abalone (genus *Haliotis*) mariculture on the North American Pacific Coast.
4 *Fishery Bulletin* 87:689-702.
- 5 Leighton, D.L., M. Byhower, J. Kelly, G.N. Hooker & D.E. Morse. 1981. Acceleration of
6 development and growth in young green abalone (*Haliotis fulgens*) using warmed effluent
7 seawater. *Journal of the World Mariculture Society* 12(1):170-180.
- 8 Lluch-Cota, D., D. Lluch-Belda, S. Lluch-Cota, J. López-Martínez, M. Nevárez-Martínez, G.
9 Ponce-Díaz, G. Salinas-Zavala, A. Vega-Velázquez, J.R. Lara-Lara, G. Hammann & J.
10 Morales. 1999. Las pesquerías y El Niño. In: V.O. Magaña, editor. *Los Impactos de El Niño*
11 *en México*. México: Secretaría de Educación Pública-Consejo Nacional de Ciencia y
12 Tecnología. pp. 137-178.
- 13 McPhaden, M.J. 1999. Climate oscillations-genesis and evolution of the 1997-1998 El Niño.
14 *Science*. 283:950-954.
- 15 Mercer J.P., K.S. Mai & J. Donlon. 1993. Comparative studies on the nutrition of two species of
16 abalone, *Haliotis tuberculata* Linnaeus and *Haliotis discus hannai* Ino. I. Effects of algal diets
17 on growth and biochemical composition. *Invertebr. Reprod. Dev.* 23:75-88.
- 18 Nelson, M.M., D.L. Leighton, C.F. Phleger & P.D. Nichols. 2002a. Comparison of growth and
19 lipid composition in the green abalone, *Haliotis fulgens*, provided specific macroalgae diets.
20 *Comp. Biochem. Phys. B.* 1331: 695-712.
- 21 Nelson, M.M., C.F. Phleger & D.L. Leighton. 2002b. Seasonal lipid composition in macroalgae
22 of the northeastern Pacific Ocean. *Bot. Mar.* 45:58-65.
- 23 North, W. 1957. Experimental Ecology. In: *Fish and the kelps beds*. Quarterly report Oct 1-Dec
24 31, p. 5.

- 1 North, W. 1971. Introduction and background. In: W. North, editor. The biology of giant kelp
2 beds (*Macrocystis*) in California. J. Cramer, Lehre. pp. 1-97.
- 3 Philander, S.G. 1990. El Niño, La Niña and the Southern Oscillation. New York: Academic
4 Press, Inc. 289 pp.
- 5 Ponce-Díaz, G., F. López-Salas, G. Hernández-Carmona, S. Lluch-Cota, J. Bautista-Romero &
6 D. Lluch-Belda. 2003a. Base de datos de la temperatura del mar en Bahía Asunción, Baja
7 California Sur, México. Instituto de Investigaciones Oceanológicas/Universidad Autónoma de
8 Baja California, México, Technical Report 2003-01, 16 pp. (Available on line, format pdf, in:
9 <http://rcmarinas.ens.uabc.mx/~cmarinas/reportes/reportecnico012003.pdf>)
- 10 Ponce-Díaz G., S. Lluch-Cota, J. Bautista-Romero & D. Lluch-Belda. 2003b. Multiscale
11 characterization of the sea temperature in an area of abalone banks (*Haliotis* spp.) at Bahía
12 Asunción, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 29(3):291-303.
- 13 Prince, J.D. & S.A. Guzmán del Prío. 1993. A stock reduction analysis of the Mexican
14 (Haliotid) fishery. *Fisheries Res.* 16:25-49.
- 15 Roe, J.H. 1955. The determination of sugar in blood and spinal fluid with antrone reagent. *J.*
16 *Biol. Chem.* 212:335-343.
- 17 Serviere-Zaragoza, E., D. Gómez-López & G. Ponce-Díaz. 1998. The natural diet of the green
18 abalone (*Haliotis fulgens* Philippi) in the southern part of its range, Baja California Sur,
19 México, assessed by analysis of gut contents. *J. Shellfish Res.* 17(3):777-782.
- 20 Serviere-Zaragoza, E., A. Mazariegos-Villareal, G. Ponce-Díaz & S. Montes-Magallón. 2001.
21 Growth of juvenile abalone, *Haliotis fulgens* Philippi, fed different diets. *J. Shellfish Res.* (2):
22 689-693.

- 1 Serviere-Zaragoza, E., D. Gómez-López & G. Ponce-Díaz. 2002. Gross chemical composition of
2 three common macroalgae and a sea grass on the Pacific coast of Baja California, Mexico
3 *Hidrobiologica*. 12(2):113-118.
- 4 Shepherd, S.A., J.R. Turrubiates & K. Hall. 1998. Decline of abalone fishery at La Natividad,
5 México: overfishing or climate change. *J. Shellfish Res.* 17(3):839-846.
- 6 Sokal, R.R. & J.F. Rohlf. 1995. Biometry. The principles and practice of statistics in biological
7 research. New York: W.H. Freeman and Company. 887 pp.
- 8 Uki, N. 1981. Feeding behaviour of experimental populations of abalone *Haliotis discus hannai*.
9 *Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab.* 43:53-58.
- 10 Uki, N. & T. Watanabe. 1992. Review of the nutritional requirements of abalone *Haliotis* spp.
11 and development of more efficient artificial diets. In: S.A. Shepherd, M.J. Tegner & S.A.
12 Guzmán del Prío, eds. Abalone of the world: biology, fisheries and culture. Oxford:
13 Blackwell Scientific Publications. pp. 504-517.
- 14 Van Handel, E. 1965. Estimation of glycogen in small amounts of tissue. *Anal. Biochem.* 11:256-
15 265.
- 16 Viana, M.T., L.M. López & A. Salas. 1993. Diet development for juvenile abalone *Haliotis*
17 *fulgens*. Evaluation of two artificial diets and macroalgae. *Aquaculture*. 117:49-156.
- 18 Viana, M.T., L.M. López, Z. García-Esquível & E. Mendez. 1996. The use of silage made from
19 fish and abalone viscera as an ingredient in abalone feed. *Aquaculture*. 140:87-98.
- 20 Zimmerman, R.C. & J.N. Kremer. 1984. Episodic nutrient supply to kelp forest ecosystem in
21 Southern California. *J. Mar. Res.* 42:591-604.

1 **FIGURE LEGENDS**

2

3 Figure 1. a) Monthly average seawater surface temperature in Bahía Asunción, measured from
4 1992 to 1996 and during El Niño 1997-98. b) Daily average seawater temperature simulated in
5 laboratory aquaria to represent a normal year and an El Niño year (1997-98).

6

7 Figure 2. Mean \pm SD for triplicate groups of $N \leq 26$ of: a) shell length and b) body weight of
8 juvenile green abalone *H. fulgens*. The results of bifactorial ANOVA are inserted in the figure.

9 Factors considered for the analysis were temperature regime (NO = normal or NI = El Niño) and
10 diet (MP = *M. pyrifera* or EA = *E. arborea*). The main effects and interactions are shown only
11 when significant. Mean comparisons were done by Tukey test only when there was a significant
12 effect of the interactions. Lines not sharing the same letter are significantly different ($P < 0.05$).

13

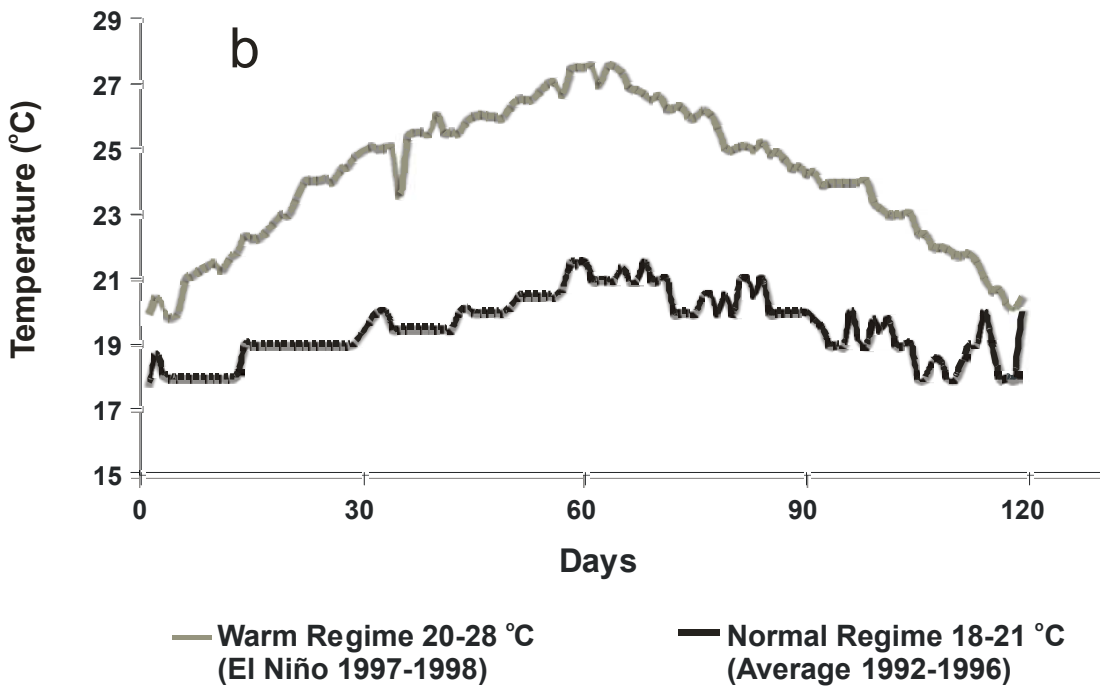
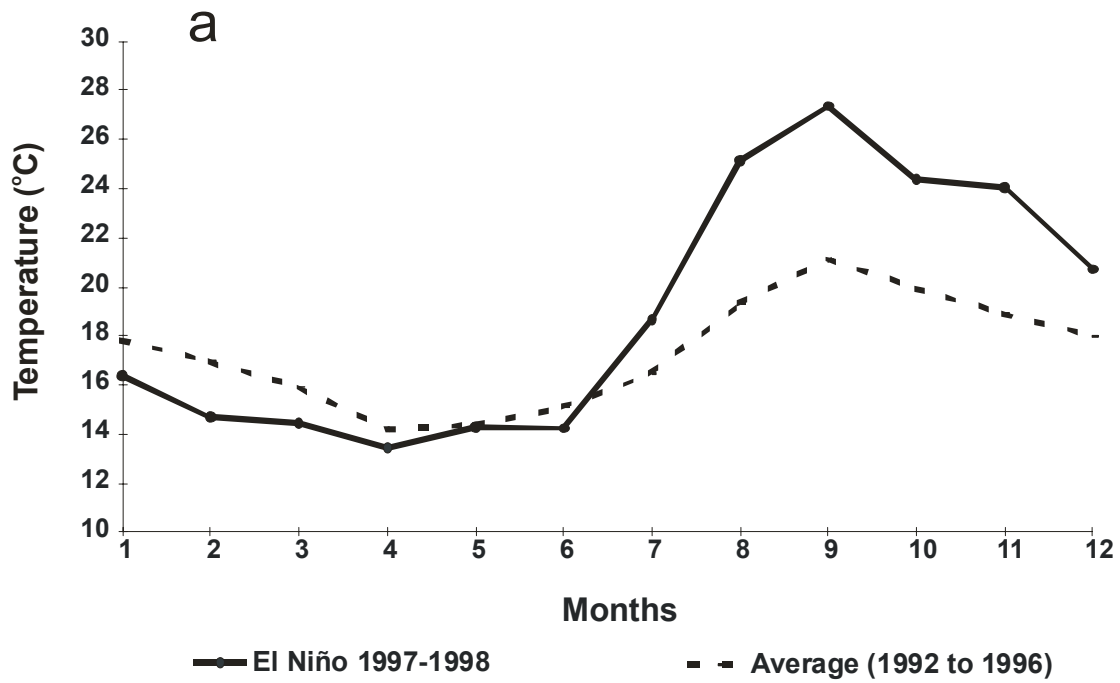
14 Figure 3. Mean \pm SD for triplicate groups of $N \leq 26$ for daily growth in: a) shell length and for b)
15 body weight in triplicate groups of juvenile green abalone *H. fulgens*. See Fig. 2 for statistical
16 analysis.

17

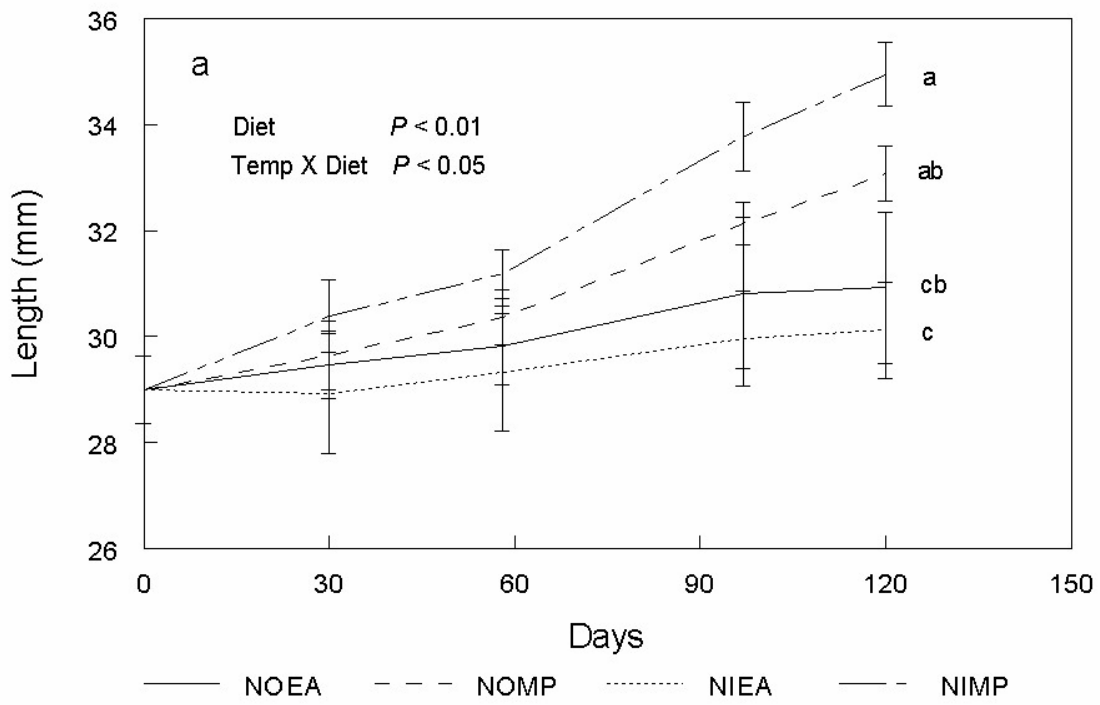
18 Figure 4. Mean \pm SE of hepatopancreas levels ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ hepatopancreas tissue wet weight) of total
19 protein (a), carbohydrate (b), and total lipids (c) in juvenile green abalone *H. fulgens*. See Fig. 2
20 for statistical analysis at 60 and 120 days.

21

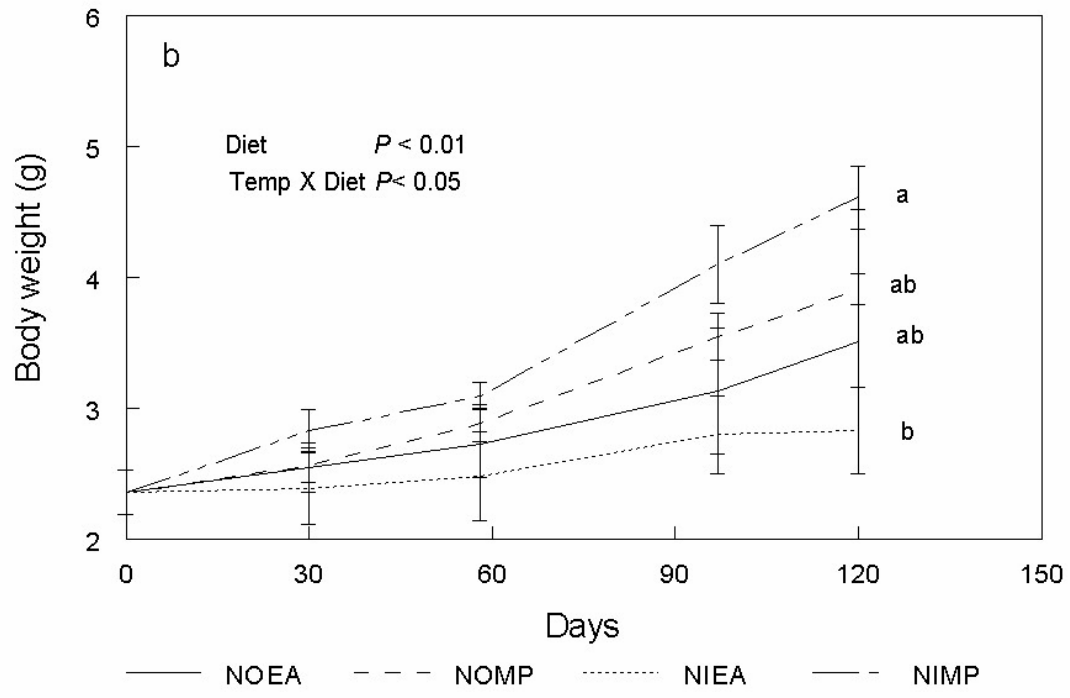
22 Figure 5. Mean \pm SE of muscle levels ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ shell muscle tissue wet weight) of total protein (a),
23 carbohydrate (b), and glycogen (c) in juvenile green abalone *H. fulgens*. See Fig. 2 for statistical
24 analysis at 60 and 120 days.



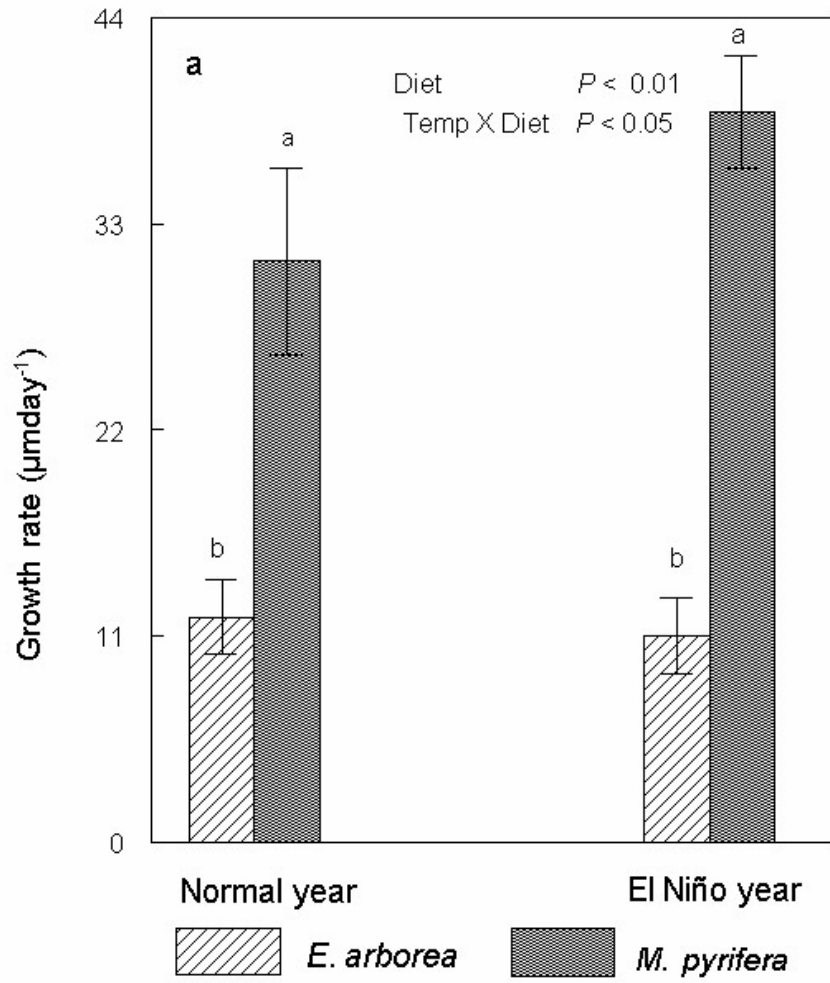
Ponce-Díaz et al., Fig. 1 a) b)



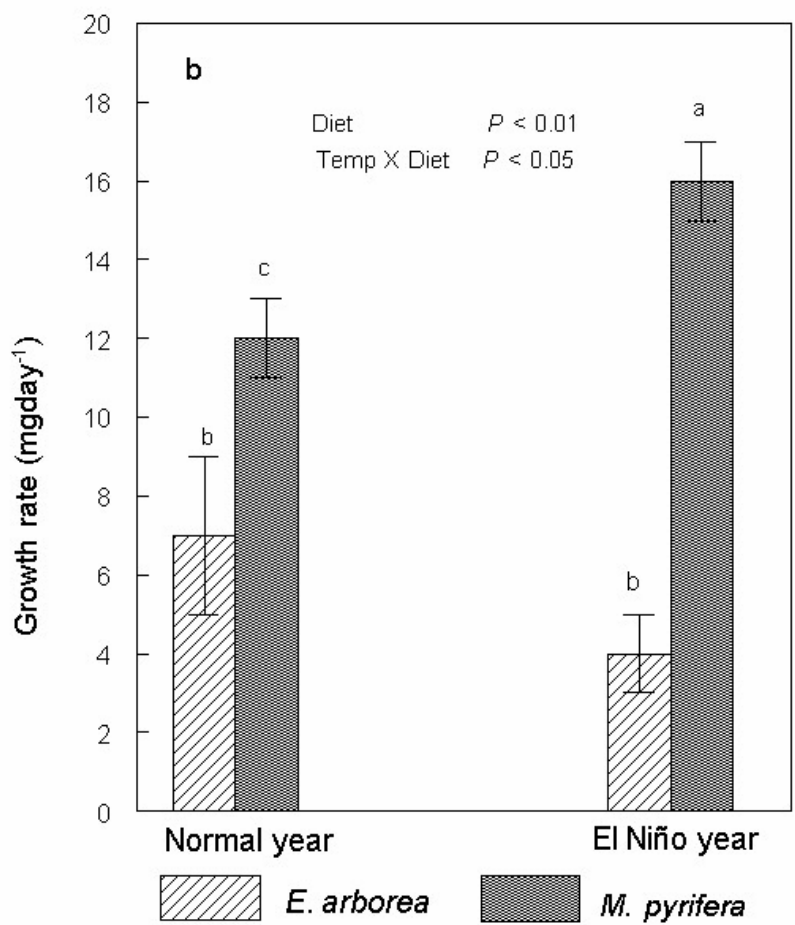
Ponce-Díaz et al., Fig. 2a



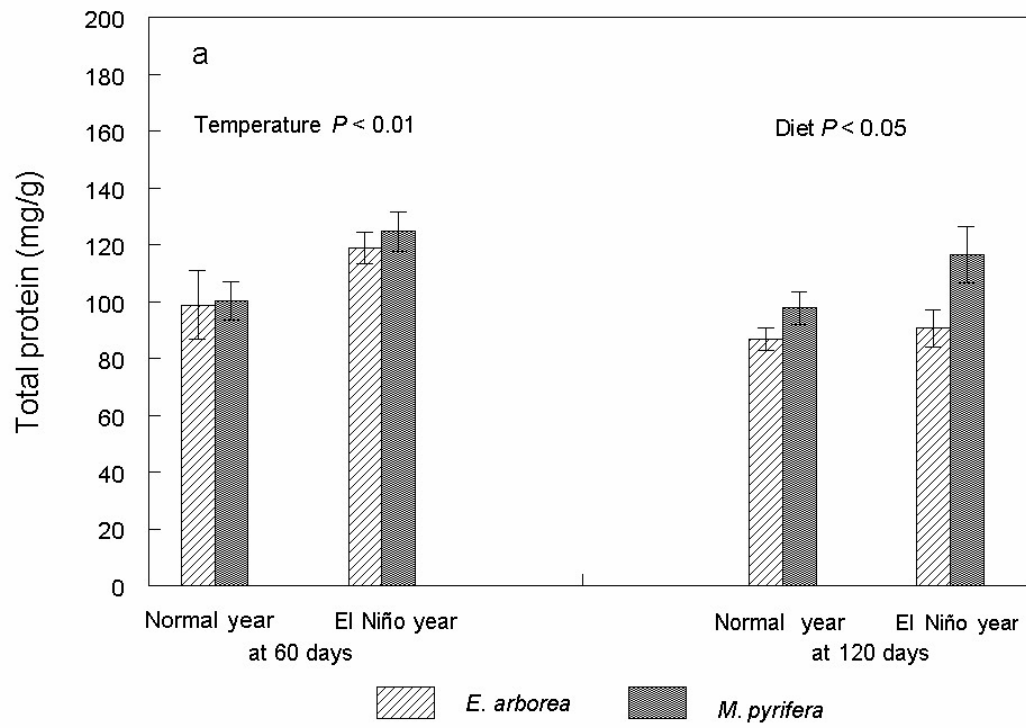
Ponce-Díaz et al., Fig. 2b



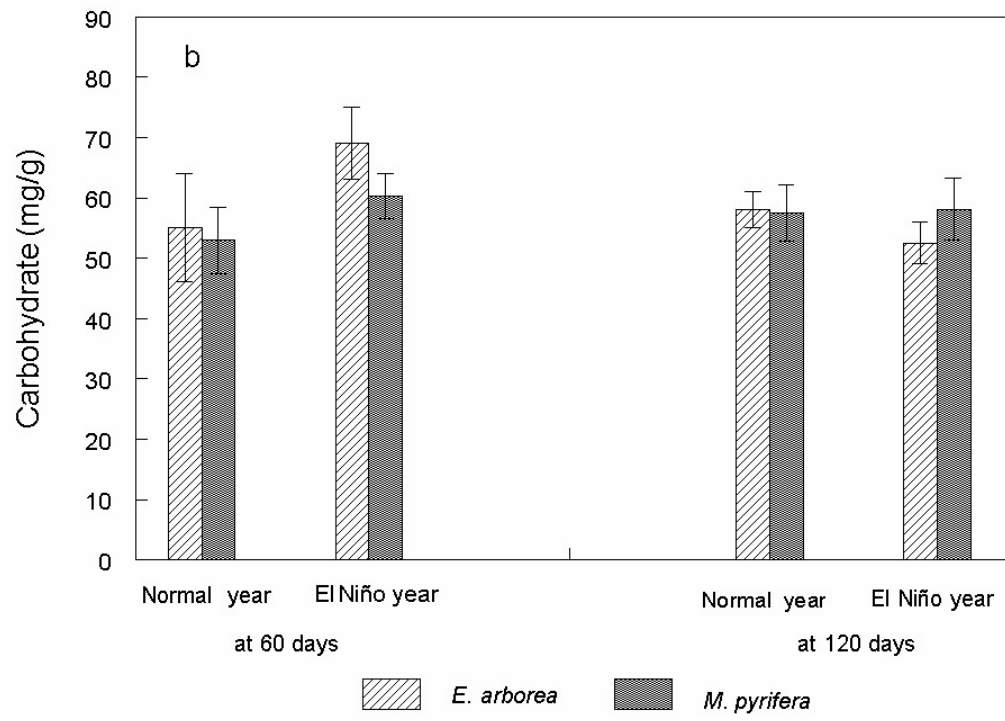
Ponce-Díaz et al., Fig. 3a



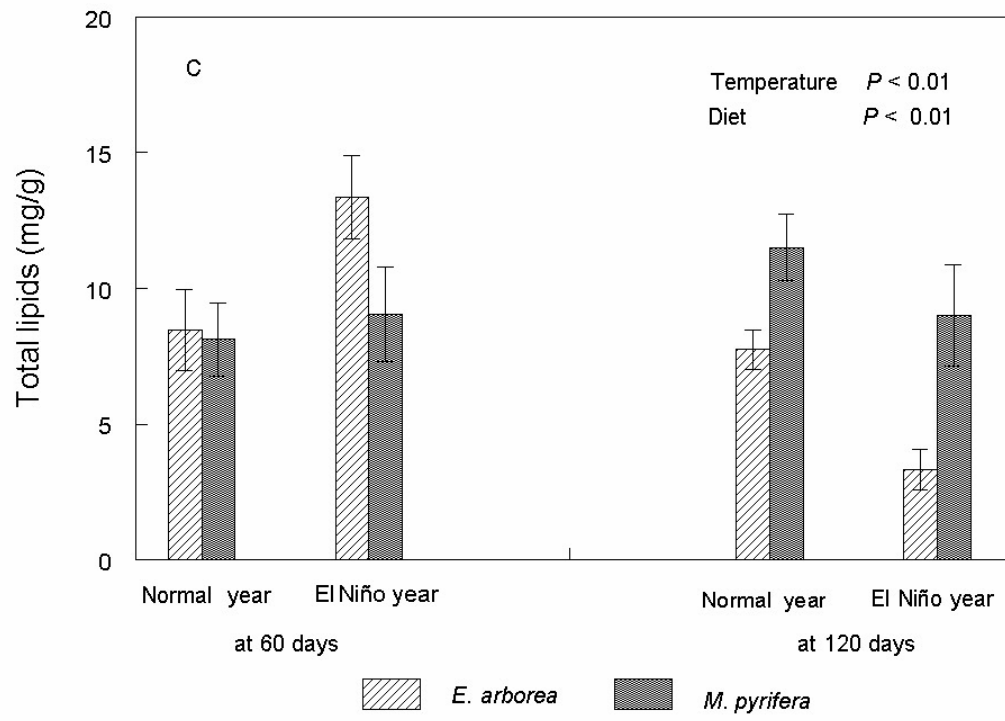
Ponce-Díaz et al., Fig. 3b



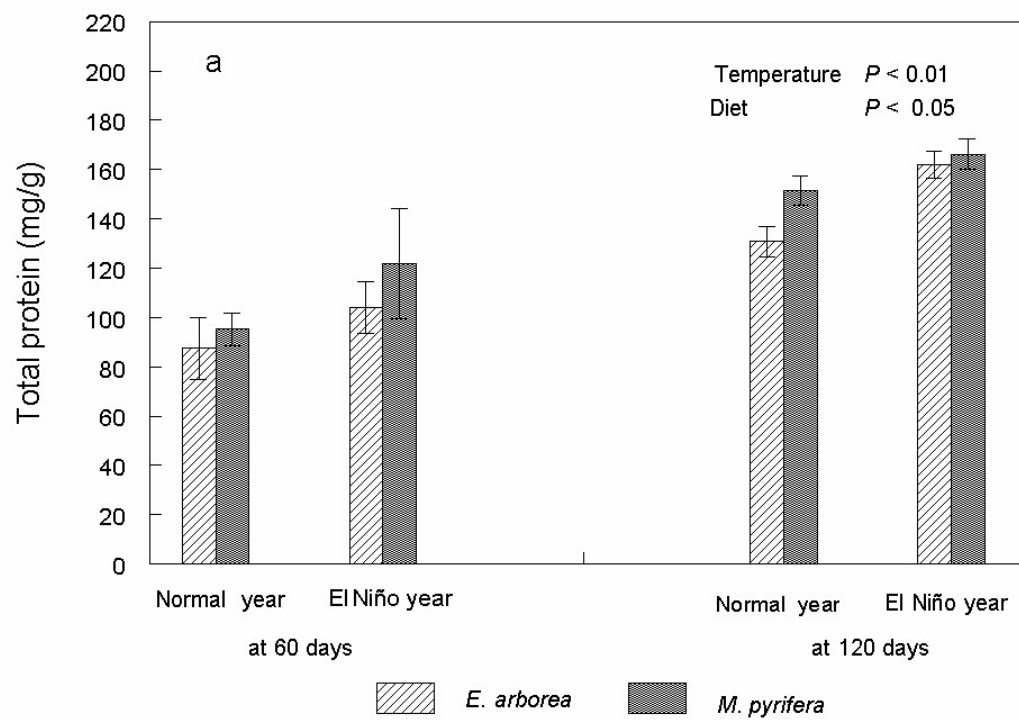
Ponce-Díaz et al., Fig. 4a



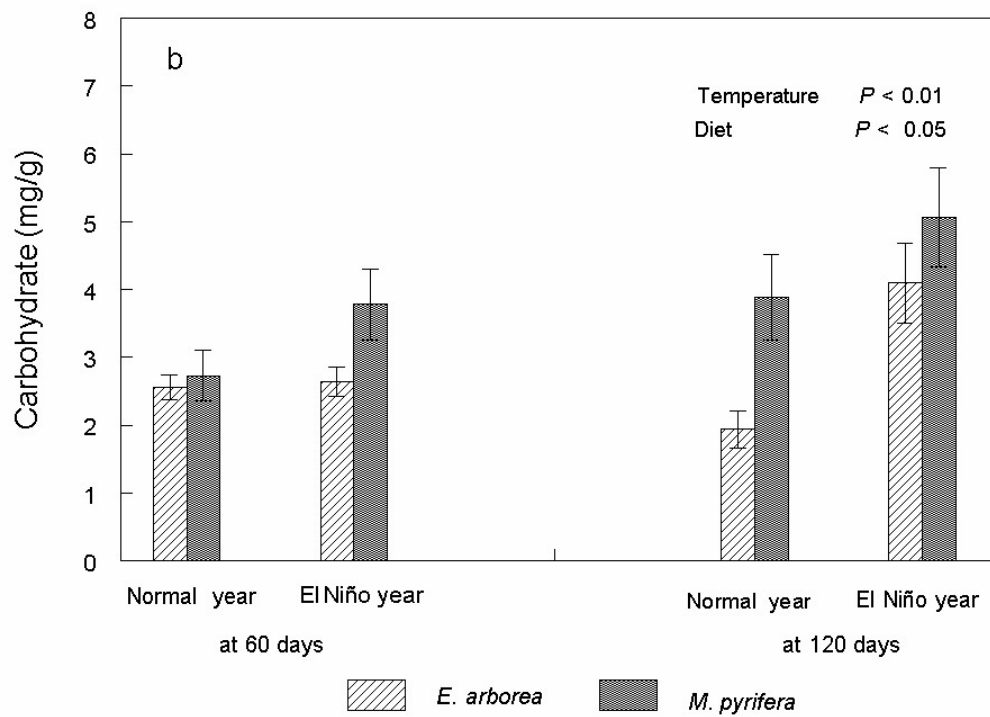
Ponce-Díaz et al., Fig. 4 b



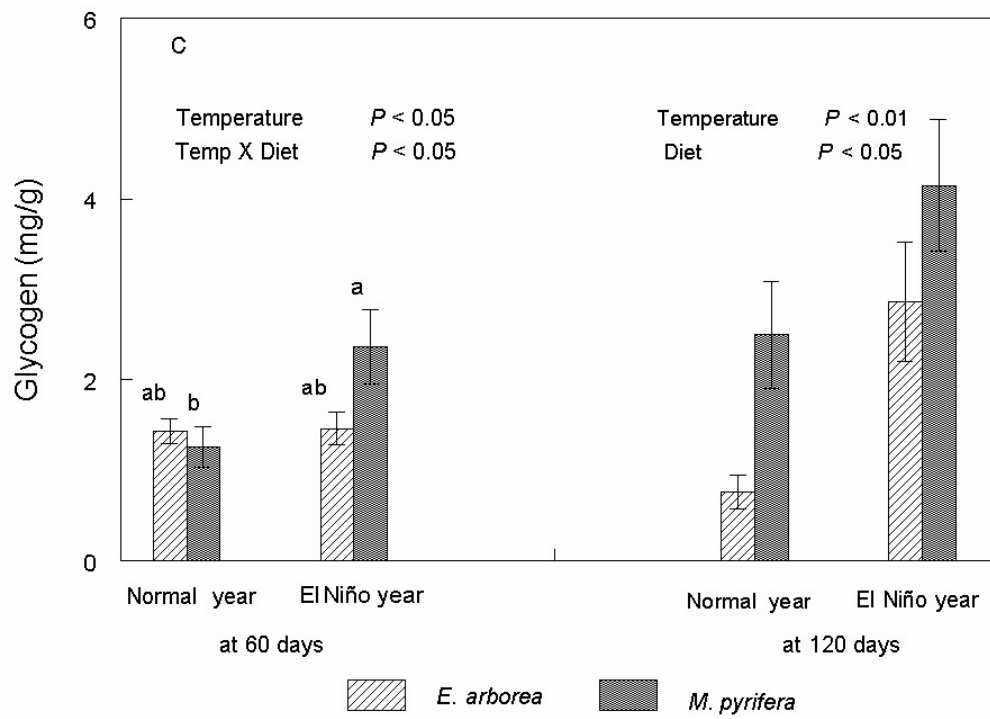
Ponce-Díaz et al., Fig. 4 c



Ponce-Díaz et al., Fig. 5 a



Ponce-Díaz et al., Fig. 5 b



Ponce-Díaz et al., Fig. 5 c